

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

**Integração de Modelos de Processo e Produto na Fase de
Construção para o Controle da Produção e da Qualidade com o
Apoio de BIM**

José Fernando Villamayor Ibarra

Porto Alegre
2016

CIP - Catalogação na Publicação

Ibarra, José Fernando Villamayor
Integração de Modelos de Processo e Produto na
Fase de Construção para o Controle da Produção e da
Qualidade com o Apoio de BIM / José Fernando
Villamayor Ibarra. -- 2016.
180 f.

Orientador: Carlos Torres Formoso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-
RS, 2016.

1. controles pró-ativos. 2. BIM. 3. produção. 4.
qualidade. 5. fase de construção. I. Formoso, Carlos
Torres, orient. II. Título.

JOSÉ FERNANDO VILLAMAYOR IBARRA

**INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE PROCESSO E PRODUTO
NA FASE DE CONSTRUÇÃO PARA O CONTROLE DA
PRODUÇÃO E DA QUALIDADE COM O APOIO DE BIM**

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

Porto Alegre
2016

JOSÉ FERNANDO VILLAMAYOR IBARRA

**INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE PROCESSO E PRODUTO NA
FASE DE CONSTRUÇÃO PARA O CONTROLE DA PRODUÇÃO E
DA QUALIDADE COM O APOIO DE BIM**

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

Porto Alegre, 19 de agosto de 2016

Prof. Carlos Torres Formoso
Ph.D. pela University of Salford, Grã Bretanha
orientador

Prof. Carlos Torres Formoso
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Regina Coeli Ruschel (UNICAMP)
Doutora pela Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Prof. Marcelo Nogueira Cortimiglia (UFRGS)
Doutor pelo Politecnico di Milano, Itália

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

Dedico este trabajo a mi madre y a mi hermano.

Sin ustedes no hubiese llegado a la meta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao orientador deste trabalho, o Professor Carlos Torres Formoso, pelo apoio proporcionado para a consecução de um resultado satisfatório, além das suas gestões que possibilitaram o estabelecimento de parcerias com as empresas participantes do estudo.

Agradeço ao Professor Eduardo Isatto pelo apoio, discussões e dicas para o melhor encaminhamento da pesquisa.

Agradeço às empresas que facilitaram o acesso a suas obras para o desenvolvimento da pesquisa. Em particular, agradeço à Empresa Y, participante no segundo estudo empírico, pelo apoio económico durante a realização dos estudos no estado de Ceará.

Agradeço ao Alexandre Mourão e ao Cícero Lima, pela amizade e desafios, os quais foram essenciais para os bons resultados obtidos no segundo estudo empírico.

Agradeço a Gabriela Sitja Rocha pela ajuda no início do trabalho, acompanhamento para o canteiro de obras na etapa exploratória, *feedback* e discussões ajudaram à definição dos objetivos da pesquisa.

Agradeço à Dra. Daniela Viana pelas correções no português e dicas gerais para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos meus colegas de laboratório, os quais se tornaram amigos incondicionais. Em especial ao Jeferson e ao Guilherme, pelos momentos de descontração durante todo o período do mestrado e pela ajuda para superar as dificuldades pessoais. À Caroline Valente pelo apoio “psicológico” e moral, assim como pela ajuda para a impressão e homologação deste trabalho. A Juliana, Guillermina, Fernanda e Tatiane pela parceria e alto astral, que facilitaram a etapa final de redação do trabalho.

Finalmente, aos meus familiares e amigos, pelo incentivo e força para continuar com o meu projeto de vida.

No que diz respeito ao empenho, ao compromisso,
ao esforço, à dedicação, não existe meio termo.

Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz.

Ayrton Senna

RESUMO

VILLAMAYOR, J.F. **Integração de Modelos de Processo e Produto na Fase de Construção para o Controle da Produção e da Qualidade com o Apoio de BIM**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Os controles de produção e qualidade executados no canteiro de obras têm sido frequentemente associados a trâmites burocráticos, sendo limitados a tarefas administrativas, em lugar de adicionar valor para os clientes internos e externos. Por esta razão, diversas pesquisas propuseram abordagens e indicadores para a integração entre controles de produção e qualidade. Uma das abordagens apontadas na literatura como promissora consiste no uso de dispositivos móveis, para apoiar a implementação destes controles. Tais dispositivos permitem a gestão de grandes quantidades de informações, evitando retrabalhos e erros derivados da coleta manual no papel e transcrição posterior para dispositivos digitais. Outros esforços têm se focado na integração entre os modelos de processo e produto de forma que a informação possa ser utilizada de forma mais eficaz na fase de construção. Os modelos de processo são necessários para realizar o planejamento e controle da produção, enquanto os modelos do produto são relacionados a representações 2D e 3D das obras e, mais recentemente, a modelos BIM. No entanto, a literatura sobre o uso de tecnologia da informação para implementar sistemas integrados de controle da produção e da qualidade é escassa. O objetivo do presente trabalho consiste em desenvolver um **modelo** para a integração entre **processos gerenciais**, representados pelos sistemas de planejamento e controle da produção e de gestão da qualidade, e um **modelo BIM do produto**, buscando facilitar o acompanhamento da execução da obra, incluindo o desempenho em termos de qualidade e a ocorrência de perdas. Foram desenvolvidos dois estudos empíricos em diferentes empresas construtoras, sendo adotada a abordagem metodológica da *design science research*. A principal contribuição deste trabalho está relacionada à execução da integração entre os resultados de controles pró-ativos no canteiro e o modelo BIM do empreendimento de forma sistemática. Além disso, o modelo proposto tem a possibilidade de ser adaptado para usos diversos, podendo, assim, incorporar informações correspondentes a outras fases do ciclo de vida dos empreendimentos construtivos.

Palavras chave: *controles pró-ativos; fase de construção; produção; qualidade; BIM.*

ABSTRACT

VILLAMAYOR, J.F. **Integração de Modelos de Processo e Produto na Fase de Construção para o Controle da Produção e da Qualidade com o Apoio de BIM.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Production and quality controls undertaken in construction sites have often been associated to bureaucratic procedures, being limited to simple administrative tasks, instead of adding value for internal and external stakeholders. For that reason, some research studies have proposed approaches and indicators for the integration of production and quality controls. One of these approaches pointed out in the literature is the use of mobile devices, to support the implementation of those controls. Those devices allow the management of large information batches, reducing rework and errors derived from manual paper-based data collection and further transcription to digital media. Other efforts have focused on the integration between product and process models so that information can be more effectively used during the construction phase of the project. Process models are necessary for carrying out production planning and control, while product models are concerned with 2D or 3D design, and, most recently, with BIM models. Nonetheless, the literature on the use of information technology for implementing integrated production and quality control is scarce. The aim of this research work is to develop a **model** for the integration of **management processes**, composed by production planning, control and quality management processes, and a **BIM product model**, in order to facilitate the monitoring of project execution, including the performance in terms of quality and the occurrence of waste. Two empirical studies were carried out in different construction companies, using the design science research approach. The main contributions of this investigation are related to the integration between some proactive control results and the BIM model in a systematic way. Furthermore, the proposed model has the possibility to be adapted for diverse uses, such as incorporating information from different phases of the construction project life cycle.

Keywords: *proactive controls; construction phase; production; quality; BIM.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	21
1.2 PROBLEMA PRÁTICO	23
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	26
1.4 QUESTÕES DE PESQUISA	31
1.5 PROPOSIÇÕES	31
1.6 OBJETIVOS.....	32
1.7 DELIMITAÇÃO	32
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	33
2 AS PERDAS E O CONTROLE INTEGRADO DE PRODUÇÃO E QUALIDADE	34
2.1 CONCEITO DE PERDAS	34
2.2 PERDAS POR <i>MAKING-DO</i>	37
2.3 TRABALHO EM PROGRESSO, RETRABALHO E FALTA DE TERMINALIDADE.....	42
2.4 SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)	44
2.4.1 Sistema Last Planner® (LPS)	45
2.4.2 Pacotes de Trabalho	49
2.5 SISTEMAS DE CONTROLE DE QUALIDADE.....	51
2.6 PLANEJAMENTO E CONTROLE INTEGRADO DA PRODUÇÃO E QUALIDADE	54
2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
3 TIC E INTEGRACAO DE MODELOS DE PROCESSO E PRODUTO	58
3.1 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) NA CONSTRUÇÃO.....	58
3.2 MODELAGEM DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)	62
3.3 DISPOSITIVOS MÓVEIS NO CANTEIRO (<i>MOBILE COMPUTING</i>)	65
3.4 INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE PROCESSO E PRODUTO	67

3.5 APLICATIVOS PARA A VINCULAÇÃO DA INFORMAÇÃO COLETADA EM CAMPO AO MODELO DE PRODUTO.....	71
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
4 MÉTODO DE PESQUISA	77
4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	77
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	79
4.3 DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS E EMPREENDIMENTOS	81
4.3.1 Empresas X e Y.....	81
4.3.2 Empreendimentos A e B	82
4.4 FONTES DE EVIDÊNCIAS	85
4.5 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES	86
4.5.1 Estudo exploratório	86
4.5.1.1 Análise dos processos de controle e ferramentas de coleta	86
4.5.1.2 Escolha da ferramenta para a coleta de dados.....	87
4.5.2 Estudos empíricos	88
4.5.2.1 Estudo empírico 1.....	88
4.5.2.2 Estudo empírico 2.....	90
4.6 ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES DA SOLUÇÃO.....	94
5 RESULTADOS.....	98
5.1 ESTUDO EMPÍRICO 1	98
5.1.1 Refinamento do modelo: diretrizes para a utilização do modelo de controle integrado no aplicativo comercial de coleta de dados.....	98
5.1.2 Sistema de controle integrado de produção e qualidade.....	102
5.1.3 Desenvolvimento do método.....	105
5.1.3.1 Roteiro de cadastramento de dados gerais e específicos	105
5.1.3.2 Roteiro de vinculação do modelo BIM ao aplicativo comercial B3F, para a coleta de dados	106
5.1.3.3 Roteiro de coleta de dados	108
5.1.4 Resultados das coletas semanais, executadas a partir do planejamento de curto prazo.....	109
5.1.4.1 Resumo dos dados coletados e dos tempos das coletas diárias.	109

5.1.4.2	Processamento de dados correspondentes às tarefas programadas no curto prazo.....	110
5.1.4.3	Processamento de dados correspondentes às coletas de perdas por <i>making-do</i>	114
5.1.4.4	Processamento de dados correspondentes aos registros de reprovações de qualidade.	118
5.1.4.5	Visualização dos dados no modelo BIM.....	124
5.1.5	Discussão dos resultados do primeiro estudo empírico	127
5.2	ESTUDO EMPÍRICO 2	128
5.2.1	Refinamento do método para a integração entre modelos de processo e produto.....	128
5.2.2	Modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto.....	134
5.2.3	Resultados das coletas semanais, executadas a partir do planejamento de curto prazo.....	135
5.2.3.1	Resumo dos dados coletados e dos tempos das coletas diárias.	135
5.2.3.2	Processamento de dados correspondentes às tarefas programadas no curto prazo.....	136
5.2.3.3	Processamento de dados correspondentes às coletas de perdas por <i>making-do</i>	140
5.2.3.4	Processamento de dados correspondentes aos registros de reprovações de qualidade.	144
5.2.3.5	Visualização dos dados no modelo BIM.....	149
5.2.3.6	Usos alternativos do BIM no canteiro.....	151
5.2.4	Teste de alternativas de <i>software</i> para a integração entre os controles no canteiro e o BIM.....	154
5.2.5	Discussão dos resultados do segundo estudo empírico.....	155
5.3	AVALIAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO	156
5.3.1	Utilidade da solução.....	156
5.3.2	Aplicabilidade da solução	158
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	162
	REFERÊNCIAS	167

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA ENTREVISTAS REALIZADAS NO ESTUDO EMPÍRICO 2	177
APÊNDICE B – RELAÇÃO ENTRE SUBCONSTRUCTOS, QUESTÕES E RESPONDENTES DAS ENTREVISTAS REALIZADAS NO ESTUDO EMPÍRICO 2	179

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Método de identificação de perdas por improvisação (SOMMER, 2010).....	40
Figura 2: Abordagem tradicional do PCP de tipo empurrado vs. abordagem de tipo puxado (BALLARD, 2000).....	47
Figura 3: Visão geral do sistema <i>Last Planner</i> [®] , baseado em: Tommelein e Ballard (1997), Ballard e Howell (1998), Ballard (2000) e Bernardes (2001)	49
Figura 4: Os significados da qualidade (JURAN; GODFREY, 1988)	52
Figura 5: Fluxo do processo de coleta de dados (LEÃO, 2014).....	57
Figura 6: Interface do usuário. ArtrA [™] (DAVIES; HARTY, 2013)	72
Figura 7: Suite BIM 360 [®] e as etapas do ciclo de vida do empreendimento (AUTODESK, 2015)	73
Figura 8: Delineamento da pesquisa.....	81
Figura 9: Perspectiva 3D e delimitação da área de estudo para o empreendimento A.....	83
Figura 10: Planta tipo torre A, empreendimento A	83
Figura 11: Planta tipo torres B, C e D, empreendimento A.....	83
Figura 12: Perspectiva 3D e delimitação da área de estudo para o empreendimento B.....	84
Figura 13: Planta tipo torres A e B, empreendimento B.....	84
Figura 14: Avaliação dos aplicativos pré-selecionados vs. critérios de seleção.....	88
Figura 15: Resumo dos tempos de coleta de dados para o primeiro estudo empírico.....	90
Figura 16: Resumo dos tempos de coleta de dados para o segundo estudo empírico	92
Figura 17: Desdobramento do constructo utilidade.....	95
Figura 18: Desdobramento do constructo aplicabilidade	96
Figura 19: Transferência de dados dos pacotes formais não concluídos e não reprogramados	99
Figura 20: Limitação de monitoramento de pacotes informais sem movimentação durante três semanas consecutivas.....	99
Figura 21: Fluxo de informações do processo de coleta de dados incluindo a nomenclatura do B3F.....	100
Figura 22: Hierarquização do processo de controle integrado de produção e qualidade, baseado em: De Oliveira (1999) e Sukster (2005).....	101

Figura 23: Cadastramento de dados gerais (tipos de pacotes genéricos).....	103
Figura 24: Cadastramento de dados específicos	103
Figura 25: Mapeamento de informações ao modelo BIM	103
Figura 26: Módulos principais de coleta de dados no canteiro.....	104
Figura 27: Base de dados criada no B3F após cada coleta semanal	104
Figura 28: Base de dados exportada desde o B3F para o Ms Excel®	104
Figura 29: Resumo de elementos coletados no primeiro estudo empírico	110
Figura 30: Relação entre os tempos de coleta e os eventos observados no primeiro estudo empírico	110
Figura 31: Evolução do <i>status</i> dos pacotes formais.....	111
Figura 32: Comparativa entre PPC e PPIC nas distintas semanas.....	111
Figura 33: Distribuição de pacotes formais e informais nas distintas semanas.....	112
Figura 34: Tipos de pacotes distribuídos nas distintas semanas	112
Figura 35: Estratificação ABC dos pacotes genéricos.....	113
Figura 36: Motivos de não conclusão para os pacotes do grupo A	113
Figura 37: Distribuição do <i>making-do</i> em relação ao tipo de pacotes controlados considerando todas as semanas	114
Figura 38: Registros de <i>making-do</i> em relação a sua categoria considerando todas as semanas	114
Figura 39: Registros de <i>making-do</i> em relação a sua natureza considerando todas as semanas	115
Figura 40: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria área de trabalho.....	116
Figura 41: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria ajuste de componentes	116
Figura 42: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria instalações provisórias	116
Figura 43: Relação entre impacto, gravidade e categoria do <i>making-do</i>	117
Figura 44: Perdas por <i>making-do</i> que apresentaram a maior gravidade.....	117
Figura 45: Estratificação ABC das ocorrências de <i>making-do</i> em relação aos pacotes genéricos	118
Figura 46: Impacto e Gravidade das ocorrências de <i>making-do</i> pertencentes ao grupo A	118

Figura 47: Verificações de qualidade executadas de forma pontual, utilizando ferramentas fornecidas no canteiro.....	119
Figura 48: Avaliações de qualidade parciais (PPCQP) e reprovações de qualidade (PPCQR) em pacotes formais e informais.....	120
Figura 49: PPC, PPCQ e. PPCR em pacotes formais.....	120
Figura 50: PPIC, PPCQ e. PPCR em pacotes informais.....	120
Figura 51: Reprovações de qualidade em função ao tipo de pacote considerando todas as semanas.....	121
Figura 52: Motivos de não qualidade considerando todas as semanas.....	121
Figura 53: Estratificação dos critérios de qualidade reprovados em função ao pacote genérico.....	122
Figura 54: Motivos de não qualidade e critérios reprovados nos pacotes genéricos pertencentes ao grupo A.....	122
Figura 55: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de reboco.....	123
Figura 56: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de elevação de alvenaria estrutural.....	123
Figura 57: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de taliscamento.....	123
Figura 58: Reprovações de qualidade registradas por causa do mau sequenciamento das tarefas.....	124
Figura 59: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de colocação de graute em alvenaria estrutural.....	124
Figura 60: Visualização das informações coletadas no canteiro dentro do B3F e B3G....	126
Figura 61: Resumo de informações coletadas no canteiro correspondentes à semana 8, visualizadas no Navisworks Manage®.....	127
Figura 62: Coleta e exportação de dados de produção e qualidade.....	129
Figura 63: Seleção dos pacotes de trabalho de curto prazo no modelo BIM e exportação de dados (ID dos pacotes de trabalho e ID dos objetos BIM).....	129
Figura 64: Vinculação entre os dados coletados no canteiro e os pacotes de trabalho criados no modelo BIM.....	130
Figura 65: Gerenciamento e formatação da base de dados.....	130
Figura 66: Conexão da base de dados ao modelo BIM do empreendimento através dos identificadores de objetos BIM.....	130

Figura 67: Resultado da integração entre modelos de processo e de produto	131
Figura 68: Criação do cronograma de longo prazo (CPM ou LOB) e importação do mesmo dentro do modelo BIM para a simulação 4D	132
Figura 69: Comparativa entre modelos <i>as-built</i> e <i>as-planned</i>	132
Figura 70: Resumo do método e aplicativos utilizáveis para a instanciação da integração entre modelos de processo e produto	133
Figura 71: Modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto, baseado em: Reinhardt, Akinici e Garrett (2004)	134
Figura 72: Resumo de elementos coletados – Segundo estudo empírico	135
Figura 73: Relação entre os tempos de coleta e os eventos observados – Segundo estudo empírico	136
Figura 74: Tipos de pacotes controlados considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico	136
Figura 75: Comparativa de controles feitos pela Empresa Y e pelo pesquisador, para pacotes dentro e fora da LOB	137
Figura 76: Distribuição de <i>status</i> dos pacotes formais e informais	138
Figura 77: Comparativa entre PPC e PPIC nas distintas semanas – Segundo estudo empírico	138
Figura 78: Distribuição de pacotes formais e informais – Segundo estudo empírico	138
Figura 79: Estratificação ABC dos pacotes genéricos – Segundo estudo empírico	139
Figura 80: Motivos de não conclusão para os pacotes do grupo A – Segundo estudo empírico	139
Figura 81: Distribuição do <i>making-do</i> em relação ao tipo de pacotes controlados considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico	141
Figura 82: Registros de <i>making-do</i> em relação a sua categoria considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico	141
Figura 83: Registros de <i>making-do</i> em relação a sua natureza considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico	141
Figura 84: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria de sequenciamento.....	142
Figura 85: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria de ajuste de componentes	142
Figura 86: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria de instalações provisórias	142
Figura 87: Perdas por <i>making-do</i> correspondentes à categoria área de trabalho.....	143

Figura 88: Relação entre impacto, gravidade e categoria do <i>making-do</i> – Segundo estudo empírico	143
Figura 89: Estratificação ABC das ocorrências de <i>making-do</i> em relação aos pacotes genéricos – Segundo estudo empírico	144
Figura 90: Impacto e Gravidade das ocorrências de <i>making-do</i> pertencentes ao grupo A – Segundo estudo empírico.....	144
Figura 91: PPC, PPCQ e. PPCR em pacotes formais – Segundo estudo empírico	145
Figura 92: PPC, PPCQ e. PPCR em pacotes informais – Segundo estudo empírico	145
Figura 93: Avaliações de qualidade parciais (PPCQP) e reprovações de qualidade (PPCQR) em pacotes formais e informais – Segundo estudo empírico	146
Figura 94: Reprovações de qualidade em função ao tipo de pacote considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico	146
Figura 95: Motivos de não qualidade considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico	146
Figura 96: Estratificação dos critérios de qualidade reprovados em função ao pacote genérico – Segundo estudo empírico	147
Figura 97: Motivos de não qualidade e critérios reprovados nos pacotes genéricos pertencentes ao grupo A – Segundo estudo empírico.....	148
Figura 98: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de rebocos.....	148
Figura 99: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de elevação de alvenarias de vedação	148
Figura 100: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de vergas e pilaretes de suporte	149
Figura 101: Resumo de informações coletadas no canteiro correspondentes à semana 16, visualizadas no Navisworks Manage®	149
Figura 102: Utilização de critérios de prevalência para a visualização de propriedades simultâneas dentro os objetos BIM.....	151
Figura 103: Utilização do BIM como fonte de consulta do detalhe construtivo de recuo para pele de vidro em fachada	152
Figura 104: Utilização do BIM como fonte de consulta do detalhe construtivo de base para grade em fachada	152
Figura 105: Utilização do BIM como apoio às tarefas de controle de qualidade no canteiro	153

Figura 106: Utilização do BIM como apoio para a coordenação de tarefas nas reuniões de curto prazo	153
Figura 107: Testes de controlos de produção e qualidade realizados com os aplicativos Visilean™ e Quizquality	155
Figura 108: Resumo de avaliações do constructo utilidade.....	161
Figura 109: Resumo de avaliações do constructo aplicabilidade	161

LISTA DE ABREVIATURAS

AEC: Arquitetura, Engenharia e Construção.

B3F: BIM 360™ Field;

B3G: BIM 360™ Glue;

BD: Base de Dados;

DSR: *Design Science Research*;

EAP: Estrutura Analítica do Projeto;

FT: Falta de Terminalidade;

FVS: Ficha de Verificação de Serviço;

IAI: *International Alliance for Interoperability*;

IFC: *Industry Foundation Classes*;

ISO 9001: Padrão de Gestão da Qualidade Internacional;

ISO STEP: *Standard for the Exchange of Product Model Data*;

LBM: Gestão Baseada na Localização (*Location-Based Management*);

LOB: Linha de Balanço (*Line of Balance*);

LPS: Sistema *Last Planner*;

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação;

PCP: Planejamento e Controle da Produção;

PMCMV: Programa Minha Casa Minha Vida;

PPC: Porcentagem de Pacotes Concluídos;

PPCQ: Porcentagem de Pacotes Concluídos com Qualidade;

PPCQP: Porcentagem de Pacotes Concluídos com Qualidade Parcial;

PPCQR: Porcentagem de Pacotes Concluídos com Qualidade Reprovada;

PPCR: Porcentagem Real de Pacotes Concluídos;

PPIC: Porcentagem de Pacotes Informais Concluídos;

PVQ: Planilha de Verificação da Qualidade;

STP: Sistema Toyota de Produção;

TI: Tecnologia de Informação;

TIC: Tecnologia de Informação e Comunicação;

WIP: Trabalho em Progresso (*Work in Progress*).

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o contexto e justificativa do tema proposto, os problemas reais e de pesquisa, as questões de pesquisa, assim como as proposições, objetivos e delimitações do trabalho. Ao final do capítulo, é apresentada a estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A indústria da construção civil é tradicionalmente caracterizada como conservadora (TOLEDO; ABREU; JUNGLES, 2000). Um fator importante para isso é o longo tempo de maturação para a adoção de inovações no setor da construção (BOWDEN *et al.*, 2005; TOLEDO; ABREU; JUNGLES, 2000). No contexto do Brasil, essa situação é agravada pelo fato de boa parte da mão de obra ter um baixo nível de escolaridade, sendo menos qualificada do que, por exemplo, em diversas indústrias do setor de manufatura (MELHADO, 2001). Conforme o mesmo autor, isso dificulta a implementação de inovações no nível operacional, embora, mesmo nas hierarquias superiores, costuma-se adotar métodos de gestão ultrapassados.

Assim, apesar da indústria da construção civil apresentar mudanças e melhorias, o setor ainda está distante dos níveis de eficiência, produtividade e qualidade de outros setores da indústria (NASCIMENTO; SANTOS, 2008; NAVON; SACKS, 2007; TEICHOLZ; GOODRUM; HAAS, 2001). Fireman (2012) aponta que o constante questionamento à eficiência da indústria da construção está também relacionado à incidência das perdas e à necessidade de melhoria nas condições de trabalho.

Estudos realizados nos últimos anos (ALEXANDRE, 2008; BERR; FORMOSO, 2012; FIESS *et al.*, 2004) apontam numerosos problemas de qualidade identificados nas habitações de interesse social no Brasil. Segundo Fiess *et al.* (2004), a busca pela velocidade da construção é um dos fatores que comprometem a qualidade desses empreendimentos, dificultando o controle dos serviços. Ronen (1992) vincula essa busca pela velocidade produtiva à síndrome da eficiência e às pressões por respostas imediatas. De fato, este problema está relacionado à ocorrência de perdas devido ao início das tarefas sem ter todos os itens necessários para a sua execução sem interrupções (RONEN, 1992).

Segundo Formoso *et al.* (1999) e Loosemore (2014), a crescente competição, a globalização dos mercados, a maior exigência por parte dos consumidores, a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos, as pressões para melhorar a produtividade, a segurança e a sustentabilidade das obras, têm estimulado as empresas a buscar melhores níveis de desempenho através de investimentos em gestão e tecnologia da produção.

Nesse contexto, existe um forte movimento em distintos países para aplicação da filosofia da produção enxuta (*Lean Production*), originada na indústria da manufatura (KOSKELA, 1992), na indústria da construção, como uma alternativa para aumentar os níveis de eficiência, produtividade e qualidade na construção. Este movimento tem sido denominado de Construção Enxuta. Shinohara (1988) sugere que a filosofia básica da produção enxuta consiste em utilizar uma quantidade mínima de equipamentos e mão de obra para uma produção livre de defeitos, no menor tempo possível, com a menor quantidade de produtos inacabados. O mesmo autor acrescenta que o conceito de perdas é relacionado a qualquer elemento que não contribui para atender os requisitos exigidos pelo cliente, tais como qualidade, preço ou prazo de entrega.

No entanto, a implementação da produção enxuta no contexto da construção tem sido dificultada pelo desenvolvimento de casos e conceitos especificamente para a manufatura, não sendo facilmente generalizáveis para a construção (KOSKELA, 1992). A fragmentação produtiva, o caráter único do produto, o local da produção, a multiorganização temporária, a intervenção dos órgãos de regulamentação e o alto grau de responsabilidade social são características peculiares da construção que têm constituído impedimentos importantes (NAM; TATUM, 1988; WARSZAWSKI, 1990).

Conforme Dave, Boddy e Koskela (2011), apesar de ainda existirem muitos desafios pela frente, a indústria da construção tem avançado consideravelmente na adoção dos conceitos e princípios fundamentais da produção enxuta. Os mesmos autores salientam que o uso de TI, em particular da Modelagem de Informação da Construção (BIM), encontra-se percorrendo um caminho similar. Volk, Stengel e Schultmann (2014) salientam que os tópicos relacionados às áreas de pesquisa integradas ao BIM, tais como a gestão de informações, documentações, controle e monitoramento do progresso ou medição, têm sido apontados na atualidade com crescente importância.

Dave (2013) aponta que o BIM tem o potencial de atuar como uma plataforma central para a gestão de informação, ajudando à sincronização e visualização das informações produtivas

durante o ciclo de vida do empreendimento. Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) afirmam que o BIM estende o conceito básico do modelo 3D e 4D para incorporar outras informações relativas ao projeto, incluindo a integração da informação da gestão do empreendimento de construção. Volk, Stengel e Schultmann (2014) acrescentam que o acompanhamento do progresso das atividades no canteiro, as medições e o monitoramento por meio da computação nas nuvens, encontram-se entre as tendências futuras para a coleta e transferência de informações prediais dentro dos modelos BIM.

Koskela (1992) adiciona que o fenômeno primário desencadeado pela implementação dos princípios da produção enxuta na construção consiste na melhoria integral dos processos, o qual tem a possibilidade de posteriormente receber o suporte da tecnologia de informação (TI). Mais especificamente, a TI pode beneficiar a melhoria dos processos de duas formas: na automatização de conversões específicas e fluxos, levando à redução da variabilidade, diminuição dos tempos de ciclo e aumento da transparência, assim como permitir o redesenho dos processos, o que conseqüentemente, pode conduzir a simplificações radicais (KOSKELA, 1992). De fato, a literatura aponta que existe uma grande sinergia entre a aplicação da filosofia *Lean* na construção e o uso de BIM, principalmente para atividades desenvolvidas nas fases de construção e operação das edificações (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011; SACKS *et al.*, 2010).

1.2 PROBLEMA PRÁTICO

De acordo com Ballard e Howell (1998), na construção, a palavra planejamento é tradicionalmente associada à produção de orçamentos, cronogramas e documentação contratual para a execução do empreendimento, sendo o seu controle limitado ao simples monitoramento do desempenho em relação a essas especificações e requerendo, no surgimento de desvios, de ações corretivas, de forma reativa (SUKSTER, 2005).

Formoso *et al.* (1999) definem o planejamento como um processo gerencial de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo quando seguido de um controle. A eficácia do planejamento e controle de produção (PCP) na construção depende em grande medida da confiabilidade e disponibilidade oportuna das informações dos recursos (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011), sendo esta uma área tradicionalmente desafiante na qual os métodos de controle *ad-hoc* tendem a fomentar a

incerteza, a qual consiste em uma das piores inimigas para a eficiência e uniformidade no fluxo produtivo (DAVE *et al.*, 2014).

Nesse sentido, Sukster (2005) identificou os seguintes problemas e dificuldades¹ inerentes da integração entre os sistemas de gestão de qualidade e de controle produtivo:

- a) Erros na estimação da produtividade das equipes devido à falta de experiência dos coordenadores de planejamento;
- b) Consideração errônea de conclusão de tarefas com falta de terminalidade ou problemas de execução (falta de qualidade), devido à falta de tempo suficiente para executar os controles;
- c) Geração de documentação excessiva, originando processos utilizados apenas burocraticamente, ou seja, como preenchimento de papel;
- d) Necessidade de um grande esforço por parte do gerente do empreendimento na utilização de todas as ferramentas necessárias para melhorias dos sistemas;
- e) Falta de disciplina e motivação dos encarregados de executar o controle das tarefas planejadas e de roteirização dos controles produtivos e de qualidade nas empresas, os quais apresentaram diferentes critérios e variações do momento de coleta;
- f) Duração excessiva das reuniões de curto prazo devido à necessidade de resolver problemas técnicos causados por deficiências no levantamento das restrições no médio prazo; e
- g) Dificuldades no envolvimento dos trabalhadores no processo de controle das suas próprias tarefas, devido à alta rotatividade da mão de obra contratada em regime de terceirização.

Por outro lado, no estudo realizado por Fireman (2012), foi observado que a não execução das tarefas com qualidade estava relacionada principalmente com defeitos na execução da tarefa precedente, sendo que esses defeitos eram, em muitos casos, a causa raiz de outros tipos de perdas como o *making-do*. Essas perdas se referem às improvisações que ocorrem quando uma

¹ Salienta-se que a maioria desses problemas foram corroborados pelo presente autor no estudo exploratório desta pesquisa, e têm motivado em grande medida o desenvolvimento dela.

tarefa é iniciada sem que todos os itens necessários para sua realização estejam disponíveis (KOSKELA, 2004).

A integração entre os controles da produção e da qualidade é considerada como um meio de reduzir a incidência de pacotes informais² por falta de terminalidade (FT) e as perdas por *making-do* (FIREMAN, 2012). Uma vez que o controle da produção deve lidar com a variabilidade e com as incertezas, torna-se evidente a relação entre o controle da produção e o controle da qualidade, pois é impossível obter uma alta confiança na previsão de prazos quando são fabricados produtos com não conformidade (ARENTSEN; TIEMERSMA; KALS, 1996).

No entanto, segundo Righi e Isatto (2011), existem algumas dificuldades que prejudicam a realização do controle integrado da produção e da qualidade, tais como a falta de sincronia entre os pacotes de trabalho e o conteúdo dos procedimentos de verificação da qualidade, assim como o tempo excessivo despendido nas verificações de qualidade.

Assim, Fireman (2012) sugere o uso de tecnologias de informação para acelerar a coleta e processamento de dados que procedem do modelo de controle integrado. Em particular, Kim *et al.* (2013) apontam que a computação móvel tem a potencialidade de melhorar as práticas de gestão da construção atualmente utilizadas no canteiro de obras. Dave, Boddy e Koskela (2011) adicionam que a Modelagem de Informação da Construção (BIM) se encontra rapidamente substituindo as tecnologias CAD em muitos países. Dessa forma, sistemas que aproveitem a integração destes modelos de produto com os processos estabelecidos pela construção enxuta, podem ter um papel importante na gestão da produção (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011).

Vários autores ressaltam os benefícios da integração das informações relativas aos modelos de processos e produtos da construção (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2013; FROESE *et al.*, 1999; KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015; REINHARDT; AKINCI; GARRETT, 2004; SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009; STUMPF *et al.*, 1996). No entanto, as tecnologias atualmente disponíveis para essa integração possuem limitações que impedem a sua utilização ativa em canteiros de obras, limitando-os para casos pontuais (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015).

² Os pacotes de trabalho informais são aqueles executados no canteiro de obras sem antes ter sido removidas as suas restrições no horizonte de médio prazo, analisadas as suas interdependências com outras atividades, nem feito o seu planejamento e atribuição formal durante as reuniões de curto prazo do LPS.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Formoso (1991) e Formoso e Isatto (2008), existe uma deficiência de sistemas formais dedicados ao aspecto do controle na gestão da produção, o qual usualmente depende da troca de informações verbais entre as equipes de trabalho, supervisores e gerentes. Assim, a maioria das decisões são baseadas na própria intuição ou sentido comum, em lugar de utilizar dados sistematicamente coletados (LANTELME; FORMOSO, 2000).

Além disso, as empresas construtoras tendem a enfatizar os controles nas metas globais dos empreendimentos e no cumprimento dos contratos, em lugar dos controles produtivos. Nesse contexto, a identificação de problemas no sistema produtivo e a definição de ações corretivas, torna-se um problema (BALLARD; HOWELL, 1998).

Laufer e Tucker (1987) definem controle como o processo que garante que as ações sejam executadas conforme ao planejado para que as metas desejadas sejam alcançadas. Koskela e Howell (2002) apontam que o foco do modelo de controle tradicional, denominado modelo de termostato, consiste em tentar identificar a discrepância entre o padrão estabelecido e as atividades realizadas. Dessa forma, o modelo de termostato não dá grande ênfase à investigação das possíveis causas dos desvios dos planos e, em consequência, não permite a eliminação das mesmas (KOSKELA; HOWELL, 2002). Os mesmos autores acrescentam que o foco do controle deveria estar na identificação das causas dos problemas e na tomada de providências sobre esses problemas, e não na simples alteração do nível de desempenho para que uma meta predeterminada seja atingida.

O sistema *Last Planner*[®] (LPS) de controle da produção (BALLARD; HOWELL, 1998; BALLARD, 2000) é baseado em princípios da construção enxuta e vem sendo aplicado na construção civil com a finalidade de reduzir a variabilidade, melhorar o fluxo de trabalho e reduzir perdas. No entanto, as abordagens utilizadas para o controle de qualidade no canteiro de obras não são tão efetivas quanto deveriam para a identificação de defeitos nas etapas iniciais do processo construtivo (AKINCI *et al.*, 2006). Consequentemente, os defeitos podem permanecer sem ser detectados até as etapas construtivas finais e inclusive durante as fases de entrega e manutenção, ocasionando a elevação dos custos devido ao retrabalho necessário nesses casos (AKINCI *et al.*, 2006). Conforme Sukster (2005), a padronização dos processos de controle e a utilização de indicadores são necessárias para a integração dos controles de

produção e qualidade. Além disso, esses indicadores podem ser posteriormente utilizados em esforços de melhoria contínua (SUKSTER, 2005).

Segundo Kopsida, Brilakis e Vela (2015), os controles no canteiro estão sujeitos a incerteza e inconsistência por causa do nível de educação e treinamento dos inspetores serem variáveis, e com isso, as estimações do progresso das tarefas podem resultar subjetivas e propensas a erros. O meio utilizado para representar as potenciais discrepâncias entre o progresso planejado e o realizado consiste em um fator essencial para facilitar os processos de tomada de decisão e as ações corretivas (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015). Os mesmos autores reforçam essa ideia salientando que a maior parte do tempo utilizado nas reuniões de coordenação é destinado às tarefas descritivas e explanatórias da situação.

Navon e Sacks (2007) criticam a lentidão dos sistemas de monitoramento na indústria da construção, resultante, em muitos casos, da carência de relacionamento de longo prazo entre diferentes intervenientes, e dos processos de controle altamente dependentes de métodos manuais de processamento de dados, os quais são lentos, imprecisos e dispendiosos. Atualmente a transferência de informações entre o canteiro de obras e os sistemas de TI utilizados no escritório é muito maçante, demorada e propensa a erros (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Os dados coletados no canteiro de obras são muitas vezes alterados e replicados em soluções baseadas no papel antes que a informação seja integrada dentro dos sistemas de TI (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Dave, Boddy e Koskela (2010) e Sacks, Radosavljevic e Barak (2010) adicionam que o fluxo de informações na construção afeta significativamente os outros fluxos de recursos e, portanto, é muito importante geri-lo desde a perspectiva da produção puxada (*pull production*).

Conforme Reinhardt, Akinci e Garrett (2004) e Chen e Kamara (2008), os processos de monitoramento do progresso desenvolvidos no canteiro são caracterizados por elevadas demandas de informação, precisando, portanto, de um suporte computacional efetivo. Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) adicionam que as tarefas de monitoramento são facilitadas por representações visuais, facilmente interpretáveis, do trabalho que tem que ser executado e que, ao mesmo tempo, utilizem meios que permitam reportar o progresso das tarefas. Os mesmos autores afirmam que a visualização dos processos apoiada em sistemas computacionais é necessária visto que os *status* das tarefas não podem ser facilmente identificados, devido aos obstáculos físicos existentes no canteiro de obras, assim como à falta de estações de trabalho fixas para as equipes. Outra justificativa a favor dos sistemas computacionais consiste no apoio

que os mesmos podem oferecer para facilitar a adoção de novos processos nas organizações, por exemplo, o LPS, as quais normalmente tendem a regredir às práticas tradicionais quando se encontram em situações de falta de apoio para o aprendizado contínuo (LEIGARD; PESONEN, 2010).

Dessa forma, Sacks, Radosavljevic e Barak (2010) sugerem a utilização de um sistema de *software* que complemente o *Last Planner*[®] para auxiliar na gestão do fluxo das operações e informações da construção com maior confiança e menor variabilidade. Bernardes (2001) sugere como diretriz para o melhoramento do modelo de PCP a utilização de tecnologias de informação para a diminuição do tempo despendido na elaboração dos planos. Fireman (2012) coloca como uma de suas recomendações para futuros trabalhos a necessidade de se empregar BIM para modelar as relações entre perdas por *making-do* e os pacotes informais. Reinhardt, Garrett e Akinci (2005) e Leão, Formoso e Isatto (2014) destacam a necessidade de utilizar tecnologias móveis para a gestão das grandes quantidades de informações geradas diariamente no canteiro, a partir de tarefas de planejamento e controle.

Chen e Luo (2014) acrescentam que existe atualmente uma carência de estudos que demonstrem a utilização efetiva de tecnologia de informação na fase de construção. No entanto, alguns autores têm estudado recentemente as vantagens da implementação de computação móvel na construção e justificado a sua utilidade (CHEN; KAMARA, 2008; IRIZARRY; GILL, 2009; MORAN, 2012; NOURBAKHSH *et al.*, 2011, 2012a). Porém, esses sistemas não necessariamente fornecem as representações visuais e conceituais que permitam aos supervisores acessar e inserir as informações de uma forma eficiente e eficaz (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005).

Outras pesquisas têm buscado propor possíveis cenários de vinculação entre as informações provindo dos processos executados no canteiro e dos produtos aos que estes representam (FROESE *et al.*, 1999; REINHARDT; AKINCI; GARRETT, 2004; STUMPF *et al.*, 1996). Assim, um modelo de produto é uma estrutura conceitual utilizada para organizar e comunicar as informações sobre o produto edifício entre os participantes do empreendimento (STUMPF *et al.*, 1996). Os modelos de processo representam etapas importantes do ciclo de vida do empreendimento, tais como projeto (*design*), construção e operação (STUMPF *et al.*, 1996). Os modelos de produto e processo contêm representações conceituais de informação. Essas representações conceituais podem ter uma ou mais representações visuais (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005).

Enquanto a construção enxuta aborda os problemas inerentes dos processos construtivos, o BIM supera os obstáculos que apresenta a tecnologia 2D-CAD, oferecendo soluções para a manipulação eficiente do modelo de produto (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011; DAVE, 2013). Conforme os mesmos autores, o BIM também oferece a solução para superar muitos problemas relacionados aos processos construtivos, visto que provê um modelo de produto inteligente, ou seja, com propriedades paramétricas, que reside em uma plataforma única. Davies e Harty (2013) afirmam que o BIM pode auxiliar aos trabalhadores do canteiro de obras e ajudar na captura de dados e imagens no próprio canteiro, de maneira a confirmar o progresso de acordo com o inicialmente projetado.

Dessa forma, Sacks *et al.* (2013) desenvolveram o protótipo KanBIM™ no qual utilizaram um visualizador do modelo BIM, relacionando-o aos fluxos produtivos dos pacotes de trabalho no canteiro. Entre as oportunidades de melhoria surgidas da aplicação do seu protótipo, os autores salientaram a necessidade de compatibilizar o seu sistema com dispositivos móveis e da disponibilidade *on-line* das informações. Similarmente, Dave, Boddy e Koskela (2011) desenvolveram o Visilean™, o qual permite a sincronização dos modelos de processo e produto na construção mediante um sistema de *software* que suporta o planejamento de fluxo puxado (*Pull flow scheduling*) do LPS e sua integração com o modelo BIM do empreendimento.

Alternativamente, Matthews *et al.* (2015) utilizaram ferramentas disponíveis comercialmente para realizar o monitoramento do progresso e gestão de processos. Contudo, a abordagem dos referidos autores limitou-se a um único subsistema construtivo (isto é, solução *ad-hoc* para o controle do avanço da estrutura de concreto), sem analisar as possíveis interferências e interações derivadas da execução de várias tarefas simultâneas. Além disso, a análise dos mesmos não se baseou em princípios nem ferramentas da construção enxuta (por exemplo, o LPS), não foram previstos os casos reais de vinculação simultânea de vários pacotes de trabalho aos mesmos objetos BIM do modelo de produto e os controles de qualidade foram executados independentemente e só após a conclusão das tarefas planejadas.

Kopsida, Brilakis e Vela (2015) concluem que não existe uma abordagem tecnológica geral para o controle automatizado do progresso na fase de construção. Existem muitos esforços de pesquisas focados no monitoramento do progresso das tarefas, os quais têm proporcionado baixos níveis de automação e sistemas muito complexos para ser de utilidade em ambientes interiores no canteiro de obras (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015). Reinhardt, Garrett e Akinci (2005) estabelecem que as representações visuais utilizadas no canteiro para o acesso e

coleta de dados devem ser facilmente customizáveis e baseadas nas necessidades de coleta específicas para cada momento.

Volk, Stengel e Schultmann (2014) ressaltam que atualmente os principais desafios e áreas de pesquisa utilizando BIM se encontram na automatização da coleta de dados e criação automática dos modelos BIM, assim como na atualização e manutenção de informação dentro do modelo BIM. Coincidentemente, lacunas não abordadas pelos sistemas de integração de modelos de processo e produto, como Visilean™ ou KanBIM™, têm a ver com o fluxo de informações dentro do modelo de produto estando o mesmo sujeito a modificações no decorrer do projeto, a manutenção de um processo construtivo atualizado dentro de uma ferramenta BIM, assim como o que aconteceria com a visualização de múltiplos pacotes de trabalho associados aos mesmos elementos no modelo BIM (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011; SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). A consideração de integrar o controle de qualidade em forma simultânea ao controle produtivo, dentro do modelo de processo, resulta igualmente em uma oportunidade de melhoria pouco explorada. Outra questão abordada muito superficialmente por esses trabalhos consiste na aceitação dos sistemas de TIC por parte das equipes encarregadas da gestão das obras.

Salienta-se que alguns trabalhos precedentes desenvolvidos dentro do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) abordaram o controle integrado de produção e qualidade com ênfase na medição de perdas por *making-do* e retrabalho (FIREMAN, 2012), o desenvolvimento de um modelo para a integração dos controles de produção e qualidade utilizando dispositivos móveis (LEÃO, 2014) e o desenvolvimento de um aplicativo de computação móvel para o controle integrado de produção e qualidade (ROCHA, 2015).

No entanto, as dificuldades técnicas relativas a complexidades de codificação, estabilidade e robustez do sistema desenvolvido por Rocha (2015), dificultaram a sua continuidade. Dessa forma, outra alternativa disponível para a implementação do modelo de controle integrado desenvolvido por Leão (2014) consiste na utilização de *software* disponível comercialmente (CHEN; KAMARA, 2008).

Diante desse contexto, pretende-se, no presente trabalho, executar o refinamento necessário no modelo de controle integrado de produção e qualidade, desenvolvido em pesquisas precedentes (FIREMAN, 2012; LEÃO, 2014; ROCHA, 2015), de forma a poder utilizá-lo em dispositivos

móveis para a coleta de dados no canteiro e posteriormente vincular essas informações ao modelo de produto, ou seja, ao modelo BIM do empreendimento.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Considerando como referências o contexto, assim como os problemas reais e de pesquisa previamente apresentados, foram definidas as seguintes questões principais de pesquisa:

- a) Como a tecnologia de informação (TI) por meio da computação móvel e o BIM podem ser utilizados para apoiar o controle integrado da produção e qualidade no canteiro?;
- b) Como integrar o modelo de processo de produção, que é requerido pelos sistemas de planejamento e controle da produção e de gestão da qualidade, ao modelo de produto, representado pelo modelo BIM do empreendimento?;

Como desdobramento das questões principais, foram estabelecidas as seguintes questões secundárias:

- c) Quais são os benefícios e dificuldades da utilização de dispositivos móveis e BIM, para o controle integrado de produção e qualidade no canteiro de obras?;
- d) Que nível de desenvolvimento (LOD) deveria ter o modelo BIM para poder facilitar a gestão posterior das informações geradas no canteiro, relativas aos controles de produção e qualidade?

1.5 PROPOSIÇÕES

As proposições estabelecidas para este trabalho são:

- a) A integração do modelo de processo, relativo às tarefas de controle na fase de construção, ao modelo de produto, representado pelo modelo BIM, pode facilitar o acompanhamento do avanço produtivo a visualização da qualidade das tarefas sendo executadas e o monitoramento de perdas;
- b) Os modelos BIM podem ser utilizados para aumentar a transparência do processo de planejamento, como uma ferramenta de apoio para as negociações, análise de serviços interdependentes e atribuições de tarefas correspondentes ao

planejamento produtivo, assim como para a exigência documentada de melhoria de qualidade na execução dos pacotes de trabalho.

1.6 OBJETIVOS

O objetivo principal do trabalho é “*Desenvolver um **modelo** para a integração entre **processos gerenciais**, representados pelos sistemas de planejamento e controle da produção e de gestão da qualidade, e o **modelo de produto**, representado pelo modelo BIM do empreendimento, buscando facilitar o acompanhamento do avanço produtivo, assim como a visualização da qualidade das tarefas sendo executadas e de perdas na fase de construção*”.

O mesmo se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

- a) Refinar³ o modelo de controle integrado de produção e qualidade proposto por (LEÃO, 2014), de forma a incorporá-lo em dispositivos de computação móvel de uso comercial;
- b) Desenvolver um método para cadastramento e coleta de dados no canteiro de obras adaptado à interface dos aplicativos escolhidos para o estudo, de forma a dar suporte ao modelo integrado a ser desenvolvido;
- c) Implementar o modelo proposto a fim de avaliar sua aplicabilidade e utilidade, assim como suas vantagens em relação aos sistemas automatizados de controle de produção e qualidade utilizados atualmente.

1.7 DELIMITAÇÃO

A pesquisa foi executada em obras de empresas que utilizam o sistema *Last Planner*[®] para o planejamento produtivo e que possuem uma certificação de sistemas da qualidade pela norma ISO 9001 (ABNT/CB-025). As análises do avanço produtivo se limitaram aos horizontes de longo e curto prazo, realizando comparativas entre os planejamentos originais (*as-planned*) e as tarefas finalmente executadas (*as-built*). O médio prazo foi abordado superficialmente, devido à necessidade de delimitar o tamanho da pesquisa e também, devido às limitações de

³A palavra refinar é utilizada nesse contexto para representar ações de natureza incremental, feitas com o objetivo de aprimorar o modelo existente, facilitando e simplificando o seu uso e compreensão.

tempo para a sua execução. Os critérios utilizados para as verificações de qualidade coincidem com os propostos pela pesquisa de Rocha (2015), que antecedeu a este trabalho. Além disso, foi feita a comparação e complementação dos mesmos, mediante a consideração dos critérios próprios das empresas participantes da pesquisa.

As coletas de dados no canteiro foram executadas por meio do aplicativo comercial BIM 360™ Field da Autodesk®. O mesmo é compatível com *tablets* que possuem o sistema operativo IOS® e com os navegadores Chrome®, Mozilla Firefox® e Safari®, na sua interface *web*. A gestão e visualização das informações coletadas, dentro do modelo BIM do empreendimento, foi feita mediante o *software* Navisworks Manage®.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo introdutório, o trabalho apresenta a seguinte estrutura:

Os capítulos 2 e 3 consistem na revisão da literatura. O primeiro deles, aborda conceitos relativos ao controle integrado de produção e qualidade, assim como às perdas, enquanto o último trata sobre a utilização de tecnologia de informação na construção civil, focando-se principalmente na vinculação entre modelos de processo e produto.

O capítulo 4 está voltado à descrição do método de pesquisa, apresentando a estratégia de pesquisa, o delineamento, a descrição do estudo exploratório e dos estudos empíricos, assim como as fontes de evidência do trabalho.

No capítulo 5 são apresentados os resultados da pesquisa, assim como a avaliação da solução mediante a análise da aplicabilidade e utilidade do artefato proposto. Finalmente, o capítulo 6 faz o encerramento do trabalho mediante uma avaliação do atingimento dos objetivos, questões e proposições da pesquisa, assim como o estabelecimento das oportunidades de continuidade para trabalhos futuros.

2 AS PERDAS E O CONTROLE INTEGRADO DE PRODUÇÃO E QUALIDADE

Neste capítulo inicialmente aborda-se o conceito de perdas na construção, dando uma ênfase nas perdas por *making-do*, retrabalho e trabalho em progresso. Após, discute-se o processo de planejamento e controle da produção, com ênfase no Sistema *Last Planner*[®] de Controle da Produção, e a gestão da qualidade em canteiros de obra, sendo, ao final, apontadas algumas diretrizes para integração de ambos os sistemas.

2.1 CONCEITO DE PERDAS

Para Shingo (1996), a produção é definida como uma rede funcional de processos e operações. Os processos, também denominados de fluxos de materiais ou produtos no tempo e no espaço, são as transformações sofridas pela matéria prima em produto semiacabado e, ao final, em produto acabado (SHINGO, 1996). As operações, por outro lado, são as ações executadas para realizar a transformação da matéria-prima, ou seja, o trabalho realizado pelo trabalhador e pelas máquinas (interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço) (SHINGO, 1996). Assim, a análise dos processos examina o fluxo de material ou produto, e a análise das operações analisa o trabalho realizado pelo trabalhador e máquinas, sobre os produtos (SHINGO, 1996). Tendo como base esses conceitos, Shingo (1996) salienta que para realizar melhorias significativas no processo de produção, os fluxos de processos e operações devem ser analisados separadamente, tentando melhorar em primer lugar os processos, e a seguir as operações. O mesmo autor aponta que para isso acontecer devem ser eliminadas as perdas identificadas em cada um deles.

Segundo Ohno (1997), no Sistema Toyota de Produção (STP) a melhoria da eficiência surge a partir da eliminação das perdas, ou seja, de atividades que não agregam valor, na procura de elevar a porcentagem de trabalho efetivo ao 100%. Koskela (1992) adiciona que as perdas na manufatura estão relacionadas principalmente às atividades que não agregam valor aos clientes, tais como a movimentação, transporte, estoques, espera e inspeções. O mesmo autor ressalta que os métodos tradicionais de planejamento utilizados na construção, tais como as redes de CPM, ignoram esse tipo de atividades. Julgando os bons resultados obtidos na manufatura, a construção poderia atingir dramáticas melhorias por meio da identificação e eliminação de atividades que não agregam valor (KOSKELA, 1992). Em outras palavras, a construção deveria

ser vista como fluxos, considerando não só as atividades de conversão, mas igualmente as atividades geradoras de perdas (KOSKELA, 1992).

Gilbreth (1911) e Shingo (1996) afirmam que os processos podem ser divididos em quatro elementos: processamento, inspeção, transporte e espera. Desses elementos, somente o processamento agrega valor, transformando matéria prima em produtos e fazendo um uso efetivo da divisão do trabalho (SHINGO, 1996). Enquanto às operações, só aquelas que constituem o processamento, transformando matéria prima, agregam valor ao produto (SHINGO, 1996). O restante das atividades, tais como atividades de apoio à produção, preparação e pós-ajustes de máquinas (*set-up*), manutenções, inspeções, troca de ferramentas, retrabalhos, reparos e folgas ligadas aos trabalhadores não agregam valor e são consideradas perdas relacionadas principalmente aos custos de produção (SHINGO, 1996).

Dessa forma, Shingo (1996) e Ohno (1997) classificam as perdas de acordo a sua natureza em sete categorias principais:

- a) Perdas por superprodução: relacionadas à produção excessiva, quando se produz mais que a demanda, ou à produção antecipada, quando se produz antes do momento necessário (SHINGO, 1996). Isso pode causar perdas de materiais, horas-homem, ou de uso de equipamentos e produzir estoques de produtos inacabados (FORMOSO; ISATTO; HIROTA, 1999). Um exemplo dessa categoria, voltado à construção, o constitui a superprodução de argamassa, a qual não pôde ser usada no tempo devido (FORMOSO; ISATTO; HIROTA, 1999);
- b) Perdas por espera: relacionadas à falta de balanceamento entre o fluxo de materiais, as taxas de execução das operações e o tempo de *set-up* das máquinas, resultando na paralisação dos postos de trabalho (SHINGO, 1996). Um exemplo é o tempo ocioso para as equipes de trabalho, ocasionado pela falta de materiais ou frentes de trabalho no canteiro (FORMOSO; ISATTO; HIROTA, 1999);
- c) Perdas por transporte: são custos decorrentes da movimentação (excessiva) dos materiais, não agregando valor ao produto, podendo ser eliminados com o aprimoramento do layout dos processos (SHINGO, 1996). Para Formoso; Isatto e Hirota (1999) esse problema, no contexto da construção civil, é principalmente causado pela falta de planejamento do fluxo de materiais no canteiro, tendo como consequências as perdas de horas-homem, de energia, de espaço no canteiro e de materiais durante o transporte;

- d) Perdas por processamento: causadas por diversas atividades que são realizadas ao longo do processo e não agregam valor ao produto final (OHNO, 1997). Formoso; Isatto e Hirota (1999) relacionam essa perda à natureza dos processos de conversão, salientando que as mesmas só podem ser evitadas por meio de uma mudança na tecnologia construtiva. Por exemplo, uma porcentagem de argamassa é normalmente perdida ao realizar o reboco em tetos;
- e) Perdas por estoque: são associadas à formação de estoques de matéria-prima, trabalho em progresso e produto acabado, que acarretam em deterioração dos materiais, perdas por estocagem inadequadas, roubos, vandalismo, e as perdas monetárias associadas às anteriores (SHINGO, 1996). Essa perda pode ser o resultado da falta de planejamento dos recursos e da incerteza na estimação das quantidades (FORMOSO; ISATTO; HIROTA, 1999);
- f) Perdas por movimentação: relacionadas à movimentação desnecessária dos operários na realização de suas tarefas (SHINGO, 1996). As mesmas podem ser causadas por equipamentos inadequados, métodos de trabalhos ineficazes, má organização do local de trabalho (FORMOSO; ISATTO; HIROTA, 1999);
- g) Perdas por fabricação de produtos defeituosos: devido à fabricação de produtos que não atendem as especificações de qualidade projetadas (SHINGO, 1996). Formoso; Isatto e Hirota (1999) consideram que isso pode ocasionar retrabalhos ou a incorporação de materiais desnecessários para a edificação (perdas indiretas), por exemplo, espessuras excessivas de rebocos. As causas desse tipo de perdas podem variar desde as especificações e projeto (*design*) deficiente, a falta de planejamento e controle, a baixa qualificação da equipe de trabalho, falta de integração entre o projeto (*design*) e a fase produtiva, e assim por diante (FORMOSO; ISATTO; HIROTA, 1999).

Formoso; Isatto e Hirota (1999) acrescentaram, além das 7 perdas acima mencionadas, duas categorias adicionais:

- h) Perdas por substituição: consistem em perdas monetárias causadas, por exemplo, pela substituição de um material originalmente planejado por outro mais caro (e com um desempenho desnecessariamente melhor), a execução de tarefas simples por parte de um trabalhador sobrequalificado, ou o uso de equipamentos altamente sofisticados quando outro mais simples seria suficiente.

- i) Outros: são perdas de natureza diferente às anteriores e relacionadas às características particulares do ambiente construtivo no Brasil, por exemplo, roubos, vandalismo, inclemência climática, acidentes.

Viana; Formoso e Kalsaas (2012), com base em uma revisão sistemática de literatura, propuseram três categorias principais de perdas na construção:

- a) Atividades que não agregam valor à produção (visão da construção enxuta);
- b) Perdas de materiais ou perdas diretas;
- c) Perdas específicas (produtos defeituosos ou com falta de qualidade, retrabalho, *making-do*).

No primeiro grupo, Formoso; Isatto e Hirota (1999) definiram as perdas, no contexto da construção, relacionando-as com qualquer tipo de prejuízo produzido por atividades que geram custos diretos ou indiretos, sem adicionar valor ao produto desde o ponto de vista do cliente. Koskela (1992) ressalta essa visão, considerando como perdas as atividades que não geram valor no fluxo tanto de material quanto de trabalho, por exemplo, esperas, movimentação, inspeção, duplicação de atividades e acidentes. Aliás, o mesmo autor considera igualmente perdas ao retrabalho ocasionado por falhas no projeto (*design*) ou erros na etapa construtiva.

No entanto, as perdas de materiais ou diretas compreendem aqueles materiais danificados e que não podem ser reparados e conseqüentemente utilizados, ou que foram perdidos durante o processo construtivo (SKOYLES, 1976). Essas perdas ainda podem ser indiretas, sempre e quando elas sejam só monetárias e não se manifestem pela perda física dos materiais (SKOYLES, 1976).

As perdas específicas de falta de qualidade, retrabalho e *making-do*, são detalhadas em maior profundidade nos itens a seguir, devido à sua importância no desenvolvimento desta pesquisa.

2.2 PERDAS POR *MAKING-DO*

De acordo com Ronen (1992), o *kit* completo consiste em um conjunto de componentes, documentações e informações, necessárias para completar uma montagem ou processo. Assim, o mesmo autor sugere que nenhuma tarefa deveria iniciar sem ter disponíveis todos os itens necessários para completá-la.

Koskela (2004) amplia essa definição considerando que não é suficiente que os itens para iniciar uma tarefa estejam disponíveis, pois estes devem também se encontrar em condições ótimas, assim como atender os padrões prescritos no projeto (*design*). O mesmo autor utiliza a expressão *making-do* para a situação na qual uma tarefa é iniciada sem todos os seus requisitos necessários (*inputs*), ou quando uma tarefa em andamento continua sendo executada apesar de ter pelo menos um dos seus requisitos necessários para a sua execução interrompidos. Esses requisitos incluem materiais, equipamentos, ferramentas, mão de obra, condições externas e instruções (KOSKELA, 2004).

Koskela (2004) aponta que o *making-do* pode ser considerado como o oposto ao *buffering*, que consiste na criação de estoques de materiais, os quais se encontram na espera de serem processados. No caso do *making-do*, o tempo de espera de certo tipo de material ou requisito é negativo, devido que a produção tem iniciado antes da recepção desse material específico (KOSKELA, 2004). No entanto, ambos os tipos de perda são comumente utilizados para acomodar os impactos da variabilidade na produção (KOSKELA, 2004).

Alguns dos motivos mencionados por Ronen (1992) para a não utilização do conceito do *kit* completo, e, por conseguinte, para a aparição de *making-do*, são:

- a) A síndrome da eficiência: está relacionada à necessidade de obter o maior aproveitamento possível para todos os recursos disponíveis.
- b) A pressão por ter uma resposta imediata: associa-se a crença que começando a execução das tarefas mais cedo, ainda sem o *kit* completo, elas concluirão mais cedo (diminuição do *lead time*). Essas pressões provêm normalmente do cliente.
- c) Intenção de demonstrar boa vontade de parte dos trabalhadores e encarregados: aparece devido às pressões da alta gerência pela obtenção de resultados; e
- d) Divisão inadequada dos níveis de montagem: a diminuição da quantidade de montagens gera o aumento da quantidade de componentes para completar cada *kit* (aumento do tamanho do lote), o qual impossibilita reuni-los antes das datas limite;

O mesmo autor destaca entre as consequências fundamentais dos *kits* incompletos: (a) o aumento do trabalho em progresso; (b) maiores tempos de ciclo (*lead time*) e aumento da sua variabilidade; (c) baixa qualidade e aumento do retrabalho; (d) diminuição do desempenho produtivo; (e) maiores custos operacionais; (f) diminuição da motivação dos trabalhadores; (g)

incremento da complexidade dos controles; e (h) menores esforços para garantir a disposição de todos os recursos para o início das tarefas.

Por outro lado, alguns autores têm associado o conceito da perda por *making-do* à improvisação (FIREMAN, 2012; LEÃO, 2014; SOMMER, 2010). O conceito de improvisação é relacionado a uma série de diferentes disciplinas, tais como artes, música, psicologia, administração, ensino, esportes, entre outras (SOMMER, 2010). Conforme Weick (1998) a palavra improvisação significa lidar com a imprevisão, executar algo sem estipulações prévias ou trabalhar com o inesperado. Formoso *et al.* (2011) apontam que a improvisação é uma prática humana ubíqua, presente incluso em organizações altamente estruturadas e desempenhando um papel importante quando as regras e métodos falham.

Por outro lado, a *bricolage* pode ser definida como a invenção ou adaptação de recursos, a partir dos materiais disponíveis, com o intuito de resolver problemas não antecipados (CUNHA, 2005). O mesmo autor acrescenta que a *bricolage* parte do que se tem disponível para gerar uma solução quando não há mais tempo e, por isso, é um caso particular de improvisação. Dessa forma, existe uma relação entre *making-do*, *bricolage* e improvisação, considerando que em situações de dificuldade ou incerteza, as pessoas normalmente utilizam os recursos que têm à mão para atingir as suas metas ou redefinem os seus objetivos em função dos recursos disponíveis (CUNHA, 2005; FORMOSO *et al.*, 2011).

Sommer (2010) desenvolveu um método de identificação de perdas por improvisação representado na Figura 1. Salienta-se que esse método sofreu algumas melhorias incrementais no trabalho do Fireman (2012), relativas às categorias de *making-do* e aos possíveis impactos, que foram igualmente consideradas nesta pesquisa.

Assim, o método desenvolvido por Sommer (2010) consta de três etapas bem definidas:

- a) Determinação da categoria do *making-do* (identificação do tipo de perda por improvisação);
- b) Definição da natureza do *making-do* (causas raiz para a aparição das improvisações);
- c) Avaliação dos possíveis impactos do *making-do*.

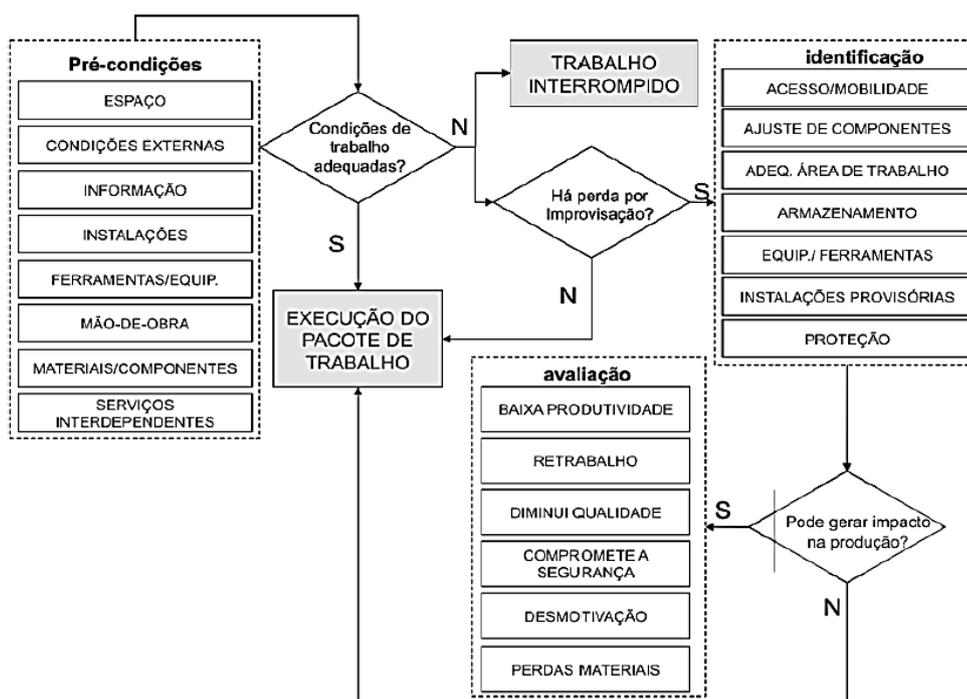


Figura 1: Método de identificação de perdas por improvisação (SOMMER, 2010)

A identificação das improvisações (categorias do *making-do*) foi baseada nas observações realizadas por Sommer (2010) em canteiros de obras, sendo propostas as seguintes sete categorias de perdas por improvisação:

- a) Acesso/mobilidade: relativo ao espaço, meio ou forma de posicionamento dos trabalhadores durante a execução das tarefas;
- b) Ajuste de componentes: artifícios para uso de componentes não adequados à realização das tarefas;
- c) Área de trabalho: refere-se à bancada de trabalho ou área de apoio durante as atividades realizadas;
- d) Armazenamento: organização de materiais ou componentes em locais não preparados para o seu recebimento;
- e) Equipamentos/ferramentas: criados ou adaptados para uso durante as atividades;
- f) Instalações provisórias: criados ou adaptados para uso de água e eletricidade durante as atividades; e
- g) Proteção: forma de uso dos sistemas de proteção.

Fireman (2012) refinou o método proposto por Sommer (2010), propondo a inclusão de uma nova categoria de perda por *making-do*, denominada de sequenciamento, a qual foi relacionada

à alteração na ordem de produção de determinado processo, ou ao rearranjo da sequência de ataque. Assim, com a criação dessa nova categoria, as evidências da relação entre pacotes informais e perdas por *making-do* aumentaram, pois tais perdas podem ser a causa raiz da existência de alguns pacotes informais (FIREMAN, 2012).

Por outro lado, em relação à natureza do *making-do*, Sommer (2010) propôs às seguintes causas raiz:

- a) Informação: projetos, planos, estudos e procedimentos que fornecem toda informação necessária para a execução dos pacotes de trabalho não estão disponíveis, não são claros, estão incompletos ou são desconhecidos;
- b) Materiais e componentes: não são previstos, disponíveis ou adequados à atividade com qualidade, quantidade e dentro das especificações de projeto e normas;
- c) Mão de obra: não está disponível em número que atenda os planos, pouco qualificada ou não foi treinada;
- d) Equipamentos ou ferramentas: indisponíveis, não funcionam ou não são adequados às tarefas;
- e) Espaço: não há acesso à área de trabalho, circulação ou armazenamento de materiais;
- f) Serviços interdependentes: atividades com alta interdependência que comprometem a execução das tarefas subsequentes;
- g) Condições externas: vento, chuva ou temperaturas extremas;
- h) Instalações: instalações provisórias não atendem as necessidades para execução dos pacotes de trabalho, incluindo: instalações elétricas e hidráulicas provisórias.

Em relação à avaliação dos impactos gerados pelas improvisações, Sommer (2010) considerou as possíveis consequências das perdas por *making-do* apresentadas por Koskela (2004): (a) diminuição da produtividade; (b) retrabalho; (c) redução da qualidade; (d) redução da segurança; (e) desmotivação; e (f) perda de material. Fireman (2012) acrescentou essa classificação, identificando uma nova consequência, denominada falta de terminalidade. Por outro lado, além dos impactos negativos, existem improvisações que podem fornecer uma inovação ao sistema produtivo, devendo ser divulgadas para as equipes de trabalho (FIREMAN, 2012).

Finalmente, Sommer (2010) identificou que, em grande medida, as ocorrências por *making-do* foram motivadas pela falta de planejamento ou antecipação, originando-se assim ações caracterizadas por atitudes espontâneas da mão de obra a partir de suas habilidades ou memória baseada no conhecimento factual. Assim, a referida autora sugeriu algumas estratégias que poderiam evitar a ocorrência das perdas por improvisação, como: (a) o uso de protótipos; (b) o planejamento integrado para processos críticos; (c) a execução de *first run studies*⁴; (d) o uso de ferramentas visuais; e (e) a listagem das restrições, para facilitar a identificação e remoção das mesmas nas reuniões de planejamento.

2.3 TRABALHO EM PROGRESSO, RETRABALHO E FALTA DE TERMINALIDADE

O trabalho em progresso (WIP) é considerado como uma perda especificamente associada ao conceito de espera entre processos (BULHÕES, 2009; SAFFARO, 2007; SCHRAMM, 2009) ou frentes de serviço abertas (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Porém, outras abordagens o associam com arremates (AKKARI, 2003) e com falta de terminalidade (ALVES, 2000). Fireman (2012) salienta que, de fato, tais abordagens podem ser consideradas similares, visto que o trabalho em progresso está relacionado diretamente ao tempo de espera para um espaço ser concluído, sejam os espaços que estão sendo processados, aqueles que estão esperando para iniciar o próximo processo, ou mesmo aqueles que estão esperando para serem concluídos por completo.

Dessa forma, existem estratégias que buscam a diminuição do WIP, as quais estão na maioria das vezes focadas na redução da quantidade de espaços sendo trabalhados simultaneamente (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Nesse ponto, os espaços (quarto ou apartamento) podem ser considerados como os produtos, enquanto o empreendimento como um todo é o produto global (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Em particular, a estratégia de redução do WIP, requer que as equipes de trabalho outorguem maior prioridade à conclusão de tarefas em espaços previamente iniciados, e menor prioridade ao início do trabalho

⁴Os *first run studies* consistem em planejamentos extensivos das operações futuras, feitas por equipes interdependentes. Esse planejamento é precedido de um estudo metódico, replanejamento das operações e testes até que um procedimento padronizado é atingido ou são melhoradas as condições e desempenho da execução prévia (BALLARD, 2000).

em espaços novos (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Assim, essa estratégia se caracteriza por não conceder flexibilidade às subempreiteiras de mudar os seus trabalhadores, para outros espaços, quando o trabalho deve ser interrompido no local originalmente atribuído (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

Fireman (2012) afirma que o aumento do WIP também pode ser resultado de problemas no controle da qualidade, devido à falta de conclusão das tarefas com a qualidade mínima requerida para a sua aprovação, deslocando-se as equipes para outras frentes de trabalho e deixando o local em espera para ser corrigido. O mesmo autor aponta que essas correções são normalmente executadas após um tempo considerável e em forma de retrabalhos. Assim, o retrabalho é relacionado aos processos de correção para que um item entre em conformidade com os requisitos originais ou aos esforços desnecessários para refazer os processos ou atividades que foram executadas incorretamente na primeira vez (FIREMAN, 2012). O mesmo autor afirma que, em geral, a literatura associa o conceito de retrabalho com desvios de qualidade, não conformidades e defeitos.

Por sua vez, a terminalidade das tarefas está relacionada à conclusão destas e à sua execução correta na primeira vez, sendo de grande importância para a continuidade dos processos e operações (ALVES, 2000). A mesma também está vinculada ao estabelecimento de uma sequência de execução das tarefas que evite a circulação de pessoas e materiais por áreas já concluídas, pois essa movimentação pode causar danos às tarefas executadas (ALVES, 2000), precisando assim de retrabalhos posteriores.

Dessa forma, Alves (2000) e Sukster (2005) consideram que a falta de terminalidade ocorre quando um pacote de trabalho é considerado erroneamente como concluído, adiando as pequenas tarefas de acabamento, e sendo necessário o retorno posterior de alguma equipe para concluir o trabalho. A falta de terminalidade das tarefas ainda implica um aumento da quantidade de WIP, pois os processos demoram mais tempo para serem concluídos (ALVES, 2000), além de as equipes passarem a abrir novas frentes de trabalhos, ao invés de priorizarem a conclusão das tarefas já iniciadas (LEÃO, 2014).

Por fim, salienta-se que neste trabalho é dada especial atenção à identificação de atividades informais de falta de terminalidade e retrabalho, as quais, de acordo às definições acima estabelecidas, podem ser consideradas como casos particulares do trabalho em progresso.

2.4 SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

O planejamento consiste em um processo de tomada de decisão desenvolvido com antecipação à ação para qual se procura projetar um futuro desejado, assim como métodos efetivos de alcançá-las (ACKOFF, 1970). Nesse sentido, Formoso *et al.* (1999) definem planejamento como um processo gerencial de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo quando seguido de um controle.

Mais especificamente, o planejamento responde as seguintes questões (LAUFER; TUCKER, 1987):

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

As funções principais do planejamento identificadas por Laufer e Tucker (1987), são: (a) dar suporte ao gerente a atingir as suas funções primárias de direção e controle; (b) coordenar e comunicar às partes envolvidas na realização do empreendimento de construção; e (c) facilitar o controle do empreendimento. Enquanto o planejamento estabelece as metas e o percurso para atingi-las, o controle é o processo que garante que o percurso das ações seja mantido e as metas sejam alcançadas (LAUFER; TUCKER, 1987).

O controle envolve a medição e avaliação de desempenho e a realização de ações corretivas quando o desempenho atingido diverge dos planos. Para ser efetivo, o sistema de controle deve ser modelado seguindo o sistema de planejamento (LAUFER; TUCKER, 1987). Em realidade o planejamento e o controle estão inseparavelmente interligados, formando um ciclo contínuo de planejamento e controle (DERMER, 1977; HARRISON, 1981).

Ballard e Howell (1998) e Formoso *et al.* (1999) salientam que para que o controle tenha um papel pró-ativo, auxiliando na identificação e na correção das causas dos problemas, o mesmo deve ser realizado em tempo real, agindo diretamente na realização dos processos de produção, não se limitando só ao monitoramento do planejamento feito no início da obra e expandindo-se para além do papel de inspeção ou verificação.

Na maioria das empresas de construção o planejamento formal está focado primariamente no planejamento temporal, e em menor medida à alocação de recursos e as suas implicações de

fluxo de caixa (LAUFER; TUCKER, 1987). O tema chave de como executar as tarefas, ou seja, referente ao método, não recebe a atenção necessária (LAUFER; TUCKER, 1987). Ballard e Howell (1998) acrescentam que o modelo de monitoramento do cumprimento das especificações na construção (orçamentos, cronogramas e outros documentos contratuais) não se trata de um modelo de controle da produção propriamente dito. Assim, enquanto o modelo de controle utilizado na manufatura se foca na antecipação, atuando diretamente no processo produtivo, o controle na construção rastreia resultados de forma a identificar que parte interveniente no processo se encontra falhando, atuando normalmente de forma reativa (BALLARD; HOWELL, 1998). Em outras palavras, a forma como as empresas, subempreiteiras ou departamentos conseguem alcançar as suas metas é problema deles e irrelevante enquanto os requerimentos contratuais forem satisfeitos (BALLARD; HOWELL, 1998).

Ballard (2000) afirma que a falta de um controle pró-ativo no nível da unidade de produção aumenta a incerteza na construção e impede que os trabalhadores utilizem o planejamento como uma ferramenta para moldar o futuro. O mesmo autor destaca que é necessário realizar uma mudança do controle focado nos trabalhadores, para os fluxos de trabalho que os vinculam.

2.4.1 Sistema Last Planner® (LPS)

O sistema de controle produtivo *Last Planner*® (LPS) consiste em uma filosofia, regras, procedimentos e conjunto de ferramentas que facilitam a implementação de controles pró-ativos no canteiro (BALLARD, 2000). Hamzeh, Ballard e Tommelein (2012) acrescentam que o LPS é um sistema de planejamento e controle da produção que enfatiza a necessidade de reduzir a variabilidade e incerteza nos fluxos de trabalho na construção, ou proteger a produção dos seus efeitos nocivos, quando necessário.

O LPS conta com dois componentes: (a) o controle da unidade produtiva; e (b) o controle do fluxo de trabalho (BALLARD, 2000). O primeiro se refere à tarefa de realizar melhores atribuições aos trabalhadores diretos, por intermédio da aprendizagem contínua e ações corretivas (BALLARD, 2000). Por outro lado, a função de controle do fluxo de trabalho consiste em tentar que o mesmo aconteça na melhor sequência e taxa possível, através das unidades de produção (BALLARD, 2000).

A estrutura hierárquica do LPS é pautada em quatro níveis: (a) Planejamento de Longo Prazo; (b) Planejamento de Fases; (c) Planejamento de Médio Prazo; e (d) Planejamento de Curto Prazo (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012).

O planejamento de longo prazo ou planejamento mestre é feito nas fases iniciais do empreendimento e está orientado a descrever o trabalho a ser realizado ao longo de toda a duração do empreendimento (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Identifica as datas principais (*major milestones*), sendo fortemente vinculado a instrumentos contratuais (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). Ao mesmo tempo, esse plano apresenta um baixo grau de detalhamento, devido às incertezas relacionadas às durações e às entregas (BALLARD; HOWELL, 1997).

No planejamento de fases é gerado um plano para cada fase do empreendimento, tais como fundações, estruturas, acabamentos, e assim por diante (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Além de definir as fases do empreendimento com as suas metas (*milestones*), esse planejamento quebra essas fases nas suas atividades constituintes e programa essas atividades a partir da respectiva meta para trás, mediante a incorporação das entradas (*inputs*) das partes intervenientes e a identificação das necessidades de troca de informações entre os diversos especialistas do projeto (*pull planning*) (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012).

Por sua vez, o planejamento de médio prazo, ou *look-ahead*, é o primeiro passo para o controle produtivo (execução dos planos) (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Segundo os mesmos autores, o horizonte de planejamento contemplado pelo *look-ahead* é variável, dependendo do tipo de trabalho e do contexto no qual ele está inserido. Considera-se que períodos de entre 4 a 6 semanas são comuns para empreendimentos de construção normais (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Nessa fase, são realizadas atividades de triagem (*screening*) do plano de longo prazo, para determinar as atividades que devem ser primeiramente incluídas no médio prazo e permitidas de avançar dentro desse horizonte, assim como o (*pulling*), que consiste em puxar as informações e recursos necessários para levantar as restrições das atividades previamente escolhidas (TOMMELEIN; BALLARD, 1997).

Hopp e Spearman (2004) apontam que um sistema de produção puxada é aquele que limita explicitamente a quantidade de trabalho em progresso que pode existir no sistema. Em consequência, um sistema de produção empurrada não estabelece um limite para a quantidade

de trabalho em progresso (HOPP; SPEARMAN, 2004). Os mesmos autores salientam que no mundo real, não existem sistemas puramente puxados ou empurrados. Nesse sentido, Tommelein e Ballard (1997) acrescentam que uma das diferenças principais do LPS com os sistemas tradicionais de controle utilizados na construção encontra-se na utilização do mecanismo para puxar a produção (*pull driven approach*). Assim, a abordagem tradicional de tipo empurrado (*push driven approach*) assume passivamente que todos os recursos necessários para executar as atividades que estão prontas para ser iniciadas, estarão disponíveis efetivamente antes do seu início (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). No entanto, a abordagem do tipo puxado atua de forma pró-ativa buscando evitar a falta de recursos para que atividades novas iniciem e dá prioridade à conclusão do trabalho em progresso (WIP) (TOMMELEIN; BALLARD, 1997), tentando evitar a propagação da incerteza nos processos interdependentes, conforme ilustra a Figura 2.

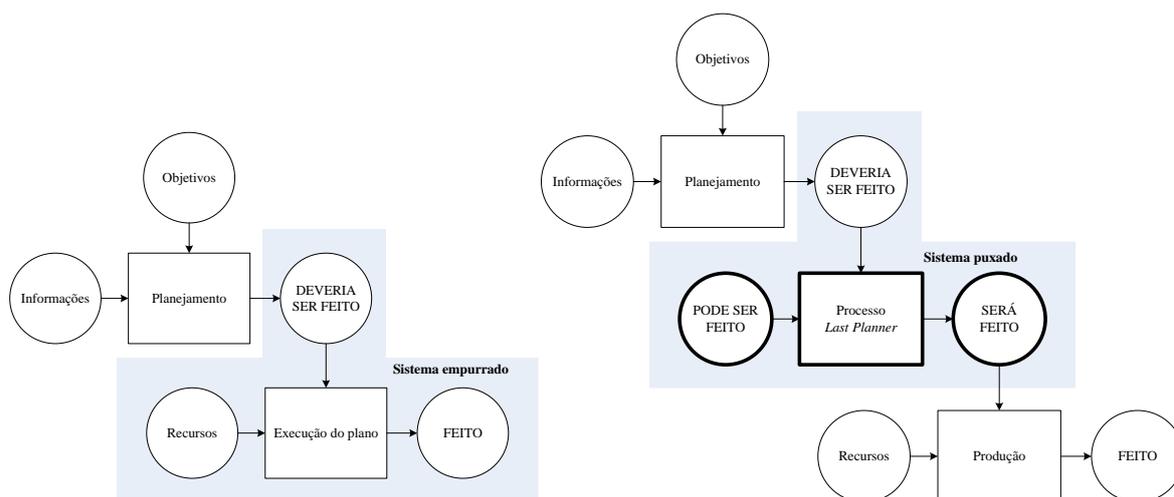


Figura 2: Abordagem tradicional do PCP de tipo empurrado vs. abordagem de tipo puxado (BALLARD, 2000)

Cria-se, dessa forma, um estoque de atividades prioritárias e viáveis de serem executadas sem interrupções no curto prazo e outras atividades igualmente viáveis, mas não prioritárias chamadas de atividades reserva (BALLARD; HOWELL, 1998; BALLARD, 2000). A soma desses dois tipos de atividades constitui o estoque de trabalho viável (*workable backlog*). Enfim, a incorporação das entradas ao sistema, a triagem, o mecanismo de puxar recursos e o estoque de trabalho viável⁵, em conjunto, constituem o mecanismo de proteção à produção no

⁵ Melhores traduções encontradas para *pull planning*, *screening*, *pulling* e *workable backlog*, respectivamente.

curto prazo (*shielding production*) (BALLARD; HOWELL, 1998). Dessa forma, tenta-se garantir que as atividades planejadas no nível operacional não iniciem até que todos os itens necessários para a sua conclusão estejam disponíveis (*Kit completo*) (RONEN, 1992).

Resumindo, segundo Ballard (2000), o planejamento de médio prazo tem as seguintes funções: (a) modelar a melhor sequência do fluxo de trabalho; (b) relacionar fluxo de trabalho com a capacidade; (c) quebrar as atividades do plano mestre em pacotes de trabalho e operações; (d) desenvolver métodos detalhados para a execução do trabalho; (e) manter um conjunto de tarefas prontas para serem realizadas; e (f) atualizar e revisar os cronogramas quando necessário.

Finalmente, o planejamento de curto prazo, também conhecido como planejamento de comprometimento ou planejamento semanal de tarefas (*Weekly Work Planning*), representa o planejamento com maior nível de detalhe dentro do LPS, mostrando dentro dele a interdependência entre as tarefas das várias organizações especializadas colaborando no empreendimento, e conduzindo diretamente o processo produtivo (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). A confiabilidade dos planos nesse nível é promovida por meio da atribuição de tarefas com qualidade e a manutenção das promessas produtivas, de forma que as operações subsequentes na unidade produtiva sejam protegidas contra a incerteza (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Conforme os mesmos autores, a atribuição de tarefas consiste em um compromisso detalhado e mensurável para a conclusão das mesmas.

Desse modo, Ballard (1998) menciona que a efetividade dos planos de curto prazo depende do cumprimento de requisitos de qualidade específicos, tais como:

- a) Definição: os pacotes de trabalho devem estar suficientemente especificados considerando a definição do tipo e quantidade de recursos a serem utilizados, assim como para a coordenação do trabalho com outros serviços, permitindo identificar claramente aqueles que foram completados ao término da semana;
- b) Disponibilidade (*Soundness*): os recursos necessários (materiais, informações, pré-requisitos) devem estar disponíveis quando solicitados;
- c) Sequenciamento: os pacotes de trabalho devem ser selecionados observando o sequenciamento e interdependências dos serviços desenvolvidos pelas equipes de trabalho. Refere-se também ao estabelecimento dos pacotes reserva para garantir a continuidade produtiva em caso de falha do planejamento ou superprodução das equipes;

- d) Tamanho: deve-se ponderar o tamanho dos pacotes atribuídos, ou carga de trabalho para a semana, tendo em vista a capacidade produtiva de cada equipe de trabalho;
- e) Aprendizagem: os pacotes que não foram completados nas semanas anteriores e os motivos de não conclusão devem ser identificados, de forma a se definir as ações corretivas necessárias e evitar que essas situações se repitam.

No final de cada período de planejamento, é avaliada a conclusão ou não de cada pacote de trabalho, medindo-se dessa forma a confiabilidade do planejamento (BALLARD, 2000). Assim, a base para a melhoria e aprendizagem contínua se encontra na análise dos motivos das falhas dos planos e na execução de ações para evitar que elas se repitam (BALLARD, 2000). A Figura 3 apresenta de forma resumida os conceitos envolvidos no LPS.

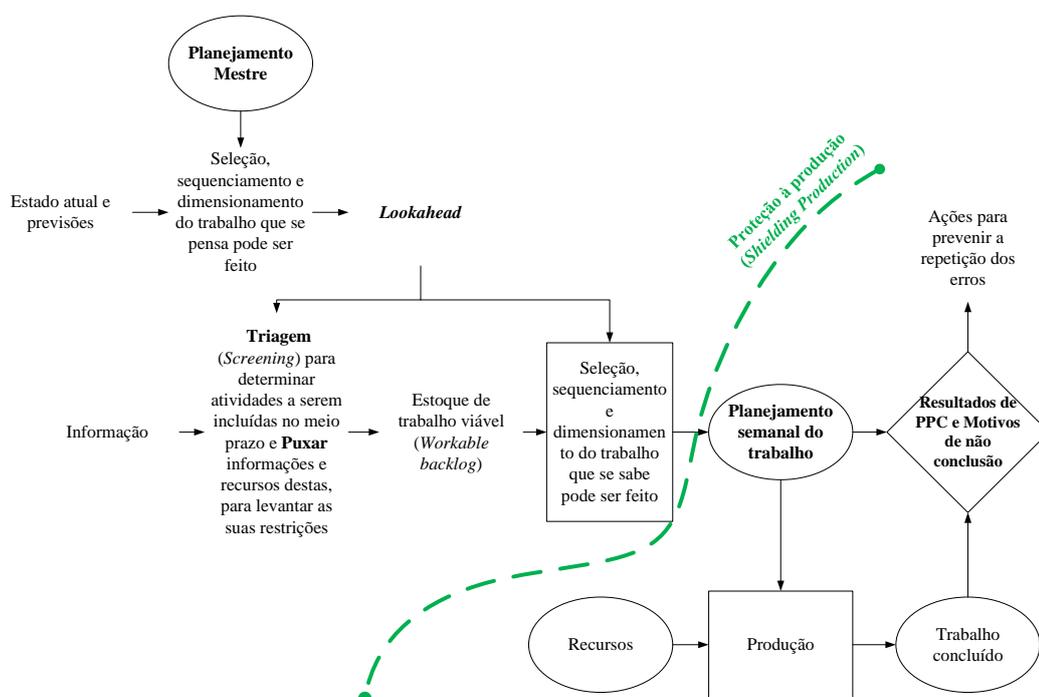


Figura 3: Visão geral do sistema *Last Planner*[®], baseado em: Tommelein e Ballard (1997), Ballard e Howell (1998), Ballard (2000) e Bernardes (2001)

2.4.2 Pacotes de Trabalho

Os pacotes de trabalho são unidades fundamentais de trabalho obtidas a partir da subdivisão do processo construtivo. Constituem-se por ações contínuas executadas por um operário ou grupo de operários trabalhando em conjunto e sem serem interrompidos pelos demais intervenientes

(FORBES,1977 *apud* FORMOSO, 1991)⁶. Choo *et al.* (1999) ainda definem ao pacote de trabalho como uma determinada quantidade de trabalho similar, ou um conjunto de tarefas, que é realizado frequentemente em uma área bem definida, utilizando informações específicas de projeto (*design*), material, mão-de-obra e equipamento, e com todos os pré-requisitos completos. O agrupamento de trabalhos similares permite que o fluxo ininterrupto de recursos seja alcançado mediante a movimentação das equipes de trabalho de uma área para a outra (CHOO *et al.*, 1999). Segundo os mesmos autores, dessa forma são evitadas interrupções desnecessárias e ainda é permitido o processo de aprendizagem, o qual incrementa a produtividade.

No LPS, o pacote de trabalho é considerado como um trabalho específico que uma determinada equipe se compromete a realizar (*assignment*) (BALLARD, 2000). No entanto, o mesmo autor menciona que, na visão tradicional do controle de empreendimentos de construção, os pacotes de trabalho correspondem à menor unidade de decomposição presente nas Estruturas Analíticas de Projetos (EAP). Dessa forma, os pacotes de trabalho muitas vezes coincidem com os pacotes de contratação ou itens de pagamento dentro de um único contrato, sendo esta abordagem claramente associada a atividades de conversão e ignorando os fluxos produtivos (BALLARD, 2000). Bernardes (2001) acrescenta que a utilização dos critérios de segmentação tradicionais utilizados nos processos de planejamento e orçamento para a definição dos pacotes de trabalho acaba dificultando a explicitação dos fluxos, bem como das atividades que não agregam valor ao produto. Uma alternativa para a explicitação dos fluxos durante o planejamento e controle das tarefas é oferecida pelo *Location Based Management* (LBM) (KALA; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2012), cujos resultados são materializados por meio das Linhas de Balanço (LOB), (BERNARDES, 2001).

Marchesan (2001) sugere que o pacote de trabalho seja definido por uma ação, um elemento e um local. Destaca-se que este trabalho faz uso desta definição, sendo assim o pacote de trabalho considerado como um trabalho específico, com uma quantidade bem definida de serviço a ser realizado por uma determinada equipe (LEÃO, 2014). Resumindo, o mesmo é representado por uma ação (por exemplo, elevação ou marcação), em um determinado elemento (por exemplo, alvenaria estrutural) e um determinado local (por exemplo, setor norte, bloco A, 4º andar).

⁶ FORBES, W. S. **The rationalization of house building**. Garston, BRE. Current Paper No.48/77, 1977

Mais especificamente, o trabalho de Leão (2014) dividiu o conceito de pacote de trabalho em pacote genérico e específico. O pacote de trabalho genérico (PTGenerico) é um conceito concebido a partir da análise dos registros de planejamento de curto prazo de obras similares. Nas palavras de Leão (2014, p.105):

Verificou-se que, por se tratar de obras repetitivas, a maior parte dos pacotes de trabalho eram sempre os mesmos, apesar de serem nomeados de forma diferente. Assim, surgiu a possibilidade de padronizar a nomenclatura desses pacotes de trabalho repetitivos, chamando-os de pacotes de trabalho genéricos.

Por outro lado, os pacotes específicos (PTEspecifico) são constituídos pela associação de um pacote genérico a um lote de produção (LEÃO, 2014). Assim, ao relacionar um pacote genérico (por exemplo, concretagem da parede) a um lote específico (por exemplo, casas 101 e 102), tem-se um pacote de trabalho específico, composto por uma ação (concretagem), um elemento (parede) e um lote (casas 101 e 102) (LEÃO, 2014). Em síntese, pode-se afirmar que:

- $PTGenerico = Ação + Elemento$
- $PTEspecifico = PTGenerico + Lote$

2.5 SISTEMAS DE CONTROLE DE QUALIDADE

A qualidade tem o seu significado associado às funcionalidades dos produtos que atendem as necessidades dos usuários, resultando, assim, na sua satisfação (JURAN; GODFREY, 1988). Os mesmos autores adicionam que a definição de qualidade, nesse sentido, está orientada à lucratividade, pois o propósito de atingir uma maior qualidade nos produtos é, principalmente, promover maior satisfação ao cliente, e assim aumentar o lucro. No entanto, isso usualmente requer um maior investimento, que acarreta no aumento dos custos de produção (JURAN; GODFREY, 1988). Por outro lado, qualidade também significa ausência de defeitos, ou seja, de erros que requerem refazer o trabalho (retrabalho) ou que resultam em falhas na etapa de uso, insatisfação e reclamações do cliente (JURAN; GODFREY, 1988). Conforme os referidos autores, o significado de qualidade nesse contexto está orientado à redução dos custos de produção mediante a eliminação de defeitos e, assim, uma maior qualidade acarreta em menores custos. A Figura 4 resume os significados da qualidade apresentados previamente:

Produtos que atendem as necessidades do cliente	Ausência de deficiências
<p>Maior qualidade permite às empresas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a satisfação do cliente • Tornar os produtos vendáveis • Igualar/superar à concorrência • Aumentar a cota de mercado • Prover ingressos por vendas • Segurar preços premium. 	<p>Maior qualidade permite às empresas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduzir taxas de erro • Reduzir retrabalhos e perdas • Reduzir falhas na etapa de uso e custos de garantia • Reduzir a insatisfação do cliente • Reduzir inspeções e testes • Reduzir o tempo produtivo • Aumentar a produtividade e capacidade • Melhorar o desempenho de entrega
<p>O efeito maior se encontra nas vendas e usualmente maior qualidade implica em maiores custos</p>	<p>Os maiores efeitos se encontram nos custos e usualmente maior qualidade implica em menores custos</p>

Figura 4: Os significados da qualidade (JURAN; GODFREY, 1988)

Akinci *et al.* (2006) destacam que as abordagens utilizadas para o controle de qualidade na construção não são tão efetivas quanto deveriam para identificar defeitos nas etapas iniciais do processo construtivo e, como consequência, os mesmos podem ser detectados somente nas fases finais do processo de construção, inclusive na fase de manutenção.

A detecção tardia dos defeitos pode ocasionar a elevação considerável dos custos da construção, devido ao retrabalho necessário para arrumar componentes defeituosos (AKINCI *et al.*, 2006). Desses defeitos, a maioria das causas estão relacionadas com fatores humanos, tais como trabalhadores pouco qualificados e falta de supervisão das tarefas construtivas, assim como, porém em menor medida, materiais defeituosos e falhas nos sistemas (OPFER, 1999 *apud* AKINCI *et al.*, 2006)⁷. Dessa forma, estabelece-se a necessidade e importância de inspecionar os trabalhos na fase construtiva para atingir maiores níveis de qualidade e segurança (AKINCI *et al.*, 2006).

A qualidade dos produtos de construção pode ser ainda definida em relação à conformidade dos mesmos com normas e especificações construtivas (CHEN; LUO, 2014). Segundo os mesmos

⁷ N.D. OPFER, Construction defect education in construction management. In: ANNUAL CONFERENCE OF ASSOCIATED SCHOOLS OF CONSTRUCTION (ASC), 35, San Luis Obispo, 1999. **Proceedings...** San Luis Obispo: ASC, 1999. Disponível em: <<http://ascpro.ascweb.org/main.php>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

autores, existem três fatores principais que contribuem para dificultar o controle de qualidade na construção:

- a) A dispersão dos critérios para o controle de qualidade para componentes individuais, os quais se encontram em diversas normas nacionais, locais, ou procedimentos construtivos industriais, estando em muitas ocasiões esses critérios referenciados de maneira cruzada nos respectivos documentos, o qual dificulta ainda mais a sua compreensão;
- b) As relações contratuais e procedimentais complexas, características da construção, que dificultam a determinação dos responsáveis pela ocorrência de falhas e acidentes;
- c) O foco dos controles nos componentes ou produtos finais, dando menor atenção às inspeções durante a execução dos processos construtivos.

Picchi e Agopyan (1993 *apud* LEÃO, 2014)⁸ destacam que existe uma rejeição inicial dos trabalhadores no canteiro em relação ao controle de qualidade formalizado, por considerarem que não há necessidade de burocracia e papelada para a obtenção de qualidade. Sukster (2005) ratifica esse fato afirmando que a gestão de qualidade tradicional na construção, principalmente aquela voltada para a obtenção da certificação, resulta em documentação excessiva e aplicação de controles burocráticos, o que acarreta na necessidade de um grande esforço por parte dos gerentes dos empreendimentos na utilização das ferramentas necessárias para a implementação de melhorias nos sistemas de controle.

Assim, os mecanismos tradicionais de obtenção da qualidade na construção são muitas vezes concebidos para satisfazer requisitos administrativos do sistema de gestão, ao invés de melhorar a qualidade do produto para o cliente (MAROSSZEKY *et al.*, 2002). Outro ponto criticado por Marosszeky *et al.* (2002) consiste na defasagem de tempo normalmente existente entre a execução das tarefas na fase construtiva e o controle de qualidade das mesmas, o que impossibilita a execução de ações corretivas e a posterior aprendizagem. Assim, os serviços são verificados quando os trabalhadores já foram para outras áreas do canteiro ou quando já deixaram a obra definitivamente (MAROSSZEKY *et al.*, 2002). Dessa forma, o mesmo autor

⁸ PICCHI, F. A.; AGOPYAN, V. Sistemas da Qualidade na Construção de Edifícios. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/104, São Paulo, 1993.

sugere que os problemas de qualidade devem ser identificados o mais próximo possível do tempo de execução das tarefas e, assim, limitar as perdas decorrentes a partir do trabalho defeituoso efetuado de forma repetitiva.

Por outro lado, diversos autores colocam à utilização de **tecnologias de informação** (AKINCI *et al.*, 2006; BOWDEN *et al.*, 2005), **BIM** (CHEN; LUO, 2014; KWON; PARK; LIM, 2014; SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010), **computação móvel** (CHEN; KAMARA, 2008; KIM *et al.*, 2013; MORAN, 2012; NOURBAKHSI *et al.*, 2011, 2012b) e **integração ao PCP** (LEÃO, 2014; ROCHA, 2015; SUKSTER, 2005) como oportunidades para a aplicação eficiente dos controles de qualidade na construção e resposta a alguns dos problemas surgidos na aplicação desses sistemas de gestão. A combinação de todos os itens mencionados, eventualmente, possibilitaria a melhoria da gestão do grande volume de informações geradas durante a execução das verificações de qualidade correspondentes, assim como o aumento da disseminação das informações coletadas, alimentando o processo de aprendizagem de forma a evitar a repetição dos erros geradores de retrabalho e insatisfação dos clientes.

2.6 PLANEJAMENTO E CONTROLE INTEGRADO DA PRODUÇÃO E QUALIDADE

Marosszky *et al.* (2002) propuseram um modelo para a integração do controle de qualidade com o sistema *Last Planner*[®]. Este modelo combinou a lógica do LPS para a definição de planos eficazes, com a utilização do ciclo *Plan-Do-Check*, o qual permite a utilização de avaliações e melhorias de qualidade dentro dos ciclos semanais de planejamento e controle da produção. Os mesmos autores igualmente ressaltaram que os elementos intrínsecos do *Last Planner*[®], como o planejamento meticuloso, a medição de desempenho, a retroalimentação e revisões, alcançados mediante processos de gestão participativa, podem contribuir para a eliminação das causas dos defeitos e obtenção de melhoria contínua da qualidade.

Sukster (2005) observou, em um estudo de implementação de planejamento e controle integrado da produção e da qualidade, que a utilização de procedimentos e planilhas que integrem ambos os sistemas traz benefícios principalmente em relação ao comprometimento das equipes e redução das não conformidades. Sukster (2005) também buscou identificar os distintos níveis dentro dos quais pode acontecer a integração efetiva entre o PCP e o controle de qualidade. Assim, foram realizadas algumas propostas para a integração entre os sistemas

mediante a vinculação de pontos comuns, a utilização de indicadores e alterações de alguns processos documentados (SUKSTER, 2005). As diretrizes propostas pelo mencionado autor para a integração para ambos os sistemas foram as seguintes:

- a) Realização de reuniões periódicas de integração dos dois sistemas;
- b) Utilização conjunta de procedimentos do sistema de gestão de qualidade nas planilhas dos planos de médio e curto prazo;
- c) Inclusão do planejamento e controle da produção dentro do sistema de gestão da qualidade da empresa;
- d) Utilização de indicadores que possam avaliar aspectos de ambos os sistemas, como o PPCQ e o PPCR (descritos a seguir);
- e) Criação de mecanismos que levem a maior participação da equipe no planejamento e controle dos serviços.

No que se refere ao controle simultâneo no curto prazo, Sukster (2005) propôs a utilização de indicadores que avaliem não só a terminalidade das tarefas, mas também a realização delas com qualidade:

- a) PPCQ (porcentagem de pacotes concluídos com qualidade), que consiste na relação entre o número de pacotes concluídos com qualidade e o número de pacotes concluídos total;
- b) PPCR (porcentagem de pacotes concluídos real), calculado pela relação entre o número de pacotes concluídos com qualidade, e o número total de pacotes planejados.

Em outro trabalho relacionado, Righi (2009) sugeriu as seguintes diretrizes para conseguir a integração dos sistemas de PCP e qualidade:

- a) Correta definição dos pacotes de trabalho, evitando subjetividades de interpretação e tarefas parciais;
- b) Rigor na avaliação do quesito terminalidade, para evitar retrabalhos e pacotes informais de falta de terminalidade ou arremates;
- c) Realização dos controles de qualidade durante a execução dos serviços no curto prazo, de forma a detectar não conformidades o mais cedo possível e evitar a sua propagação;

- d) Os documentos que incluem os critérios de avaliação de qualidade de cada serviço (planilhas de verificação) devem ser simples e objetivos, facilitando a sua interpretação e entendimento;
- e) Fomentar a participação dos empreiteiros e encarregados nas reuniões de planejamento, de forma a garantir o seu comprometimento.

Por outro lado, o trabalho de Fireman (2012, p. 160) focou-se no estabelecimento e análise das causas da não execução com qualidade dos pacotes programados no curto prazo. Nas palavras do mesmo autor: “A necessidade de identificar a causa pela não execução com qualidade dos pacotes semanais foi verificada quando a principal razão pelos problemas de qualidade identificados estava relacionada aos defeitos na execução da tarefa precedente”. Dessa forma, o mesmo autor identificou como causas para a não conclusão dos pacotes com qualidade: (a) a tarefa precedente concluída sem qualidade; (b) o material inapropriado; (c) a negligência da força de trabalho; (d) a baixa instrução da força de trabalho; (e) a existência de pré-requisitos não disponíveis.

Adicionalmente, o trabalho de Leão (2014) adicionou o sequenciamento das atividades como motivo de não qualidade, devido à observação de casos em que as tarefas que deveriam ser precedentes foram postergadas, causando prejuízos aos pacotes de trabalho dependentes das mesmas. Isso ocorreu principalmente na execução de pacotes informais de retrabalho. Finalmente, Leão (2014) propôs um fluxo de coleta de dados para o controle integrado de produção e qualidade⁹ utilizando os conceitos apresentados previamente (Figura 5). O modelo de controle integrado desenvolvido por Leão (2014) possui três módulos bem definidos para o controle do avanço produtivo, controle de qualidade e coleta de perdas por *making-do*, respectivamente. A aplicação do modelo inicia com o registro dos pacotes planejados na reunião de curto prazo do LPS. A seguir, são executados em forma diária os controles no canteiro de obras, registrando o início dos pacotes formais e informais, as perdas por *making-do* associadas a esses pacotes, assim como as suas correspondentes verificações de qualidade. O ciclo finaliza no último dia da semana com a avaliação da conclusão dos pacotes, registrando, no caso de acontecer, a sua não conclusão com qualidade, assim como os motivos correspondentes.

⁹ O presente trabalho se encontra baseado no fluxo de coleta inicialmente proposto no trabalho de Leão (2014) e não no seu fluxo finalmente proposto, devido a ter encontrado algumas inconsistências neste em relação aos seus critérios para a avaliação da falta de terminalidade das tarefas (maiores detalhes no item 5.1.1).

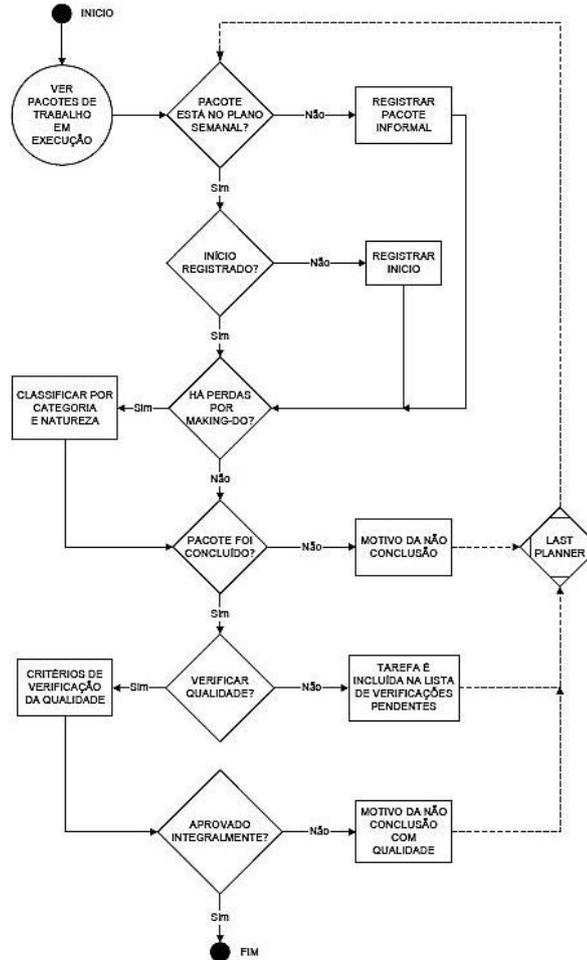


Figura 5: Fluxo do processo de coleta de dados (LEÃO, 2014)

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo esclareceu os conceitos básicos que foram utilizados no desenvolvimento da presente pesquisa, tais como perdas por *making-do*, trabalho em progresso, retrabalho, o sistema de planejamento e controle de produção baseado no LPS, o sistema de controle de qualidade e, finalmente, englobando todos os anteriores, o modelo de controle integrado. A seguir, é apresentado o capítulo que tem por objetivo discorrer sobre a integração entre modelos de processo e produto, dando especial destaque ao BIM e à utilização de dispositivos móveis no canteiro de obras.

3 TIC E INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE PROCESSO E PRODUTO

O presente capítulo apresenta o marco conceitual relativo às tecnologias de informação inseridas no contexto particular da construção. Para isso, o mesmo centra o seu escopo em duas tecnologias relevantes para o presente trabalho, a modelagem de informação na construção (BIM) e a computação móvel. Finalmente é abordada a integração dos modelos de processo e produto, assim como as ferramentas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

3.1 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) NA CONSTRUÇÃO

As tecnologias de informação (TI)¹⁰ são utilizadas para adquirir ou processar informação em suporte de propósitos humanos (MARCH; SMITH, 1995). O mesmo autor salienta que as tecnologias de informação são tipicamente instanciadas (levadas à prática) como sistemas de TI, os quais compreendem complexas organizações de *hardware*, *software*, procedimentos, dados, pessoas e assim por diante, desenvolvidas para atender tarefas individual ou grupalmente executadas e usualmente dentro de um arranjo organizacional (MARCH; SMITH, 1995).

Nascimento e Santos (2008) consideram as TI como aquelas utilizadas para capturar, armazenar, processar e distribuir informações eletronicamente, porém essas tecnologias não estão simplesmente limitadas ao tratamento eletrônico das informações, envolvendo ao mesmo tempo aspectos humanos, administrativos e organizacionais.

A tecnologia da informação é onipresente¹¹ no mundo industrializado. Governos e empresas anualmente investem bilhões de dólares no desenvolvimento e manutenção desses sistemas

¹⁰ Os termos TI e TIC são comumente utilizados como sinônimos. Porém, especificamente as TI correspondem ao *hardware*, *software* e competências dos usuários associadas a computadores individuais desconectados de uma rede. Por sua vez, as TIC podem ser consideradas como uma extensão das TI, incluindo além dos componentes mencionados, aos meios de comunicação e interconexão a redes internas, móveis, *wireless* e sistemas audiovisuais que permitam a movimentação e manipulação dos dados.

¹¹ Melhor tradução encontrada para a palavra *pervasive*, originalmente utilizada pelo autor. Ela se relaciona à ampla difusão, influência e penetração de um efeito físico ou acontecimento, sobre uma área definida ou grupo de pessoas.

(MARCH; SMITH, 1995). Então, as TI afetam o trabalho que fazemos e como o fazemos (MORTON, 1991).

Logicamente, a indústria da construção não se encontra fora dessa tendência. Porém, Bowden *et al.* (2005) mencionam que a mesma tem sido geralmente lenta para as mudanças assim como para a adoção das tecnologias de informação. Entre os principais motivos para este atraso se encontram: a falta de uma percepção concreta relacionada ao retorno do investimento (ANDRESEN *et al.*, 2000), a falta de consciência da existência das TIC aplicadas ao setor da construção (LOVE; IRANI, 2001) e a ausência de exemplos específicos na indústria, mostrando adoções exitosas (ANUMBA, 1998).

Nesse sentido, Sacks, Radosavljevic e Barak (2010) salientam que existe uma negligência por parte da indústria de desenvolvimento de TI para a criação de ferramentas que permitam o gerenciamento produtivo na construção. Segundo Irizarry e Gill (2009), a quantidade de informações requeridas para os processos de tomada de decisão na construção têm se incrementado nos últimos anos. Porém, a aplicação de tecnologia de informação avançada para coletar, acessar e fazer uso dessas informações, não tem se desenvolvido na mesma velocidade (IRIZARRY; GILL, 2009).

Bowden *et al.* (2006) adicionam que as TI utilizadas na construção não são desenvolvidas para satisfazer as necessidades específicas da indústria, existindo dessa forma uma forte demanda puxada pela indústria mas ainda não atendida pelos desenvolvedores de TI. Os mesmos autores salientam que a adoção de TI dentro do sistema produtivo de uma indústria de manufatura, com linhas de produção limpas, estáveis e com o trabalho movimentando-se até os trabalhadores, resulta bem mais simples que para a indústria da construção, na qual os trabalhadores devem se movimentar constantemente até os seus pontos de trabalho, transportar essas tecnologias com eles, estar sujeitos aos elementos naturais e assim por diante.

Sepasgozar, Loosemore e Davis (2016) salientam que existem muitas barreiras culturais, organizacionais e institucionais para a adoção de novas tecnologias na construção. Estas incluem aos clientes que subestimam e desalentam as inovações, os ambientes dinâmicos e imprevisíveis nos quais os empreendimentos de construção são desenvolvidos, a resistência geral da indústria às mudanças, a cultura anti-intelectual, o baixo treinamento e desenvolvimento de competências, as práticas profissionais e comerciais tradicionais que são ameaçadas pela inserção de novas tecnologias, a falta de investimento na área de pesquisa e

desenvolvimento e problemas de interoperabilidade entre as tecnologias e processos de trabalho disponíveis (SEPASGOZAR; LOOSEMORE; DAVIS, 2016).

Concordando com essas afirmações, Nascimento e Santos (2008) ressaltam que a escassa utilização das TIC na construção é produzida em grande parte devido às barreiras ligadas aos profissionais que atuam na área, aos seus processos tradicionalmente estabelecidos, às características e culturas do próprio setor, às deficiências dessas tecnologias, aos custos de aquisição e manutenção de equipamentos e *software* e às estruturas curriculares das universidades que não dão uma maior ênfase nas aplicações de TI para os futuros profissionais.

Sacks, Radosavljevic e Barak (2010) adicionam que as condições no canteiro, a segurança, as dificuldades técnicas e o comportamento humano são os fatores que impõem mais sérios problemas para a implementação de sistemas de TIC.

Por outro lado, Bowden *et al.* (2005) propõem as seguintes diretrizes para poder atingir a implementação bem sucedida das TIC, assim como o rápido retorno do investimento delas:

- a) Ter o compromisso e envolvimento de um profissional ou executivo experiente para conduzir o uso de tecnologias dentro das empresas;
- b) Obter o envolvimento dos usuários de forma a capturar as suas necessidades reais e desenvolver neles o senso de pertencimento das soluções desenvolvidas;
- c) Escolher a interface de usuário e aparelhos mais adequados para as atividades de coleta, consulta e recuperação de dados, feitas pelos usuários;
- d) Desenvolver uma solução com a menor curva de aprendizagem possível, e prover o treinamento suficiente e adequado.

Sacks *et al.* (2013) sugerem que, para o correto funcionamento de qualquer solução de TI aplicada ao planejamento e controle produtivo, são necessárias informações precisas e atualizadas provindo dos participantes do processo, de forma a poder gerar o entendimento da situação¹² que o sistema tem por objetivo prover aos seus usuários.

Nascimento e Santos (2008) consideram que o sucesso da implementação das TI, acarreta a alteração do modelo organizacional e de fluxo de informações no processo de projeto (*design*)

¹² Melhor tradução encontrada para a palavra *situational awareness*, utilizada pelo autor.

das empresas (em alguns casos exigindo até alterações na cadeia produtiva), além do comprometimento com a tecnologia por parte de todos os parceiros do empreendimento.

Davies e Harty (2013) apontam que a implementação de TIC na construção pode ser fortemente influenciada pelas dinâmicas emergentes dentro do projeto de inovação e pelo contexto social e organizacional no qual as mesmas operam. Conforme Loosemore (2014), a chave para a adoção de novas tecnologias na construção reside na efetividade com a qual as mesmas se integrem aos processos, sistemas e culturas pré-existentes nas organizações.

Bowden *et al.* (2006) acrescentam que as novas tecnologias introduzidas na indústria da construção constituem só uma parte da solução, pelo que os efeitos nas pessoas e nos processos envolvidos devem ser igualmente considerados. Segundo os mesmos autores, o advento das TI na indústria da construção vai supor que as atitudes de “essa é a forma em que nós sempre trabalhamos” não é mais aceitável, e uma abertura a novas formas de trabalhar serão esperadas e requeridas.

Conforme Mccaffer e Edum-Fotwe (2003), o desafio para a indústria da construção vai consistir não só em produzir empregados competentes em informática e, por conseguinte, capazes de utilizar as inovações tecnológicas desenvolvidas pelos fornecedores de TI, mas ainda em formar engenheiros e profissionais com experiência suficiente em construção e capazes de desenvolver as soluções inovadoras de TI que resolverão as fraquezas operacionais da indústria tecnológica.

Nesse sentido, Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) salientam a importância da construção de aplicativos suficientemente robustos e utilizáveis em todo o ciclo de vida dos empreendimentos de construção, de forma a executar medições quantitativas dos benefícios esperados a partir da integração entre o fluxo de informações da construção e os sistemas de TI.

Tendo em vista o contexto das tecnologias de informação orientadas ao controle de qualidade, Akinci *et al.* (2006) salientam que a maioria das aplicações se tem focado na simplificação dos processos de gerenciamento de documentos associados aos controles de qualidade no canteiro. Assim, esses sistemas proporcionam os formalismos e guias para a estruturação e armazenamento da informação e documentação relativa aos controles de qualidade, como, por exemplo, planos de inspeção e testes, mediante a utilização de gabaritos (*templates*) (AKINCI *et al.*, 2006). Porém, esses sistemas não têm incluído mecanismos para a captura automática de dados de forma a criar modelos *as-built*, que possam dar suporte aos controles de qualidade (AKINCI *et al.*, 2006).

Desta forma, a seguir são analisadas em profundidade dois tipos específicos de TIC, o BIM e a computação móvel, assim como os benefícios derivados da adoção dessas tecnologias no contexto da construção.

3.2 MODELAGEM DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

De acordo com Eastman *et al.* (2008), existem múltiplas definições de BIM, algumas orientadas aos processos e outras orientadas ao produto, assim como definições do ponto de vista dos construtores, profissionais da área e até a partir do que não é o BIM.

Além disso, Eastman *et al.* (2008) salientam que o termo BIM, é atualmente utilizado como um termo da moda pelos desenvolvedores de *software* para descrever as capacidades dos seus produtos. Dessa forma, as definições da tecnologia BIM estão sujeitas a variações e confusão (EASTMAN *et al.*, 2008). Para lidar com esse problema os mesmos autores destacam quais são as soluções de modelagem que não utilizam tecnologia BIM, ou seja, ferramentas que criam os seguintes tipos de modelos:

- a) Modelos que só contêm informações tridimensionais e sem atributos de objetos (ou integração de dados nos objetos do modelo);
- b) Modelos sem suporte de comportamento (ou não paramétricos);
- c) Modelos que estão definidos por múltiplos arquivos de referência CAD 2D, os quais devem ser combinados para definir o empreendimento;
- d) Modelos que permitem mudanças de dimensões para uma vista, as quais não são automaticamente refletidas nas outras vistas.

Segundo Davies e Harty (2013), o BIM consiste em uma tecnologia digital muito importante, capaz de representar e analisar projetos de edificação mediante montagens de objetos tridimensionais com múltiplos atributos de dados. Os elementos do BIM tais como, a representação 3D; o *design* assistido por computador; a detecção de interferências automática (*clash detection*); e as várias formas de comunicação eletrônica, são amplamente utilizados nos projetos de *design* (WHYTE, 2002).

Conforme Matthews *et al.* (2015), o BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de um empreendimento. Ademais, o BIM é um recurso de conhecimento compartilhado sobre as informações relativas ao empreendimento, formando uma base confiável para a tomada de decisões durante o seu ciclo de vida, definido desde a sua concepção

inicial até a sua demolição (NIST, 2008). Nesse sentido, de acordo com Jernigan (2008), a modelagem de informação da construção (*Building Information Modeling*), pode-se considerar só como uma parte do denominado *Big-BIM* ou gerenciamento de informação da construção (*Building Information Management*), o qual tem por escopo principal a gestão das informações no local certo e no tempo certo.

O BIM tem o potencial de atuar como uma plataforma central para a gestão de informação, ajudando a sincronização e visualização das informações produtivas durante o ciclo de vida do empreendimento (DAVE, 2013). Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) afirmam que o BIM estende o conceito básico do modelo 3D e 4D¹³ para incorporar outras informações relativas à gestão do empreendimento de construção. Conforme Bhatla e Leite (2012), as simulações 4D têm o potencial de adicionar valor às reuniões de médio prazo mediante a comparação do avanço planejado com o real. A partir da possibilidade de visualizar o modelo virtual, o progresso do empreendimento pode ser melhor analisado e rastreado, permitindo melhorar o processo de tomada de decisões (BHATLA; LEITE, 2012). Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) afirmam que as animações 4D, quando suficientemente detalhadas, podem servir para esclarecer as sequencias de trabalho específicas, constituindo, assim, uma ferramenta efetiva para a comunicação de procedimentos padronizados.

Sacks, Radosavljevic e Barak (2010) afirmam que o BIM fornece uma plataforma adequada para a visualização do fluxo de trabalho em sistemas de controle, a que igualmente permite o fluxo puxado e uma colaboração mais aprofundada entre as equipes de trabalho dentro e fora do canteiro. No entanto, Lu e Korman (2010) salientam que a utilização do BIM na construção tem a potencialidade de melhorar não só os seus processos produtivos, mas também os processos de controle de qualidade mediante a mudança na forma em que os intervenientes do empreendimento interagem entre si.

Davies e Harty (2013) salientam que o uso de BIM em empreendimentos aparentemente tem incentivado as possibilidades de outras tecnologias para automatizar e melhorar os processos construtivos, integrando os processos de projeto (*design*), construção e entrega da obra, reutilizando as mesmas informações provenientes da cadeia de suprimentos e mediando digitalmente nas atividades de construção (DAVIES; HARTY, 2013). Nesse sentido, Matthews

¹³ A expressão 4D é utilizada para indicar a adição da dimensão do tempo aos modelos BIM.

et al. (2015) afirmam que os processos que utilizam BIM em conjunto com computação nas nuvens fornecem os mecanismos para a criação de registros de eventos completamente auditáveis, os quais têm a possibilidade de serem consultados sob necessidade durante as diversas fases do empreendimento.

Eastman *et al.* (2008) afirmam que a implementação da tecnologia BIM pode reportar benefícios para todo o ciclo de vida dos empreendimentos de construção. Assim, os benefícios específicos esperados para a fase de construção e relevantes para o presente trabalho, são:

- a) Vinculação do projeto (*design*) ao planejamento de obra, para a simulação dos processos construtivos;
- b) Descoberta antecipada de erros e omissões do projeto (*design*);
- c) Rápida reação aos problemas de projeto (*design*) ou no canteiro;
- d) Melhor implementação das técnicas da construção enxuta;

Nesse sentido, Dave (2013) salienta que enquanto a construção enxuta (*Lean Construction*) aborda os problemas relacionados à gestão de processos e produção em empreendimentos de construção, a modelagem de Informação na Construção (BIM) visa a atender o núcleo dos problemas relativos à modelagem do produto, modelagem dos processos e visualização dos processos e do produto.

A análise das interações entre a construção enxuta e o BIM tem indicado importantes sinergias entre ambos, principalmente para atividades desenvolvidas nas fases de construção e operação da edificação, respaldadas mediante evidências empíricas (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011; SACKS *et al.*, 2010). Os princípios *Lean* com maiores interações com as funcionalidades BIM, sendo ao mesmo tempo relevantes para o presente trabalho, foram: (a) a obtenção da qualidade certa na primeira vez (redução da variabilidade do produto); e (b) o foco na redução da variabilidade dos processos (SACKS *et al.*, 2010). Similarmente, as funcionalidades BIM com maiores interações com os princípios *Lean* e úteis para este trabalho, foram: (a) a visualização 4D do planejamento construtivo; (b) a comunicação *online* da informação dos processos e do produto; (c) a visualização do *status* dos processos; e (d) a provisão de um contexto para a coleta de dados do *status* da produção (SACKS *et al.*, 2010).

Contudo, embora a implementação da filosofia da produção enxuta tenha se incrementado na indústria da construção, a aplicação do BIM ainda permanece muito limitada para as fases iniciais do empreendimento, principalmente no projeto (*design*) (DAVE; BODDY; KOSKELA,

2011). Por outro lado, os mesmos autores destacam que diversos trabalhos de pesquisa têm provado que o uso simultâneo de *Lean* e BIM durante a fase de construção melhora a eficácia do planejamento. Isto evidencia o potencial para desenvolver sistemas de informação que integrem os modelos de processo baseados em conceitos e princípios da produção enxuta com o rico modelo de produto oferecido pelo BIM (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011).

3.3 DISPOSITIVOS MÓVEIS NO CANTEIRO (*MOBILE COMPUTING*)

Irizarry e Gill (2009) ressaltam que os avanços na tecnologia da informação, em particular da computação móvel, proporcionam ferramentas para atender ao incremento de informações nos processos de gestão do empreendimento na fase construtiva de maneiras impensadas há poucos anos atrás. Bowden *et al.* (2006) afirmam que o contínuo desenvolvimento de tecnologias móveis acessíveis, tais como computadores portáteis, *SmartPhones* e *Tablet PCs*, em conjunto com as infraestruturas de telecomunicações (3G, 4G, WLAN, GPRS), podem proporcionar a conexão faltante ao canteiro, e, dessa forma, apoiar a melhoria dos processos construtivos.

Nesse sentido, Moran (2012) destaca que as tecnologias móveis podem ser utilizadas para o controle do avanço produtivo, controle de qualidade e de segurança durante a fase de construção, ou posteriormente à conclusão da obra, em processos de gestão das instalações do empreendimento (*facilities management*). Chen e Luo (2014) salientam que a captura de informações relativas ao atendimento dos requisitos de qualidade dos elementos construtivos no canteiro de obras pode ser feita por meio de dispositivos móveis e procurando transferir esses dados ao modelo BIM do empreendimento, de forma a melhorar a eficiência do processo de controle.

Ademais, os dispositivos móveis podem ajudar ao maior desenvolvimento do LPS por meio da eliminação da grande quantidade de trabalho em papel que normalmente ele requer, o qual constitui uma das críticas mais importantes feitas ao sistema (CIRIA, 2004 *apud* BOWDEN *et al.*, 2006)¹⁴. Porém, esses sistemas não necessariamente fornecem as representações visuais e conceituais que permitam aos supervisores acessar e inserir as informações de uma forma eficiente e eficaz (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Os mesmos autores concluíram

¹⁴ CIRIA, **Improving Programme Predictability: Last Planner System**, Members Report E4131, CIRIA, 2004

que as representações visuais fornecidas pelos sistemas de TI utilizados no canteiro devem cumprir os seguintes critérios:

- a) Suporte ao acesso e coleta de dados em diferentes níveis de detalhe;
- b) Prover estruturas alternativas de decomposição do projeto (estruturas hierárquicas flexíveis); e
- c) Fornecer diferentes tipos de representações visuais.

Nourbakhsh *et al.* (2011) identificaram os requisitos de informações para o desenvolvimento de aplicativos em dispositivos móveis para a indústria da construção a partir de entrevistas e questionários, apresentados a seguir em ordem de importância: (a) o propósito do projeto (*design intent*) e esclarecimentos sobre este; (b) registros de desvios em relação a normativas ou especificações; (c) registros de controle de qualidade (QA/QC); (d) registros de acidentes; (e) dados de produtividade; (f) resultados de inspeções; (g) fotografias do progresso da obra; (h) mudanças de ordens de serviço; (i) diário de obras; (j) registro de atrasos; (k) atualizações do cronograma; e (l) instruções para a execução de tarefas no canteiro.

Nysveen, Pedersen e Thorbjørnsen (2005) salientam que as tecnologias móveis devem necessariamente ser fáceis de usar (*user friendly*), de maneira a que os seus usuários sejam capazes de se beneficiar com todos os seus possíveis serviços. Além disso, Nourbakhsh *et al.* (2012b) apontam que esses aplicativos devem cumprir com critérios de design que os façam atrativos aos usuários. De acordo com os mesmos autores, a usabilidade resulta crítica para o sucesso dos aplicativos móveis no canteiro, devido à baixa qualificação dos trabalhadores, devendo esses aplicativos ser fáceis de serem aprendidos e efetivos em cumprir satisfatoriamente os requisitos das suas tarefas (NOURBAKHSB *et al.*, 2012b). Shiono *et al.* (2010) afirmam, mediante o *feedback* obtido de trabalhadores da construção, que a facilidade de entrada de dados nos aplicativos móveis é muito importante para reduzir a carga do processo de coleta de informação no canteiro. Devido a isso, os referidos autores desenharam métodos para reduzir a carga imposta pela entrada de dados no canteiro, utilizando sistemas de códigos simplificadores.

Por outro lado, Bowden *et al.* (2006) afirmam que as tecnologias móveis podem resultar em reduções de tempos e de custo de capital investido. Os mesmos autores adicionam que alguns benefícios diretos da utilização dessas tecnologias para as atividades dos trabalhadores no canteiro, são:

- a) Eliminação da redigitação;
- b) Redução do tempo de movimentação para obter informações;
- c) Redução do tempo de traslado para os pontos de atividade; e
- d) Redução dos custos de operação e manutenção de instalações;

Ademais, os benefícios indiretos esperados a partir da utilização de tecnologias móveis são: (a) redução dos defeitos; (b) redução dos acidentes; (c) redução das perdas; (d) incremento da produtividade; e (e) incremento da previsibilidade (BOWDEN *et al.*, 2006).

Nesse sentido, Nourbakhsh *et al.* (2012a) sugerem que a utilização de *software* compatível com computação nas nuvens (*cloud computing*) pode beneficiar o trabalho colaborativo, a gestão de documentos e o gerenciamento de tarefas no canteiro de obras. Isso, vinculado à utilização de dispositivos móveis, permite a simplificação do fluxo de informações no canteiro (NOURBAKHSI *et al.*, 2012b).

Bowden *et al.* (2006) adicionam que a utilização de tecnologias móveis pode estabelecer uma vinculação dos trabalhadores aos seus postos de trabalho, mediante a captura imediata dos erros e das lições aprendidas durante a execução da obra. Isso não só proporcionaria informações para a melhoria dos empreendimentos futuros, mas também o conhecimento em tempo real, o qual poderia ser incorporado nas fases futuras de cada empreendimento atualmente executado (BOWDEN *et al.*, 2006).

3.4 INTEGRAÇÃO DE MODELOS DE PROCESSO E PRODUTO

Conforme Stumpf *et al.* (1996), um modelo de produto é uma estrutura conceitual utilizada para organizar e comunicar as informações sobre o produto edifício, entre os participantes do projeto. Por outro lado, os modelos de processo representam etapas importantes do ciclo de vida do empreendimento, tais como projeto (*design*), construção e operação (STUMPF *et al.*, 1996). Ambos os modelos de produto e processo contêm representações conceituais de informação, que podem ter uma ou mais representações visuais (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Assim, os elementos da edificação podem ser representados mediante uma representação em 3D ou uma lista de elementos (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Similarmente, as atividades do planejamento da produção podem ser representadas mediante uma estrutura de árvore, uma lista, um gráfico de Gantt (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005).

Várias pesquisas têm investigado e demonstrado a utilidade de integrar modelos de processo e produto, não só para o projeto (*design*), mas também para as tarefas de gestão (FROESE *et al.*, 1999; REINHARDT; AKINCI; GARRETT, 2004; STUMPF *et al.*, 1996). Nesse sentido, ressalta-se que as pesquisas para a modelagem de informação relativa às tarefas de planejamento e controle na construção constituem uma boa base para a integração entre as informações da fase de construção (STUMPF *et al.*, 1996). Reinhardt, Akinci e Garrett (2004) afirmam que os tipos de dados relevantes para o monitoramento do progresso das atividades de construção são as atividades do planejamento construtivo, os elementos construtivos do empreendimento e as relações entre os dados pertencentes a estes domínios. Os três podem formar um modelo integrado de processo e produto (REINHARDT; AKINCI; GARRETT, 2004). Porém, a maioria dos esforços de modelagem não são desenvolvidos nos níveis de detalhe adequados e considerados úteis para o desenvolvimento de aplicações práticas, especificamente no domínio do controle da construção (STUMPF *et al.*, 1996). Estas abordagens normalmente carecem de definições flexíveis e realistas das atividades de construção, assim como considerações dos requisitos espaciais associados a essas atividades (STUMPF *et al.*, 1996).

Dessa forma, Stumpf *et al.* (1996) destacam que as informações do *design*, ou seja, informações do produto relativas a componentes da edificação, necessitam ser integradas às tarefas de gestão da construção, tais como informações dos processos necessários para a construção dos componentes e peças. Os mesmos autores apresentaram um modelo orientado a objetos que integra informação do produto (componentes do *design*) e do processo (controle de avanço produtivo) de forma a apoiar a colaboração entre os intervenientes das fases de projeto e construção. Adicionalmente, foram propostos dois protótipos para o planejamento e controle do empreendimento de construção (STUMPF *et al.*, 1996).

Reinhardt, Akinci e Garrett (2004) propuseram um modelo, denominado navegacional, com a capacidade de estruturar as entidades dos modelos de processo e produto de forma flexível e dinâmica, de forma que aquelas entidades a serem associadas a uma tarefa em particular possam ser vinculadas diretamente antes de realizar a coleta de dados no canteiro, minimizando assim a navegação dentro do modelo para a obtenção ou consulta de informações. Dessa maneira, esse modelo permite estruturar hierarquicamente os dados contidos nos modelos de processo e produto, facilitando as interações com entidades de dados em múltiplos agrupamentos e níveis de detalhe, mediante a utilização de conjuntos etiquetados em lugar de entidades individuais (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Portanto, os supervisores do canteiro podem

eficientemente selecionar grandes quantidades de entidades para atualizar ou acessar às informações contidas nas mesmas (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). Por conseguinte, o propósito dos modelos navegacionais é dar suporte ao acesso e coleta de dados no canteiro (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005).

Diversos sistemas têm sido desenvolvidos utilizando os padrões da IAI (*Industry Alliance for Interoperability*), posteriormente denominada de BuildingSMART, ou modelos ISO STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*), como o IFC (*Industry Foundation Classes*), mas a maioria lida só com modelos de produto em lugar de informações relativas à gestão dos empreendimentos (FROESE *et al.*, 1999). Dessa forma, o IFC é utilizado principalmente para representar empreendimentos sendo projetados ou construídos, assim como para o compartilhamento de informações entre *software* BIM proprietários, embora o seu escopo original também inclui a informações da gestão do empreendimento como custos, planejamentos, atividades de trabalho, recursos e assim por diante (FROESE *et al.*, 1999).

Os mesmos autores adicionam que os modelos de processos relacionados a estimativas de custo, atividades de trabalho e planejamento podem ser corretamente representados mediante os esquemas estabelecidos no IFC e inclusive serem integrados aos modelos de produto. No entanto, desenvolvedores de *software* de gestão de projetos devem ser capazes de codificar tradutores que permitam aos diversos intervenientes do projeto compartilhar eficientemente informações de planejamento e custos mediante o IFC (FROESE *et al.*, 1999). Reinhardt, Akinci e Garrett (2004) ratificam este ponto, afirmando que os modelos IFC podem ser também considerados como uma representação integrada dos modelos de processo e produto, dando suporte às tarefas de gestão do empreendimento. Porém, os constructos no IFC, que dão suporte aos agrupamentos e agregações (por exemplo, IfcGroup) não oferecem a possibilidade de organizar ou categorizar hierarquicamente a informação do modelo integrado (REINHARDT; AKINCI; GARRETT, 2004). A interoperabilidade do BIM nas diferentes etapas do ciclo de vida e entre as distintas funcionalidades é ainda muito limitada, devido à incompletude e usos ambíguos ou diferentes dos atributos, denotações e conteúdos estabelecidos no IFC (VENUGOPAL *et al.*, 2012). A maioria dos desenvolvimentos para permitir a transferência de informação aos aplicativos especializados, envolvendo formatos abertos e ontologias como o IFC, estão restritos só a usos acadêmicos (ABANDA; TAH; KEIVANI, 2013).

Por outro lado, Dave, Boddy e Koskela (2013) salientam a importância da utilização de modelos paramétricos¹⁵, com atributos e valores definindo a identificação individual dos objetos no modelo de produto, de forma a poder realizar a vinculação efetiva com o modelo de processo. Outro ponto ressaltado pelos mesmos autores e coincidente com a proposta do modelo navegacional de Reinhardt, Akinici e Garrett (2004) consiste na necessidade de estruturar os objetos BIM em hierarquias, preferentemente de árvore, que permitam a sua fácil visualização, seleção e vinculação às tarefas planejadas no modelo de processos.

Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) acrescentam que as interfaces de visualização baseadas no BIM constituem ferramentas importantes para proporcionar transparência aos processos, tendo em conta o ambiente físico dinâmico e disperso, assim como os arranjos contratuais tipicamente fragmentados da construção. Os mesmos autores sugerem que a visualização assistida por computador, tanto do produto quanto do processo construtivo, pode facilitar o relato do *status* do empreendimento e principalmente, proporcionar um serviço único para apoiar a tomada de decisões de forma a atingir a estabilidade dos fluxos.

Stumpf *et al.* (1996) afirmam que os benefícios da integração de processos e produtos residem na provisão de semânticas enriquecidas, que incentivam aos diversos intervenientes do empreendimento à utilização e ao enriquecimento das mesmas. Obtém-se também uma maior eficiência e consistência dos dados e suporte à gestão das informações construtivas no ciclo de vida do empreendimento (STUMPF *et al.*, 1996). Segundo os mesmos autores, estas melhorias semânticas podem possibilitar o desenvolvimento de sistemas computacionais que deem suporte à gestão de informações no ciclo de vida dos empreendimentos, e, ao mesmo tempo, ajudem a melhorar as práticas atuais de integração de sistemas na indústria da AEC.

Nesse sentido, a seguir são apresentados alguns exemplos de aplicativos utilizados para operacionalizar a integração entre os modelos de processo e produto, desenvolvidos tanto no âmbito comercial, quanto no acadêmico. Igualmente, são introduzidos em forma breve os conceitos de modelos *as-built* e *as-planned*, utilizados para o monitoramento do avanço da produção.

¹⁵ A expressão “objeto paramétrico” implica a possibilidade de reutilizar as definições de classe dos objetos, para representar múltiplas ocorrências de coisas similares; as quais são denominadas de instâncias da classe e têm diferentes valores de atributo, mas a mesma estrutura básica (SACKS *et al.*, 2010).

3.5 APLICATIVOS PARA A VINCULAÇÃO DA INFORMAÇÃO COLETADA EM CAMPO AO MODELO DE PRODUTO

De acordo com Chen e Kamara (2008), existem três tipos de aplicativos em dispositivos móveis que têm sido utilizados na indústria da construção:

- a) Aplicativos para a interação com desenhos CAD no canteiro de obras;
- b) Aplicativos para a captura de dados e posterior gerenciamento das informações do canteiro. Esse tipo de aplicativos pode ser subdividido em três categorias, de captura de dados manual, captura por sistema de códigos de barra e por sistema de sensores *wireless*; e
- c) Aplicativos para a gestão do empreendimento, os quais lidam com o planejamento e avanço das obras.

No entanto, nos últimos anos têm surgido aplicativos que realizaram combinações e melhorias sobre as categorias mencionadas, incorporando a integração entre modelos de processo e produto. Dessa maneira, existem soluções de *software* comercial as quais utilizam BIM para facilitar os processos de inspeção no canteiro, por exemplo, ArtrA™, Latista™, BIM 360™ Field, ConstructSim, Tekla Field 3D, Dalux Field, Aconex e BIManywhere. Estes pacotes de *software* são efetivos para a gestão de documentos, porém o processo de inspeção propriamente dito continua sendo realizado manualmente (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015).

O ArtrA™, recentemente adquirido pela Trimble®, segundo Davies e Harty (2013), consiste em um visualizador do modelo BIM 3D com a funcionalidade de uma base de dados que permite a atribuição de metadados (incluindo *links* de documentos) os quais podem, dessa forma, ser associados aos objetos dentro do modelo BIM. Além disso, essas atribuições de dados no modelo BIM podem ser utilizadas para a simples visualização, busca de informações ou emissão de relatórios (DAVIES; HARTY, 2013). Por outro lado, o visualizador do modelo 3D utilizado nos dispositivos móveis é igualmente compatível com computadores pessoais ou fixos, permitindo assim a navegação e visualização do modelo no escritório. Os mesmos autores acrescentam que outras funcionalidades para o aplicativo incluem a visualização de plantas, o controle do progresso e dos defeitos detectados no canteiro, os quais ainda podem ser associados aos objetos no modelo BIM 3D (Figura 6). No entanto, esse aplicativo não vem sendo mais utilizado na gestão da produção na construção, tendo o seu escopo principal atualmente focado na manutenção de instalações após a entrega das obras (ARTRA, 2015).

BIM 360[®] da Autodesk[®], a qual está orientada ao atendimento do ciclo de vida completo do empreendimento (Figura 7), podendo-se assim integrar com os diversos aplicativos BIM pertencentes a mesma empresa.

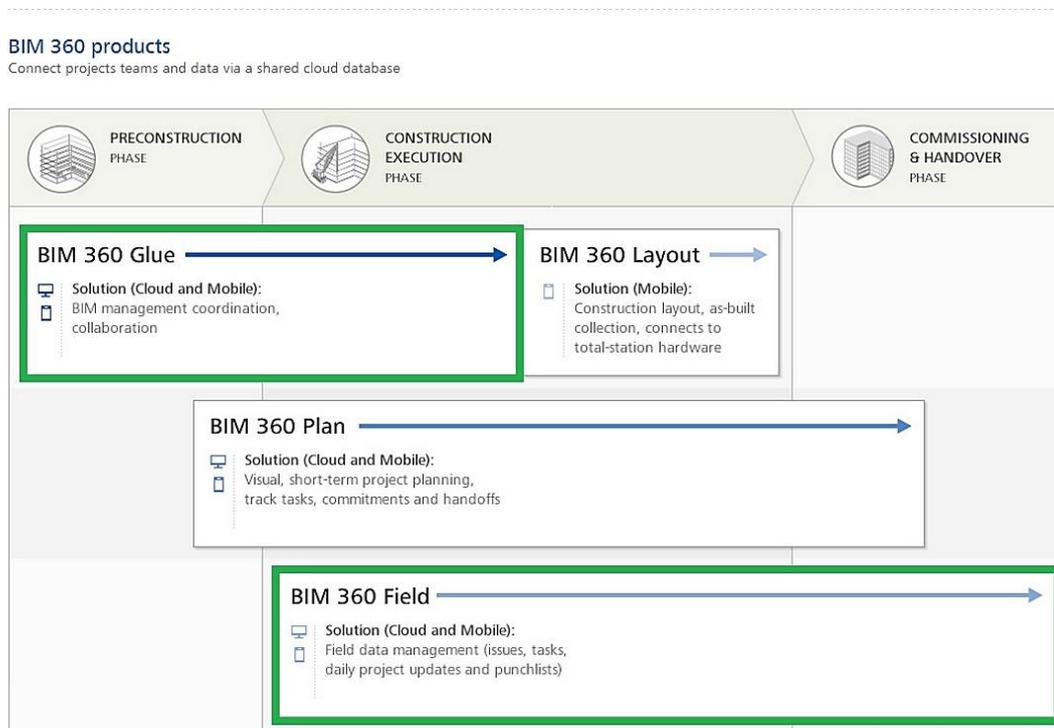


Figura 7: Suite BIM 360[®] e as etapas do ciclo de vida do empreendimento (AUTODESK, 2015)

Nesse sentido, Matthews *et al.* (2015) propuseram a utilização conjunta das ferramentas comerciais BIM 360[™] Field e Navisworks[®], para realizar o monitoramento do progresso e gestão de processos durante a execução de tarefas relativas à estrutura de concreto, tais como montagem de fôrmas, ferragens e concretagem, coordenando a sua visualização no modelo BIM do empreendimento. Porém, a abordagem dos referidos autores limitou-se a um único subsistema construtivo (isto é, solução *ad-hoc* para o controle do avanço da estrutura de concreto), sem analisar outros processos, nem as possíveis interferências derivadas da execução de várias tarefas simultâneas. Além disso, a análise dos mesmos não se baseou em princípios nem ferramentas da construção enxuta (por exemplo, o LPS), não foram previstos os casos reais de vinculação simultânea de vários pacotes de trabalho aos mesmos objetos BIM do modelo de produto e os controles de qualidade foram executados independentemente e só após a conclusão das tarefas planejadas.

Uma crítica feita por Sacks *et al.* (2013) ao Vela Field/BIM 360™ Field, foi que, apesar de trazer informações efetivamente do canteiro e, ao mesmo tempo, incluir a utilização de modelos BIM, a solução oferecida não dá suporte para as negociações de planejamento de curto prazo, assim como o registro explícito dos compromissos assumidos pelas subempreiteiras, os quais constituem requisitos do LPS®.

Por outro lado, existem sistemas não comerciais, desenvolvidos no âmbito acadêmico, para a integração entre modelos de processo e produto, por exemplo, LEWIS, Visilean™ e KanBIM™. O sistema LEWIS (*Lean Enterprise Web-based Information System for Construction*) de Sriprasert e Dadwood (2003) foi desenvolvido utilizando um servidor SQL como camada de base de dados, e integra informação do modelo de produto (CAD), modelo de processo (cronograma), informação a montante (especificações, métodos, recursos) e informação a jusante (planejamento semanal de curto prazo, *feedback* do planejamento). Conceitualmente, o LEWIS proporcionou *templates* substanciais para a gestão de produção baseados nos conceitos da construção enxuta, integrando-os com o modelo de produto (DAVE, 2013). No entanto, visto que os aplicativos BIM ainda não tinham sido desenvolvidos na época, o vínculo com o produto teve que ser feito por meio do CAD, não se obtendo dessa forma, todas as vantagens esperadas da visualização simultânea do produto e dos processos (DAVE, 2013).

O Visilean™ permite a sincronização dos modelos de processo e produto na construção mediante um sistema de *software* que suporta o planejamento de fluxo puxado (*Pull flow scheduling*) do LPS, dentro de um modelo de processos colaborativo e dinâmico que compreende todos os horizontes de planejamento, assim como a sua integração com o modelo do produto por meio do BIM, de forma a ter uma representação gráfica dos locais nos quais as operações são fisicamente executadas e também visualizar o seu progresso (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011). Este conceito é uma adaptação do princípio de gestão visual da produção puxada (TEZEL; KOSKELA; TZORTZOPOULOS, 2010), no qual artefatos visuais são utilizados para transmitir informação sobre o local de trabalho e para gerir as mesmas (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011).

O sistema KanBIM™ facilita o planejamento e monitoramento de tarefas no curto prazo, permitindo a redução da granularidade na coordenação do planejamento, do horizonte semanal para o diário, proporcionando uma visualização da maturidade das tarefas planejadas e o *status* do trabalho sendo executado (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). O objetivo principal do KanBIM™ é proporcionar a visualização de não só do produto da construção, mas

também do processo (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Assim, o fluxo de trabalho de um sistema de informação baseado no BIM pode ajudar aos trabalhadores da construção a implementar estratégias de fluxo puxado (SACKS *et al.*, 2011). De acordo com Sacks *et al.* (2013), os requisitos cobertos pelo sistema KanBIM™ são: (a) manutenção da estabilidade do fluxo de trabalho; (b) permissão à negociação e compromissos entre as equipes de trabalho; (c) planejamento com um efetivo controle puxado; e (d) efetiva comunicação e visualização dos fluxos. Porém, uma das limitações do KanBIM™ foi a falta de uma interface móvel, a qual foi salientada pelos próprios autores como um requerimento dos usuários e uma oportunidade de melhoria futura.

Por outro lado, Kopsida, Brilakis e Vela (2015) realizaram uma revisão e avaliação das soluções atualmente disponíveis para o monitoramento automático do progresso das obras em fase de construção, tais como soluções de realidade aumentada mediante plataformas móveis e estáticas, RFID (*Radio Frequency IDentification*), *laser scanners* e fotogrametria com reconhecimento de objetos em imagens estáticas mediante algoritmos ou reconstrução do modelo 3D a partir de fotos. Os mesmos autores, estabeleceram que o processo de monitoramento automatizado do progresso na construção pode ser dividido em quatro passos:

- a) Aquisição dos dados, o qual se refere às tecnologias de detecção utilizadas para a captura das tarefas executadas (*as-built*);
- b) Consulta da informação, o qual envolve o processo de extração da informação necessária a partir dos dados coletados correspondentes ao modelo como construído (*as-built*);
- c) Estimativa do progresso, o que implica a comparação entre os dados nos modelos como construído e como planejado (*as-built e as-planned*) para a definição do *status* do empreendimento; e
- d) Visualização dos resultados.

Dessa forma, usualmente os modelos BIM 4D são utilizados como representação do planejamento original (*as-planned*), sendo os modelos como construídos (*as-built*) superpostos a estes, de forma a proceder à comparação entre os dois modelos (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015). Normalmente os processos de cadastramento de modelos são feitos de forma manual ou semi-automática (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015). O seguinte passo envolve o reconhecimento dos objetos de ambos os modelos de forma a poder compará-los e estimar o

progresso das tarefas construtivas (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2015).

Kopsida, Brilakis e Vela (2015) concluem que não existe uma abordagem tecnológica geral para o controle automatizado do progresso na fase de construção. Existem muitos esforços de pesquisas focados no monitoramento do progresso das tarefas, os quais têm proporcionado baixos níveis de automação e sistemas muito complexos para ser de utilidade em ambientes interiores no canteiro de obras (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015). Dessa forma, normalmente o usuário tem que atribuir manualmente a informação ou comparar manualmente os modelos como construído e planejado (*as-built e as-planned*) (KOPSIDA; BRILAKIS; VELA, 2015).

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo apresentou o marco conceitual envolvido na utilização das tecnologias de informação na construção e as possíveis interações entre modelos de processo e produto na fase de construção. Dessa forma, propõe-se a vinculação entre as informações derivadas das tarefas de planejamento e controle da obra, com o modelo BIM do empreendimento.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa adotado para o desenvolvimento deste trabalho. O mesmo desdobra-se na estratégia de pesquisa, no delineamento da pesquisa, na descrição dos estudos realizados, incluindo as fontes de evidência utilizadas e, finalmente, nos constructos utilizados na avaliação do artefato desenvolvido.

4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O presente trabalho adota a abordagem da *Design Science Research* (DSR), uma vez que ele se encontra em um contexto sócio-técnico (empreendimentos de construção civil na etapa de execução) e tem como objetivo fundamental a criação de um artefato que possibilite a resolução de um problema real. Esta abordagem é também conhecida como pesquisa prescritiva (MARCH; SMITH, 1995) ou pesquisa construtiva (LUKKA, 2003). A *Design Science Research* envolve a criação de novos conhecimentos por meio da construção de artefatos inovadores (coisas ou processos que têm ou podem ter uma existência material) e da análise de uso ou desempenho desses artefatos em conjunto com uma reflexão e abstração, de forma a melhorar e compreender o comportamento destes artefatos (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007, 2013).

Assim, as principais características da DSR são (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993; LUKKA, 2003): (a) o foco em problemas do mundo real relevantes para que sejam resolvidos na prática; (b) a produção de uma construção inovadora buscando resolver o problema inicial; (c) uma tentativa de implementação da construção desenvolvida, testando sua aplicabilidade prática; (d) o envolvimento e a cooperação entre o pesquisador e os demais participantes, na forma de uma equipe, que propicie um aprendizado baseado na experimentação; (e) uma ligação explícita a um conhecimento teórico prévio; e (f) a reflexão acerca das evidências empíricas com base na teoria.

March e Smith (1995) classificam os produtos esperados (*research outputs*) de pesquisas do tipo *Design Science Research* nas seguintes categorias:

- a) Constructos: os constructos ou conceitos formam o vocabulário do domínio. Eles constituem a conceitualização para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as suas soluções. Igualmente, os mesmos formam a linguagem

especializada e conhecimento compartilhado de uma disciplina ou subdisciplina (MARCH; SMITH, 1995);

- b) Modelo: os modelos são conjuntos de proposições ou afirmações expressando relações entre os constructos. Nas atividades de *design*, os modelos são identificados por meio de afirmações de problema e solução. São proposições de como as coisas são, diferindo das teorias das ciências naturais com base na sua intenção primária: enquanto as ciências naturais têm um foco tradicional na verdade; a *design science research* se foca mais na utilidade, e mais especificamente, na utilidade para servir aos propósitos humanos (MARCH; SMITH, 1995);
- c) Método: consiste em um conjunto de passos (um algoritmo ou guia) utilizado para desenvolver uma tarefa. Os métodos são baseados em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e na representação do espaço de solução (modelo) (MARCH; SMITH, 1995). Os métodos são planos orientados a uma meta, a partir dos quais se manipulam os constructos para a consecução da solução esperada no modelo (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007). Representações de resultados e tarefas são intrínsecas aos métodos, podendo os mesmos estar vinculados aos modelos como uma entrada (input) ou como um meio para vincular vários modelos entre si, durante a busca da solução do problema de pesquisa (MARCH; SMITH, 1995);
- d) Instanciações: são as aplicações do artefato dentro do seu ambiente. As pesquisas em TI instanciam tanto sistemas de informação específicos como ferramentas para atender os diversos aspectos do *design* dos sistemas de informação. As instanciações operacionalizam os constructos, modelos e métodos. Porém, as mesmas podem preceder a completa articulação dos constructos, modelos e métodos subjacentes, ou seja, um sistema de TI pode ser instanciado por necessidade, baseando-se na intuição e na experiência. Assim, as instanciações demonstram a viabilidade e efetividade dos modelos e métodos que contêm (MARCH; SMITH, 1995).

Vaishnavi e Kuechler (2007) adicionam que a DSR pode contribuir à criação de melhores teorias em pelo menos duas formas distintas. A primeira está relacionada à construção metodológica do artefato, o qual pode ser um objeto de teorização, sendo normalmente as fases de construção da DSR baseadas no teste experimental do método, na exploração experimental

deste ou ambos (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007). Na segunda, os mesmos autores destacam que o artefato pode expor relações entre os seus elementos, permitindo certos comportamentos e restringindo outros. Assim, se as relações entre os elementos do artefato não são previamente entendidas e acabam sendo mais visíveis durante as fases de construção ou avaliação do artefato, então pode se afirmar que o conhecimento dos seus elementos foi aumentado, potencialmente refutando ou acrescentando sobre as teorias previas que estabeleciam as suas relações (VAISHNAVI; KUECHLER, 2007).

Nesse sentido, o artefato proposto nesta pesquisa consiste em um modelo para a integração de processos gerenciais específicos (planejamento e controle de produção e qualidade) ao produto (modelo BIM) na fase construtiva do empreendimento. Este modelo permitiria o registro e controle dos pacotes de trabalho semanalmente programados de acordo com o sistema *Last Planner*[®], assim como o controle de qualidade dos mesmos, vinculando-os a sua localização real no canteiro mediante o modelo BIM-3D da obra em análise.

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em três fases, as quais ocorreram de forma não linear, tendo sobreposições entre estas (Figura 8).

A primeira fase foi de compreensão e teve por objetivo encontrar um problema de relevância prática e obter um entendimento profundo sobre o tópico. Nesta fase foi iniciada a revisão bibliográfica relativa aos sistemas de controle de produção e qualidade existentes na construção e à possibilidade de integrar esses controles ao modelo BIM. Esta revisão se estendeu ao longo das outras fases da pesquisa, incorporando posteriormente outros tópicos, tais como a integração entre modelos de processo e produto. Além disso, esta fase contou com a realização de atividades tanto da etapa 1, na qual foi desenvolvido a maior parte do estudo exploratório, quanto das etapas 2 e 3, nas quais foram realizados os estudos empíricos 1 e 2, respectivamente. No estudo exploratório, o pesquisador realizou o acompanhamento das coletas de dados de Rocha (2015) e participou das reuniões de planejamento semanal do primeiro empreendimento em estudo, a fim de entender o problema real, utilizado como ponto de partida da pesquisa. Também foram realizadas coletas exploratórias para o entendimento do funcionamento das ferramentas utilizadas para o controle integrado de produção e qualidade, desenvolvidas nas pesquisas precedentes de Leão (2014) e Rocha (2015). Nas seguintes etapas foram realizadas a análise das documentações das empresas estudadas, a exploração de aplicativos disponíveis

para a integração entre os modelos de processo e produto, assim como, a escolha do aplicativo utilizado na presente pesquisa para a coleta de dados no canteiro.

A fase de desenvolvimento teve como foco a construção do artefato, assim como a implementação e o teste do mesmo. Esta fase compreendeu a maior parte das atividades dos dois estudos empíricos executados. Na etapa 2 foi feito o refinamento do modelo de controle integrado proposto no trabalho de Leão (2014), implantando-o dentro do aplicativo comercial utilizado para as coletas de dados do presente estudo. A seguir, foram executados os controles pró-ativos no canteiro utilizando o novo modelo de coleta de dados. Dessa forma, foram avaliadas, a efetividade do planejamento produtivo semanal e a execução de verificações de qualidade nos subsistemas e elementos construtivos. Os dados coletados foram finalmente vinculados ao modelo BIM, de maneira a realizar diversas análises a partir dos mesmos. O segundo estudo empírico, correspondente à etapa 3, diferenciou-se do primeiro estudo, a partir do ajuste proposto no método de vinculação entre os dados coletados no canteiro e o BIM, o qual permitiu a estruturação final do artefato da pesquisa. Adicionalmente, no segundo estudo empírico foram realizados testes de aplicativos alternativos para o controle de produção e qualidade.

A fase de análise e reflexão teve como objetivo fazer uma reflexão sobre os resultados obtidos nas distintas etapas, assim como sobre as contribuições da pesquisa. Dessa forma, na etapa 1 foi feita uma análise das soluções propostas em pesquisas precedentes. No entanto, na etapa 2 foram avaliadas as limitações do modelo integrado desenvolvido no primeiro estudo empírico da presente pesquisa e finalmente, na etapa 3, foi realizada a proposta do modelo final para a integração dos processos de planejamento e controle ao modelo BIM, assim como a avaliação desta solução.

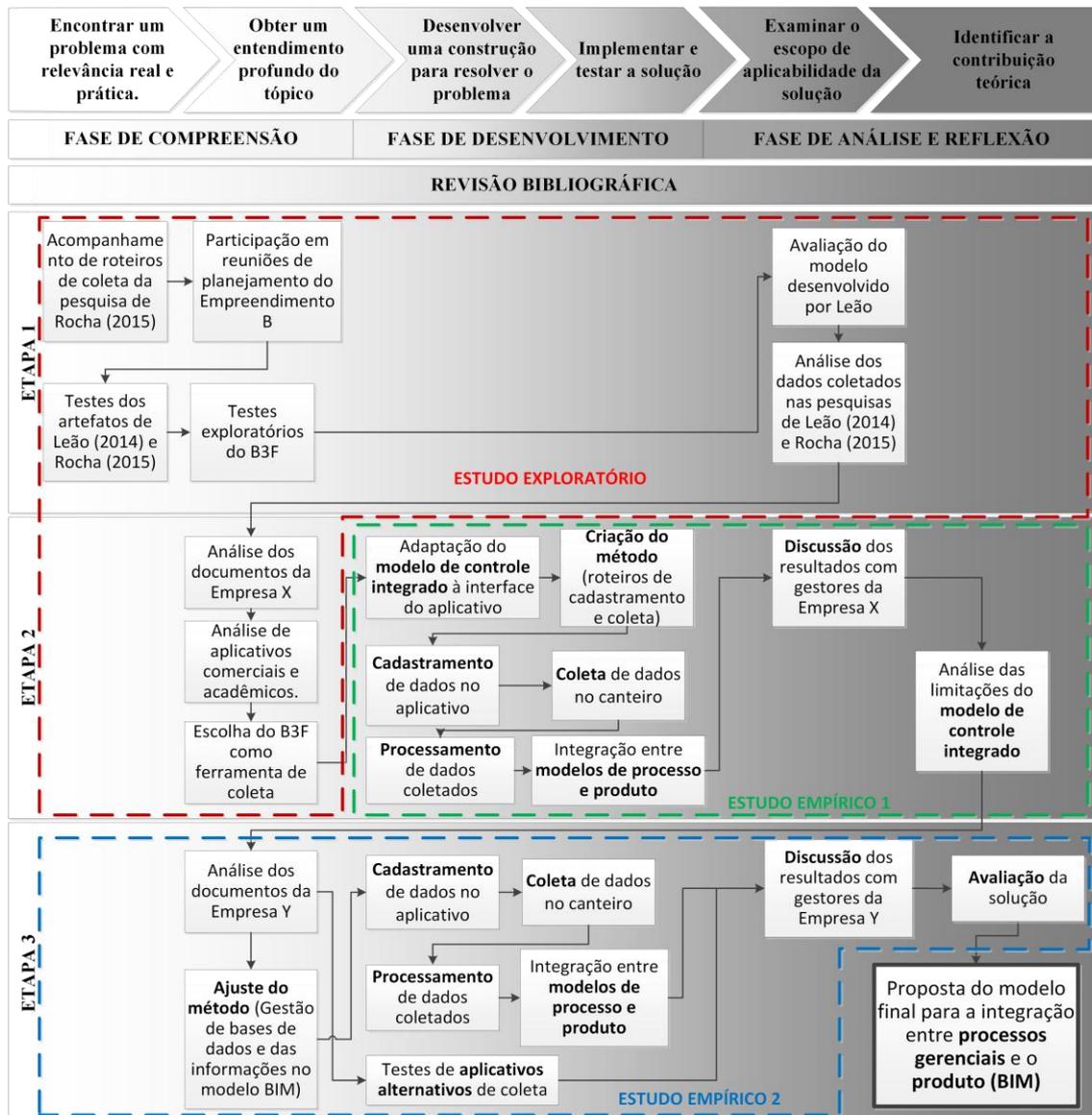


Figura 8: Delineamento da pesquisa

4.3 DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS E EMPREENDIMENTOS

4.3.1 Empresas X e Y

A empresa na qual foi realizado o primeiro estudo empírico, denominada neste trabalho de Empresa X, tem médio porte e se localiza na cidade de Porto Alegre. A mesma surgiu a partir da fusão de um grupo de empresas que atua no mercado da construção há aproximadamente 30 anos. A Empresa X conta com 334 empregados próprios, registra um faturamento anual aproximado de R\$ 290 milhões e um Valor Geral de Vendas (VGV) anual de R\$ 600 milhões. A mesma possui empreendimentos na Região Metropolitana de Porto Alegre, no interior do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, trabalhando em segmentos de mercado diversos, tais como

empreendimentos pertencentes ao Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), empreendimentos de alto padrão, condomínios verticais e horizontais.

O segundo estudo empírico foi executado na Empresa Y, a qual tem médio porte e está localizada na cidade de Fortaleza, no estado de Ceará. A mesma conta com 29 empregados no escritório, 25 na gestão das obras no canteiro e aproximadamente 700 na área de produção. O faturamento anual aproximado é de R\$ 70 milhões e o VGV anual é de R\$ 150 milhões. As obras da empresa são localizadas quase em sua totalidade na cidade de Fortaleza e, em menor medida, nas cidades da Região Metropolitana. Os empreendimentos da empresa são caracterizados por edifícios residenciais de médio e alto padrão, edifícios para escritórios administrativos de alto padrão e, em menor medida, plantas industriais.

Essas empresas foram escolhidas para o desenvolvimento deste estudo devido à implementação bem-sucedida de conceitos e ferramentas *Lean* dentro das mesmas, tais como o LPS e sistemas *Kanban* para a entrega de materiais, assim como por possuir um sistema de gestão de qualidade bem estruturado. Ademais, ambas as empresas possuem uma relação de parceria com o grupo de pesquisa ao qual o presente autor pertence (NORIE). Ressalta-se que alguns estudos anteriores sobre temas similares já haviam sido desenvolvidos em conjunto com a Empresa X, incluindo os trabalhos de Fireman (2012); Leão (2014); e Rocha (2015). A Empresa Y participou anteriormente de pesquisas voltadas à área de gestão do desenvolvimento do produto em conjunto ao NORIE, sendo esta a sua primeira colaboração em estudos focados na área de gestão da produção.

4.3.2 Empreendimentos A e B

O primeiro empreendimento em estudo, a partir daqui denominado Empreendimento A, localizava-se na cidade de Canoas, na Região Metropolitana de Porto Alegre, consistindo em 10 edifícios verticais de 9 andares (Figura 9), casas em fita, área de lazer (quadras esportivas e parques) e estacionamento, pertencentes a um condomínio financiado pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O sistema construtivo consistia em paredes de alvenaria estrutural, estrutura de concreto moldada *in loco* no térreo e lajes de concreto pré-moldado a partir do segundo andar até o último.

Salienta-se que o empreendimento avaliado no primeiro estudo empírico foi o mesmo escolhido pela pesquisa precedente (ROCHA, 2015), de forma a dar continuidade a esta e poder assim adaptar corretamente o modelo de controle integrado utilizado nesta, detectando também

O segundo empreendimento em estudo, denominado Empreendimento B, localizava-se na cidade de Fortaleza, no estado de Ceará e consistia em um condomínio de alto padrão, composto por duas torres verticais construídas pela Empresa Y. O sistema construtivo era composto por uma estrutura de concreto armado moldada *in loco* e alvenaria convencional para as vedações verticais. As torres de apartamentos tinham 17 andares cada. Possuía área de lazer (quadrado esportivas, academia, piscina, playground), estacionamento, entre outras áreas de uso comum (Figura 12). A planta tipo era a mesma para as duas torres, sendo que havia três apartamentos por andar (Figura 13). O empreendimento totalizava 32.100 m² de área construída, dividida em 19.376 m² correspondentes aos apartamentos (com 559 m²/andar) e 12.732 m² para as áreas comuns, as quais incluíam três níveis de estacionamento e a área de lazer. O estudo abarcou ambos os setores, excluindo as instalações e infraestrutura exteriores.

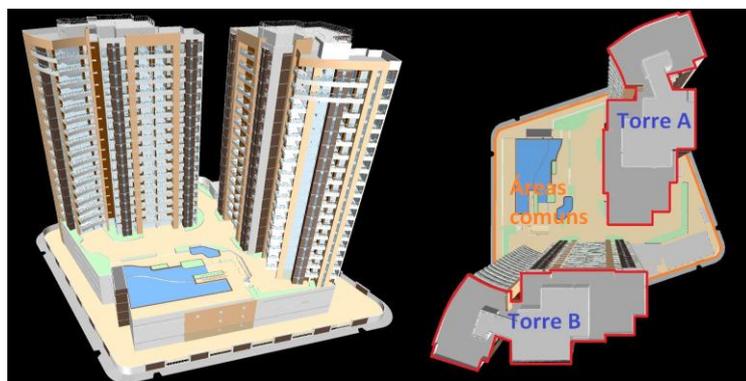


Figura 12: Perspectiva 3D e delimitação da área de estudo para o empreendimento B



Figura 13: Planta tipo torres A e B, empreendimento B

4.4 FONTES DE EVIDÊNCIAS

De acordo com Yin (2001), as evidências para um estudo de caso¹⁶ podem vir de seis fontes distintas: (a) análise de documentos; (b) registros em arquivo; (c) entrevistas; (d) observação direta; (e) observação participante; e (f) artefatos físicos. O mesmo autor enfatiza que, além da atenção que se dá a essas fontes em particular, devem ser seguidos alguns princípios importantes para o trabalho de coleta de dados:

- a) Devem ser utilizadas múltiplas fontes de evidências, ou seja, evidências provenientes de duas ou mais fontes, mas que convergem em relação ao mesmo conjunto de fatos ou descobertas;
- b) Deve ser criada uma base de dados que reúna formalmente as evidências distintas para que os dados possam ser analisados sucessivas vezes;
- c) É necessário estabelecer um encadeamento de evidências, ou seja, ligações explícitas entre as questões feitas, os dados coletados e as conclusões a que se chegou.

Assim, salienta-se que qualquer descoberta ou conclusão em um estudo de caso provavelmente será muito mais convincente e acurada quando se basear em várias fontes distintas de evidência (triangulação), obedecendo a um estilo corroborativo de pesquisa (YIN, 2001).

As fontes de evidência utilizadas nos estudos empíricos executados foram:

- a) Análise de documentos: o uso mais importante de documentos é corroborar e valorizar as evidências oriundas de outras fontes, podendo fornecer detalhes específicos para corroborar as informações obtidas (YIN, 2001). Ademais, é possível realizar inferências a partir das documentações, as quais geram indícios para investigar mais a fundo determinados tópicos (YIN, 2001);
- b) Entrevistas: são uma das mais importantes fontes de informações para um estudo de caso; no entanto, os dados obtidos a partir dessa fonte devem considerados

¹⁶ Os estudos de caso têm sido tradicionalmente utilizados em ciências interpretativas ou ciências sociais como (psicologia, sociologia, ciência política, antropologia, história e economia) e nas áreas voltadas à prática, como planejamento urbano, administração pública, política pública, (YIN, 2001). Dessa forma, a denominação de estudo de caso não resulta apropriada para ser utilizada na presente pesquisa, a qual se encontra inserida na categoria DSR, utilizando-se assim o termo estudo empírico, porém os conceitos relativos às fontes de evidência seguem sendo válidos.

apenas como relatórios verbais e ser contrastados por informações obtidas de outras fontes, uma vez que as entrevistas estão sujeitas a problemas como preconceitos, memória fraca, articulação pobre ou imprecisa (YIN, 2001). As entrevistas abertas (ou espontâneas) permitem obter a opinião dos respondentes sobre determinados eventos (YIN, 2001). Assim, os mesmos apresentam suas próprias interpretações sobre certos acontecimentos, podendo-se usar essas proposições como base para uma nova pesquisa (YIN, 2001). Por outro lado, segundo Merton, Fiske e Kendall (1990), as entrevistas semiestruturadas (ou focais), se caracterizam por ser respondidas em um curto período de tempo, sendo assumido um caráter de conversa informal, mas segundo a um conjunto de perguntas originadas a partir do protocolo de estudo de caso;

- c) Observação direta: as observações diretas podem ocorrer de maneira formal ou informal (YIN, 2001). No caso das observações formais, são desenvolvidos protocolos de observação para avaliar a incidência de certos comportamentos durante certos períodos de tempo nas visitas de campo (YIN, 2001). Por outro lado, observações diretas informais podem ser feitas durante as visitas de campo ou ao coletar dados de outras fontes de evidência, (YIN, 2001);
- d) Observação participante: a observação participante é uma modalidade especial de observação na qual o pesquisador não é apenas um observador passivo, passando a assumir uma variedade de funções dentro do estudo, podendo de fato, participar dos eventos em estudo (YIN, 2001);
- e) Registros fotográficos: a partir das observações diretas ou participantes, podem ser feitos registros fotográficos que podem ajudar a transmitir as características importantes do estudo (YIN, 2001).

4.5 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES

4.5.1 Estudo exploratório

4.5.1.1 Análise dos processos de controle e ferramentas de coleta

Esta etapa foi desenvolvida entre os meses de novembro 2014 e fevereiro 2015 e coincidiu com a coleta de dados desenvolvida para a pesquisa precedente (ROCHA 2015). Um dos objetivos da mesma foi adquirir familiaridade com os processos de planejamento e controle da qualidade da Empresa X. Para isso, foram analisadas as documentações correspondentes aos

procedimentos de execução de serviços (PES), planilhas de verificação de qualidade (PVQ) e planilhas do controle produtivo semanal da empresa. Além disso, foram observadas duas reuniões de planejamento de curto prazo e realizadas entrevistas abertas com os encarregados da obra e estagiários de forma a esclarecer dúvidas em relação à aplicação do sistema de controle integrado da empresa. Outra atividade importante realizada nesta etapa consistiu em analisar o funcionamento das ferramentas de coleta para o controle integrado de produção e qualidade desenvolvidas nas pesquisas precedentes. Assim, foram realizadas pelo pesquisador três coletas de dados utilizando a ferramenta desenvolvida por Leão (2014) e duas utilizando o aplicativo desenvolvido por Rocha (2015). Adicionalmente, foram realizadas duas coletas exploratórias mediante o B3F, a qual permitiu analisar as potencialidades do aplicativo e posteriormente estruturar o método de coleta utilizando o mesmo.

4.5.1.2 Escolha da ferramenta para a coleta de dados

A escolha do aplicativo utilizado para a coleta de dados desta pesquisa surgiu a partir da avaliação dos requisitos de informações para aplicativos móveis propostos por Nourbakhsh *et al.* (2011), da flexibilidade requerida para as definições hierárquicas e níveis de detalhe das informações coletadas sugeridas por Reinhardt, Garrett e Akinci (2005), da necessidade de integração entre os controles de produção e qualidade (LEÃO, 2014; ROCHA, 2015), da falta de aprofundamento na coleta e processamento sistemático de dados correspondentes a ambientes de construção reais e da disponibilidade de acesso acadêmico a esses aplicativos. Nesse sentido, foram analisados vários aplicativos disponíveis comercialmente e que possibilitavam a vinculação entre as informações coletadas no canteiro e os modelos BIM. No entanto, alguns deles não se encontraram disponíveis para usos acadêmicos, tais como, Amtech ArtrA, Bentley ConstructSim, Textura Latista e Aconex, enquanto outros não ofereceram uma integração efetiva entre os controles de produção e qualidade, por exemplo, Visilean, Dalux Field, BIM 360 Plan, BIManywhere.

Dessa forma, foi escolhido o BIM 360™ Field (B3F) como ferramenta principal de coleta, assim como outros aplicativos da Autodesk® (Revit, Navisworks Manage e BIM 360™ Glue), os quais serviram de apoio para a integração entre as informações coletadas no canteiro e o modelo BIM do empreendimento. Além dos pontos acima mencionados, o B3F foi selecionado por cumprir com os seguintes requisitos: (a) integração efetiva entre os controles de produção e qualidade; (b) interface flexível; (c) trabalho *off-line* durante as coletas de dados; (d) possibilidade de anexar fotos e documentação durante as coletas; (e) possibilidade de sincronização dos dados

coletados nas nuvens; (f) exportação de dados em formato csv, o qual permite a criação de bases de dados; e (g) possibilidade de conexão dos dados coletados ao modelo BIM do empreendimento. No entanto, visto que o B3F não dá suporte direto às negociações do planejamento de curto prazo do LPS e não realiza um registro explícito dos compromissos assumidos pelas subempreiteiras (SACKS *et al.*, 2013), campos customizados foram criados na interface de usuário do aplicativo, de forma a adaptá-lo ao fluxo de trabalho proposto pelo LPS para as atividades de planejamento e controle. A Figura 14 resume as ponderações realizadas com relação a cada um dos aplicativos analisados frente aos critérios considerados.

Critério	Aplicativos							
	ArtrA	ConstructSim	Aconex	Visilean	Dalux Field	BIM 360 Plan	BIM 360 Field	BIManywhere
Disponibilidade de acesso acadêmico.	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓
Possibilidade de vincular informações coletadas no canteiro aos modelos BIM.	↑	↑	↑	↔	↑	↓	↑	↑
Utilização do BIM como ferramenta principal de coleta.	↔	↔	↔	↔	↑	↓	↔	↑
Integração efetiva entre os controles de produção e qualidade.	↑	↔	↑	↓	↓	↓	↑	↔
Suporte direto ao LPS®.	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↓
Seleção final	*	*	*	*	*	*	✓	*
Legenda	↑	Critério cumprido	↔	Critério cumprido parcialmente		↓	Critério não cumprido	

Figura 14: Avaliação dos aplicativos pré-selecionados vs. critérios de seleção

4.5.2 Estudos empíricos

4.5.2.1 Estudo empírico 1

Este primeiro estudo iniciou em meados de fevereiro de 2015, uma vez concluído o estudo exploratório mediante a adaptação do modelo de controle integrado desenvolvido por Leão (2014), ao aplicativo escolhido para a coleta de dados (B3F). Dessa forma, foram elaborados o modelo refinado de controle integrado, os métodos de coleta, cadastramento de dados e vinculação de dados coletados ao modelo BIM, de maneira a padronizar e formalizar as observações formais da pesquisa. A seguir, foi realizado o cadastramento, dentro do aplicativo B3F, dos pacotes genéricos, lotes e critérios de qualidade do Empreendimento A, os quais foram obtidos a partir da documentação analisada no estudo exploratório. Ao mesmo tempo, foi realizada a preparação e refinamento do modelo BIM do empreendimento, dentro dos aplicativos Revit® e Navisworks Manage®, assim como testes de compatibilidade entre os distintos formatos de transferência de arquivos BIM, tais como, .ifc, .dwf e .rvt, de forma a

garantir a correta troca de informações, dentro da suíte BIM 360 utilizada nos dispositivos móveis. Todas estas atividades foram realizadas em conjunto com bolsistas de iniciação científica¹⁷ e tiveram uma duração total de 1 mês. Além disso, foram feitos testes do B3F mediante coletas de dados informais durante duas semanas, de forma a realizar os ajustes finais no método de controle integrado dentro desse aplicativo, antes do início das coletas formais.

A partir do mês de abril de 2015, foram iniciadas as coletas de dados formais no Empreendimento A. Estas tiveram uma duração total de 8 semanas, concluindo no início do mês de junho. Os roteiros de coleta diária iniciaram as segundas-feiras a partir da análise e cadastramento prévio do planejamento semanal da Empresa X dentro do B3F. Salienta-se que estas coletas só foram interrompidas por motivos exógenos, tais como problemas climáticos, greves do transporte, falta de conclusão ou entrega tardia do planejamento semanal por parte da obra. As avaliações foram realizadas com ajuda de bolsistas de iniciação científica, em forma permanente, e estagiários do Empreendimento A, em casos pontuais. A função da bolsista consistiu na inspeção visual expedita do avanço produtivo das tarefas, enquanto o presente pesquisador realizava as conferências de qualidade dos pacotes correspondentes. Os estagiários da obra se encarregavam de fornecer e transportar as ferramentas para os controles de qualidade, tais como, prumo, esquadros e escantilhões, assim como realizar esclarecimentos pontuais sobre os critérios tidos para a reprovação de qualidade em determinados pacotes.

Dessa forma, os dados coletados diariamente no canteiro mediante a observação direta formal corresponderam a pacotes formais, informais, eventos de *making-do* e verificações de qualidade. Além disso, foram obtidos registros fotográficos com reprovações de qualidade e perdas por *making-do*, retrabalho e trabalho em progresso. Em total foram realizadas 26 coletas de dados no canteiro e 8 integrações entre os dados coletados semanalmente e o modelo BIM do empreendimento. A Figura 15 apresenta a distribuição dos tempos das coletas realizadas no primeiro estudo empírico.

¹⁷ Isadora Pedrollo e Germano Gelain.

Data	Semana	Início	Fim	Duração (h)	Data	Semana	Início	Fim	Duração (h)
14/04/2015	1	15:10	17:00	01:50	13/05/2015	5	08:15	10:05	01:50
16/04/2015	1	09:30	11:30	02:00	14/05/2015	5	08:30	10:20	01:50
17/04/2015	1	13:30	15:50	02:20	15/05/2015	5	09:15	10:50	01:35
22/04/2015	2	09:30	11:50	02:20	18/05/2015	6	08:30	10:30	02:00
23/04/2015	2	09:00	11:45	02:45	19/05/2015	6	08:45	10:27	01:42
24/04/2015	2	09:20	11:40	02:20	22/05/2015	6	09:20	11:20	02:00
27/04/2015	3	08:30	10:30	02:00	26/05/2015	7	08:20	10:30	02:10
28/04/2015	3	08:20	10:37	02:17	28/05/2015	7	08:40	10:40	02:00
29/04/2015	3	08:20	09:50	01:30	01/06/2015	8	08:25	10:50	02:25
30/04/2015	3	09:30	11:46	02:16	03/06/2015	8	08:30	11:10	02:40
04/05/2015	4	09:20	11:30	02:10	05/06/2015	8	08:15	10:30	02:15
05/05/2015	4	09:00	10:33	01:33					
06/05/2015	4	08:10	10:40	02:30					
07/05/2015	4	08:20	10:40	02:20					
08/05/2015	4	08:20	11:40	03:20					
Tempo total de coletas (horas)									55:58
Tempo médio (horas/dia)									02:09

Figura 15: Resumo dos tempos de coleta de dados para o primeiro estudo empírico

Adicionalmente, foram feitas observações participantes nas 8 reuniões semanais de curto prazo, realizadas todas as sextas-feiras às 14h. Essas reuniões normalmente contavam com a presença do engenheiro da obra, o supervisor de produção, a supervisora de segurança, os dois estagiários e um representante por cada subempreiteira. A mesmas tinham uma duração aproximada de 1h30min. Entrevistas informais com o engenheiro encarregado da obra e os estagiários, foram realizadas com a finalidade de discutir sobre possibilidades de melhorias no sistema de controle utilizado na Empresa X.

Houve reuniões com os gerentes de produção e qualidade da Empresa X de forma a avaliar o andamento parcial da pesquisa, bem como a utilidade e aplicabilidade do modelo proposto. Essas reuniões aconteceram uma vez, no canteiro de obras, durante o período de coleta de dados, e duas vezes mais, após da conclusão do período de coleta, na UFRGS e no escritório da Empresa X, respectivamente.

4.5.2.2 Estudo empírico 2

O segundo estudo empírico iniciou em meados de setembro de 2015 e se estendeu por 5 meses. Analogamente ao primeiro estudo, foi executado o cadastramento no aplicativo BIM 360™ Field (B3F) dos pacotes genéricos, lotes e critérios de qualidade do Empreendimento B. Para isso, foram obtidas e analisadas previamente as documentações correspondentes aos procedimentos de verificação de qualidade da Empresa Y, planilhas do controle produtivo semanal, plantas e detalhes construtivos do Empreendimento B. No entanto, neste caso particular, o tempo inicial de cadastramento de dados foi menor (2 dias frente aos 4 necessários no primeiro estudo), devido à importação dos *templates* criados no estudo anterior, contendo as

definições de pacotes genéricos, *checklists* de qualidade e *making-do*. Salienta-se que neste caso, estes cadastramentos foram executados inteiramente pelo pesquisador.

A preparação e refinamento do modelo BIM do empreendimento foi realizada dentro dos aplicativos Revit® e Navisworks Manage®. No entanto, devido às limitações experimentadas no primeiro estudo com o visualizador do modelo BIM incorporado dentro do aplicativo B3F, decidiu-se utilizar o Navisworks Manage® como ferramenta principal para a gestão das informações a ser incorporadas no modelo BIM. Além disso, a criação e formatação das bases de dados, contendo as informações coletadas no canteiro, foi feita mediante os aplicativos Microsoft Excel e Access. A vinculação dessas bases de dados ao modelo BIM, visualizado no Navisworks®, foi executada mediante drivers de ODBC (*Open Database Connectivity*). Salienta-se que todos os aplicativos mencionados foram de 64-bits, sendo essa uma condição necessária para o correto funcionamento da integração proposta. Dessa forma, o método desenvolvido no primeiro estudo empírico, para a integração das informações resultantes dos controles no canteiro ao modelo de produto, sofreu alterações e simplificações consideráveis. Estes ajustes iniciais no sistema foram executados pelo presente pesquisador em conjunto com o gerente de pesquisa e desenvolvimento da Empresa Y e se estenderam por um período de duas semanas.

As coletas de dados formais no Empreendimento B iniciaram nos últimos dias de setembro de 2015. Estas tiveram uma duração total de 16 semanas, concluindo a finais de janeiro de 2016. Similarmente ao primeiro estudo, os roteiros de coleta diária iniciaram todas as segundas-feiras a partir da análise e cadastramento prévio do planejamento semanal da Empresa Y dentro do B3F. No entanto, neste caso as observações diretas tiveram que ser executadas inteiramente pelo pesquisador. Em total foram realizadas 65 coletas de dados no canteiro e 16 integrações entre os dados coletados semanalmente e o modelo BIM do empreendimento. A Figura 16 resume os tempos das atividades de coleta de dados realizadas para o segundo estudo empírico.

Foi realizada observação participante em 16 reuniões semanais de curto prazo, ocorridas às sextas-feiras, 13h30min. Essas reuniões contavam com a presença da engenheira da obra, o supervisor de produção, as supervisoras de segurança e um representante por cada subempreiteira. As mesmas tinham uma duração aproximada de 1 hora. Além disso, foram observadas 7 reuniões gerenciais quinzenais, realizadas nas segundas-feiras às 14h no canteiro de obras. A finalidade dessas reuniões era de discutir os problemas técnicos da obra, contratos pendentes, problemas logísticos e servir de apoio ao levantamento de restrições do médio prazo.

As mesmas tinham uma duração aproximada de 3 horas e contavam usualmente com a presença do diretor da empresa, os gerentes de produção, projeto, logística, a coordenadora *Lean*, os encarregados da obra e os projetistas de arquitetura e instalações.

Data	Semana	Início	Fim	Duração (h)	Data	Semana	Início	Fim	Duração (h)
28/09/2015	1	12:45	13:25	00:40	24/11/2015	9	09:05	10:32	01:27
29/09/2015	1	10:30	10:55	00:25	25/11/2015	9	09:47	11:22	01:35
30/09/2015	1	10:10	10:35	00:25	26/11/2015	9	09:45	11:14	01:29
01/10/2015	1	09:45	10:50	01:05	27/11/2015	9	08:45	10:09	01:24
02/10/2015	1	09:40	10:30	00:50	01/12/2015	10	09:55	11:15	01:20
05/10/2015	2	12:42	14:28	01:46	02/12/2015	10	08:15	09:17	01:02
06/10/2015	2	09:44	10:50	01:06	03/12/2015	10	09:40	11:10	01:30
07/10/2015	2	09:55	10:45	00:50	04/12/2015	10	08:45	09:55	01:10
08/10/2015	2	09:05	09:53	00:48	08/12/2015	11	09:45	10:57	01:12
09/10/2015	2	09:55	11:00	01:05	09/12/2015	11	10:15	11:55	01:40
14/10/2015	3	09:48	10:54	01:06	10/12/2015	11	10:10	11:23	01:13
15/10/2015	3	10:20	11:00	00:40	11/12/2015	11	08:45	10:35	01:50
16/10/2015	3	09:55	11:40	01:45	14/12/2015	12	09:20	10:43	01:23
19/10/2015	4	09:15	10:00	00:45	15/12/2015	12	09:30	10:50	01:20
20/10/2015	4	10:06	10:49	00:43	16/12/2015	12	09:45	11:07	01:22
21/10/2015	4	10:10	10:58	00:48	17/12/2015	12	09:15	11:01	01:46
22/10/2015	4	09:25	10:00	00:35	18/12/2015	12	08:50	10:38	01:48
23/10/2015	4	13:37	14:21	00:44	06/01/2016	13	10:00	11:30	01:30
27/10/2015	5	10:25	11:23	00:58	07/01/2016	13	09:45	10:47	01:02
28/10/2015	5	10:05	11:15	01:10	08/01/2016	13	09:47	11:22	01:35
29/10/2015	5	09:10	10:28	01:18	11/01/2016	14	10:00	11:04	01:04
30/10/2015	5	09:30	11:00	01:30	12/01/2016	14	09:45	10:45	01:00
03/11/2015	6	10:10	11:18	01:08	13/01/2016	14	10:00	11:30	01:30
04/11/2015	6	08:30	10:23	01:53	14/01/2016	14	10:20	11:44	01:24
05/11/2015	6	09:10	10:37	01:27	15/01/2016	14	09:47	11:39	01:52
06/11/2015	6	08:40	10:06	01:26	18/01/2016	15	09:47	10:54	01:07
09/11/2015	7	10:15	11:36	01:21	20/01/2016	15	09:30	11:40	02:10
10/11/2015	7	09:50	11:06	01:16	22/01/2016	15	09:47	12:00	02:13
11/11/2015	7	09:30	10:55	01:25	27/01/2016	16	09:45	12:18	02:33
12/11/2015	7	09:40	11:06	01:26	28/01/2016	16	10:15	12:15	02:00
13/11/2015	7	08:12	09:11	00:59	29/01/2016	16	12:40	15:00	02:20
17/11/2015	8	09:38	10:48	01:10					
18/11/2015	8	09:20	10:26	01:06					
20/11/2015	8	08:13	09:52	01:39					
Tempo total de coletas (horas)									85:09
Tempo médio (horas/dia)									01:18

Figura 16: Resumo dos tempos de coleta de dados para o segundo estudo empírico

Nas últimas duas semanas do estudo foi feita a instanciação do modelo utilizando os aplicativos alternativos Visilean e Quizquality. Dois testes pontuais, em dias separados, foram realizados com o supervisor de produção e estagiários da obra, a fim de avaliar a aplicabilidade do B3F frente aos aplicativos alternativos, comparando-os entre si, considerando os subconstructos facilidade de uso, eficiência e adequação ao processo existente. Dessa forma, foram realizados os controles de produção e qualidade utilizando o B3F em um dia e os aplicativos alternativos no outro. Informação textual e registros fotográficos foram obtidos em ambos os casos. No

entanto, a vinculação das coletas realizadas ao modelo BIM não conseguiu ser testada por terceiros.

Adicionalmente, foram realizadas tarefas de diagnóstico do avanço produtivo semanal mediante observação direta formal e registros fotográficos, em conjunto com o supervisor da obra, no dia anterior à reunião de curto prazo, de forma a priorizar a conclusão de tarefas atrasadas e antecipar aquelas que não concluiriam, e, por conseguinte, deveriam ser replanejadas na semana seguinte. Este diagnóstico foi feito com a finalidade de levar mais informações às reuniões de planejamento semanal e, assim, tentar diminuir os esforços de coleta de dados relativos aos pacotes informais.

Tarefas de estruturação de critérios de qualidade para subsistemas construtivos específicos, tais como alvenaria de vedação e contrapisos, foram executadas em forma conjunta com a coordenação da área de qualidade e os encarregados da obra. Esta atividade foi realizada para avaliar a noção da importância de realizar os controles de produção e qualidade em forma integrada por parte dos intervenientes, além de tentar desenvolver os procedimentos de inspeção da empresa. Três reuniões foram feitas, duas no escritório da empresa e uma no canteiro. Adicionalmente, uma aplicação do processo de controle integrado utilizando o B3F foi executada em conjunto com as coordenadoras de qualidade e de *Lean*.

Foram realizadas três apresentações para a diretoria e comissão técnica da Empresa Y. Duas apresentações foram feitas no escritório e contaram com a presença do diretor, gerentes, coordenadores e encarregados de todas as obras em andamento da Empresa Y. Outra apresentação foi realizada no canteiro de obras, e contou com a presença do diretor, gerentes de produção, projeto, coordenação de qualidade, *Lean* e encarregados do Empreendimento B. A primeira, realizada no escritório, teve um caráter introdutório, de forma a apresentar os objetivos da pesquisa. A seguinte, feita no canteiro, apresentou o avanço da parcial da pesquisa e o diagnóstico das possíveis melhorias no sistema de controle existente na empresa. A última, feita novamente no escritório, fez o encerramento do trabalho, apresentando os resultados obtidos e as oportunidades de continuidade a partir dos mesmos. As três reuniões permitiram obter o *feedback* dos participantes em relação aos tópicos apresentados.

O estudo foi encerrado mediante a aplicação de entrevistas semiestruturadas, tanto no escritório da empresa, quanto no canteiro de obras (mais detalhes nos apêndices A e B). As mesmas foram conduzidas com o diretor, os gerentes de produção, projeto e qualidade, a coordenadora de

qualidade, o supervisor da obra e os estagiários da obra. Todos os participantes excetuando os estagiários, tinham uma formação universitária nas áreas de engenharia civil, engenharia de produção ou arquitetura. As entrevistas tiveram uma duração média de 10 minutos e permitiram avaliar os constructos de utilidade e aplicabilidade do artefato proposto.

4.6 ANÁLISE DAS CONTRIBUIÇÕES DA SOLUÇÃO

De acordo com March e Smith (1995), os artefatos criados na DSR devem ser avaliados considerando critérios de valor ou utilidade. Os mesmos autores salientam que as atividades de pesquisa relacionadas à construção de constructos, modelos, métodos ou instanciações novas, ou à adaptação e refinamento desses resultados, podem ser efetivamente consideradas como pesquisa, sempre e quando demonstrem a sua utilidade para uma tarefa determinada. Então, a contribuição da pesquisa reside na novidade ou na melhoria significativa do artefato e no poder de persuasão das afirmações sobre a sua efetividade (MARCH; SMITH, 1995). Puro e Storey (2008) afirmam que a avaliação é um componente crucial para o processo da pesquisa construtiva e sugerem três constructos principais para realizá-la: utilidade percebida, facilidade de uso, e compatibilidade com a prática existente. Conforme Kasanen, Lukka e Siitonen (1993), a utilidade de uma construção gerencial não é provada até que um teste seja passado. Assim, o critério primário para avaliar os resultados dos estudos aplicados é a sua utilidade prática, a qual tem implicações em questões como a relevância, simplicidade e facilidade de uso desses resultados (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993).

Baseando-se nos autores acima e nas pesquisas precedentes (FIREMAN, 2012; LEÃO, 2014; SCHRAMM, 2009), foram propostos os constructos de **utilidade** e **aplicabilidade** para a avaliação do artefato desenvolvido.

Assim, o constructo **utilidade**, relacionado com a contribuição do artefato proposto para a gestão da obra, foi desdobrado nos seguintes critérios (Figura 17):

Em relação à contribuição da utilização do BIM para facilitar a representação visual do controle integrado de produção e qualidade no canteiro, o modelo foi avaliado mediante observações diretas realizadas pelo pesquisador durante a aplicação do artefato, entrevistas abertas com gerentes de produção e qualidade da Empresa X e entrevistas semiestruturadas com o diretor e gerentes de produção, qualidade e projeto da Empresa Y (mais detalhes nos apêndices A e B).

No que se refere à contribuição do modelo integrado de processo e produto para a percepção da importância de realizar os controles de produção e qualidade de forma simultânea, o modelo foi avaliado por meio de entrevistas abertas com os encarregados da obra e gerentes de produção e qualidade da empresa X e entrevistas semiestruturadas com os gerentes de produção, qualidade e projeto da Empresa Y. Além disso, foram realizadas observações formais e análises de documentações, durante a estruturação dos critérios de qualidade para as alvenarias e contrapisos, feitas em conjunto com a coordenação de qualidade da Empresa Y e os encarregados do empreendimento B.

Constructo	Critérios	Fontes de evidência	Etapa
UTILIDADE	Contribuição da utilização do BIM (modelo de produto) para facilitar a representação visual do controle integrado de produção e qualidade no canteiro, assim como das perdas por making-do, retrabalho, etc. (modelo de processo).	Observação direta formal	Primeiro e segundo estudo
		Entrevistas abertas	Primeiro estudo
		Entrevistas semiestruturadas	Segundo estudo
	Contribuição do modelo integrado de processo e produto para a percepção da importância de realizar os controles de produção e qualidade de forma simultânea.	Observação direta formal	Primeiro e segundo estudo
		Entrevistas abertas	Primeiro e segundo estudo
		Entrevistas semiestruturadas	Segundo estudo
	Contribuição do modelo integrado de processo e produto como referência na tomada de decisões corretivas e preventivas para a gestão do empreendimento.	Observação participante	Primeiro e segundo estudo
		Observação direta informal	Primeiro e segundo estudo
		Entrevistas abertas	Primeiro estudo
		Entrevistas semiestruturadas	Segundo estudo
	Contribuição da utilização de dispositivos móveis para a gestão eficiente das informações geradas no canteiro.	Análise de documentos	Primeiro e segundo estudo
		Observação direta formal	Primeiro e segundo estudo
Registros fotográficos		Primeiro e segundo estudo	
Entrevistas semiestruturadas		Segundo estudo	

Figura 17: Desdobramento do constructo utilidade

A contribuição do modelo na tomada de decisões corretivas e preventivas para a gestão do empreendimento foi avaliada mediante as observações participantes do pesquisador nas reuniões de planejamento em ambos os empreendimentos, assim como nas reuniões gerenciais do Empreendimento B. Além disso, foram realizadas entrevistas abertas com gerentes e encarregados do Empreendimento A, assim como entrevistas semiestruturadas com o diretor, gerentes de produção e projeto da Empresa Y (mais detalhes nos apêndices A e B).

A contribuição da utilização de dispositivos móveis para a gestão de eficiente das informações geradas no canteiro foi analisada mediante observação direta durante a realização das coletas por parte do pesquisador e a análise posterior dos dados obtidos. Além disso, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com o diretor, gerentes de produção, pesquisa e desenvolvimento e encarregados do Empreendimento B, conforme ao roteiro estabelecido nos apêndices A e B.

Por outro lado, o constructo **aplicabilidade**, relacionado com o uso do artefato proposto, foi desdobrado em quatro subconstructos (Figura 18): (a) facilidade de uso; (b) eficiência; (c) adequação ao processo existente; e (d) possibilidade de continuação.

Constructo	Subconstructos	Fontes de evidência	Etapa
APLICABILIDADE	Facilidade de uso	Entrevistas abertas	Primeiro estudo
		Entrevistas semi-estruturadas	Segundo estudo
	Eficiência	Observação direta formal	Primeiro e segundo estudo
		Registros fotográficos	Primeiro e segundo estudo
		Entrevistas semi-estruturadas	Segundo estudo
	Adequação ao processo existente	Observação direta formal	Primeiro e segundo estudo
		Registros fotográficos	Primeiro e segundo estudo
		Entrevistas semi-estruturadas	Segundo estudo
	Possibilidade de continuação	Análise de documentos	Primeiro estudo
		Entrevistas abertas	Primeiro estudo
		Entrevistas semi-estruturadas	Segundo estudo

Figura 18: Desdobramento do constructo aplicabilidade

O subconstructo de facilidade de uso foi avaliado sob três aspectos: facilidade de coleta de dados no canteiro, facilidade de vinculação dos dados coletados ao modelo BIM e facilidade de aprendizado. Para avaliar este subconstructo foram conduzidas entrevistas abertas com a bolsista de iniciação científica e os estagiários dos empreendimentos A e B. Além disso, o roteiro de entrevista, apresentado nos apêndices A e B, foi aplicado com o supervisor de obras do empreendimento B. Estes pontos permitiram avaliar especificamente a facilidade de coleta de dados e de aprendizado. A vinculação dos dados coletados ao modelo BIM não conseguiu ser testada por terceiros, sendo a sua avaliação feita inteiramente mediante a observação participante do pesquisador durante a aplicação do modelo e por meio das demonstrações de

funcionamento do mesmo nas reuniões de apresentação do avanço do trabalho para as Empresas X e Y.

O subconstructo eficiência é referido ao tempo e recursos utilizados para a aplicação do artefato. O mesmo foi avaliado em base aos tempos medidos para executar as atividades de coleta de dados, cadastramento de informações no sistema e vinculação dos dados coletados ao modelo BIM do empreendimento. Estas atividades foram executadas inteiramente pelo pesquisador, com exceção das coletas de dados correspondentes ao primeiro estudo empírico, as quais foram realizadas com o apoio da bolsista de iniciação científica. Além disso, foi avaliada mediante entrevistas semiestruturadas com estagiários e o supervisor de produção do Empreendimento B, a possibilidade de geração de documentações variadas a partir da aplicação do artefato, tais como registros fotográficos, bases de dados, notificações e relatórios.

A adequação ao processo existente foi avaliada em relação à possibilidade de reprodução dos processos de controle utilizados em ambas as empresas dentro do modelo proposto. Dessa forma, foram realizadas observações diretas do pesquisador durante a aplicação do modelo, análise das documentações obtidas a partir da aplicação do artefato e entrevistas conduzidas com gerentes da Empresa Y, conforme ao roteiro estabelecido nos apêndices A e B.

Finalmente, a possibilidade de continuação foi avaliada em base a análise de documentos relativos a orçamentos para a aquisição dos aplicativos utilizados para a instanciação do artefato proposto, entrevistas abertas com gerentes de produção e qualidade da Empresa X e entrevistas semiestruturadas com o diretor, gerentes de produção e pesquisa e desenvolvimento da Empresa Y, conforme ao roteiro estabelecido nos apêndices A e B.

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados dos estudos empíricos desenvolvidos no trabalho. São apresentados o refinamento feito ao modelo de controle integrado desenvolvido anteriormente, o desenvolvimento do método, os resultados quantitativos das coletas em campo, e uma discussão sobre os resultados obtidos em cada uma das etapas. Ao final, faz-se uma avaliação da solução desenvolvida a partir dos constructos e critérios propostos no item 4.6.

5.1 ESTUDO EMPÍRICO 1

5.1.1 Refinamento do modelo: diretrizes para a utilização do modelo de controle integrado no aplicativo comercial de coleta de dados

De forma a poder utilizar o modelo de controle integrado proposto por Leão (2014), o qual foi apresentado no item 2.6, tiveram que ser realizadas algumas adaptações à interface do B3F, assim como a customização de alguns campos deste software. Estas incluíram a criação de campos para os motivos de não conclusão dos pacotes, *status* de qualidade, datas de início, de fim, entre outras modificações.

Outra diferença em relação a trabalhos anteriores foi a execução do monitoramento sistemático dos pacotes planejados e informais. Assim, os pacotes não concluídos durante a semana e que não foram reprogramados nas semanas seguintes foram repassados como pacotes informais de falta de terminalidade, transferindo para os mesmos todos os dados dos pacotes formais dos quais procediam, de forma a fazer um monitoramento efetivo deles (Figura 19). Nesse sentido, o modelo de controle integrado finalmente proposto no trabalho de Leão (2014) considerou avaliar a terminalidade dos pacotes formais após a avaliação da conclusão dos mesmos, desconsiderando o caso no qual os pacotes considerados como concluídos mas com falta de terminalidade, não forem reprogramados formalmente para as semanas seguintes, fato que aconteceu em muitas ocasiões dentro deste primeiro estudo empírico.

Ademais, com o objetivo de tornar o esforço de coleta diário viável, foi limitado o monitoramento dos pacotes informais de todos os tipos (novo, retrabalho e falta de terminalidade) em três semanas após a sua criação (Figura 20). Isso surgiu como consequência do acúmulo considerável de pacotes informais durante o decorrer das coletas, o que em determinado momento chegou a igualar à quantidade de pacotes formais sendo controlados.

ID	Name	Status	Description	Responsible Company	Date Created
10.32	Conclusão de forma de lajes (setor guarita)	Open	Conclusão de forma de lajes (set: Crolim Carpinteiros	Crolim Carpinteiros	Nov 30, 2015
11.33	Forma de laje 100%	Open	Forma de laje 100%	Crolim Carpinteiros	Dec 7, 2015
Infv10.06	Informal novo: montagem de forma de lajes lote 16	Open	Informal novo: montagem de forr	Crolim Carpinteiros	Dec 1, 2015
Infv11.03	Informal falta de terminalidade (U/W): Conclusão de forma de lajes (setor guarita)	Open	Informal falta de terminalidade (U. Crolim Carpinteiros	Crolim Carpinteiros	Dec 7, 2015

Date Created	Scheduled For	Locations	Task Category	1. Data de inicio	2. Data de fim	3. Motivo de nao conclusac sem 01	4. Semana de controle	5. Status da qualidade	6. Motivo de nao conclusac sem 02	7. Motivo de nao conclusac sem 03
Nov 30, 2015	Nov 30, 2015 8:00 AM	Térreo>Torre B	Montagem das fórr	Nov 25, 20	27. NE. Nã	Segunda	Nao iniciad	22. PLJ. AI		
Dec 7, 2015	Dec 9, 2015 8:00 AM	Torre B> 6ª Pav.	Montagem das fórr	Dec 1, 201	27. NE. Nã	Segunda	Nao iniciad			
Dec 1, 2015	Dec 1, 2015 11:27 AM	Térreo>Torre A	Montagem das fórr	Dec 1, 201	27. NE. Nã	Primeira	Nao iniciad			
Dec 7, 2015	Dec 7, 2015 8:00 AM	Térreo>Torre B	Montagem das fórr	Nov 25, 20	27. NE. Nã	Terceira	Nao iniciad	22. PLJ. AI		

Figura 19: Transferência de dados dos pacotes formais não concluídos e não reprogramados

ID	Name	Status	Responsible Company	Date Created	Scheduled For	Locations
Infv10.06	Informal novo: vigas de fundação ps12, 13, 14	Cancelled	Crolim Pedreiros/Servent	Sep 30, 2015	12 Oct 2015	Térreo>Torre B
Infv10.14	Informal novo: execução de vergas para aberturas	Cancelled	Crolim Ferreiros	Oct 1, 2015	12 Oct 2015	Sobresolo 2>Anexo
Infv10.15	Informal novo: execução de protensão de cabos de laje	Cancelled	Impacto	Oct 1, 2015	12 Oct 2015	Lazer>Torre B
Infv10.14	Informal novo: colocação de artefatos sanitários no banheiro feminino	Cancelled	Crolim instalações hidros	Oct 9, 2015	19 Oct 2015	Sobresolo 1>Anexo

Scheduled For	Locations	Task Category	1. Data de inicio	2. Data de fim	3. Motivo de nao conclusac sem 01	4. Semana de controle	5. Status da qualidade	6. Motivo de nao conclusac sem 02	7. Motivo de nao conclusac sem 03	8. Motivo de nao conclusac sem 04	9. Motivo de nao conclusac sem 05
12 Oct 2015	Térreo>Torre B	Montagem de ferraç	Sep 30, 2015	27. NE. Nã	Terceira	Nao iniciad	27. NE. Nã	27. NE. Nã			
12 Oct 2015	Sobresolo 2>Anexo	Execução	Oct 1, 2015	27. NE. Nã	Terceira	Nao iniciad	27. NE. Nã	27. NE. Nã			
12 Oct 2015	Lazer>Torre B	Execução de proter	Oct 1, 2015	27. NE. Nã	Terceira	N/A	27. NE. Nã	27. NE. Nã			
19 Oct 2015	Sobresolo 1>Anexo	Artefatos sanitários	Oct 9, 2015	27. NE. Nã	Terceira	Nao iniciad	27. NE. Nã	27. NE. Nã			

Figura 20: Limitação de monitoramento de pacotes informais sem movimentação durante três semanas consecutivas

Outra diferença apresentada com o fluxo de informações final do trabalho de Leão (2014) e adotada a partir da sugestão do trabalho de Rocha (2015) consistiu na realização de verificações de qualidade antes e durante a execução dos pacotes planejados e informais, e não só após a sua conclusão. Dessa forma, foi possível verificar as condições de início de cada pacote específico e posteriormente, durante a sua execução ou após a sua conclusão, os seus respectivos critérios de qualidade.

Assim, tendo em vista os critérios acima expostos, em conjunto com a nomenclatura do aplicativo escolhido para as coletas de dados, propôs-se um novo fluxo de informações para o controle integrado de produção e qualidade (Figura 21). Este modelo possibilitou o registro sistemático de pacotes formais planejados nas reuniões de curto prazo, assim como pacotes informalmente executados durante a semana de controle, perdas por falta de qualidade e *making-do*. Salienta-se que as tarefas representadas no modelo devem ser executadas progressivamente durante a semana. O mesmo finaliza no último dia de cada semana por meio da avaliação da conclusão com qualidade de cada pacote controlado. Além disso, os resultados obtidos devem ser repassados para a seguinte reunião de coordenação de forma a retroalimentar

o processo de planejamento nos horizontes de médio e curto prazo. Mais detalhes sobre cada uma das tarefas compreendidas no modelo são apresentados no item 5.1.3.3.

Por outro lado, propôs-se que a integração entre os controles de produção e qualidade pode acontecer em distintos níveis hierárquicos. Assim, a Figura 22 ilustra um esquema de integração entre ambos os sistemas, baseando-se na revisão de literatura previamente apresentada, e, em maior medida, nos trabalhos de De Oliveira (1999) e Sukster (2005).

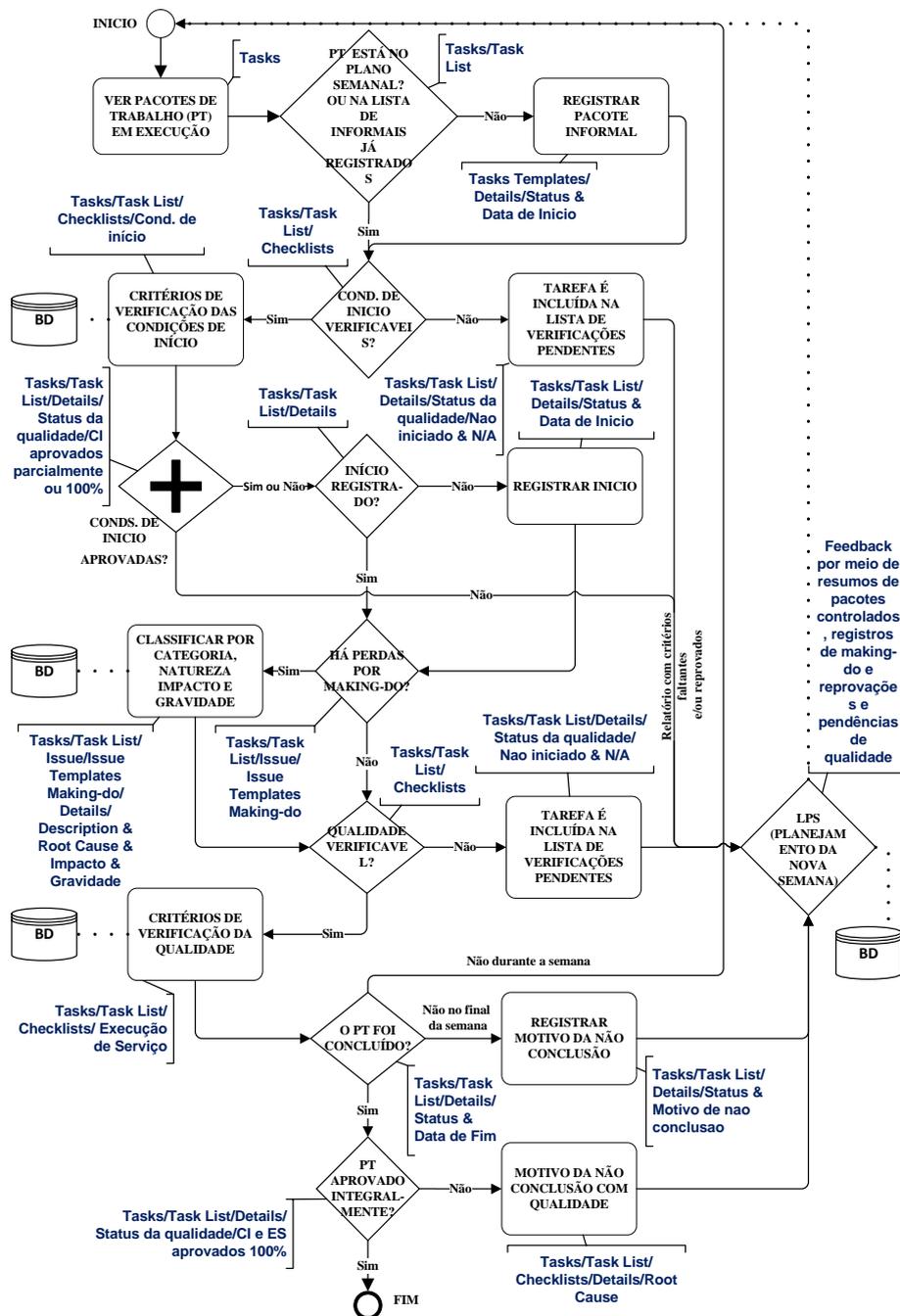


Figura 21: Fluxo de informações do processo de coleta de dados incluindo a nomenclatura do B3F

Dessa forma, no nível estratégico, a integração entre os controles de produção e qualidade ocorre por meio da inclusão dos procedimentos do PCP dentro do sistema de gestão de qualidade, sendo este normalmente desenvolvido para fins de uma certificação com base na norma ISO 9001. Isso se reflete em procedimentos documentados sobre os métodos de execução de cada nível hierárquico do PCP, assim como critérios de avaliação de fornecedores e subempreiteiras, a partir dos indicadores obtidos no planejamento e controle de curto prazo. No entanto, a integração nesse nível pode acontecer em ambos os sentidos, podendo os critérios de qualidade estabelecidos nos procedimentos do sistema de gestão de qualidade ISO 9001 (ABNT, 2015), ser inseridos na definição das datas meta (*milestones*) no planejamento produtivo de longo prazo ou como restrições a serem removidas, no planejamento *look-ahead*, de médio prazo.

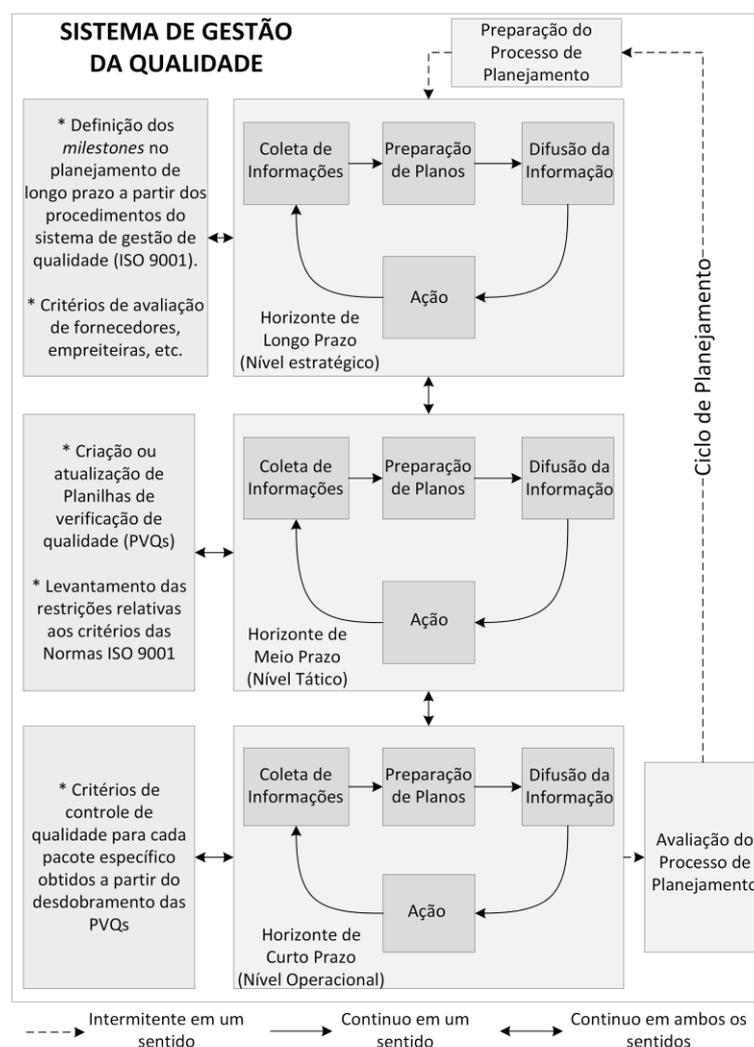


Figura 22: Hierarquização do processo de controle integrado de produção e qualidade, baseado em: De Oliveira (1999) e Sukster (2005)

Dentro do nível tático, a integração ocorre por meio da elaboração das documentações que servem para a coleta de dados, tais como fichas de verificação de serviço (FVS) ou planilhas de verificação de qualidade (PVQ). Esses documentos devem ser associados aos pacotes genéricos definidos para o PCP. Por outro lado, na medida que os pacotes genéricos no médio prazo vão sendo definidos, dependendo da tecnologia e tipologia dos sistemas construtivos utilizados em cada obra, é necessário elaborar novas FVSs/PVQs, caso as mesmas ainda não existirem, ou realizar modificações ou adaptações nos documentos existentes, de forma, por exemplo, a adaptá-las às mudanças nas tecnologias construtivas.

No nível operacional, a integração acontece por meio da realização de controles de produção e qualidade em forma simultânea no canteiro, a partir do desdobramento dos critérios estabelecidos nas planilhas de verificação de qualidade, os quais devem ser vinculados a cada pacote específico. Dessa forma cada pacote específico executado no curto prazo deve possuir os seus próprios critérios de avaliação da qualidade. Nesse nível, consideram-se as tarefas como concluídas somente se as inspeções de qualidade foram aprovadas em sua totalidade. Salienta-se que a integração proposta no modelo de controle integrado, ilustrado na Figura 21, focou-se principalmente neste nível.

5.1.2 Sistema de controle integrado de produção e qualidade

O sistema de controle utilizado neste primeiro estudo empírico compreendeu o modelo de controle integrado, a computação móvel e o BIM, os quais foram operacionalizados por intermédio do aplicativo comercial B3F e o uso de *tablets* com sistema operativo IOS®, respectivamente. O cadastramento de dados gerais no B3F é feito inteiramente desde o *web-app* (interface *web*) (Figura 23), dentro do qual podem ser inseridos os dados gerais da obra, pacotes de trabalho (*tasks*) a serem conferidos, *templates* de *making-do* ou pacotes informais sendo executados, verificações de qualidade (QA/QC *checklists*) e assim por diante. O cadastramento de dados específicos, correspondentes aos pacotes formais planejados nas reuniões de curto prazo (Figura 24), assim como o mapeamento de informações ao modelo BIM (Figura 25), também devem ser feitos mediante a interface *web* do aplicativo.

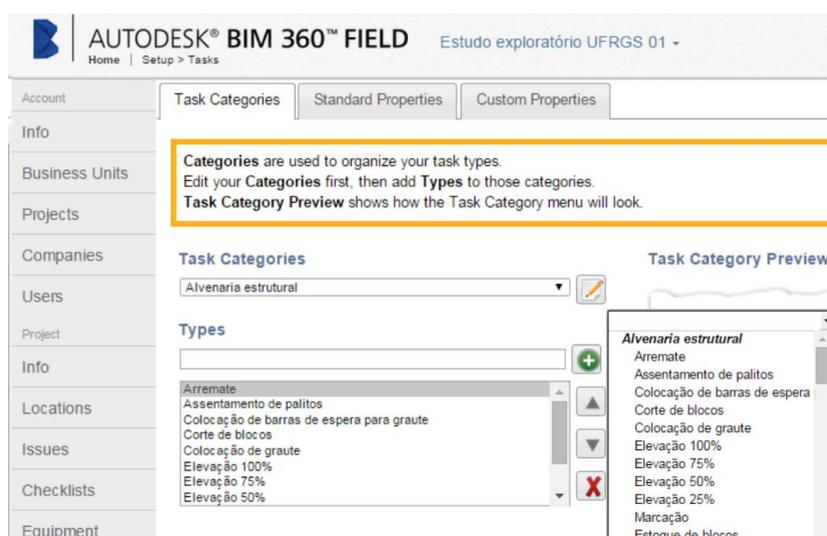


Figura 23: Cadastramento de dados gerais (tipos de pacotes genéricos)

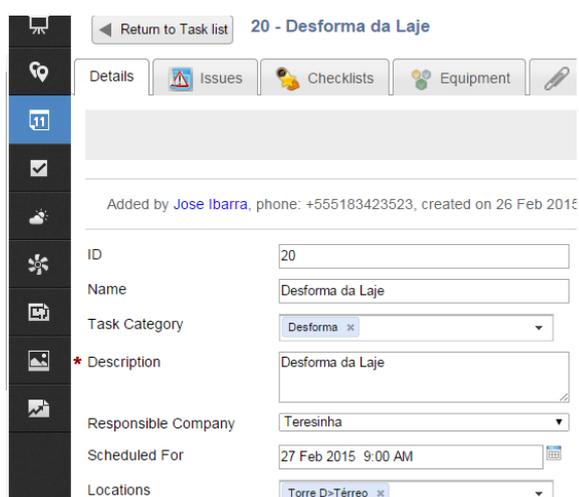


Figura 24: Cadastramento de dados específicos

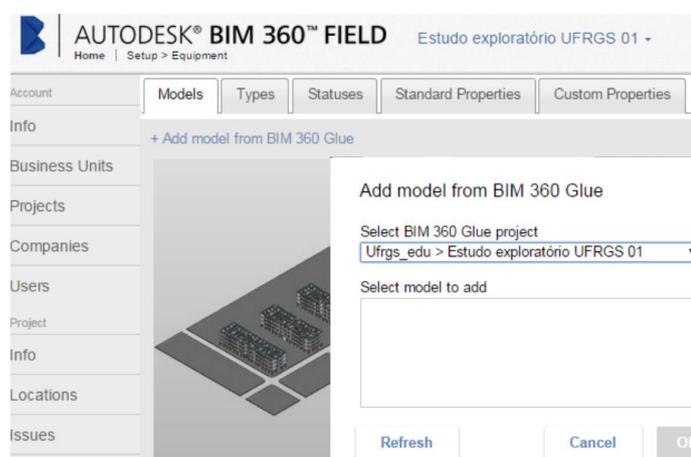


Figura 25: Mapeamento de informações ao modelo BIM

Por outro lado, a coleta de dados no canteiro é feita inteiramente através do aplicativo B3F para *tablets*. As imagens apresentadas na Figura 26 (a), (b) e (c) ilustram as interfaces dos módulos principais de coleta dentro do aplicativo para o controle de produção, qualidade e *making-do*, respectivamente. Finalmente, os resultados obtidos a partir das coletas no canteiro devem ser sincronizados nas nuvens, de forma a poder estruturar as bases de dados para a realização de análises quantitativas e obtenção de relatórios. Nesse sentido, salienta-se que as bases de dados obtidas a partir das coletas realizadas com o B3F (Figura 27), devem ser exportadas em formato de planilhas de cálculo, para proceder posteriormente ao seu processamento (Figura 28).

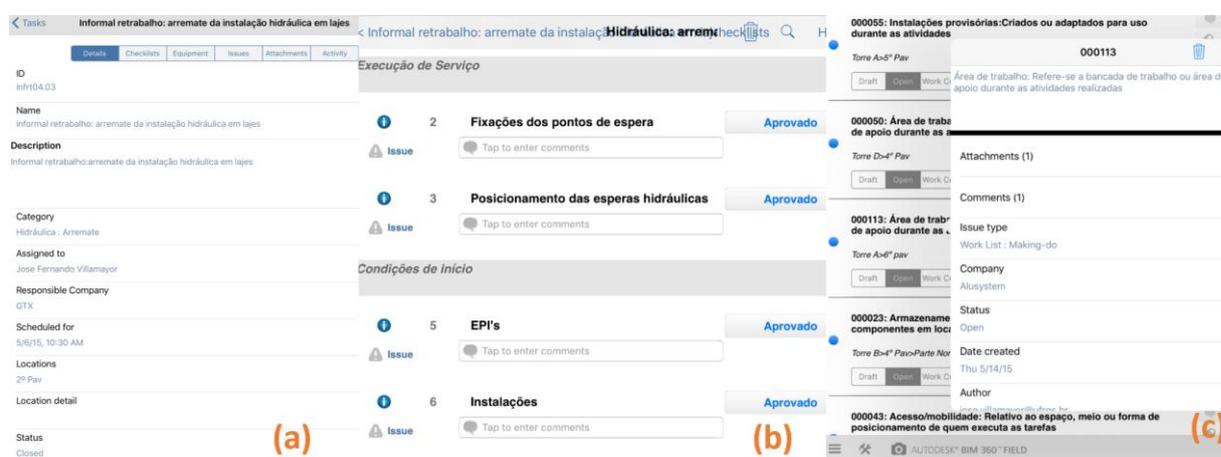


Figura 26: Módulos principais de coleta de dados no canteiro

ID	Name	Status	Description	Responsib Company	Date Created	Scheduled For	Locations	Date Update
05.66	Execução de taliscamento	Open	Execução de taliscam	Lorenzatto	12 May 2015	25 May 2015 0:00	Torre C>6° pav	24 May
05.67	Chumbamento de contramarcos	New	Chumbamento de cor	Lorenzatto	12 May 2015	25 May 2015 0:00	Torre C>6° pav	24 May
05.69	Execução de reboco	Open	Execução de reboco	Lorenzatto	12 May 2015	18 May 2015 12:00	Torre D>4° Pav>Parte Norte	23 May
05.70	Chumbamento de contramarcos	New	Chumbamento de cor	Lorenzatto	12 May 2015	18 May 2015 12:00	Torre D>5° pav	23 May
06.51	Execução de reboco	Open	Execução de reboco	Lorenzatto	17 May 2015	18 May 2015 9:00	Torre D>4° Pav>Parte Sul	23 May
06.52	Arremate de reboco	Open	Arremate de reboco	Lorenzatto	17 May 2015	25 May 2015 0:00	Torre C>2° Pav	24 May
06.53	Arremate de reboco	Open	Arremate de reboco	Lorenzatto	17 May 2015	25 May 2015 0:00	Torre C>3° Pav	24 May
06.54	Arremate de reboco	Open	Arremate de reboco	Lorenzatto	17 May 2015	25 May 2015 0:00	Torre C>4° Pav	24 May

Figura 27: Base de dados criada no B3F após cada coleta semanal

Name	Status	Description	Responsible Com	Date Created	Scheduled For	Locations	Date Updated
5.40 Instalação de lajes pr	Open	Instalação de lajes pr	GEYER	12 May 2015 13:27	11 May 2015 0:00	Torre B>7° pav>Parte	16 May 2015 20:23
5.41 Instalação de lajes pr	Open	Instalação de lajes pr	GEYER	12 May 2015 13:28	11 May 2015 0:00	Torre B>7° pav>Parte	16 May 2015 20:23
5.42 Costura de lajes pré-	New	Costura de lajes pré-	GEYER	12 May 2015 13:30	11 May 2015 0:00	Torre B>7° pav	16 May 2015 20:24
5.43 Instalação da proteçã	Closed	Instalação da proteçã	GEYER	12 May 2015 13:33	11 May 2015 0:00	Torre B>7° pav	13 May 2015 13:51
5.44 Fechamento dos vão	Closed	Fechamento dos vão	PMS	12 May 2015 13:48	11 May 2015 0:00	Torre C>7° pav	15 May 2015 10:14
5.45 Fechamento dos vão	New	Fechamento dos vão	PMS	12 May 2015 13:49	11 May 2015 0:00	Torre B>7° pav	16 May 2015 20:38
5.46 Colocar tela laranja g	Closed	Colocar tela laranja g	PMS	12 May 2015 13:53	11 May 2015 0:00	Torre C>Térreo>Cent	13 May 2015 9:48
5.47 Colocar tela laranja g	Closed	Colocar tela laranja g	PMS	12 May 2015 13:54	11 May 2015 0:00	Torre C>2° Pav>Cent	13 May 2015 9:39
5.48 Colocar tela laranja g	Closed	Colocar tela laranja g	PMS	12 May 2015 14:04	11 May 2015 0:00	Torre C>3° Pav>Cent	13 May 2015 9:38
5.49 Colocar tela laranja g	Closed	Colocar tela laranja g	PMS	12 May 2015 14:05	11 May 2015 0:00	Torre C>4° Pav>Cent	13 May 2015 9:27

Figura 28: Base de dados exportada desde o B3F para o Ms Excel®

5.1.3 Desenvolvimento do método

O desenvolvimento do método para este primeiro estudo compreendeu a elaboração de roteiros para a utilização efetiva do sistema de controle integrado acima apresentado. Esses roteiros foram criados a partir dos testes feitos durante o estudo exploratório e da definição do modelo de controle integrado anteriormente exposto. A seguir, são apresentados os pontos mais importantes de cada um deles.

5.1.3.1 Roteiro de cadastramento de dados gerais e específicos

Foram propostos os seguintes passos para o cadastramento de dados gerais, mediante a interface *web* do B3F:

- a) Realizar o cadastramento das informações básicas do empreendimento, tais como, Nome, Endereço, Superfície construída;
- b) Inserir os dados de lote e instância do empreendimento sugeridos no trabalho de (LEÃO, 2014). A estrutura hierárquica padrão utilizada para este trabalho foi: Torre > Pavimento > Setor ou Apartamento. É conveniente identificar cada lote e instância com códigos numéricos que facilitem a sua filtragem posterior em caso necessário. Por exemplo: Torre A > 6º Pav > Apartamento 603 = 01.06.03;
- c) Realizar o cadastramento dos motivos de não qualidade e natureza do *making-do*;
- d) Executar o cadastramento das categorias de *making-do* em *templates* prontos para serem utilizados diretamente no canteiro durante as coletas de dados. Esses *templates* podem ser posteriormente associados ao modelo BIM ou às plantas do empreendimento, ainda durante a coleta de dados;
- e) Registrar os motivos de não conformidades de qualidade e a natureza do *making-do* mediante os campos do aplicativo relacionados às causas raiz;
- f) Criar os critérios customizados do impacto gerado pelo *making-do*, assim como a sua gravidade;
- g) Inserir os critérios de qualidade a serem avaliados para cada pacote de trabalho dentro dos *checklists* disponibilizados pelo aplicativo;
- h) Importar os modelos BIM do empreendimento a partir do BIM 360™ Glue;
- i) Cadastrar os pacotes genéricos do empreendimento;
- j) Realizar o cadastramento dos motivos de não conclusão de pacotes de trabalho mediante os campos customizáveis do aplicativo;

- k) Criar as categorias e tipos de objetos (subsistemas e elementos construtivos) a serem posteriormente mapeados no modelo BIM; e
- l) Criar as propriedades customizadas tais como *status*, tipo de pacote, semana de controle, a serem utilizadas para o enriquecimento de informações dentro do modelo BIM, a partir dos controles de produção e qualidade no canteiro.

Em relação aos dados específicos, os mesmos devem ser cadastrados, igualmente mediante a interface *web*, conforme aos seguintes critérios:

- a) Uma vez concluído o cadastramento dos dados gerais, a programação de pacotes específicos semanais é inserida no B3F, como uma lista de tarefas;
- b) Fazer posteriormente o detalhamento dos dados que compõem cada pacote específico (isto é, identificação, nome atribuído ao pacote na programação semanal, categoria do pacote genérico, subempreiteira encarregada da tarefa, data estimada para a execução do pacote, lote e instância);
- c) Vincular cada pacote planejado, aos critérios de qualidade a serem avaliados; e
- d) Criar *templates* para os pacotes informais (isto é, informal novo, por retrabalho e por falta de terminalidade). Além disso, deve ser feita uma identificação diferenciada para esses pacotes, de maneira a facilitar a sua filtragem no canteiro de obras, assim como a sua visualização na base de dados do aplicativo.

5.1.3.2 Roteiro de vinculação do modelo BIM ao aplicativo comercial B3F, para a coleta de dados

A vinculação entre os modelos de processo e produto, para este primeiro estudo empírico, foi desenvolvida mediante os seguintes passos:

- a) Exportar o modelo BIM do empreendimento do Revit[®], utilizando o *add-in* de exportação para o Navisworks Manage[®];
- b) Realizar a criação de *sets* dentro do Navisworks Manage[®], de forma a agrupar os objetos BIM pertencentes aos mesmos pacotes de trabalho específicos, previamente planejados no curto prazo;
- c) Exportar o modelo para o BIM 360[™] Glue (B3G), o qual consiste em um aplicativo *web* orientado ao trabalho colaborativo e que utiliza a interface visual do Navisworks Manage[®]. Além disso, o mesmo permite exportar o modelo BIM para a ferramenta de controle no canteiro, B3F;
- d) Abrir e visualizar do modelo BIM no B3G;

- e) Exportar o modelo desde o B3G para o B3F;
- f) Executar o mapeamento (vinculação) dos *sets* do modelo BIM criados no Navisworks Manage®, dentro do B3F, de forma a poder sincronizar os objetos BIM de cada *set* com os dados coletados no canteiro de obras;
- g) Editar os dados dos objetos BIM já mapeados, de forma a poder deixá-los coincidentes com os pacotes de curto prazo, cadastrados segundo o roteiro de cadastramento de dados específicos previamente apresentado. Essa edição inclui a identificação dos *sets* a que pertencem os objetos, seleção do lote e instância, e preenchimento dos *status* de produção, qualidade e tipo de pacote; e
- h) Vincular os *sets* de objetos BIM já mapeados aos pacotes específicos previamente cadastrados e listados (Opcional).

Por outro lado, as atividades executadas após as coletas serem concluídas, no final de cada semana de controle, incluíram:

- a) Atualizar os dados dos objetos BIM já mapeados, de forma a deixá-los coincidentes com as informações coletadas para os pacotes específicos;
- b) Importar o modelo BIM com *sets* já atualizados do B3G para o Navisworks Manage®. Antes de realizar esta importação, pode ser útil complementar o BIM com informações adicionais não cadastradas no início da semana, por exemplo, os pacotes informais coletados no decorrer da semana. Porém, isso pressupõe um trabalho de cadastramento independente e muitas vezes propenso a erros;
- c) Criar e executar os perfis de aparência no Navisworks Manage® mediante a atribuição de cores aos objetos do modelo BIM, de forma a poder visualizar o *status* semanal de produção e qualidade dos pacotes controlados;
- d) Criar relatórios visuais por meio de capturas de tela do modelo BIM sujeito aos distintos perfis de aparência disponíveis; e
- e) Exportar o mapeamento de dados do B3F para o Excel® e salvar o arquivo BIM, com as últimas atualizações de informações.

Salienta-se que, por causa de limitações do aplicativo B3F, o método proposto não permite vincular vários pacotes específicos aos mesmos objetos BIM em forma simultânea. Em consequência, é recomendado utilizar modelos BIM com mapeamentos de *sets* diferentes, para cada semana de controle, de forma a evitar a duplicação de dados no B3F. Ademais, o processo de mapeamento de informações dentro do B3F, resulta muito demorado, instável e propenso a erros quando o modelo BIM for muito pesado (>100 Mb).

5.1.3.3 Roteiro de coleta de dados

O roteiro de coleta de dados dentro do aplicativo B3F, abrangeu as seguintes tarefas:

- a) Registrar o tempo de início de cada coleta;
- b) Selecionar a lista das tarefas planejadas para a semana, aplicando previamente os filtros de lote e data de planejamento dos pacotes;
- c) No caso que a tarefa visualizada no canteiro esteja na lista de pacotes formais previamente cadastrados, realizar primeiramente a avaliação das condições de início do pacote;
- d) A seguir, realizar o preenchimento das informações referentes ao *status* produtivo do pacote;
- e) Registrar as perdas por *making-do* que sejam identificadas nos pacotes formais que estão sendo conferidos. Selecionar a categoria, natureza, impacto e gravidade do *making-do*. É recomendado realizar anotações, tirar fotos e efetuar todos os registros necessários para gerar uma base de dados apropriada, aproveitando as ferramentas disponíveis no aplicativo;
- f) Se for possível, ou seja, se a tarefa estiver suficientemente avançada, realizar também a avaliação da qualidade do pacote sendo executado. É recomendado realizar anotações, tirar fotos e efetuar todos os registros que sejam necessários para gerar uma base de dados apropriada, aproveitando as ferramentas disponíveis no aplicativo. Para cada ocasião na qual a qualidade seja reprovada ou aprovada com restrições, o aplicativo gera automaticamente um registro separado (*issue*) o qual pode ser associado aos seus respectivos motivos de não qualidade, previamente cadastrados;
- g) No caso particular dos pacotes informais que sejam encontrados no canteiro, a coleta deve iniciar a partir dos *templates* de pacotes informais prontos e previamente cadastrados no aplicativo. A partir desse ponto, a sequência de coleta para os mesmos é similar à proposta para os pacotes formais, com exceção da avaliação das condições de início e qualidade dos pacotes. Nesses casos, deve-se primeiramente vincular o pacote informal aos *checklists* de qualidade correspondentes;
- h) No caso particular de perdas por *making-do* que não consigam ser identificadas como pertencentes a pacotes formais ou informais, as mesmas devem ser coletadas a partir de *templates* prontos, podendo nesses casos, ser ainda

vinculadas às plantas do empreendimento. Para isso, as plantas devem ser previamente cadastradas na biblioteca do aplicativo; e

- i) Registrar o tempo de finalização de cada coleta e elaborar um breve relatório das observações realizadas.

Além disso, algumas atividades devem ser executadas no último dia de cada ciclo de controle, ao final da semana. Estas incluíram:

- a) Preencher os motivos de não conclusão dos pacotes formais não concluídos na semana do planejamento. Recomenda-se, igualmente, realizar a análise do possível impacto e gravidade de cada *making-do* coletado em conjunto com o engenheiro ou encarregado da obra, de forma a obter o ponto de vista dele;
- b) Exportar a base de dados da semana para o Excel[®] e processá-la para a obtenção de indicadores como o PPC, PPCQ e PPCR; e
- c) Preparar os resumos das coletas semanais, de maneira a que sirvam como ferramentas de análise e tomada de decisão para as semanas seguintes.

5.1.4 Resultados das coletas semanais, executadas a partir do planejamento de curto prazo

5.1.4.1 Resumo dos dados coletados e dos tempos das coletas diárias.

Em total foram coletados 651 pacotes formais e 332 informais, totalizando uma base de dados com 983 pacotes, obtendo-se assim uma média de 123 pacotes controlados por semana. A Figura 29 resume a coleta de dados deste primeiro estudo empírico, enquanto a Figura 30 apresenta a relação entre os tempos de coleta e a quantidade de elementos coletados. Nesse sentido, salienta-se que para este primeiro estudo empírico não se constatou uma relação direta entre a quantidade de elementos coletados e os tempos de coleta. Isso pode ter acontecido devido à falta de familiaridade com a ferramenta de coleta, e à falta de elevadores no canteiro de obras, nas primeiras 4 semanas do estudo. Além disso, nas seguintes semanas, os elevadores já instalados, apresentaram interrupções no seu funcionamento, o qual ocasionou variações nos tempos de traslado dentro das 4 torres.

	Tempo total de coletas (h)	Tempo médio de coletas (h/d)	Pacotes Formais (un)	Pacotes Informais (un)	Making-do (un)	Reprovações de qualidade (un)
semana 01	6:10	2:03	66	19	5	8
semana 02	7:25	2:28	48	2	6	6
semana 03	8:03	2:00	49	41	3	17
semana 04	11:53	2:22	76	57	7	23
semana 05	5:15	1:45	89	63	3	12
semana 06	5:42	1:54	93	62	3	16
semana 07	4:10	2:05	132	39	3	7
semana 08	7:20	2:26	98	49	7	16
Total	55:58	2:09	651	332	37	105

Figura 29: Resumo de elementos coletados no primeiro estudo empírico

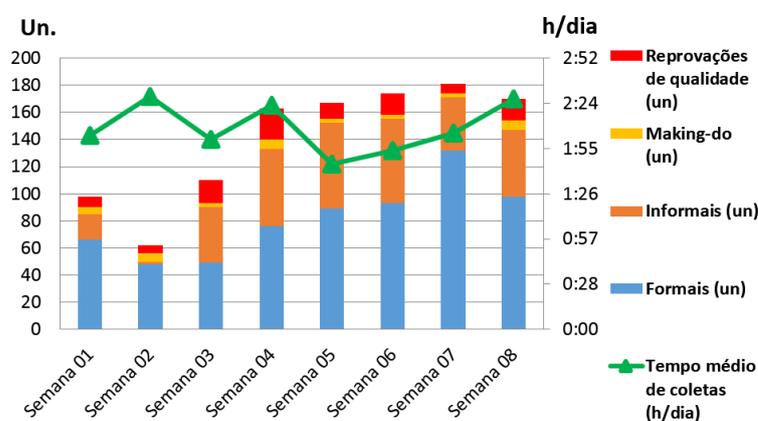


Figura 30: Relação entre os tempos de coleta e os eventos observados no primeiro estudo empírico

5.1.4.2 Processamento de dados correspondentes às tarefas programadas no curto prazo.

A Figura 31 apresenta a evolução do *status* dos pacotes formais planejados nas reuniões de curto prazo, enquanto a Figura 32 mostra a porcentagem de pacotes concluídos (PPC). Salienta-se que, a obra esteve embargada nas primeiras duas semanas, o que explica o PPC mais baixo para essas semanas. No entanto, os valores de PPC para as seguintes semanas foram muito variáveis e em média baixos, apenas superando 50% na semana 3.

Uma justificativa para esses baixos valores de PPC pode ser obtida a partir das Figuras 29 e 30, as quais mostram a elevada quantidade de pacotes informais coletados a partir da semana 3. A Figura 32 também apresenta os valores da porcentagem de pacotes informais concluídos (PPIC), indicador sugerido pelo presente autor, de forma a avaliar a conclusão dos pacotes informais durante a semana de controle. De fato, a mesma Figura 32 indica valores de PPIC que tenderam a ser maiores ou iguais aos valores de PPC, podendo isso ser interpretado como

um maior esforço por parte dos trabalhadores para a conclusão dos pacotes informais, em lugar dos compromissos formalmente assumidos nas reuniões de curto prazo.

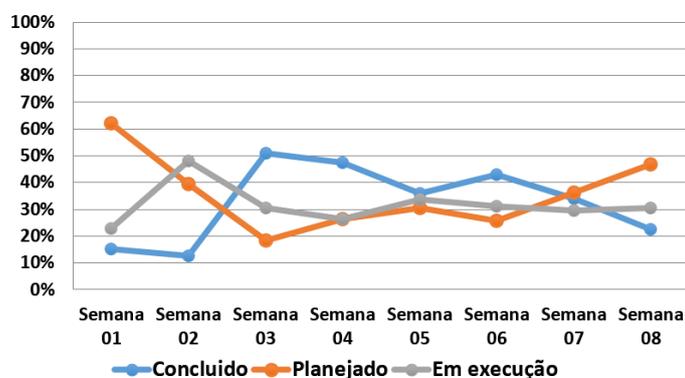


Figura 31: Evolução do *status* dos pacotes formais

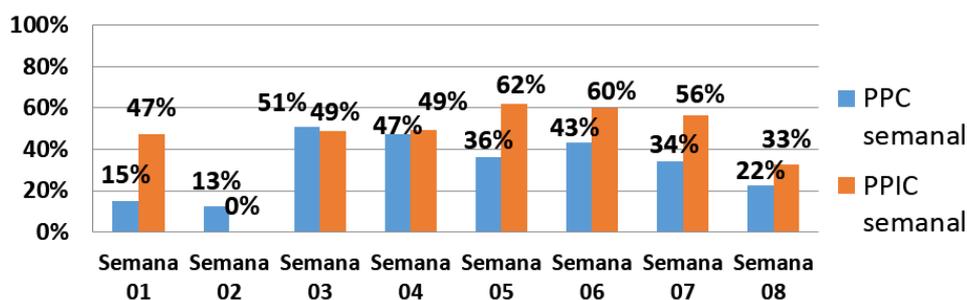


Figura 32: Comparativa entre PPC e PPIC nas distintas semanas

Porém, um ponto importante que pode ter contribuído para isso, e que foi percebido por meio da participação nas reuniões PCP e observação direta de processos de coleta, consiste na elevada parcela de equipes que não tinham representantes nas reuniões de planejamento de curto prazo, principalmente por decisão do engenheiro da obra, tais como as subempreiteiras de montagem de painéis de gesso acartonado, de instalação de tubulações de gás, de instalação de guarda-corpos de escada, de colocação de contramarcos, de colocação de peitoris em janelas, de instalação e manutenção dos elevadores e o fornecedor de lajes pré-moldadas. Assim, mediante a contagem dos pacotes correspondentes a esses agentes, estimou-se que a influência desses casos foi de aproximadamente 23%, sobre o total dos pacotes informais coletados. Além disso, frequentemente essas reuniões aconteciam de forma fragmentada, isto é, início das mesmas sem contar com representantes de todas as subempreiteiras, conduzindo os tópicos conforme os presentes no momento. Em consequência, as reuniões apresentavam atrasos consideráveis, falta de assistência de algumas subempreiteiras decorrente da informalidade do

processo e problemas de comunicação entre subempreiteiras com tarefas interdependentes. Notou-se ainda, que as reuniões de curto prazo eram frequentemente utilizadas para a discussão de problemas técnicos da obra, o que contribuía para aumentar a duração das mesmas de forma substancial.

Na Figura 33, é feita uma comparação porcentual entre os pacotes formais e informais, notando-se uma elevada parcela (acima de 40%) de pacotes informais entre as semanas 3 a 6. Além disso, a Figura 34 mostra a distribuição dos pacotes informais, sendo predominantes os informais novos, os quais atingiram 40% do total de pacotes controlados na semana 3. Os pacotes informais de falta de terminalidade, alcançaram o pico máximo do 20%, em relação ao total de pacotes controlados, na semana 8. Por outro lado, os pacotes informais de retrabalho se mantiveram sempre na ordem do 10% do total dos pacotes controlados.

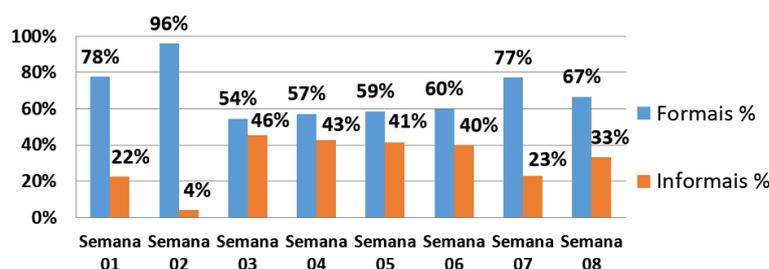


Figura 33: Distribuição de pacotes formais e informais nas distintas semanas

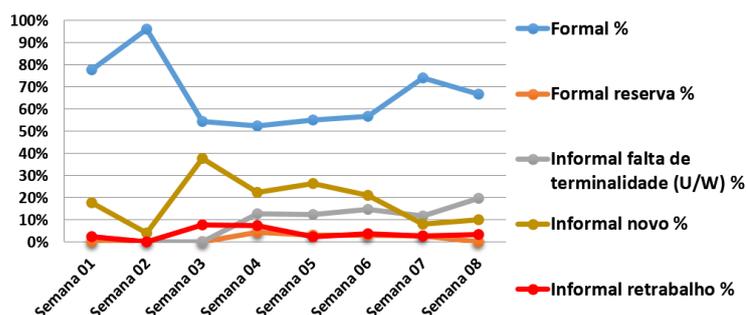


Figura 34: Tipos de pacotes distribuídos nas distintas semanas

Por outro lado, a análise dos motivos de não conclusão dos pacotes formais foi realizada mediante uma estratificação dos pacotes genéricos que apresentaram maiores casos de não conclusão, ponderando esses casos, em relação ao total de vezes que esses pacotes foram executados, concluindo efetivamente ou não concluindo eles. Assim, foi feita uma divisão ABC, dando maior prioridade à análise dos motivos de não conclusão dos pacotes que ficaram

no grupo A, os quais foram representativos pelo 70% das não conclusões registradas (Figura 35). Dessa forma os motivos de não conclusão mais importantes para os pacotes formais do grupo A, foram: (a) motivo não especificado; (b) baixa produtividade (mesma equipe); e (c) atraso da tarefa antecedente de terceiros (Figura 36).

Pacotes genéricos	Concluído	Planejado	Em execução	Total Geral	% Acumulado	
Alvenaria vedação: Elevação	4	44	4	52	11,0%	A
Reboco: Execução	17	11	31	59	20,7%	
Gás: Canaleta	14	17	15	46	28,0%	
Esquadria: Preenchimento contramarco	10	21	7	38	34,5%	
Gás: Grauteamento laje	4	18	4	26	39,5%	
Hidráulica: Instalação das redes verticais	12	4	20	36	45,1%	
Reboco: Arremate		7	7	14	48,3%	
Hidráulica: Instalação das redes horizontais	14	4	17	35	53,1%	
Gesso: Perfis estruturais para o forro	3	10	2	15	55,9%	
Gesso: Perfis montantes da estrutura da parede	3	10	2	15	58,6%	
Elétrica: Fiação	6	3	10	19	61,6%	
Reboco: Taliscamento	5	2	11	18	64,6%	
Laje pré-moldada: Instalação	14	11	5	30	68,3%	
Elétrica: Instalação de tubulações	4	5	6	15	70,8%	
Outros (grupo B)	55	57	48	160	94,9%	B
Outros (grupo C)	51	10	12	73	100,0%	C
Total Geral	216	234	201	651		

Figura 35: Estratificação ABC dos pacotes genéricos

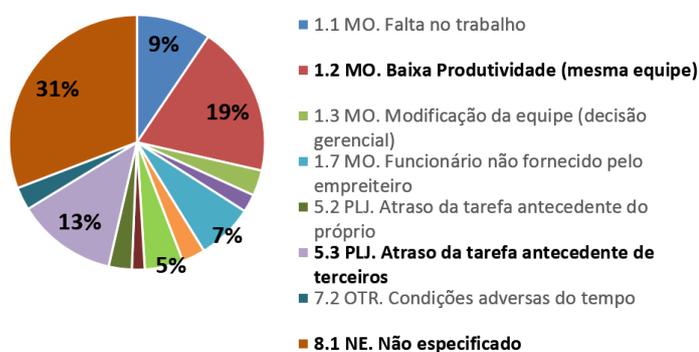


Figura 36: Motivos de não conclusão para os pacotes do grupo A

Em relação ao motivo de não conclusão principal, identificado como “não especificado”, destaca-se que o mesmo procede de situações em que o engenheiro da obra deu como concluídos pacotes formais que ainda apresentavam falta de terminalidade. O pesquisador percebeu que isso aconteceu muitas vezes por desconhecimento do avanço real das tarefas, e também como uma forma de tentar elevar o PPC semanal da obra, repassado posteriormente para a gerência da empresa. Nesses casos, as atividades formais não concluídas durante a semana, passaram a ser consideradas pelo pesquisador, como informais de falta de

terminalidade na semana seguinte, evitando-se, assim, perdas de informação no monitoramento dos pacotes.

5.1.4.3 Processamento de dados correspondentes às coletas de perdas por *making-do*.

Os registros de ocorrências de *making-do* permitiram analisar os seus vínculos com os pacotes formal e informalmente executados, assim como determinar as suas categorias e naturezas predominantes. Dessa maneira, foi estabelecido que as ocorrências de *making-do* estiveram ligadas em 57% a pacotes formais, em 30% a pacotes informais e em 13% a atividades sem pacote definido (Figura 37). Assim, 3% dos pacotes de trabalho, tanto formais, quanto informais, apresentaram perdas por *making-do*. As categorias mais frequentes corresponderam a área de trabalho, ajustes de componentes e instalações provisórias (Figura 38). Tendo em vista a sua natureza, a mão de obra foi a causa mais reiterada, seguida dos equipamentos/ferramentas e instalações, respectivamente (Figura 39).

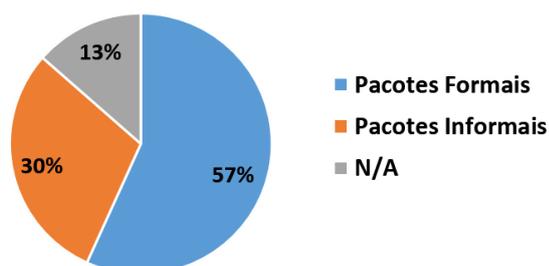


Figura 37: Distribuição do *making-do* em relação ao tipo de pacotes controlados considerando todas as semanas

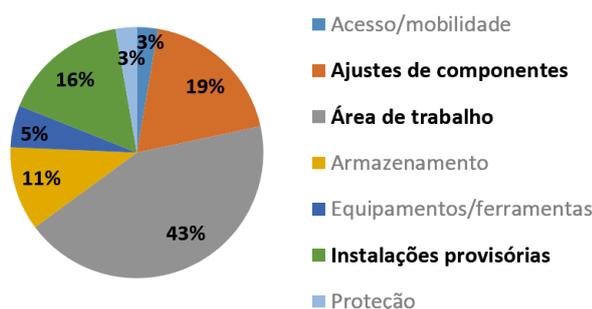


Figura 38: Registros de *making-do* em relação a sua categoria considerando todas as semanas

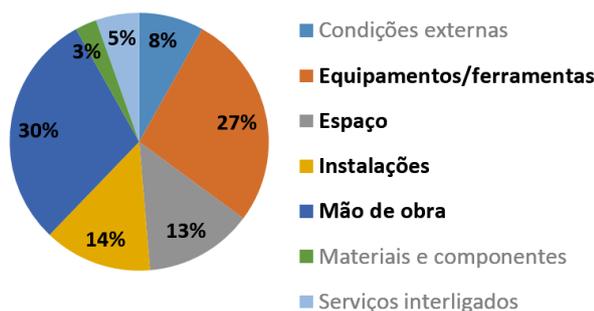


Figura 39: Registros de *making-do* em relação a sua natureza considerando todas as semanas

A Figura 40 mostra dois casos de perdas por área de trabalho. Nesse sentido, as Figuras 40 (a) e (b) mostram a ocorrência mais frequente de *making-do*, a qual consistiu no corte de blocos cerâmicos fora da central de corte e sem utilizar bancadas de trabalho apropriadas para tal tarefa. Quando consultada sobre esta situação, a representante da sub-empresiteira encarregada destes cortes justificou a circunstância dizendo que não contava com a mão de obra qualificada para a realização dos cortes na central naquele momento. Houve outras ocorrências relevantes relacionadas à categoria de área de trabalho, apresentadas nas Figuras 40 (c) e (d), tais como cortes e ajustes de peças de contramarcos de alumínio e perfis para forro de gesso, os quais eram normalmente executados no chão e sem ferramentas apropriadas para garantir a segurança e condições ergonômicas do trabalhador.

A Figura 41 ilustra três casos de *making-do* relacionados à categoria de ajuste de componentes. A Figura 41 (a) mostra a realização de vedações das lajes pré-moldadas utilizando sacos de cimento e restos de argamassa, de forma a evitar a passagem de água de um andar para o outro nos dias de chuva. A Figura 41 (b) mostra o ajuste feito às esperas para o encaixe das vigas pré-moldadas durante o processo de montagem das mesmas. Outro caso incluído nesta categoria, apresentado na Figura 41 (c), foi a queima de tubulações de esgoto para evitar a entrada de sujeira na rede previamente concluída, em lugar de utilizar acessórios ou tampas de pvc disponíveis no mercado. Na Figura 42 podem ser observados três casos correspondentes à categoria de instalações provisórias. Assim, as Figuras 42 (a) e (b) apresentam casos de cabos de ferramentas e uma mangueira para o abastecimento de água pendurados nas paredes e da fiação elétrica, respectivamente. As Figuras 42 (c) e (d) mostram uma tubulação de abastecimento de água para a argamassadeira atravessando paredes e rebocos concluídos.



Figura 40: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria área de trabalho



Figura 41: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria ajuste de componentes



Figura 42: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria instalações provisórias

Por outro lado, os maiores impactos do *making-do* foram, em ordem decrescente, a redução de segurança, de produtividade e qualidade, estando esses, na maioria dos casos, associados à categoria de área de trabalho (Figura 43). Tendo em consideração à gravidade, a mesma foi categorizada pelo pesquisador de 0 a 5, conforme a pontuação sugerida por Rocha (2015), em que zero significa que não há impacto negativo, e cinco que a ocorrência é muito grave, gerando impactos relevantes. Nesse sentido, a categoria com maior gravidade foi a dos equipamentos/ferramentas (Figura 43), registrando-se nesses casos situações em que os

trabalhadores executaram tarefas em andares superiores, perto de janelas abertas, desprotegidas, e na maioria dos casos, sobre escadas ou elementos adaptados não recomendados para tais atividades (Figura 44).

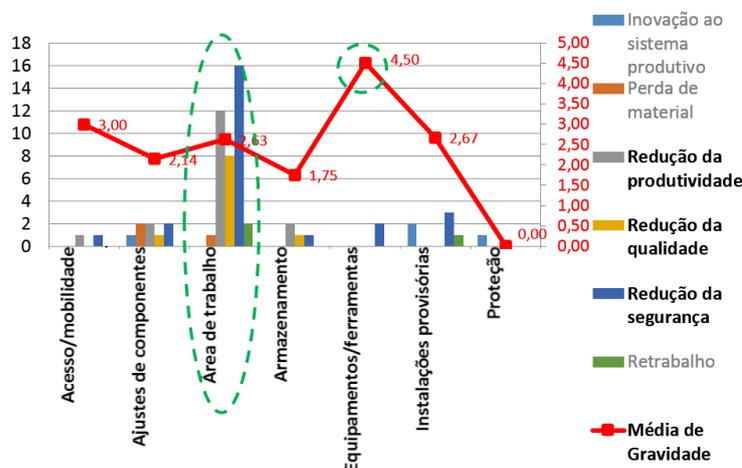


Figura 43: Relação entre impacto, gravidade e categoria do *making-do*



Figura 44: Perdas por *making-do* que apresentaram a maior gravidade

Por outro lado, ainda foi feita uma análise estratificada das ocorrências de *making-do* em relação aos pacotes genéricos aos quais os mesmos pertenceram. Assim, o pacote genérico pertencente ao grupo A que apresentou maior quantidade de ocorrências de *making-do* foi a elevação de alvenaria estrutural, seguido da instalação de vigas pré-moldadas e da colocação de graute em alvenaria estrutural (Figura 45). Nesse sentido, os pacotes pertencentes ao grupo A com a maior gravidade do *making-do* foram a retirada de escoras dos vãos e a execução de rebocos (Figura 46).

Pacotes Genéricos	Ocorrências de Making-do	%	% Acumulado	
Alvenaria estrutural: Elevação 100%	8	22%	22%	A
N/A (Sem pacote)	5	14%	35%	
Viga pré-moldada: Instalação	2	5%	41%	
Alvenaria estrutural: Colocação de graute	2	5%	46%	
Reboco: Execução	2	5%	51%	
Esquadria: Contramarcos	2	5%	57%	
Alvenaria estrutural: Marcação	2	5%	62%	
Alvenaria estrutural: Retirada de escoras dos vão	1	3%	65%	
Gás: Canaleta	1	3%	68%	
Gás: Grauteamento laje	1	3%	70%	
Outros (grupo B)	7	19%	89%	
Outros (grupo C)	4	11%	100%	C
Total Geral	37	100%		

Figura 45: Estratificação ABC das ocorrências de *making-do* em relação aos pacotes genéricos

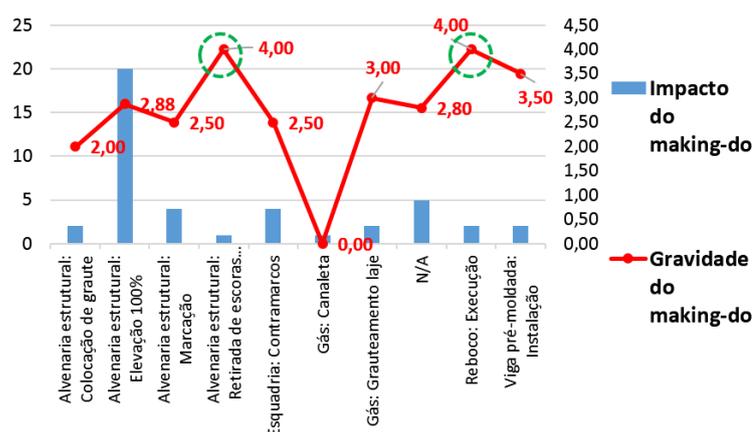


Figura 46: Impacto e Gravidade das ocorrências de *making-do* pertencentes ao grupo A

5.1.4.4 Processamento de dados correspondentes aos registros de reprovações de qualidade.

Considerando os tipos de dados coletados, foram sugeridos indicadores novos para a avaliação da qualidade na execução dos pacotes formais e informais, os quais foram adicionados aos indicadores PPCQ e PPCR, propostos por Sukster (2005), apresentados previamente. São eles:

- PPCQR (porcentagem de pacotes concluídos com qualidade reprovada), que consiste na relação entre o número de pacotes concluídos com qualidade reprovada (incluindo os aprovados com restrições) e o número de pacotes concluídos total. Nesse sentido, ressalta-se que a reprovação de só um dos critérios de qualidade em cada pacote específico, gera a sua reprovação total;

- b) PPCQP (porcentagem de pacotes concluídos com qualidade parcial), que consiste na relação entre o número de pacotes concluídos com qualidade parcial e o número de pacotes concluídos total.

Esses indicadores foram estabelecidos devido à necessidade de avaliar a quantidade de trabalho em progresso relativo aos controles de qualidade. No caso particular do Empreendimento A, foi percebido que a falta de designação de um responsável pelas tarefas de controle de qualidade por parte da Empresa X, ocasionou uma grande quantidade de avaliações parciais, tendo em vista que a maior parte dos critérios de qualidade a serem avaliados requeriam da utilização de ferramentas, tais como prumo, esquadros e escantilhões, as quais deviam ficar a cargo desta pessoa designada (Figura 47).

Devido a essas limitações, as avaliações de qualidade em geral eram feitas somente de forma visual, podendo ser observado que a qualidade parcial (PPCQP), chegou até o pico de 70% do total dos pacotes formais concluídos, na semana 2, e até 60% dos pacotes informais concluídos na semana 3 (Figura 48). Em relação às reprovações de qualidade, o PPCQR medido, manteve-se entre 10 a 20% dos pacotes concluídos, formais e informais (Figura 48). Em função destes problemas, o PPCR foi ligeiramente superior a 20% do total de pacotes formais executados (Figura 49), nas semanas 6 e 7, e ficou perto do 30% do total de pacotes informais executados, nas semanas 1 e 6 (Figura 50).



Figura 47: Verificações de qualidade executadas de forma pontual, utilizando ferramentas fornecidas no canteiro

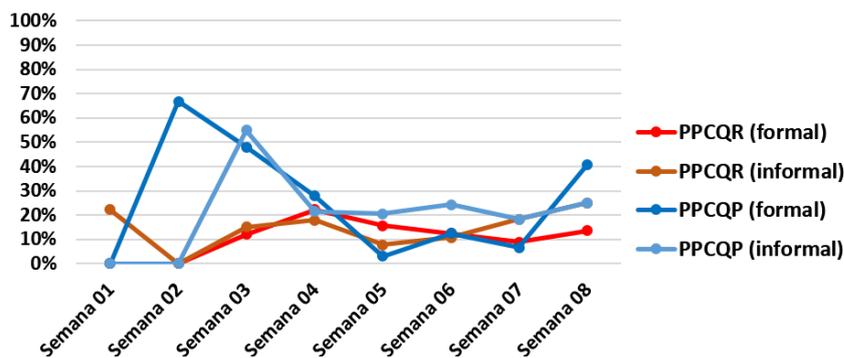


Figura 48: Avaliações de qualidade parciais (PPCQP) e reprovações de qualidade (PPCQR) em pacotes formais e informais

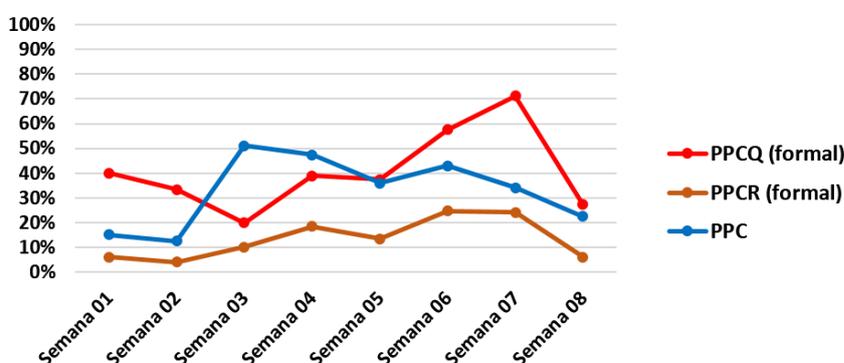


Figura 49: PPC, PPCQ e PPCR em pacotes formais

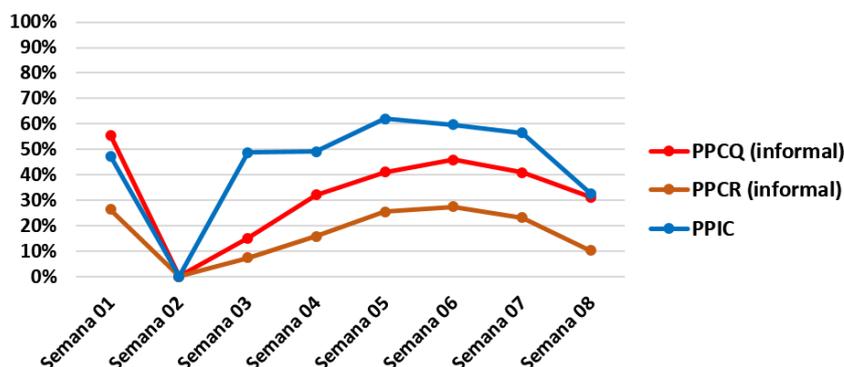


Figura 50: PPIC, PPCQ e PPCR em pacotes informais

Ressalta-se, que as reprovações de qualidade estiveram vinculadas em 58% aos pacotes formais, e, por conseguinte, em 42% aos pacotes informais (Figura 51). Dessa forma, 9% do total de pacotes formais e 7% dos pacotes informais apresentaram reprovações de qualidade. Os principais motivos de não qualidade identificados pelo presente estudo em linhas gerais foram: (a) a negligência da força de trabalho; (b) baixa instrução da força de trabalho; e (c) o sequenciamento das atividades (Figura 52).

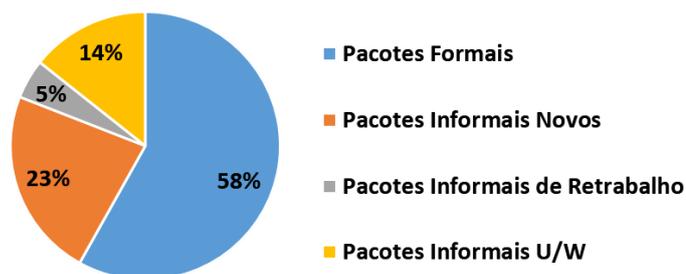


Figura 51: Reprovações de qualidade em função ao tipo de pacote considerando todas as semanas

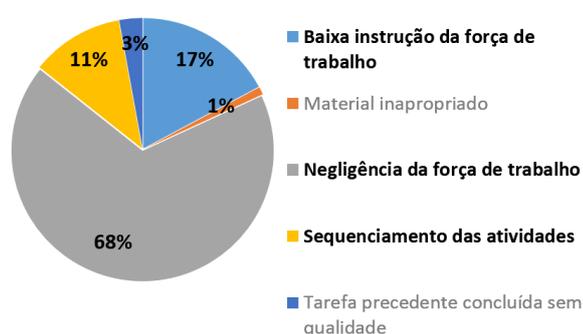


Figura 52: Motivos de não qualidade considerando todas as semanas

Além disso, a estratificação dos critérios de qualidade reprovados em função aos pacotes genéricos aos quais pertenciam (Figura 53), identificou que os pacotes de execução de reboco, elevação de alvenaria estrutural e taliscamento corresponderam a até 70% das reprovações de qualidade. Os principais motivos de não qualidade para estes pacotes, apresentados nas Figuras 54 (a), (b) e (c) corresponderam à negligência e à baixa instrução da força de trabalho. Nesse sentido, a Figura 55 apresenta três casos de reprovações de rebocos. A Figura 55 (a) mostra a falta de desempenho e limpeza superficial, as Figuras 55 (b) e (c) apresentam a falta de regularidade dos cantos, e a Figura 55 (d) a má execução dos requadros. Igualmente, a Figura 56 apresenta dois casos de reprovação de alvenarias estruturais. As Figuras 56 (a) e (b) mostram falhas no preenchimento e uniformidade das juntas verticais, enquanto a Figura 56 (c) apresenta defeitos no prumo. Finalmente, a Figura 57 exibe dois casos de reprovações do taliscamento. Assim, a Figura 57 (a) apresenta a falta de uniformidade na espessura, enquanto a Figura 57 (b) mostra a queda das taliscas prontas.

Pacote Genérico / Critérios reprovados	Total	%	% Acum	
Reboco: Execução	51	49%	49%	A
Desempeno	13			
Limpeza	10			
Regularidade de cantos	8			
Contramarcos	7			
Taliscamento	6			
Outros	7			
Alvenaria Estrutural: Elevação 100%	12	11%	60%	
Juntas verticais	11			
Prumo final	1			
Reboco: Taliscamento	9	9%	69%	B
Espessura das taliscas	4			
Distribuição das taliscas	3			C
Outros	2			
Outros (grupo B)	21	20%	89%	
Outros (grupo C)	12	11%	100%	
Total Geral	105	100%		

Figura 53: Estratificação dos critérios de qualidade reprovados em função ao pacote genérico

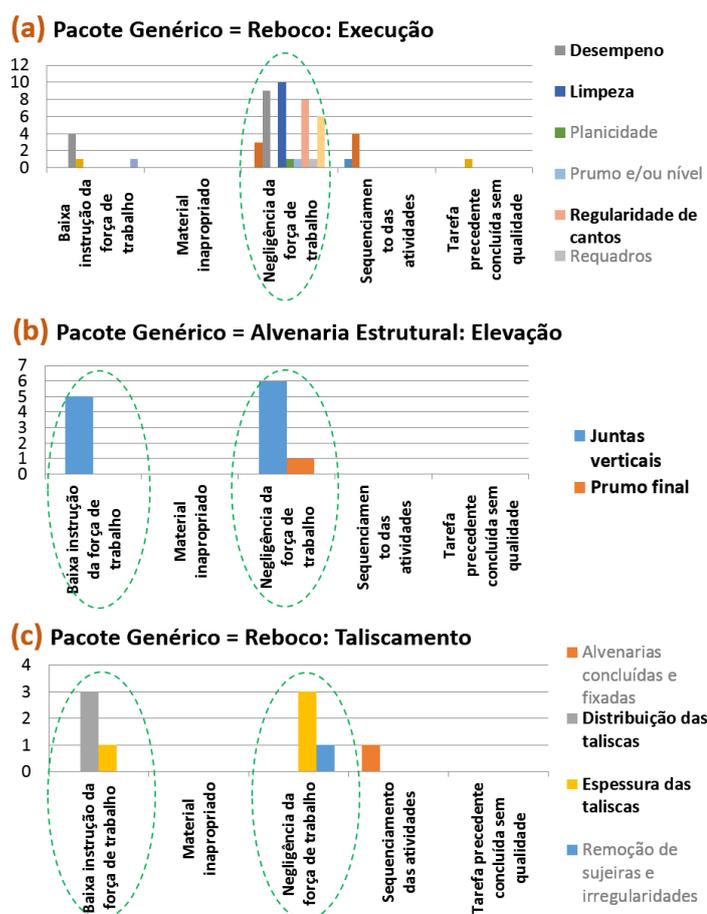


Figura 54: Motivos de não qualidade e critérios reprovados nos pacotes genéricos pertencentes ao grupo A



Figura 55: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de reboco

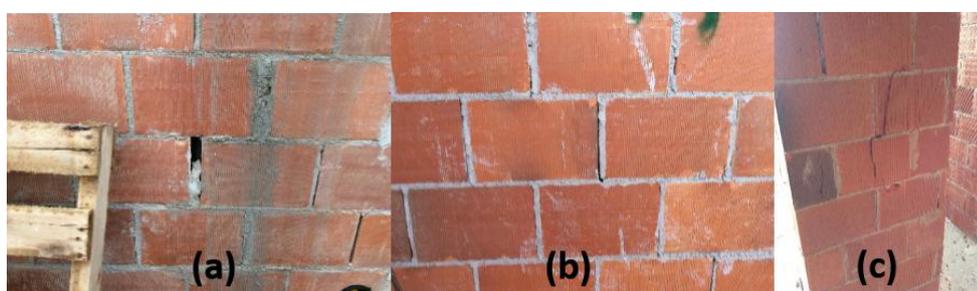


Figura 56: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de elevação de alvenaria estrutural

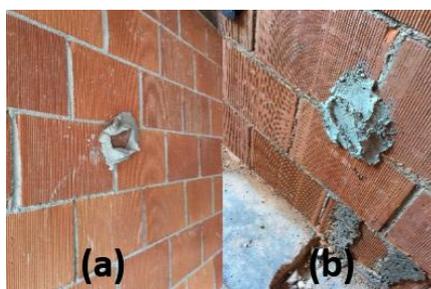


Figura 57: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de taliscamento

A Figura 58 apresenta o terceiro motivo de não qualidade mais frequente, de sequenciamento de atividades. O mesmo foi principalmente relacionado aos retrabalhos que surgiram a partir da colocação de contramarcos sem ter sido executado o reboco, da quebra da alvenaria estrutural pronta para a colocação de eletrodutos que foram esquecidos ou da execução de chapisco sem ter as taliscas prontas, conforme ao ilustrado nas Figuras 58 (a), (b) e (c), respectivamente. Outro caso muito comum de reprovação de qualidade consistiu na falha no preenchimento com

graute da alvenaria estrutural (Figura 59), cujo principal motivo de não qualidade foi igualmente relacionado à negligência da força de trabalho.



Figura 58: Reprovações de qualidade registradas por causa do mau sequenciamento das tarefas



Figura 59: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de colocação de graute em alvenaria estrutural

5.1.4.5 Visualização dos dados no modelo BIM.

A vinculação entre os modelos de processo e produto, realizada neste primeiro estudo empírico, foi atingida mediante o mapeamento e exportação das informações coletadas no B3F, para o B3G e finalmente para o Navisworks Manage[®], o qual foi detalhado no item 5.1.3.2.

Salienta-se que não se conseguiu utilizar o BIM como ponto de partida para a execução das coletas de informações no canteiro. Isso aconteceu devido às limitações apresentadas pelo aplicativo comercial B3F para o reconhecimento como entidades autônomas dos *sets* criados previamente dentro do Navisworks[®], contendo os grupos de objetos BIM correspondentes a cada pacote de trabalho. Em lugar de fazer isso, o B3F desdobra o conjunto de objetos BIM que constituem os *sets* em cada uma das suas instâncias (ou objetos BIM individuais), precisando-se assim que o cadastramento de dados no canteiro seja feito dentro de cada um dos objetos BIM que conforma o *set* (ou pacote de trabalho específico). Esta dificuldade inviabilizou a utilização do modelo de produto como o ponto de partida para as coletas diárias.

As Figuras 60 (a) e (b) ilustram a visualização das informações coletadas no canteiro dentro do B3F, enquanto a Figura 60 (c) apresenta as informações coletadas no canteiro logo de ser exportadas para o B3G. Por sua vez, a Figura 61 apresenta os resumos visuais correspondentes à última semana do estudo dentro do modelo BIM do empreendimento. As Figuras 61 (a) e (b) apresentam o *status* da produção, enquanto as Figuras 61 (c) e (d) mostram o *status* da qualidade e tipo de pacotes controlados, respectivamente.

Salienta-se que previamente à execução dessa vinculação, o empreendimento foi modelado com o uso do *software* Revit[®], com um nível de desenvolvimento básico (LOD 200). Devido a esse nível de desenvolvimento baixo, deveriam normalmente ser agrupados durante a semana de controle, vários pacotes de trabalho para os mesmos objetos BIM dentro do modelo. Isso ocasionou a necessidade de ter que escolher qual desses pacotes era o mais representativo do conjunto, de forma a apresentá-lo no resumo semanal. Assim, só pôde ser feita a vinculação efetiva de um pacote de trabalho para cada objeto BIM de cada vez, o que acarretou na necessidade de utilizar diferentes arquivos BIM para as distintas semanas de controle, de forma a evitar a aparição de erros de mapeamento, ou seja, durante a vinculação entre as informações coletadas e os objetos BIM no B3F.

Foram feitos testes dentro dos aplicativos mencionados, indicando que é possível aumentar o nível de desenvolvimento do modelo de forma a poder associar cada pacote com o seu respectivo objeto BIM. No entanto, isso suporia um esforço maior tanto para a modelagem, quanto para o mapeamento posterior das informações coletadas no canteiro, o que provavelmente não viabilizaria o procedimento, em termos do tamanho dos arquivos a serem gerenciados e do tempo disponível durante a semana para o desenvolvimento dessas atividades. Aliás, o método de vinculação proposto no item 5.1.3.2 apresentou instabilidade principalmente durante esse processo de mapeamento dentro do B3F. Isso foi atribuído ao não reconhecimento dos identificadores individuais de cada objeto BIM, GUID¹⁸ e Element ID, criados automaticamente pelos aplicativos da Autodesk[®].

¹⁸ O **GUID** (*Globally Unique Identifier*) consiste em um número de 16-bytes, ou 128 bits, o qual é comumente dividido em diferentes comprimentos e escrito em agrupações de 8-4-4-4-12 caracteres hexadecimais, ou seja, 32 caracteres para representar os 16 bytes (TAMMIK, 2009). Embora não seja possível garantir que cada GUID seja único, o número total de combinações únicas (isto é, 2^{128} ou 3.4028×10^{38}), é tão grande, que a possibilidade de gerar o mesmo número duas vezes pode ser considerada como nula.

Em relação ao tamanho dos arquivos utilizados para o processo de vinculação, constatou-se que quanto maior o tamanho do arquivo, maior resulta a demora dos processos de importação e exportação e também é maior a propensão a ocorrência de erros durante o mapeamento de informações. Todas essas limitações levaram à necessidade de propor um método mais eficiente para a vinculação entre os modelos de processo e produto, o qual foi desenvolvido para o segundo estudo empírico desta pesquisa.

Finalmente, resulta importante mencionar que o *feedback* obtido a partir das reuniões mantidas com os gerentes de produção e qualidade da Empresa X destacou a importância da utilização do modelo BIM com dados provenientes do canteiro de obras, de forma a facilitar a identificação dos lotes de trabalho sendo executados, a localização espacial dos mesmos no canteiro e a visualização do avanço real da obra.

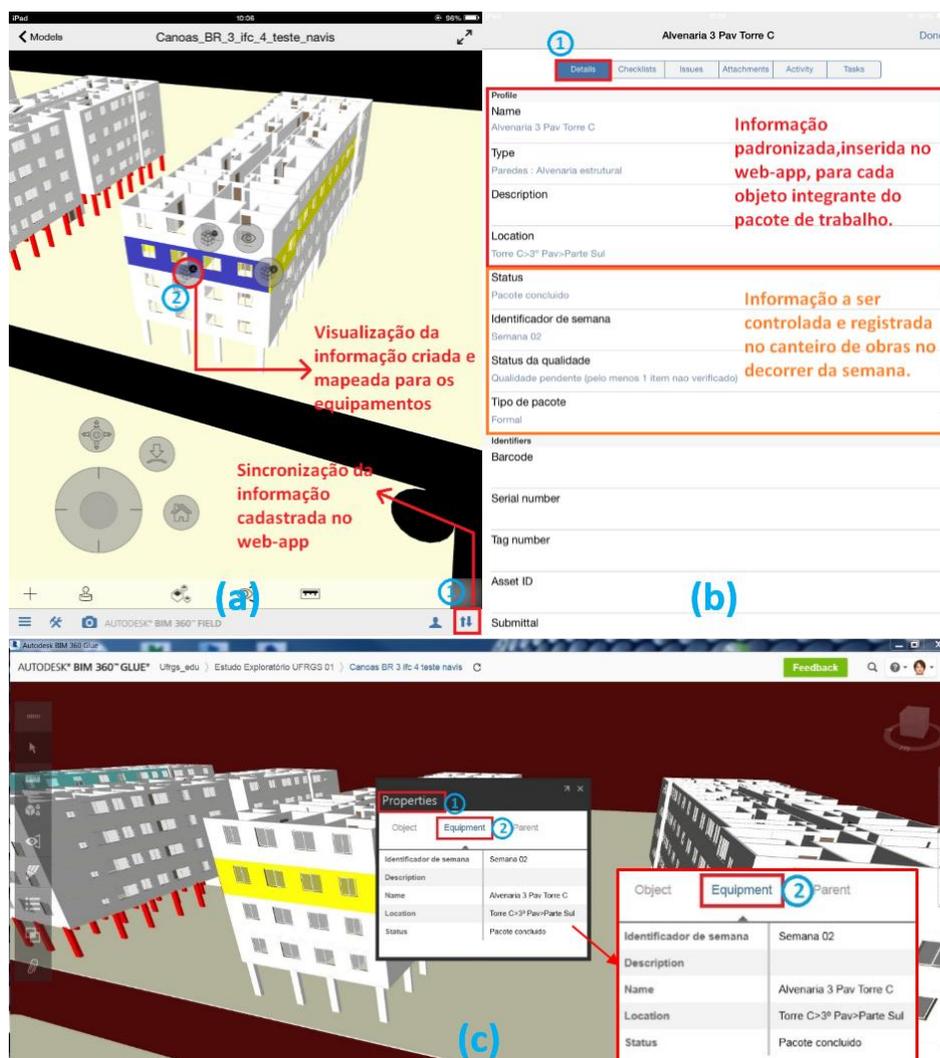


Figura 60: Visualização das informações coletadas no canteiro dentro do B3F e B3G

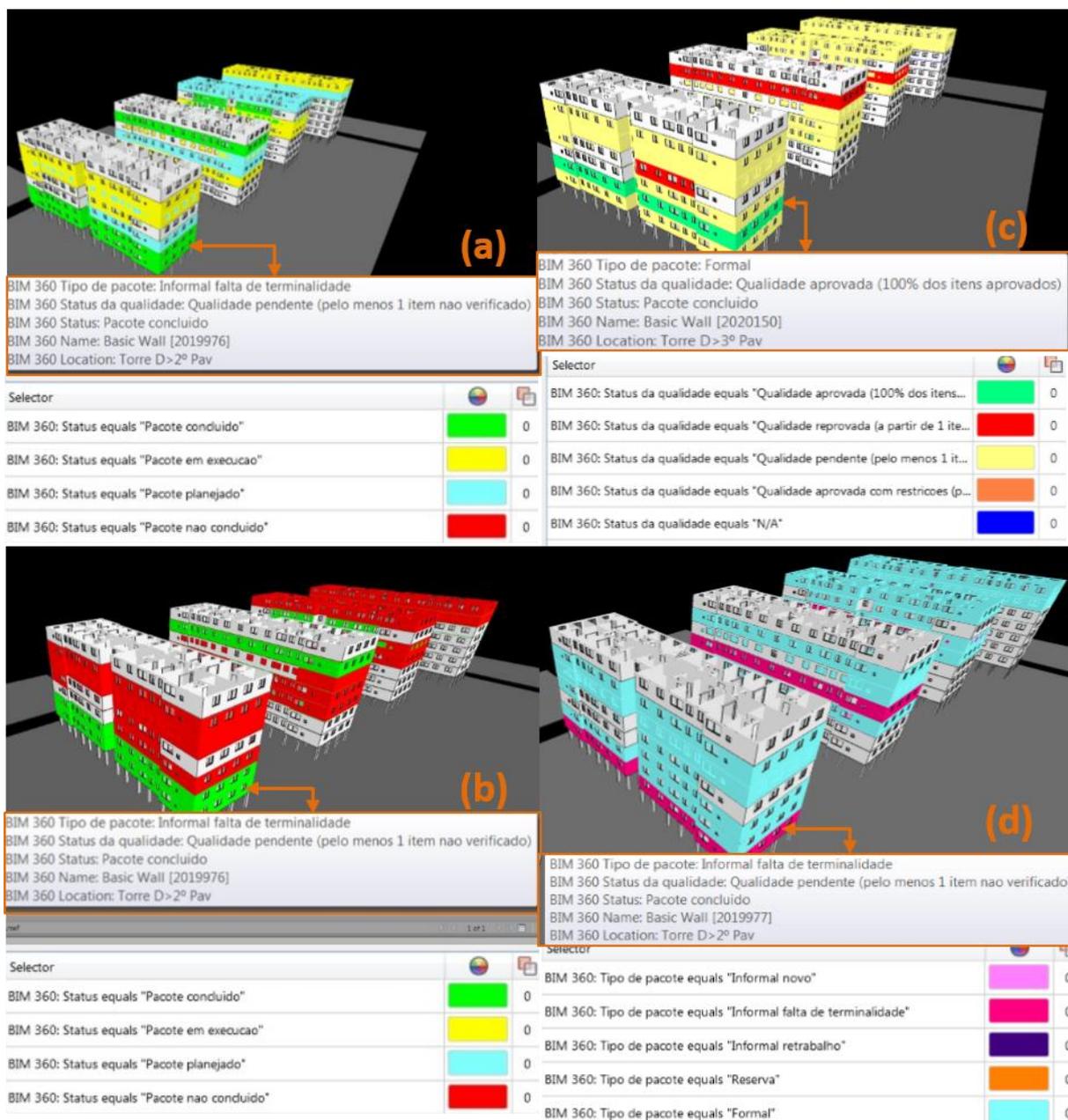


Figura 61: Resumo de informações coletadas no canteiro correspondentes à semana 8, visualizadas no Navisworks Manage®

5.1.5 Discussão dos resultados do primeiro estudo empírico

Com base na descrição apresentada previamente, destacam-se como melhorias ao modelo de controle integrado proposto por Leão (2014): (a) a criação de uma base de dados de fácil interpretação e processamento; (b) o monitoramento sistemático dos pacotes formais e informais durante as coletas de dados; (c) os novos indicadores propostos para a avaliação de pacotes com qualidade parcialmente controlada e com qualidade reprovada; e (d) os resumos das informações coletadas dentro do modelo BIM do empreendimento. Ademais, foi

estabelecido um método estável de coleta, o qual teve uma duração média de duas horas por dia, conseguindo-se obter uma grande quantidade de informações, as quais não poderiam ter sido adquiridas utilizando métodos de coleta tradicionais, ou seja, baseados em planilhas eletrônicas e no papel.

Porém, é conveniente mencionar que todas essas atividades surgiram a partir de métodos de cadastramento relativamente demorados, os quais normalmente demandaram de tempos consideráveis para serem executados. Isso aconteceu, por um lado, devido a algumas atividades adicionais, como, por exemplo, o reaproveitamento das informações já coletadas em pacotes não concluídos em semanas anteriores, de forma a evitar a perda desses dados ou o recadastramento destes estando no canteiro. Por outro lado, a integração entre modelos de processo e produto, ou seja, mapeamento de informações no modelo BIM, exigiu igualmente importantes investimentos de tempo durante as semanas de coleta (isto é, entre 10 a 12 horas por semana), não conseguindo ser concluída em algumas ocasiões dentro da mesma semana de controle, o que ocasionou o seu adiamento para as semanas posteriores. Dessa forma, ressalta-se que, para viabilizar a implantação completa do sistema de controle proposto neste primeiro estudo empírico, considerando os horários de trabalho normais de uma empresa construtora, o mesmo deveria ser implementado por meio de um esforço de trabalho colaborativo.

Finalmente, a falta de estabilidade do método proposto para a vinculação entre os controles no canteiro e o BIM, geraram a busca de uma nova alternativa, detalhada nos itens a seguir.

5.2 ESTUDO EMPÍRICO 2

No segundo estudo empírico, desenvolvido no Empreendimento B da Empresa Y, a coleta de dados foi executada de forma similar ao primeiro estudo empírico, utilizando dispositivos móveis. Porém, foi realizada uma modificação no método de vinculação entre modelos de processo e produto, tentando superar as limitações identificadas no primeiro estudo e, ao mesmo tempo, obter um maior nível de abstração na construção do artefato desenvolvido na pesquisa.

5.2.1 Refinamento do método para a integração entre modelos de processo e produto

As limitações do método apontadas nos itens 5.1.3.2 e 5.1.4.5 levaram à necessidade de refiná-lo, de forma a poder generalizar a sua utilização para os distintos contextos que possam se

apresentar no canteiro de obras. Assim, foi proposto o seguinte método para integração entre os modelos de processo, resultantes das tarefas de planejamento, controles de produção e qualidade, e o modelo BIM do empreendimento:

- a) Coletar e exportar dados relativos aos controles de produção e qualidade, utilizando dispositivos móveis, conforme ao ponto 5.1.3.3 (Figura 62);
- b) Selecionar os pacotes de trabalho de curto prazo previamente criados no modelo BIM e realizar a exportação dos seus dados (ID dos pacotes de trabalho e GUID dos objetos BIM) (Figura 63);
- c) Vincular os dados coletados no canteiro e os pacotes de trabalho criados no modelo BIM, através do ID de cada pacote de trabalho (Figura 64);
- d) Gerenciar e formatar a base de dados integrada (Figura 65); e
- e) Vincular a base de dados ao modelo BIM do empreendimento através dos identificadores de objetos BIM, tais como, GUID, UniqueId, Element ID ou IFC GUID (Figura 66).



Figura 62: Coleta e exportação de dados de produção e qualidade

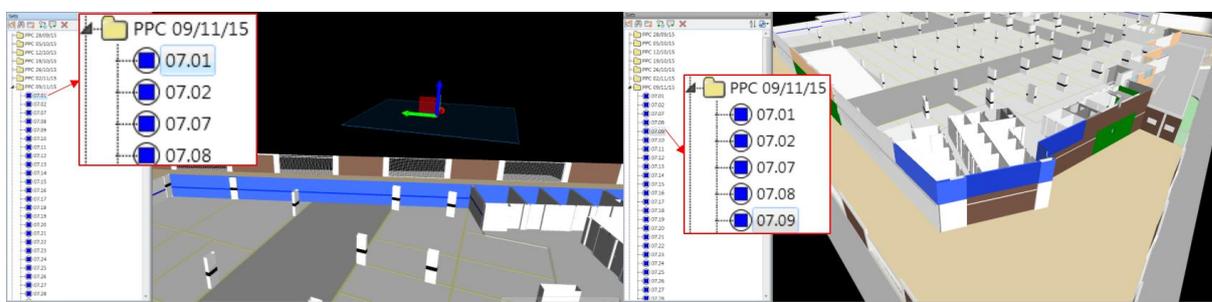


Figura 63: Seleção dos pacotes de trabalho de curto prazo no modelo BIM e exportação de dados (ID dos pacotes de trabalho e ID dos objetos BIM)

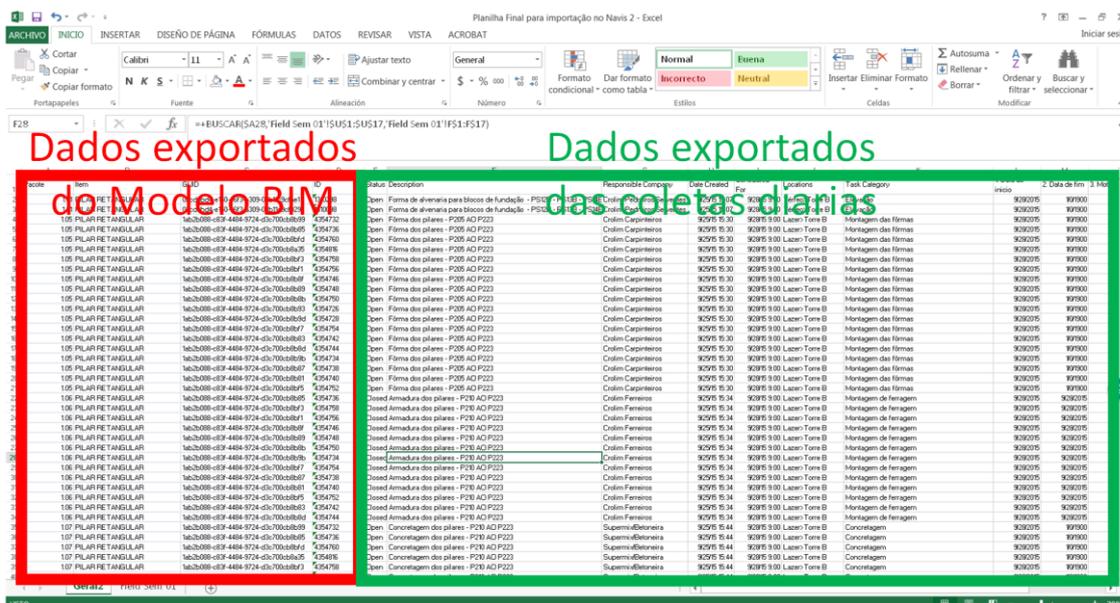


Figura 64: Vinculação entre os dados coletados no canteiro e os pacotes de trabalho criados no modelo BIM

Pacote	Item	GUID	ID	Status	Description	Responsible	Date Createc	Scheduled Fc	Locations
1.01	PILAR RETANGU	02c2dbd4-e150	1310098	Open	Forma de alven	Crolim Pedreiro	9/25/15 15:07	9/28/15 9:00	Térreo>Torre B
1.01	PILAR RETANGU	02c2dbd4-e150	1310298	Open	Forma de alven	Crolim Pedreiro	9/25/15 15:07	9/28/15 9:00	Térreo>Torre B
1.09	Foundation Slab	b7b1f354-aa7d	2001347	New	Armadura das v	Crolim Ferreiro	9/25/15 15:55	9/30/15 9:00	Torre A> 1º Pav
1.11	Foundation Slab	b7b1f354-aa7d	2001347	Open	Fôrma da laje	Crolim Carpinte	9/25/15 16:01	9/30/15 9:00	Torre A> 1º Pav
1.15	Basic Wall	c389536-3445	3034468	Open	Reboco rampa	Crolim Pedreiro	9/25/15 16:24	9/28/15 9:00	Sobresolo 1>An
1.08	Foundation Slab	fa976f5b-66cc	3052406	Open	Fôrma da laje	Crolim Carpinte	9/25/15 15:52	9/30/15 9:00	Torre B> 1º Pav
1.12	Foundation Slab	fa976f5b-66cc	3052406	New	Armadura das v	Crolim Ferreiro	9/25/15 16:18	10/1/15 9:00	Torre B> 1º Pav
1.15	Basic Wall	818af550-9cf7	3937469	Open	Reboco rampa	Crolim Pedreiro	9/25/15 16:24	9/28/15 9:00	Sobresolo 1>An
1.13	Basic Wall	b3e9a096-18f4	4028432	New	Alvenaria da es	Crolim Pedreiro	9/25/15 16:21	9/28/15 9:00	Térreo>Torre A
1.14	Basic Wall	b3e9a096-18f4	4028432	Open	Baldrame + cint	Crolim Ferreiro	9/25/15 16:22	9/28/15 9:00	Térreo>Torre A
1.05	PILAR RETANGU	1ab7b088-c83f	4254726	Open	Fôrma dos pilar	Crolim Carpinte	9/25/15 15:30	9/28/15 9:00	Laje>Torre B

Figura 65: Gerenciamento e formatação da base de dados

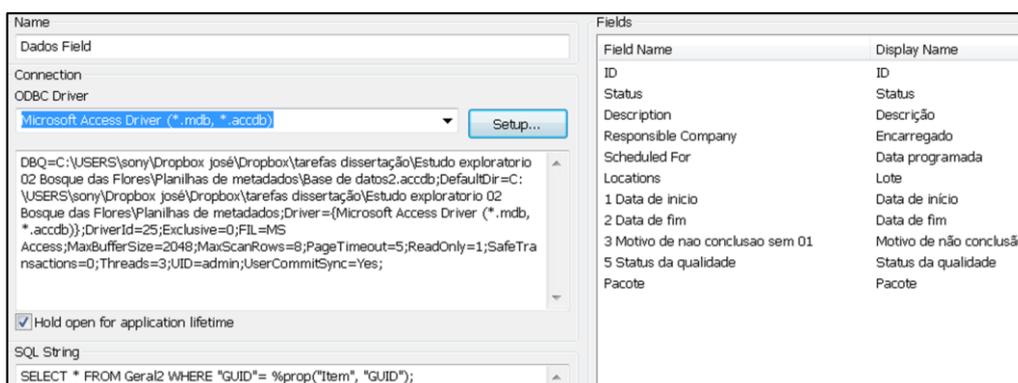


Figura 66: Conexão da base de dados ao modelo BIM do empreendimento através dos identificadores de objetos BIM

Este método permite o gerenciamento visual do modelo BIM com os resultados dos controles, mediante a utilização de cores e filtros, além da visualização simultânea de vários pacotes de trabalho vinculados a cada objeto BIM (Figura 67). Adicionalmente, o modelo BIM com as informações mais recentes relativas aos controles do avanço produtivo semanal (modelo *as-built*), pode ser comparado ao planejamento de longo prazo (modelo *as-planned*), por meio dos passos seguintes:

- Criar o cronograma de longo prazo (CPM ou LOB) e importar o mesmo dentro do modelo BIM. Realizar a simulação 4D a partir do cronograma importado (Figura 68);
- Comparar os modelos resultantes da integração da base de dados dentro do BIM (modelo *as-built*) e da simulação 4D (modelo *as-planned*) (Figura 69).

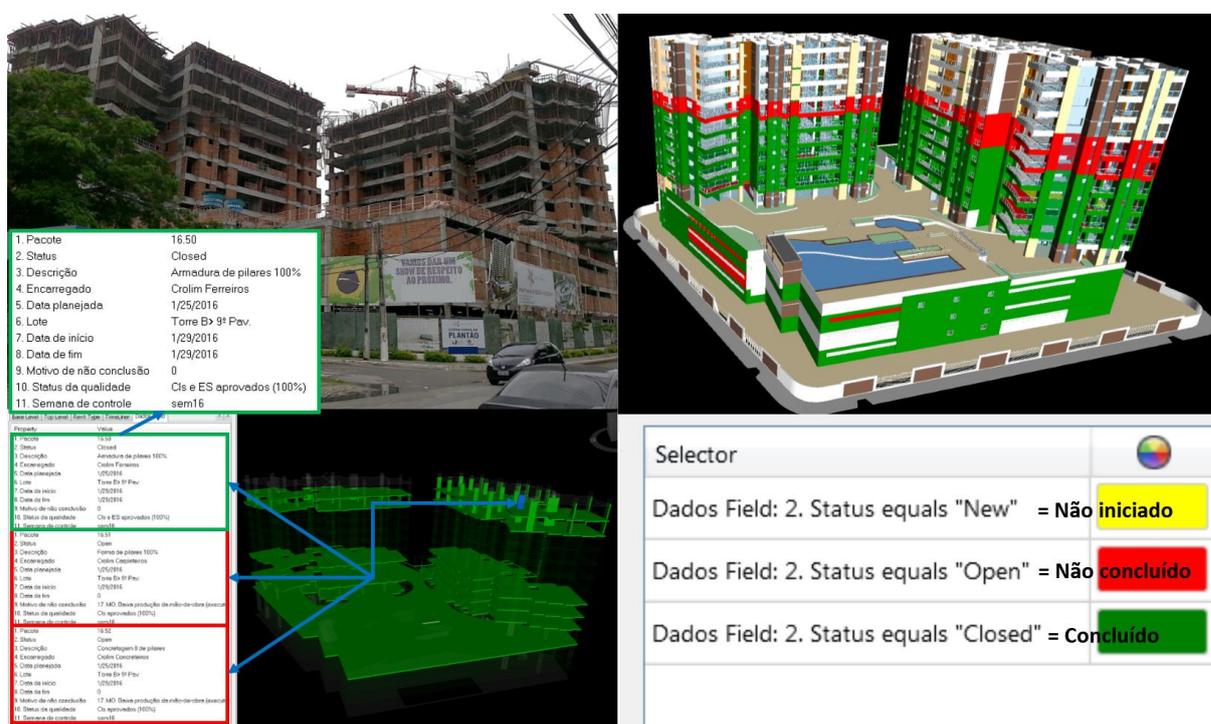


Figura 67: Resultado da integração entre modelos de processo e de produto

Assim, a Figura 69 indica o avanço planejado, representado pelos objetos BIM em amarelo (modelo *as-planned*), e o avanço real no mesmo contexto temporal, representado pelos objetos BIM em azul (modelo *as-built*). A comparação visual expedita entre ambos os modelos pode indicar atrasos no avanço produtivo, podendo ainda ser determinadas as causas para essas divergências mediante as informações coletadas no canteiro e adicionadas ao modelo BIM.

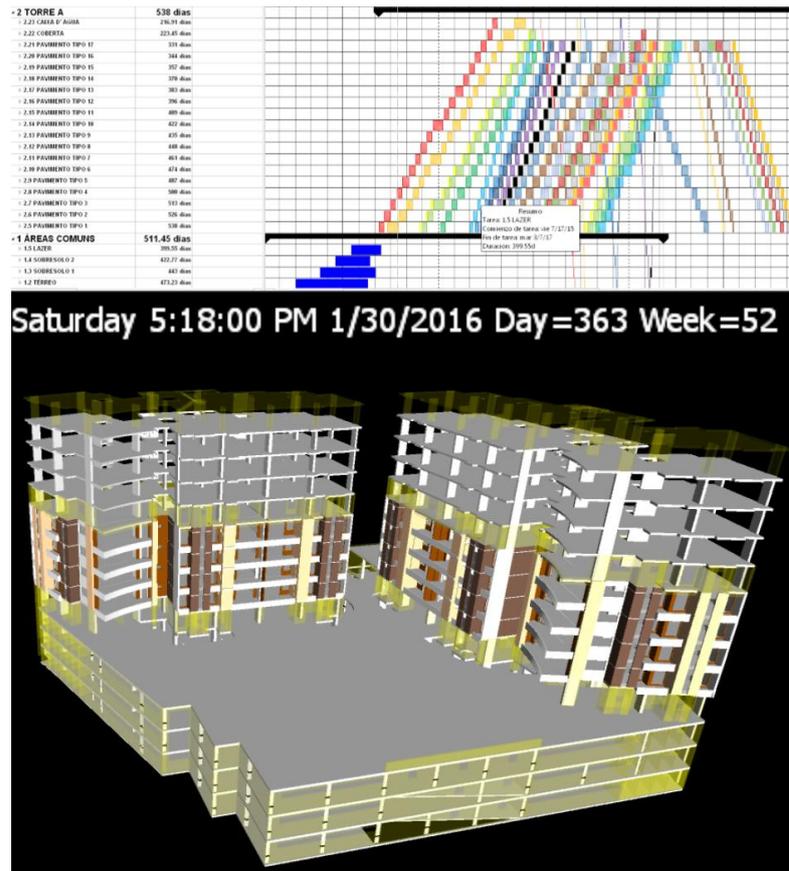


Figura 68: Criação do cronograma de longo prazo (CPM ou LOB) e importação do mesmo dentro do modelo BIM para a simulação 4D

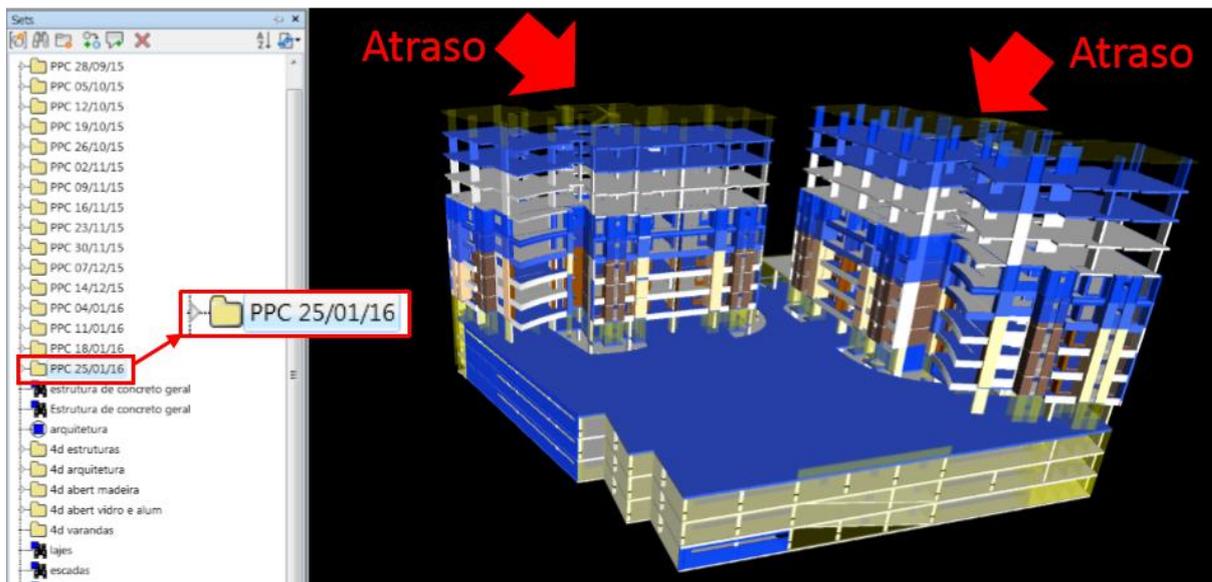


Figura 69: Comparativa entre modelos *as-built* e *as-planned*

A Figura 70 resume o método apresentado, assim como os aplicativos utilizáveis para a instanciação da integração entre os modelos de processo e produto correspondentes ao segundo estudo empírico. Dessa forma, propôs-se realizar a coleta de dados e geração de pacotes de trabalho no modelo BIM mediante o B3F e o Navisworks, respectivamente. A vinculação entre os dados coletados pode ser feita mediante *software* de gerenciamento de planilhas de cálculo, como o Ms Excel ou o Libre Office Calc. O gerenciamento das bases de dados pode ser feito mediante *software* vários, como o Ms Access, o Libre Office Base ou o MySQL. A integração final da informação procedente do canteiro ao modelo de produto deve ser feita mediante drivers de ODBC (*Open Database Connectivity*). Adicionalmente, o planejamento de longo prazo do empreendimento pode ser criado no Ms Project ou no Primavera, e ser logo importado no Navisworks de forma a realizar as simulações 4D, assim como as comparativas com o modelo (*as-built*).

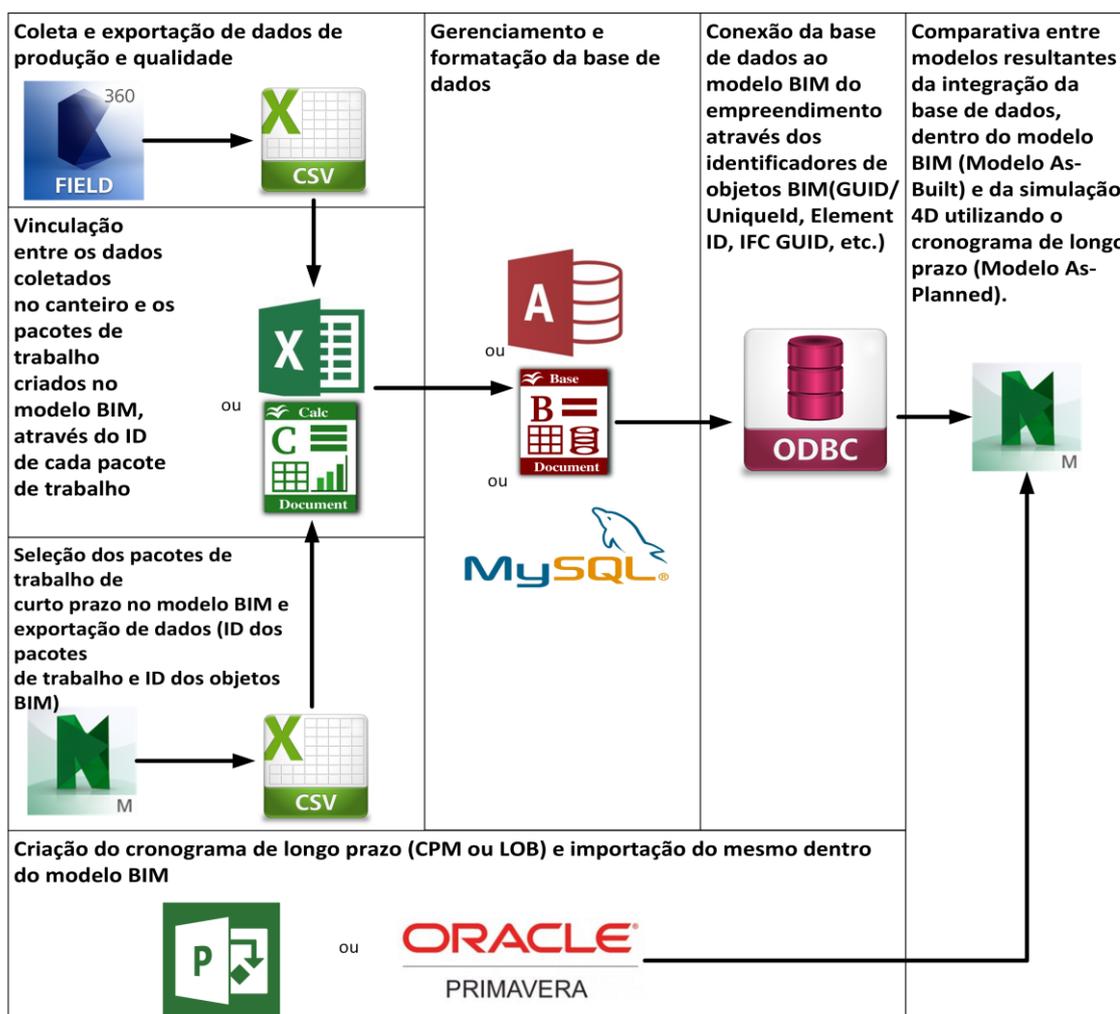


Figura 70: Resumo do método e aplicativos utilizáveis para a instanciação da integração entre modelos de processo e produto

5.2.2 Modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto

Com base no método previamente apresentado, e levando em conta a literatura relativa aos modelos de processo e produto apresentada no item 3.4, foi elaborada a proposta do modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto na fase de construção (Figura 71). Salienta-se que o mesmo foi concebido a partir do conceito de modelos navegacionais interconectados de Reinhardt, Akinci e Garrett (2004), adaptando-o para o contexto particular da presente pesquisa.

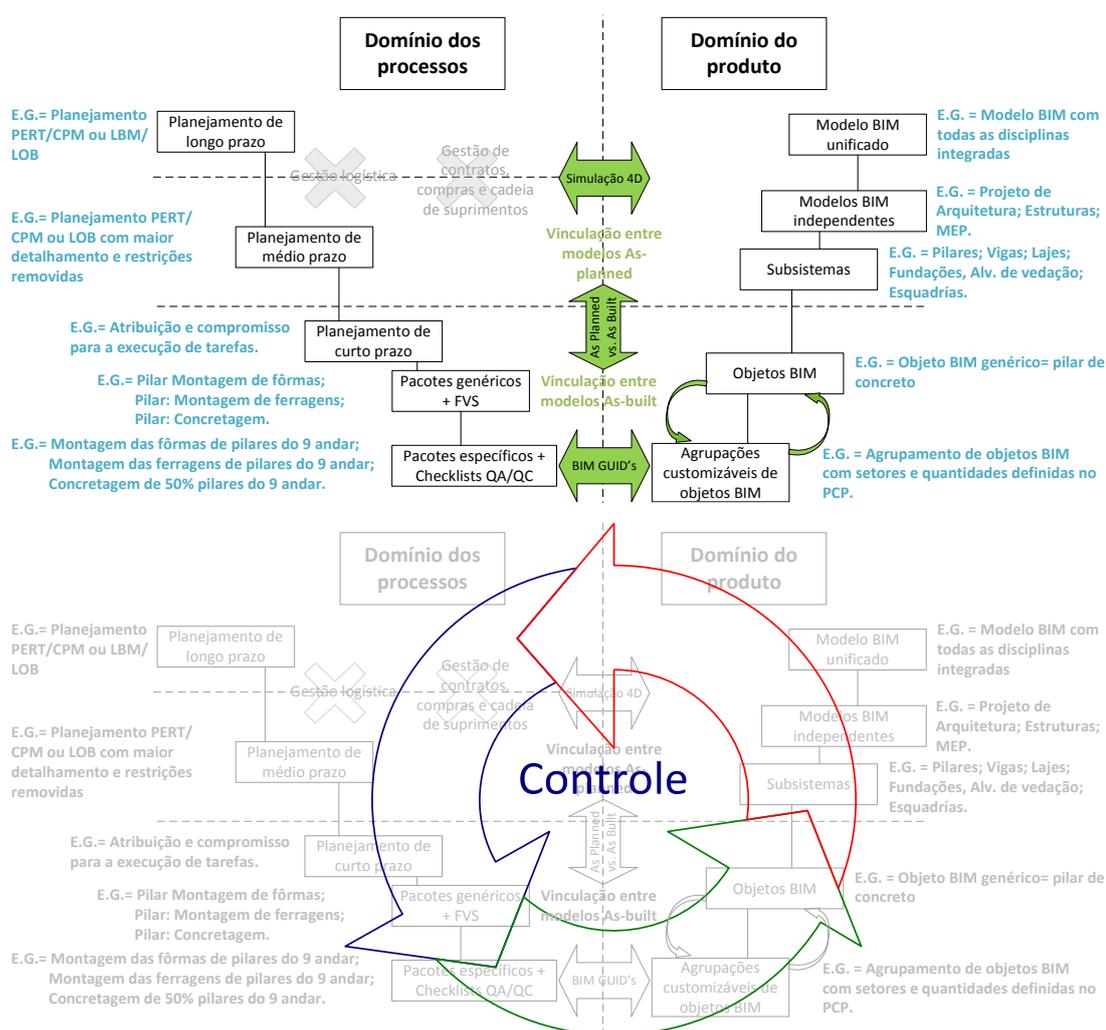


Figura 71: Modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto, baseado em: Reinhardt, Akinci e Garrett (2004)

Dessa forma, é proposta uma integração entre os processos correspondentes às atividades de planejamento e controle de produção e qualidade, nos seus diferentes horizontes, e o modelo BIM do empreendimento. Essa integração deve acontecer mediante a utilização de simulações 4D, no longo e médio prazo, e identificadores únicos de objeto (GUIDs), para o curto prazo. Os

pacotes específicos planejados no curto prazo podem ser vinculados a objetos BIM individuais ou a agrupações de objetos BIM, dependendo das necessidades de coleta pontuais. Em relação ao médio e longo prazo, a vinculação pode ser realizada a partir de subsistemas constructivos pontuais, de disciplinas independentes no BIM ou do modelo BIM unificado. Além disso, os modelos integrados nos diferentes horizontes, podem ser confrontados, fazendo-os coincidir previamente no contexto temporal correspondente (isto é, modelos *as-planned vs. as-built*), e assim, permitir a detecção de possíveis desvíos em relação ao planejamento de longo prazo, facilitando a tomada de decisões. Finalmente, os controles pró-ativos têm a função fundamental de fornecer os dados para o início e a reiteração dos ciclos posteriores de integração, a partir das coletas realizadas no canteiro em forma diária.

5.2.3 Resultados das coletas semanais, executadas a partir do planejamento de curto prazo

5.2.3.1 Resumo dos dados coletados e dos tempos das coletas diárias.

Nesta etapa foram coletados dados de 788 pacotes formais e 452 informais, totalizando uma base de dados com 1240 pacotes, obtendo-se assim uma média de 78 pacotes controlados por semana. A Figura 72 resume a coleta de dados do segundo estudo empírico, enquanto a Figura 73 apresenta a relação entre os tempos de coleta e a quantidade de elementos coletados. Nesse sentido, é importante notar a relação existente entre o aumento proporcional do tempo de coleta em relação a maior quantidade de eventos observados nas últimas 3 semanas do estudo.

	Tempo total de coletas (h)	Tempo médio de coletas (h/d)	Pacotes Formais (un)	Pacotes Informais (un)	Making-do (un)	Reprovações de qualidade (un)
semana 01	3:25	0:41	17	19	2	2
semana 02	5:35	1:07	20	30	3	2
semana 03	3:31	1:10	32	18	0	0
semana 04	3:35	0:43	29	21	3	0
semana 05	4:56	1:14	41	18	0	9
semana 06	5:54	1:28	57	19	1	9
semana 07	6:27	1:17	64	25	5	8
semana 08	3:55	1:18	61	20	1	4
semana 09	5:55	1:28	53	42	4	4
semana 10	5:02	1:15	51	21	7	4
semana 11	5:55	1:28	69	24	3	9
semana 12	7:39	1:31	72	39	9	9
semana 13	4:07	1:22	39	18	4	8
semana 14	6:50	1:22	56	34	10	7
semana 15	5:30	1:50	64	40	12	7
semana 16	6:53	2:17	63	64	17	14
Total	85:09	1:18	788	452	81	96

Figura 72: Resumo de elementos coletados – Segundo estudo empírico

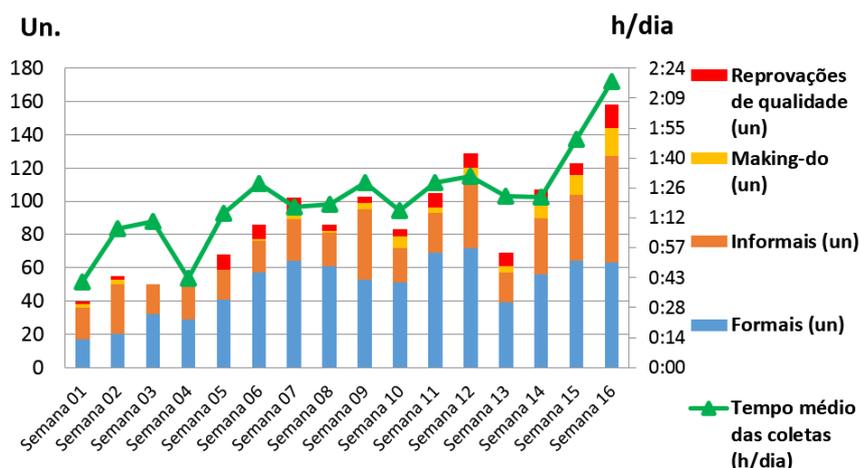


Figura 73: Relação entre os tempos de coleta e os eventos observados – Segundo estudo empírico

Além disso, foi feita a medição do tempo de cadastramento dos pacotes semanais dentro do B3F e o tempo para a criação dos pacotes de trabalho e vinculação da base de dados ao modelo BIM no Navisworks. Em média, esses tempos foram de 4h22min e 3h51min por semana, respectivamente.

5.2.3.2 Processamento de dados correspondentes às tarefas programadas no curto prazo.

A Figura 74 apresenta a distribuição dos tipos de pacote considerando todas as semanas do estudo. Nesse sentido, 58% dos pacotes avaliados foram formais, sendo o 42% restante, distribuído entre pacotes informais novos, de retrabalho e falta de terminalidade.

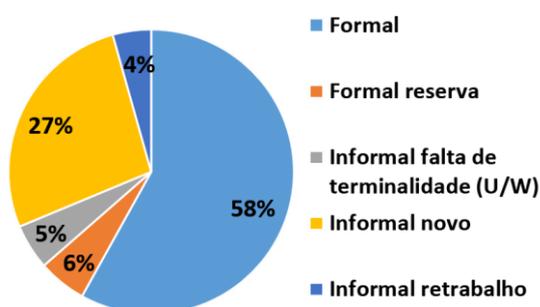


Figura 74: Tipos de pacotes controlados considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico

Por outro lado, a Figura 75 ilustra a influência da variabilidade nos pacotes de curto prazo planejados e executados fora da estrutura formal do LPS, isto é, pacotes programados no curto prazo que não possuem vínculo ao planejamento de longo prazo e não têm as suas restrições identificadas e removidas no médio prazo. Assim, o PPC registrado para pacotes formais fora

da Linha de Balanço (LOB) mostrou-se bastante menos estável que o mesmo indicador coletado para pacotes formais extraídos dos planos de longo prazo, sendo que neste caso, os valores permaneceram quase sempre por cima do 60%.

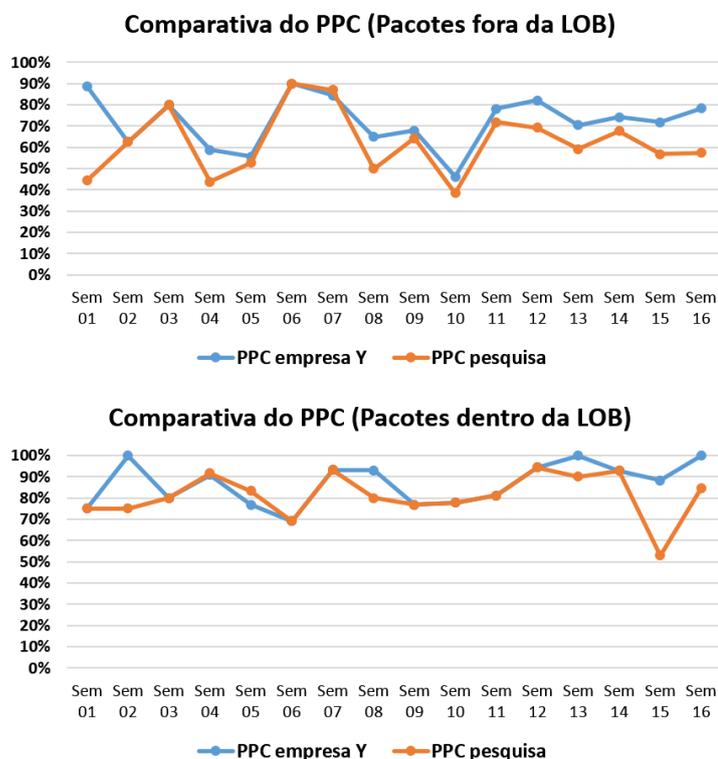


Figura 75: Comparativa de controles feitos pela Empresa Y e pelo pesquisador, para pacotes dentro e fora da LOB

A Figura 76 apresenta influência dos pacotes informais na falta de terminalidade das tarefas, comparando-os com os pacotes formais. O indicador de falta de terminalidade em pacotes informais foi da ordem do 60%, considerando todo o período. Por sua vez, a Figura 77 compara a conclusão de pacotes formais e informais (isto é, PPC e PPIC), ao longo das distintas semanas. Foi observado que nas semanas 4, 9 e 10 os esforços realizados para concluir pacotes informais foram maiores que os dos formais, manifestando-se isso, mediante indicadores de PPIC maiores aos do PPC. Além disso, a quantidade de pacotes informais nas primeiras duas semanas chegou a superar aos pacotes formais (Figura 78). Devido a estas constatações, foi proposto, em conjunto com o supervisor de obras, o monitoramento dos pacotes informais surgidos durante a semana e uma reunião de pré-fechamento semanal, de forma a tentar formalizá-los para as semanas seguintes. Assim, a partir da semana 5 até a 15, foi percebida uma diminuição considerável na quantidade de pacotes informais controlados durante a semana, o qual acarretou na diminuição do esforço nas tarefas de coleta (Figura 78).

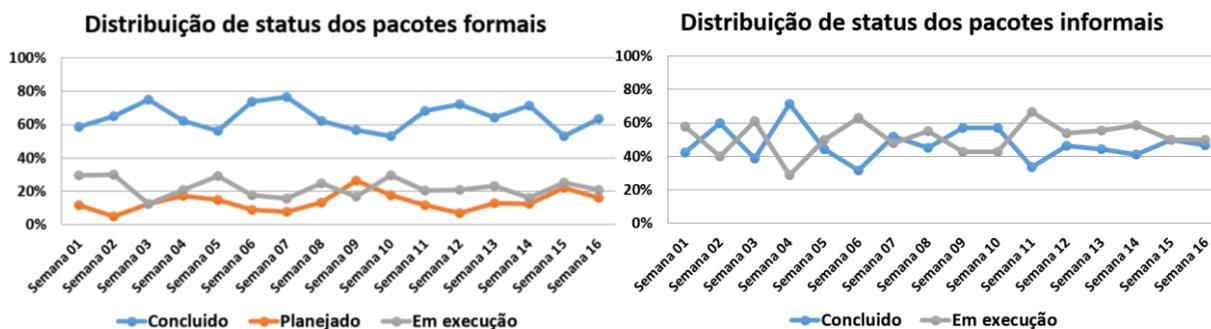


Figura 76: Distribuição de *status* dos pacotes formais e informais

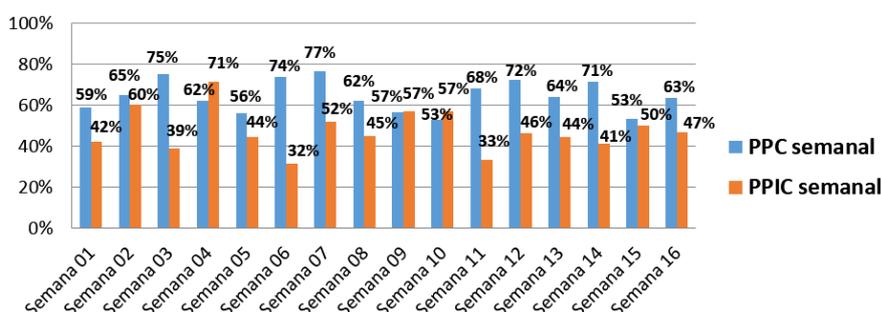


Figura 77: Comparativa entre PPC e PPIC nas distintas semanas – Segundo estudo empírico

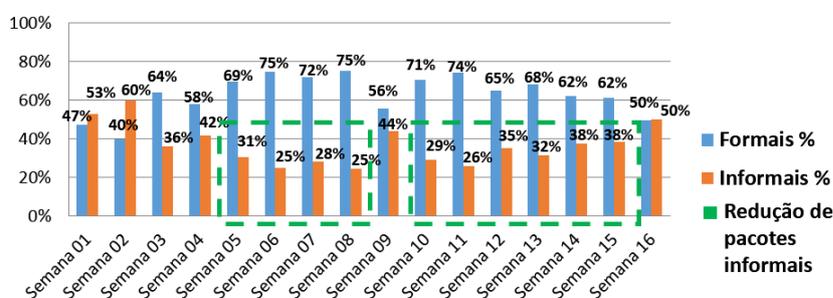


Figura 78: Distribuição de pacotes formais e informais – Segundo estudo empírico

As principais causas para a aparição desses pacotes informais foram a baixa eficácia na remoção de restrições no médio prazo e dificuldades logísticas para a entrega de materiais por parte de alguns fornecedores. Outro fator que contribuiu para a aparição de pacotes informais foi a falta de análise de restrições e possíveis interferências entre as equipes de trabalho, durante as reuniões de planejamento de curto prazo. Nesse sentido, foi igualmente observado um escasso interesse por parte dos encarregados da obra para a inclusão das subempreiteiras terceirizadas de protensão de lajes e de instalações hidráulicas e elétricas, nas reuniões de planejamento de

5.2.3.3 Processamento de dados correspondentes às coletas de perdas por *making-do*.

A relação entre as perdas coletadas de *making-do* e os tipos de pacotes executados mostrou que 53% das ocorrências estiveram vinculadas a pacotes formais, 42% a pacotes informais e 5% restante a nenhum pacote em específico (Figura 81). Assim, 5% do total de pacotes formais e 8% dos pacotes informais apresentaram perdas por *making-do*. Além disso, as principais categorias registradas foram o sequenciamento, o ajuste de componentes, as instalações provisórias e a área de trabalho (Figura 82). As naturezas estabelecidas para essas ocorrências foram a mão de obra, os serviços interdependentes e os equipamentos e ferramentas (Figura 83).

A Figura 84 apresenta ocorrências coletadas dentro da categoria de sequenciamento. Nesse sentido, foram registrados casos de execução de cortes em paredes prontas para embutir janelas de ventilação, cortes em regularizações, contrapisos e rebocos para embutir instalações de esgoto e elétricas faltantes, conforme ao ilustrado nas Figuras 84 (a), (c), (d) e (e), respectivamente. Outro caso frequente dentro desta categoria apresentado na Figura 84 (b), foi caracterizado pela execução de alvenarias sem antes ter feito a limpeza e liberação da frente de trabalho. Em relação à categoria de ajuste de componentes, foram observados casos de amarrações de fios para a marcação de alvenarias em escoras de suporte estrutural, utilização de fôrmas de lajes como sistemas de proteção, transporte inapropriado de fôrmas e concretagem de pilares estruturais utilizando pás e carrinhos de mão, conforme ao apresentado nas Figuras 85 (a), (b), (c), (d) e (e), respectivamente.

A Figura 86 mostra perdas correspondentes à categoria de instalações provisórias. Nesse sentido, a Figura 86 (a) representa aos casos de furos feitos em lajes para realizar o escoamento das águas acumuladas após os dias de chuva, as Figuras 86 (b) e (c) mostram dutos e fiação elétrica pendurados inapropriadamente e obstaculizando o trânsito de pessoas e recursos, a Figura 86 (d) mostra canalizações de esgoto pluvial improvisadas, e a Figura 86 (e), a inserção da tubulação para o bombeio de concreto dentro da caixa de escada. Finalmente, a Figura 87 apresenta as perdas por *making-do* dentro da categoria de área de trabalho, as quais foram principalmente relacionadas a áreas de apoio inapropriadas durante a execução de tarefas. Assim, enquanto as Figuras 87 (a) e (d) apresentam áreas de apoio deficientes para a execução de rebocos, a Figura 87 (b) mostra a execução do tratamento superficial de lajes e a Figura 87 (c), o corte de tubulações de esgoto e de abastecimento de água. Salienta-se que estas

ocorrências estiveram estreitamente vinculadas a falhas nos controles de segurança e ergonomia.

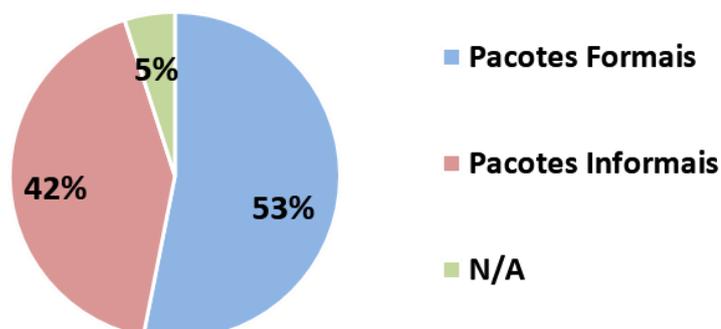


Figura 81: Distribuição do *making-do* em relação ao tipo de pacotes controlados considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico

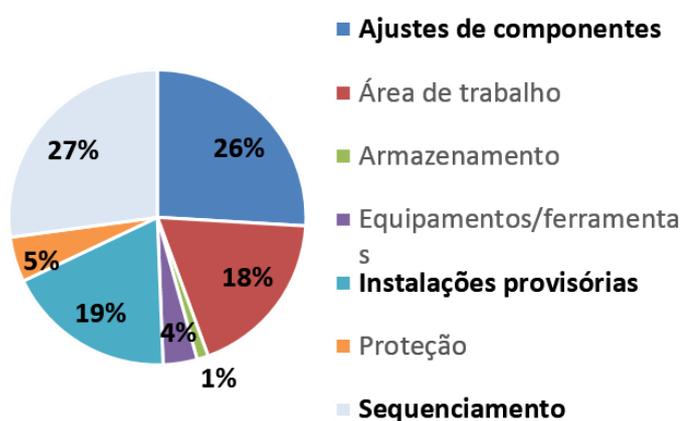


Figura 82: Registros de *making-do* em relação a sua categoria considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico

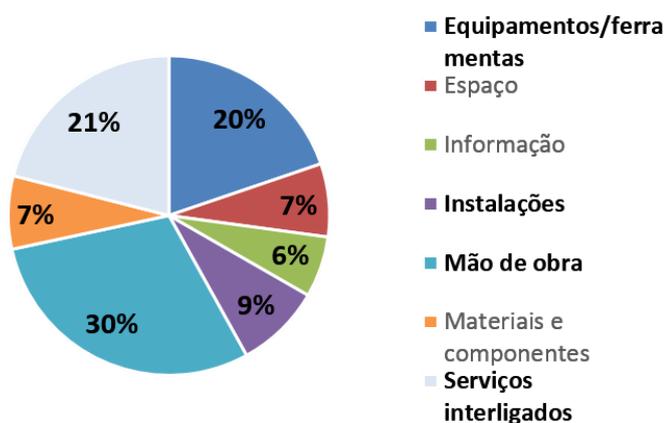


Figura 83: Registros de *making-do* em relação a sua natureza considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico

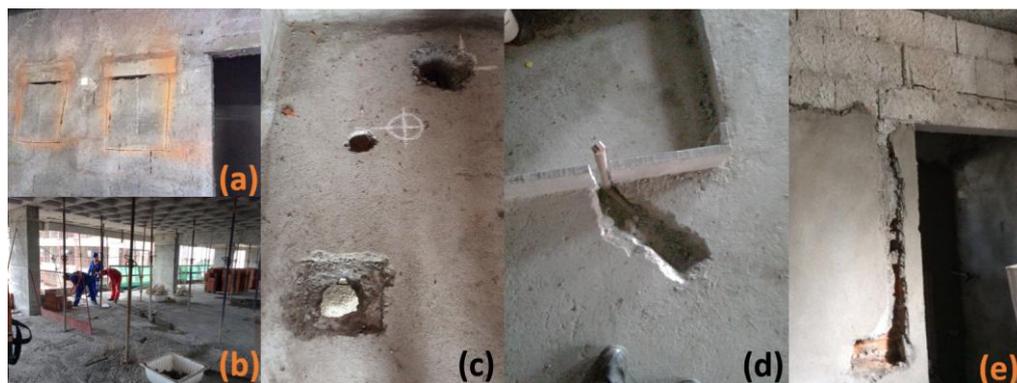


Figura 84: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria de sequenciamento



Figura 85: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria de ajuste de componentes



Figura 86: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria de instalações provisórias



Figura 87: Perdas por *making-do* correspondentes à categoria área de trabalho

Os principais impactos do *making-do* foram a redução da produtividade, redução da qualidade, a incidência de retrabalho e a falta de terminalidade. Os mesmos estiveram vinculados preferentemente à categoria de sequenciamento (Figura 88). Tendo em vista a gravidade das perdas por *making-do*, a categoria com maior incidência foi a forma de uso dos sistemas de proteção (Figura 88), cujos exemplos foram apresentados nas Figuras 85 (c) e (d).

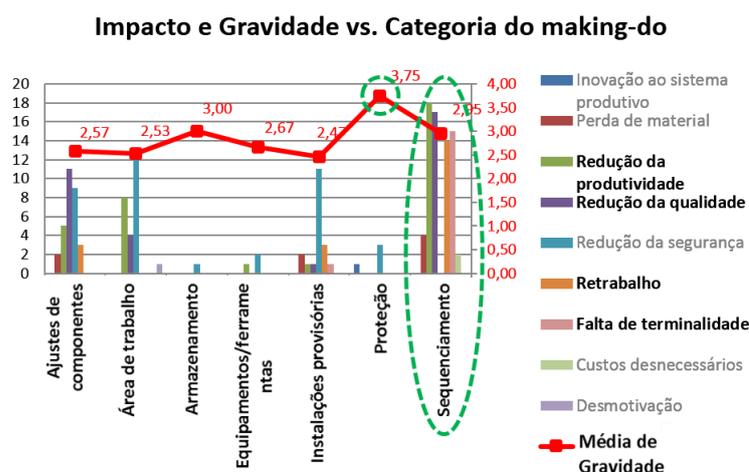


Figura 88: Relação entre impacto, gravidade e categoria do *making-do* – Segundo estudo empírico

Por outro lado, a análise estratificada das ocorrências de *making-do* indicou que os pacotes genéricos que apresentaram as maiores ocorrências de *making-do* foram montagem de fôrmas em lajes, a instalação de tubulações elétricas (eletrodutos) e a elevação de alvenaria de vedação (Figura 89). Além disso, considerando o grupo A, representativo por até 70% das ocorrências, os pacotes genéricos com a maior gravidade do *making-do* e maior quantidade de impactos do *making-do* foram a marcação de alvenarias e as instalações de tubulações elétricas em

alvenarias, respectivamente (Figura 90). Alguns exemplos destes casos foram anteriormente apresentados nas Figuras 85 (a) e 84 (e), respectivamente.

Pacotes Genéricos	Ocorrências de Making-do	%	% Acumulado	
Laje: Montagem das fôrmas	9	11%	11%	A
Elétrica: Instalação de tubulações	8	10%	21%	
Alvenaria vedação: Elevação	7	9%	30%	
Reboco: Execução	6	7%	37%	
Alvenaria vedação: Marcação	6	7%	44%	
Contrapiso: Concretagem	4	5%	49%	
N/A	4	5%	54%	
Laje: Previsão de passagem	3	4%	58%	
Alvenaria vedação: Arremate	3	4%	62%	
Laje: Acabamento superficial (FIS)	3	4%	65%	
Laje: Arremate	3	4%	69%	B
Outros (grupo B)	16	20%	89%	
Outros (grupo C)	9	11%	100%	C
Total geral	81	100%		

Figura 89: Estratificação ABC das ocorrências de *making-do* em relação aos pacotes genéricos – Segundo estudo empírico

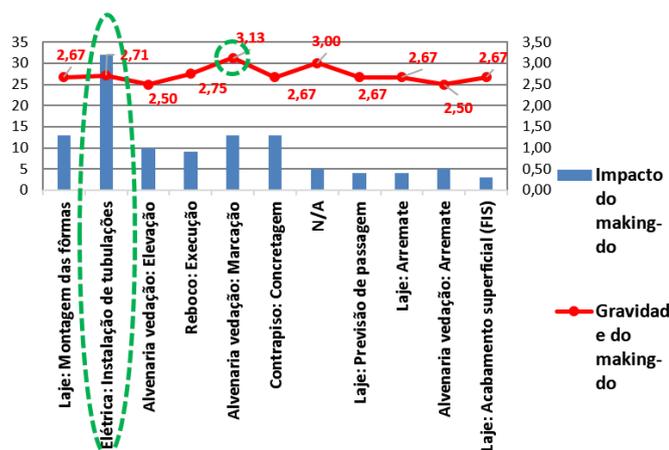


Figura 90: Impacto e Gravidade das ocorrências de *making-do* pertencentes ao grupo A – Segundo estudo empírico

5.2.3.4 Processamento de dados correspondentes aos registros de reprovações de qualidade.

De maneira similar ao primeiro estudo empírico, o controle de qualidade executado no Empreendimento B foi realizado em forma individual pelo pesquisador, sem participação ativa dos membros da empresa, exceto durante as demonstrações de funcionamento do aplicativo de coleta de dados. No entanto, considerando a falta de critérios de qualidade com a granularidade suficiente dentro dos procedimentos da Empresa Y, foram realizadas reuniões que contaram com a participação da gerência da qualidade e encarregados da obra, de forma a definir esses critérios em maior nível de detalhe. Assim, foram definidos os critérios a serem avaliados para

os pacotes de trabalho correspondentes às alvenarias de vedação e contrapisos, considerando as nomenclaturas e granularidade utilizadas na empresa para o planejamento dos pacotes específicos correspondentes. Adicionalmente, foi proposta a continuidade na estruturação dos critérios restantes correspondentes ao sistema de gestão qualidade da empresa, seguindo o mesmo procedimento.

Tendo em vista os resultados das avaliações de qualidade em pacotes formais, os valores do PPCQ oscilaram entre 40 e 70%, enquanto o PPCR se manteve entre 20 e 45% (Figura 91). No caso dos pacotes informais, esses indicadores chegaram a 50% e 30%, respectivamente, porém, em algumas semanas, tais como a 6 e a 11, não foram feitas as avaliações de qualidade para os pacotes informais, o que é um indicador da falta de critérios suficientemente estruturados para a realização desses controles (Figura 92).

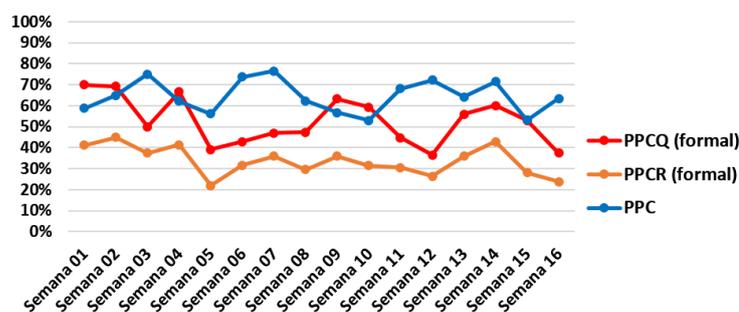


Figura 91: PPC, PPCQ e. PPCR em pacotes formais – Segundo estudo empírico

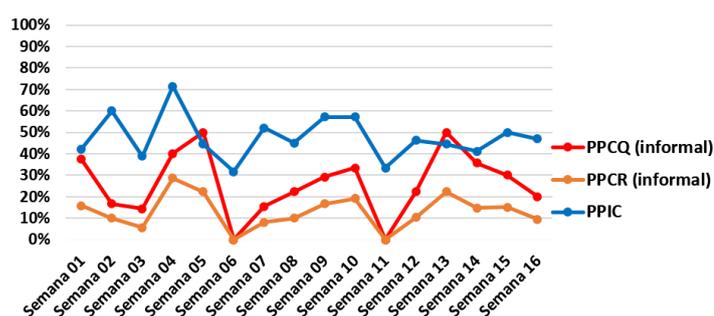


Figura 92: PPC, PPCQ e. PPCR em pacotes informais – Segundo estudo empírico

Por outro lado, as reprovações de qualidade, representadas pelo indicador PPCQR, se mantiveram entre 10 e 20%, para pacotes formais e informais, enquanto as avaliações parciais PPCQP, chegaram a 20% para os pacotes formais e 30% para os informais (Figura 93). Esses resultados são bastante inferiores àqueles obtidos no primeiro estudo empírico, porém deve ser

considerado que a menor quantidade de pacotes controlados semanalmente neste segundo estudo pode ter influenciado nos mesmos.

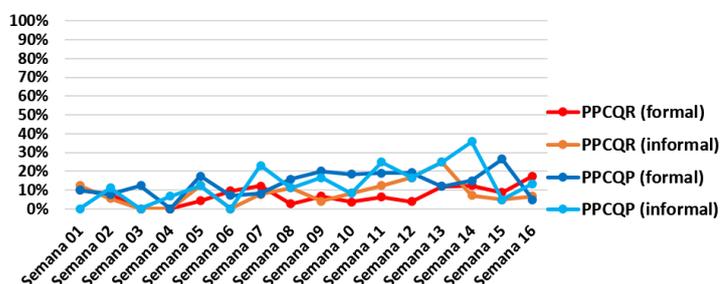


Figura 93: Avaliações de qualidade parciais (PPCQP) e reprovações de qualidade (PPCQR) em pacotes formais e informais – Segundo estudo empírico

As reprovações de qualidade, considerando todas as semanas do estudo, estiveram vinculadas em 68% aos pacotes formais e em 32% aos pacotes informais (Figura 94). Assim, 8% do total de pacotes formais e 7% dos pacotes informais apresentaram reprovações de qualidade. Os principais motivos de não qualidade foram: (a) a baixa instrução da força de trabalho; (b) a negligência da força de trabalho; e (c) o sequenciamento das atividades (Figura 95). Os mesmos coincidiram com os motivos identificados no primeiro estudo empírico.

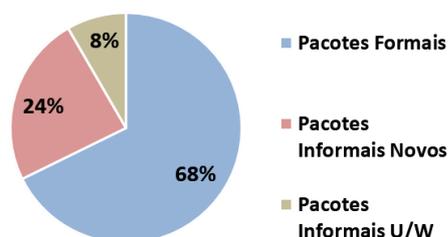


Figura 94: Reprovações de qualidade em função ao tipo de pacote considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico

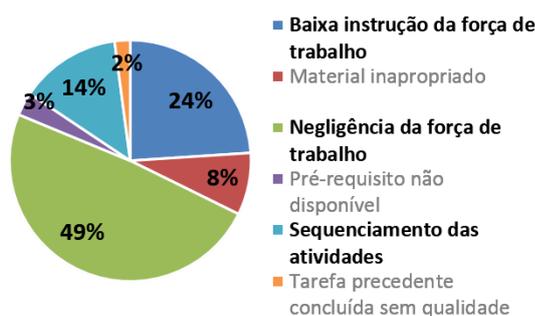


Figura 95: Motivos de não qualidade considerando todas as semanas – Segundo estudo empírico

A análise estratificada dos critérios de qualidade reprovados em função aos pacotes genéricos aos quais pertenciam, identificou que os pacotes de execução de reboco, alvenaria de vedação e vergas e pilaretes de suporte, pertencentes ao grupo A, corresponderam a até 70% das reprovações de qualidade (Figura 96). As reprovações nos rebocos estiveram relacionadas a problemas no sequenciamento de atividades, principalmente devido ao adiantamento da execução do reboco em setores que ainda não tinham as instalações concluídas, segundo o ilustrado na Figura 98 (b). Além disso, as Figuras 98 (a) e (c) mostram problemas de falta de terminalidade, enquanto a Figura 98 (d) apresenta a falta de limpeza e acabamento dos pacotes de reboco entregues. Estes casos foram associados à negligência da força de trabalho e ao mal sequenciamento das atividades, conforme ao apresentado na Figura 97 (a).

A Figura 99 apresenta as reprovações de qualidade associadas às alvenarias. Nesse sentido, as Figuras 99 (a) e (b) mostram os problemas de distribuição não uniforme das juntas, a Figura 99 (c) exhibe a falta de prumo, e, a Figura 99 (d), as deficiências do travamento nos encontros perpendiculares. Finalmente, a Figura 100 exhibe as reprovações correspondentes às vergas e pilaretes. A Figura 100 (a) apresenta uma concretagem deficiente sem a realização do adensamento correspondente, as Figuras 100 (b) e (d) mostram a falta de acabamento superficial, e a Figura 100 (c), a falta de alinhamento das fôrmas. As reprovações nestas duas categorias de pacote genérico foram atribuídas à negligência e à baixa instrução da força de trabalho, conforme as Figuras 97 (b) e (c).

Pacotes Genéricos / Critérios reprovados	Total	%	% Acum	
Reboco: Execução	27	28%	28%	A
Regularidade de cantos	6			
Limpeza	6			
Instalações elétricas	5			
Preenchimento de furos e bicheiras	3			
Outros	7			
Alvenaria vedação: Elevação	26	27%	55%	
Juntas verticais	8			
Paginação	7			
Prumo	4			
Prumo e nivelamento	3			
Outros	4			
Vergas e pilaretes: Execução	10	10%	66%	B
Aceitação da peça	3			
Adensamento do concreto	3			
Prumo do pilar	2			
Nivelamento e alinhamento da fôrma	2			
Outros (grupo B)	22	23%	75%	C
Outros (grupo C)	11	11%	92%	C
Total Geral	96	100%		

Figura 96: Estratificação dos critérios de qualidade reprovados em função ao pacote genérico – Segundo estudo empírico

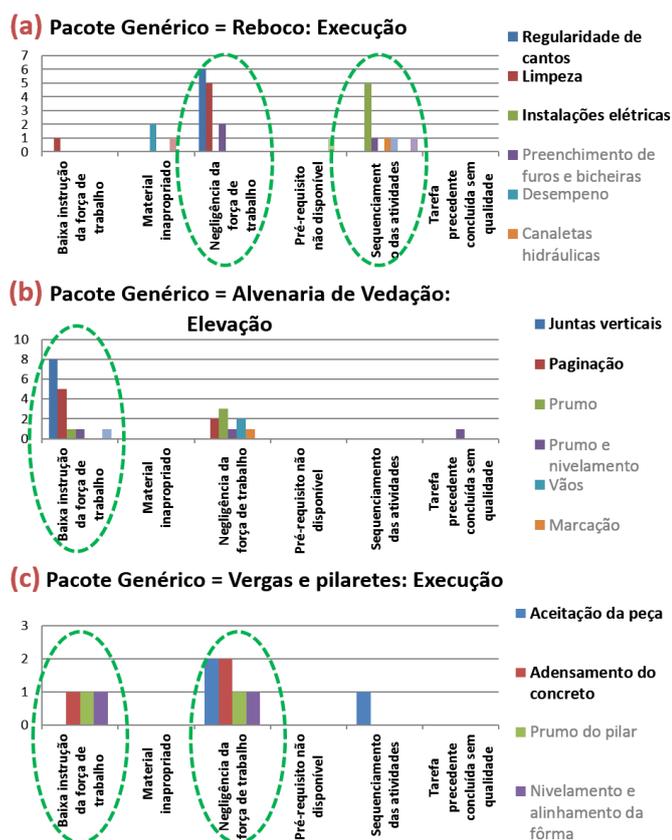


Figura 97: Motivos de não qualidade e critérios reprovados nos pacotes genéricos pertencentes ao grupo A – Segundo estudo empírico



Figura 98: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de rebocos

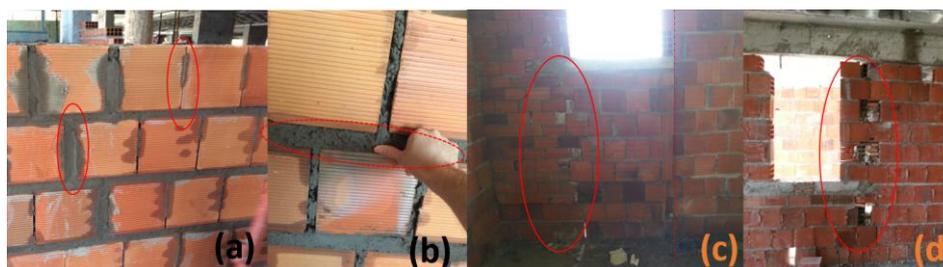


Figura 99: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de elevação de alvenarias de vedação



Figura 100: Reprovações de qualidade pertencentes ao pacote genérico de execução de vergas e pilaretes de suporte

5.2.3.5 Visualização dos dados no modelo BIM.

A vinculação entre os modelos de processo e produto no segundo estudo empírico foi executada segundo o método previamente detalhado no ponto 5.2.1. Dessa forma, as Figuras 101 (a) e (b) apresentam exemplos de resumos correspondentes à semana 16 do *status* da produção e *status* da qualidade no modelo BIM, respectivamente.

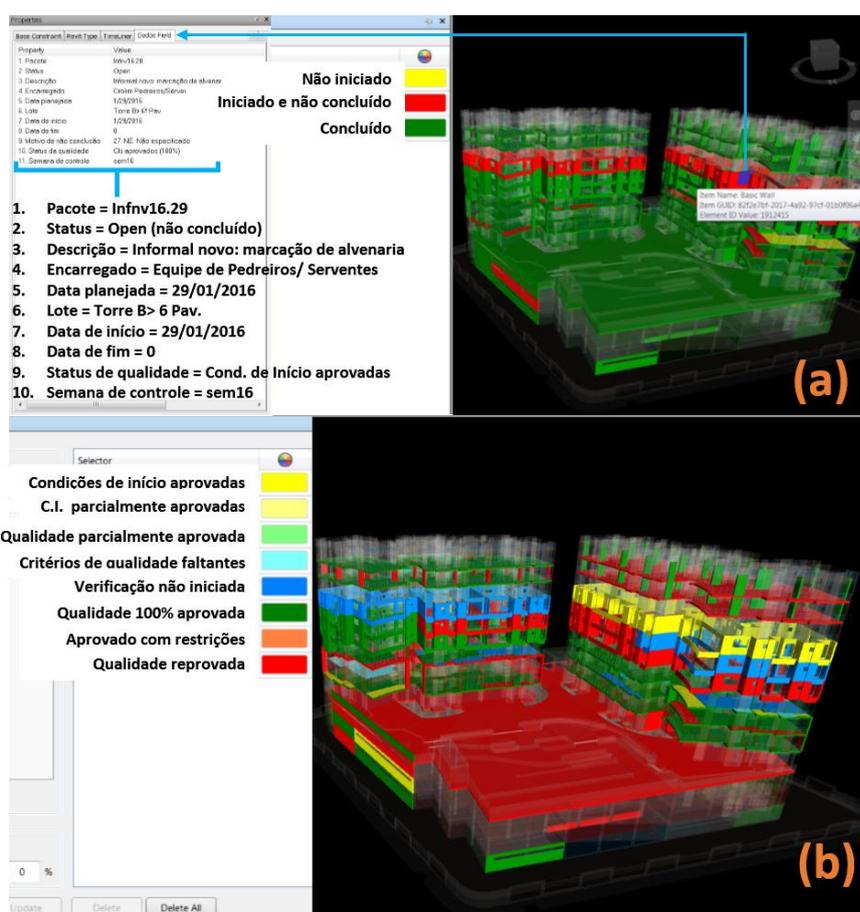


Figura 101: Resumo de informações coletadas no canteiro correspondentes à semana 16, visualizadas no Navisworks Manage[®]

Estes resumos visuais permitiram a representação do avanço real da obra, assim como do histórico evolutivo dos pacotes de trabalho sendo controlados. Além disso, os mesmos foram periodicamente apresentados durante as reuniões gerenciais quinzenais aos encarregados da obra e gerentes da Empresa Y, os quais valorizaram a possibilidade de disponibilizar informações resumidas dos controles dentro do modelo BIM.

Salienta-se que o refinamento do método proposto permitiu superar amplamente as limitações apresentadas no primeiro estudo empírico. Assim, vários pacotes de trabalho conseguiram ser vinculados aos mesmos objetos do modelo BIM, mediante um fluxo de informações estável e livre de erros durante a importação dessas informações dentro do modelo de produto. Outra vantagem decorrente da possibilidade de vincular vários pacotes aos mesmos objetos no modelo BIM foi a oportunidade de utilizar um único arquivo central de forma a armazenar toda a informação coletada no canteiro, evitando assim a duplicação e fragmentação de registros.

Nesse sentido, o nível de desenvolvimento baixo (LOD 200) utilizado para a instanciação do método proposto ocasionou a acumulação de distintos tipos de pacotes específicos dentro de objetos BIM genéricos, por exemplo, pacotes de execução de rebocos, chapiscos e elevação de alvenarias foram vinculados às mesmas paredes genéricas no modelo BIM. Salienta-se que este resultado é coincidente com uma das diretrizes propostas por Schmitz (2014), a qual sugeriu o uso de objetos BIM únicos com status distintos que representem a conclusão das correspondentes atividades de conversão de forma a simplificar a representação de informações vindas do canteiro de obras no BIM. Isto não criou problemas na gestão das informações no modelo BIM, ressaltando que é possível incrementar o nível de desenvolvimento do modelo mediante a modelagem individual de cada categoria de pacote específico a ser executado na fase construtiva ou a partir da divisão das partes dos objetos modelados, os quais procedem de famílias que utilizam definições de camadas, tais como paredes ou pisos com várias camadas. No entanto, deve ser considerado que este aumento no LOD impõe um incremento no tamanho dos arquivos gerenciados e uma necessidade de maior capacidade de processamento dos equipamentos computacionais utilizados.

Por outro lado, a acumulação de vários pacotes, dentro de cada objeto do modelo BIM, correspondentes às distintas semanas de controle, causou algumas dificuldades para a filtragem e visualização das informações incorporadas ao modelo de produto. Isso aconteceu devido aos registros simultâneos, com distintas definições de propriedades, estabelecidas para cada pacote dentro de cada objeto. Essas dificuldades foram atenuadas mediante a utilização de critérios de

prevalência nos perfis de aparência utilizados para os resumos semanais, dando por exemplo, maior importância à representação de casos nos quais os pacotes foram efetivamente concluídos ou nos quais existiram reprovações de qualidade (Figura 102). No entanto, salienta-se a necessidade de melhorar as funcionalidades dos filtros do *software* utilizado para a gestão das informações contidas no modelo BIM, isto é, filtros inclusivos disponíveis para várias propriedades simultâneas e não para uma única propriedade a cada vez.



Figura 102: Utilização de critérios de prevalência para a visualização de propriedades simultâneas dentro os objetos BIM

5.2.3.6 Usos alternativos do BIM no canteiro.

Além do uso de BIM para sintetizar as informações dos controles no canteiro em ciclos semanais, foram exploradas outras possibilidades de utilizar o modelo BIM diretamente no canteiro. Assim, surgiram situações que permitiram a utilização do modelo BIM contido no aplicativo de coleta de dados de forma a esclarecer dúvidas em relação a detalhes construtivos não visíveis nas plantas CAD-2D, utilizadas pelos trabalhadores para a execução dos pacotes de trabalho planejados. Nesse sentido, a Figura 103 apresenta um exemplo, no qual o trabalhador encarregado de executar o pacote de alvenaria de vedação não conseguiu interpretar o detalhe para a execução de um recuo na alvenaria, o qual seria utilizado para a instalação posterior de uma pele de vidro na fachada. Outro fator que contribuiu para essa dúvida foi o fato de que a viga de concreto executada no setor não acompanhou o recuo estabelecido no

detalhe. Dessa forma, uma vez consultado o detalhe correspondente no modelo BIM, o pacote de alvenaria foi suspenso e foram planejados, em semanas posteriores, tanto o escareamento da viga de concreto quanto a conclusão do trecho de alvenaria faltante.

Similarmente, um outro erro na execução da estrutura de concreto, somado à falta de clareza no detalhe estabelecido na planta CAD-2D originou a falha na execução da alvenaria de vedação apresentada na Figura 104, a qual devia ter sido executada com uma fiada só, para o suporte de uma grade superior. Dessa forma, o pacote teve que ser igualmente suspenso, sendo planejada posteriormente a demolição da alvenaria erroneamente executada. Por outro lado, o erro na interpretação das plantas de detalhe e a falta de um monitoramento eficaz por parte dos encarregados da obra resultou no esquecimento do vão para a montagem posterior de uma janela (Figura 105). Isso foi percebido pelo autor durante a realização do controle de qualidade do pacote de trabalho correspondente. Essa falha foi transmitida para o supervisor de obras, o que gerou o replanejamento posterior da atividade de retrabalho para a abertura do vão faltante.

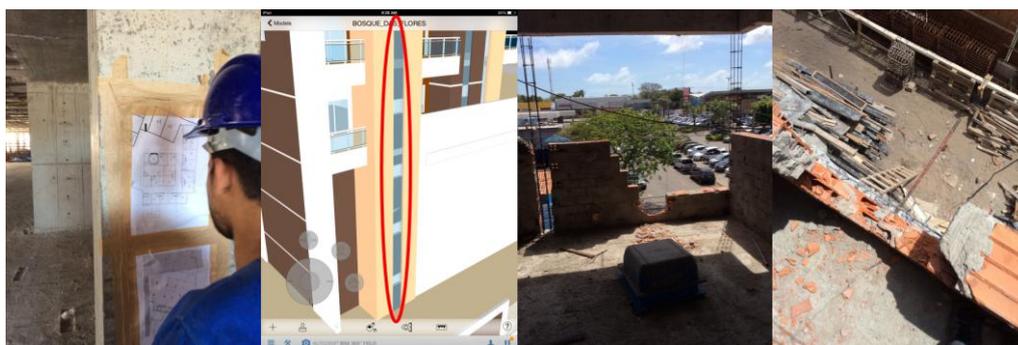


Figura 103: Utilização do BIM como fonte de consulta do detalhe construtivo de recuo para pele de vidro em fachada

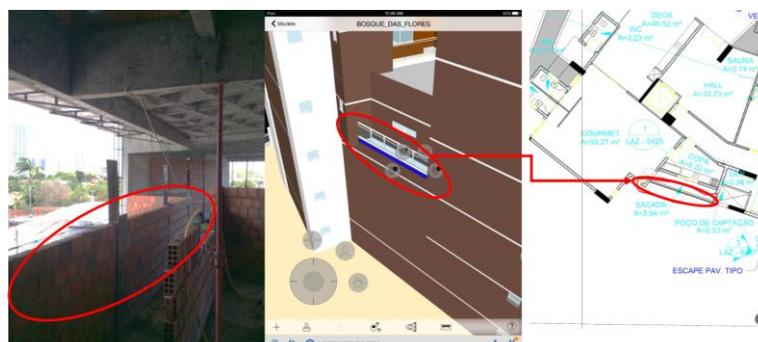


Figura 104: Utilização do BIM como fonte de consulta do detalhe construtivo de base para grade em fachada

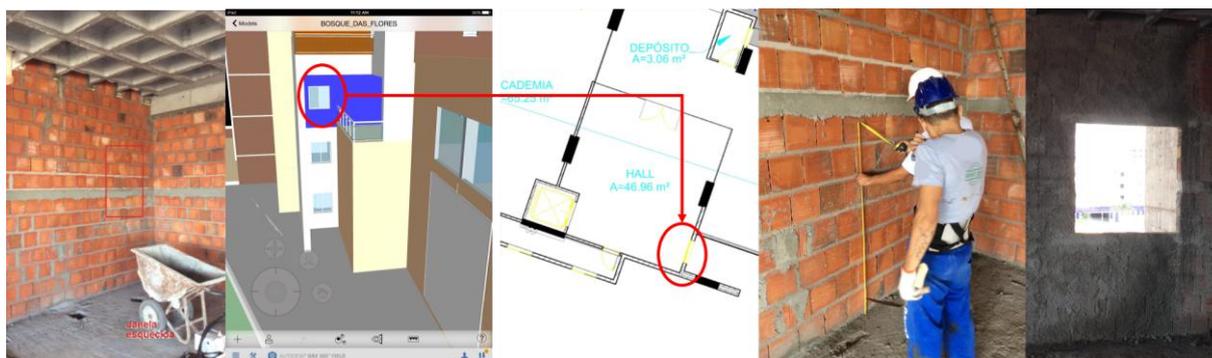


Figura 105: Utilização do BIM como apoio às tarefas de controle de qualidade no canteiro

Outro uso possível do BIM no canteiro foi percebido a partir das falhas frequentes observadas no sequenciamento entre as atividades de reboco e instalações elétricas, contrapisos e instalações dos esgotos para condicionadores de ar, apresentadas nas Figuras 106 (a) e (b), respectivamente. Esses eventos surgiram devido à necessidade pontual de adiantar as tarefas de reboco e contrapisos, de forma a liberar frentes de trabalho, em setores nos quais as instalações mencionadas ainda não tinham sido concluídas. Aliás, essa necessidade de liberação de frentes de trabalho surgiu devido ao fluxo repentino de mão de obra própria não prevista, a partir da conclusão de um outro empreendimento da Empresa Y. Propôs-se, assim, a utilização do BIM como ferramenta de apoio nas reuniões de planejamento de curto prazo, de forma a visualizar e coordenar as tarefas em setores com superposição ou interferência entre as equipes de trabalho, tentando evitar a aparição de retrabalhos posteriores.



Figura 106: Utilização do BIM como apoio para a coordenação de tarefas nas reuniões de curto prazo

5.2.4 Teste de alternativas de *software* para a integração entre os controles no canteiro e o BIM

Tendo em vista os custos elevados para a aquisição das licenças dos aplicativos utilizados para a instanciação do modelo e método propostos, a Empresa Y realizou o pedido para a apresentação de alternativas nas quais possa ser executado um método de controle similar. Assim, as Figuras 107 (a) e (b) ilustram os testes exploratórios de dois aplicativos independentes, o Visilean™ e o Quizquality, respectivamente.

O Visilean™ consiste em um *software* para o planejamento e controle de produção, utilizando o LPS®. Além disso, o aplicativo funciona mediante uma interface *web* e em dispositivos móveis, sendo capaz de vincular os controles feitos no canteiro ao modelo BIM do empreendimento. Porém, o mesmo apresenta algumas desvantagens, tais como a necessidade de uma conexão à internet permanente para a sua manipulação no canteiro (isto é, conexão wifi, 3G ou 4G), assim como dificuldades para a vinculação dos pacotes controlados ao modelo BIM, devido à sua interface ainda pouco desenvolvida.

O Quizquality constitui-se em um pacote computacional para o planejamento e controle de qualidade dos serviços executados no canteiro de forma sistemática, funcionando igualmente mediante uma interface *web* e outra disponível para dispositivos móveis. A vantagem principal do mesmo é que não precisa de conexão à internet estando no canteiro, porém, o mesmo não é compatível com o LPS®, o que limita as suas possibilidades de integração aos controles de produção.

Os testes feitos com ambos os aplicativos apontaram dificuldades para a sua manipulação simultânea, tendo que se mudar de um para o outro durante o desenvolvimento das avaliações de produção e qualidade de cada pacote de trabalho. Além disso, a conexão 3G utilizada para a manipulação do Visilean™, não foi suficiente para garantir a estabilidade de funcionamento do mesmo, apresentando-se constantes fechamentos da sua interface durante as coletas de dados. Conseqüentemente, foi reafirmada a importância de conduzir ambos os controles de forma integrada, mediante uma interface sincronizável, que não precise de uma conexão à internet durante as coletas e que seja capaz de fornecer o nível de detalhamento e contexto suficientemente flexíveis para a inserção de informações, dependendo das necessidades de coleta pontuais.

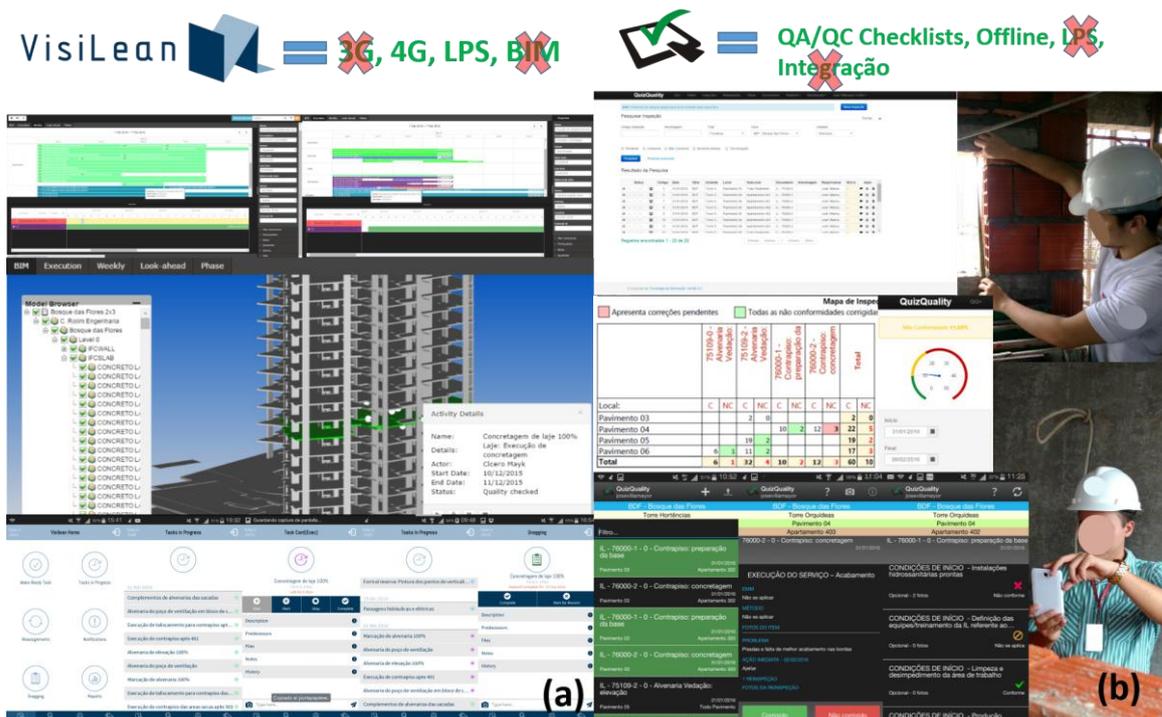


Figura 107: Testes de controles de produção e qualidade realizados com os aplicativos VisiLean™ e Quizquality

5.2.5 Discussão dos resultados do segundo estudo empírico

A principal melhoria desenvolvida neste segundo estudo empírico consistiu na proposta do método e modelo finais para a integração dos processos de planejamento e controle ao modelo de produto. A utilização de uma base de dados obtida a partir dos controles feitos no canteiro, permitiu realizar um contraste entre o avanço planejado no longo prazo e o avanço real. Os tempos despendidos para as tarefas de coleta e cadastramento de dados demonstraram ser viáveis, apesar de serem realizados inteiramente pelo pesquisador. Nesse sentido, poderia se esperar que a aplicação do modelo seria facilitada consideravelmente caso fosse realizada de forma colaborativa.

As reuniões de pré-fechamento semanal, executadas no dia anterior à reunião de curto prazo, demonstraram ser eficazes para a redução da quantidade de pacotes informais controlados nas semanas seguintes. Porém, requereram de uma abordagem sistemática por parte dos encarregados da obra, a qual não conseguiu ser mantida durante todas as semanas.

Os usos possíveis do modelo BIM durante a fase de construção, apresentados em reuniões gerenciais, foram apreciados e considerados como opções viáveis de serem implementadas nos empreendimentos futuros da Empresa Y. O *feedback* com registros de pacotes formais,

informais, perdas por *making-do* e reprovações de qualidade, obtidos a partir da coleta em dispositivos móveis, consistiu em uma novidade que foi bem-vinda e considerada para a aplicação de medidas corretivas nos procedimentos de controle utilizados na empresa. Nesse sentido, salienta-se o especial interesse apresentado pela gerência de qualidade em dar continuidade ao método de controle integrado proposto pela pesquisa, assim como à utilização de dispositivos móveis para a coleta de dados no canteiro.

5.3 AVALIAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO

Com base nos constructos de utilidade e aplicabilidade, definidos no capítulo do método de pesquisa, foi realizada uma avaliação do artefato proposto, apresentada a seguir.

5.3.1 Utilidade da solução

No que se refere à contribuição da utilização do BIM para facilitar a representação visual do controle integrado de produção e qualidade no canteiro (modelo de processo), pode ser mencionado que a mesma se limitou à elaboração de resumos visuais das informações coletadas semanalmente dentro do B3F, não podendo ser conseguida a efetiva utilização do modelo BIM como ponto de partida para a execução das coletas de informações no canteiro em ambos os estudos, devido às limitações do aplicativo escolhido.

As deficiências do método de vinculação entre modelos de processo e produto desenvolvido no primeiro estudo empírico levaram à necessidade de desenvolver um novo método para o segundo estudo. Nesse caso, a gestão de informações no modelo BIM foi inteiramente executada no Navisworks[®], importando as informações coletadas no canteiro mediante bases de dados, previamente processadas e formatadas. A versão refinada do método permitiu estabelecer um fluxo de informações estável, livre dos erros de mapeamento experimentados na primeira etapa da pesquisa, e que, ao mesmo tempo, permitiu realizar a comparação entre o avanço planejado no longo prazo e o avanço real, mediante a utilização da funcionalidade para a simulação 4D, contida no aplicativo mencionado. Assim, a versão final do método desenvolvido permitiu executar um fluxo de planejamento e controle mais adequado com as situações reais apresentadas no canteiro, mediante a atribuição de vários pacotes de trabalho para cada objeto do modelo BIM. Isto não tinha sido possível durante o primeiro estudo.

Por sua vez, as entrevistas semiestruturadas conduzidas com representantes da Empresa Y permitiram identificar que a disponibilidade das informações relativas aos controles executados

no canteiro dentro do modelo BIM pode ser útil para a gestão do canteiro, sempre e quando o processamento dessas informações seja simples e didático. Além disso, foi salientado que as informações do canteiro inseridas no modelo BIM poderiam ser utilizadas para a retroalimentação de alguns processos executados no escritório da empresa, tais como o desenvolvimento de novos projetos (*design*), orçamentos e obtenção de quantitativos. Adicionalmente, a gerência da qualidade destacou que a disponibilidade dos resultados dos controles no BIM, pode ser muito útil para a visualização dos setores da obra que já foram inspecionados, evitando-se assim a duplicação dos controles. Finalmente, os encarregados da obra destacaram a possibilidade de utilizar o modelo BIM diretamente para a avaliação de interferências entre as equipes de trabalho, antes das mesmas serem detectadas nas frentes de trabalho.

Em relação à contribuição do modelo integrado de processo e produto para a percepção da importância de realizar os controles de produção e qualidade de forma simultânea, ressalta-se que a necessidade de integração entre os controles foi corroborada pelos gerentes de produção e qualidade da Empresa X, durante as reuniões mantidas com os mesmos, tanto no canteiro, como no escritório da empresa. Além disso, o teste de *software* alternativos para a instanciação do modelo proposto, evidenciou a necessidade de dispor as informações necessárias para aplicar os controles da produção e da qualidade em uma plataforma única e flexível, que seja adaptável às necessidades de coleta pontuais. Igualmente, a diretoria e gerências da Empresa Y consideraram que a falta de integração entre os controles de produção e qualidade constitui uma falha nos procedimentos atuais da mesma, devendo essa integração ser efetivamente atingida para determinar o avanço real das obras, considerando as possíveis não conformidades surgidas nos processos construtivos. Ademais, os gerentes da Empresa Y apontaram como positiva a possibilidade de disponibilizar informações resumidas, resultantes dos controles da produção e da qualidade dentro do modelo de produto, de forma a visualizar o avanço real da obra em forma expedita.

No que se refere à contribuição do modelo integrado de processo e produto como referência na tomada de decisões corretivas e preventivas para a gestão do empreendimento, salienta-se que o modelo proposto conseguiu contribuir pontualmente ao desenvolvimento das reuniões de curto prazo em ambos os estudos, proporcionando um apoio aos encarregados das obras com dados reais do avanço produtivo e observações sobre a qualidade dos pacotes desenvolvidos. No primeiro estudo empírico, o processamento dos dados coletados, permitiu evidenciar as deficiências de qualidade e terminalidade reportadas informalmente por parte dos estagiários

durante as reuniões de curto prazo, relacionadas a uma subempreiteira em particular, encarregada da execução de rebocos. No entanto, essas informações quantitativas não conseguiram ser repassadas à gerência da obra, de forma a que a mesma possa agir em consequência.

Por sua vez, no segundo estudo empírico foi feito o monitoramento e replanejamento de pacotes informais coletados, em conjunto ao supervisor da obra, o que ajudou a diminuir os esforços de coleta de dados no canteiro e a melhorar os indicadores obtidos semanalmente. Adicionalmente, a diretoria da Empresa Y destacou como um dos principais benefícios derivados do modelo proposto a maior transparência dos processos construtivos, o que pode gerar uma melhoria direta na definição e atribuição dos pacotes durante o planejamento e uma maior motivação para a execução das tarefas de controle.

Finalmente, a contribuição da utilização de dispositivos móveis para a gestão eficiente das informações geradas no canteiro pôde ser avaliada em função à incorporação efetiva de documentação variada relativa aos processos de gerenciamento da obra dentro dos dispositivos móveis, assim como a partir da análise comparativa dos resultados obtidos após a utilização dessas tecnologias, como, por exemplo, a base de dados com o detalhe das atividades diariamente executadas, o controle de qualidade, registros de ocorrências de *making-do*, registros fotográficos e relatórios customizáveis. Essas bases de dados constituíram finalmente a ferramenta principal para o enriquecimento de informações no modelo BIM. Adicionalmente, a partir dos resultados da pesquisa, a gerência de produção da Empresa Y manifestou que a utilização de dispositivos móveis pode reduzir efetivamente o tempo despendido durante o preenchimento manual de planilhas e documentação no canteiro. Foi também destacada a possibilidade de consulta rápida das informações armazenadas nos dispositivos, sem necessidade de se deslocar para o escritório. Esse ponto foi confirmado pelos próprios estagiários do Empreendimento B, os quais já contavam com *tablets* para a consulta de plantas 2D, procedimentos construtivos e detalhes vários do empreendimento.

5.3.2 Aplicabilidade da solução

Com relação à facilidade de uso do modelo proposto, esta foi parcialmente avaliada, considerando a execução dos controles no canteiro mediante dispositivos móveis. O cadastramento dos dados no sistema e a vinculação da base de dados ao modelo BIM foram executados somente pelo autor, dada a complexidade destes procedimentos e limitações de

tempo no presente trabalho. Nesse sentido, na entrevista aberta com a bolsista de iniciação científica na Empresa X, foi comparado o funcionamento do método proposto para a coleta de dados no primeiro estudo empírico com o método para a coleta de dados utilizando o aplicativo próprio desenvolvido na pesquisa precedente (ROCHA, 2015). Constatou-se que o B3F resultou um pouco mais demorado de ser utilizado que o aplicativo próprio desenvolvido anteriormente devido à maior quantidade de passos requeridos para a inserção de informações nos campos customizados, criados dentro do mesmo. Além disso, outra desvantagem percebida foi a interface do B3F, originalmente desenvolvida em inglês, a qual dificultou, no início, o entendimento dos campos a serem preenchidos durante as coletas. No entanto, foi ressaltada a sua capacidade de filtragem de informações, a qual facilitou bastante os processos de coleta, quando comparado ao aplicativo próprio. Por outro lado, os estagiários do Empreendimento B realizaram testes pontuais dos aplicativos de coleta, concluindo que o sistema implementado no B3F era simples e prático de ser utilizado, sobre tudo porque permitiu a realização dos controles de produção e qualidade em forma simultânea. Os mesmos adicionaram que os outros sistemas testados, tais como Visilean[™] e Quizquality, resultaram mais difíceis de serem manipulados, além de apresentar falhas durante o seu funcionamento.

Tendo em vista à eficiência, foi medido o tempo efetivo para a realização das coletas. O mesmo resultou em média 2h09min por dia para o primeiro estudo empírico e 1h18min por dia para o segundo, com 141 e 89 eventos de coleta semanais, os quais incluíram pacotes formais, informais, perdas por *making-do* e reprovações de qualidade, respectivamente. Isso foi considerando como um resultado satisfatório, tendo em vista que, caso o modelo fosse utilizado por uma empresa construtora, essas atividades de coleta seriam realizadas pelos estagiários da obra, os quais normalmente dispõem entre 4 a 5 horas diárias para a execução de suas tarefas. Dessa maneira, ainda sobraria tempo para que os mesmos possam realizar outras atividades complementares. No entanto, salienta-se que para as atividades de cadastramento semanal de dados e vinculação de informações ao modelo BIM, deveria ser feito um esforço colaborativo de forma a poder viabilizar a utilização do modelo proposto de forma completa, ou optar por uma simplificação da quantidade de informações a serem coletadas, ajustando-as às necessidades pontuais da empresa construtora. Os tempos para executar esses processos, foram medidos no segundo estudo empírico, levando em média, cada um deles, aproximadamente 4 horas por semana.

Outro ponto que permitiu avaliar a eficiência do modelo foi a facilidade percebida para a geração de registros fotográficos, bases de dados, notificações via *e-mail* e relatórios, a partir

da utilização de informações sincronizáveis nas nuvens. Ademais, os estagiários do Empreendimento B destacaram a importância dos registros fotográficos para a rápida identificação dos setores da obra com problemas de qualidade, além de servir como uma fonte de informação para os futuros treinamentos dos trabalhadores no canteiro.

No que se refere à adequação ao processo existente, o modelo foi avaliado quanto à possibilidade de realizar o registro e controle eficaz dos pacotes planejados no curto prazo em ambos os empreendimentos, o cadastramento e controle dos critérios de qualidade disponíveis nos sistemas de gestão de qualidade de ambas as empresas, a determinação efetiva dos indicadores PPC, PPCQ, PPCR, aprovações e reprovações de qualidade, os quais constituiriam pontos importantes de serem reproduzidos dentro do modelo proposto. No entanto, foram observadas falhas na aplicação dos processos existentes nas empresas estudadas, principalmente relacionadas à falta de aplicação rigorosa e sistemática dos controles no canteiro. Isso acarretou na rejeição posterior do modelo proposto, o qual exige a abordagem sistemática para a obtenção de resultados satisfatórios e um investimento de tempo para a compreensão do sistema de controle utilizando TIC no canteiro. Nesse sentido, as entrevistas feitas com representantes da Empresa Y indicaram a necessidade de realizar uma capacitação prévia dos encarregados das obras para a utilização de TIC, além de roteiros que auxiliem na execução do modelo de controle proposto e finalmente um monitoramento gerencial para a aplicação das modificações pretendidas.

Finalmente, a possibilidade de continuação foi determinada mediante a análise e apresentação do orçamento para a aquisição dos aplicativos B3F e Navisworks® por parte das empresas que participaram da pesquisa. Além disso, foi feita a apresentação conjunta das recomendações para a melhoria dos processos de planejamento e controle existentes nas empresas e os benefícios adicionais esperados a partir da utilização de TIC e o modelo proposto na pesquisa. No entanto, os custos de aquisição dos aplicativos utilizados para a instanciação do modelo proposto foram considerados muito elevados. Isso limitou a continuidade direta do modelo proposto em ambas as empresas. Porém, o teste das alternativas de *software* apresentadas no segundo estudo empírico gerou o interesse por parte da Empresa Y de continuar explorando outras opções. Dessa forma, a referida empresa optou por desenvolver aplicativos próprios para a integração dos controles de produção e qualidade em uma primeira etapa, e tentar incorporar o BIM, no estágio seguinte.

As Figuras 108 e 109, resumem as avaliações correspondentes aos constructos de utilidade e aplicabilidade, anteriormente apresentadas.

Crítérios	Avaliação
Contribuição da utilização do BIM (modelo de produto) para facilitar a representação visual do controle integrado de produção e qualidade no canteiro, assim como das perdas por making-do, retrabalho, etc. (modelo de processo).	<p>* As limitações da ferramenta de coleta condicionaram a utilização do BIM para realizar resumos visuais das informações resultantes dos controles feitos diariamente no canteiro, não conseguindo ser utilizado como ponto de partida para as coletas de dados.</p> <p>* As informações adicionadas ao BIM durante a fase de construção, podem retroalimentar processos executados no escritório, evitar a duplicação dos controles e apoiar os processos de tomada de decisão no canteiro.</p>
Contribuição do modelo integrado de processo e produto para a percepção da importância de realizar os controles de produção e qualidade de forma simultânea.	<p>* A necessidade de integração entre ambos os controles foi corroborada por representantes de ambas as empresas.</p> <p>* A importância de realizar ambos os controles de forma simultânea mediante uma plataforma única, flexível e de funcionamento <i>off-line</i> foi verificada mediante os testes de aplicativos alternativos e entrevistas com estagiários.</p>
Contribuição do modelo integrado de processo e produto como referência na tomada de decisões corretivas e preventivas para a gestão do empreendimento.	<p>* O modelo pode ser utilizado para o desenvolvimento das reuniões semanais, proporcionando dados reais sobre o avanço produtivo e a qualidade dos pacotes executados.</p> <p>* O modelo pode contribuir a aumentar a transparência do planejamento mediante a análise prévia de pacotes com interferências e a melhor atribuição destes pacotes nas reuniões de curto prazo.</p> <p>* O modelo permite realizar o monitoramento sistemático dos pacotes executados e, assim, estruturar estratégias para diminuir a incidência de pacotes informais e outras perdas.</p>
Contribuição da utilização de dispositivos móveis para a gestão eficiente das informações geradas no canteiro.	<p>* O uso de dispositivos móveis permite a incorporação efetiva de documentação variada relativa aos processos de gerenciamento da obra, durante a realização dos controles no canteiro.</p> <p>* O uso de dispositivos móveis possibilitou a criação de bases de dados, as quais foram a ferramenta principal para o enriquecimento de informações no modelo BIM</p>

Figura 108: Resumo de avaliações do constructo utilidade

Subconstructos	Avaliação
Facilidade de uso	<p>* Os controles de produção e qualidade realizados com o B3F foram um pouco mais demorados que os realizados com o aplicativo desenvolvido por Rocha (2015).</p> <p>* A interface do B3F foi considerada apropriada para a gestão de informações no canteiro, quando comparada ao aplicativo de Rocha (2015) e ao Visilean e Quizquality.</p> <p>* O cadastramento dos dados no sistema e a vinculação da base de dados ao modelo BIM foram executados somente pelo autor, dada a complexidade destes procedimentos e limitações de tempo no presente trabalho.</p>
Eficiência	<p>* Os tempos médios de coleta de 2h09min por dia para o primeiro estudo empírico e 1h18min por dia para o segundo, são apropriados para o canteiro de obras.</p> <p>* O cadastramento semanal de dados e a vinculação de informações ao modelo BIM devem ser feitos mediante um esforço colaborativo dada a complexidade destes procedimentos.</p> <p>* A documentação gerada a partir das coletas pode reduzir o tempo para a identificação dos setores da obra com problemas de qualidade e apoiar a instrução da força de trabalho.</p>
Adequação ao processo existente	<p>* O modelo conseguiu reproduzir de forma eficaz os requisitos dos sistemas de controle da produção e da qualidade em ambas as empresas.</p> <p>* Falhas na aplicação sistemática dos processos existentes nas empresas estudadas, originaram a rejeição do modelo proposto por parte dos encarregados das obras.</p> <p>* Foram sugeridas uma capacitação prévia dos encarregados para o uso de TIC, roteiros e um monitoramento gerencial, de forma a aplicar o modelo proposto.</p>
Possibilidade de continuação	<p>* Os custos elevados dos aplicativos utilizados para a instânciação do modelo proposto impossibilitaram a sua continuidade direta em ambas as empresas.</p> <p>* O teste das alternativas de software gerou a iniciativa da Empresa Y de desenvolver aplicativos próprios para a instânciação do modelo proposto.</p>

Figura 109: Resumo de avaliações do constructo aplicabilidade

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As conclusões do trabalho são estruturadas considerando as questões propostas para a pesquisa, assim como as proposições e os objetivos da mesma.

Dessa maneira, as questões principais foram:

- a) Como a tecnologia de informação (TI) por meio da computação móvel e o BIM podem ser utilizados para apoiar o controle integrado da produção e qualidade no canteiro?;
- b) Como integrar o modelo de processo de produção, que é requerido pelos sistemas de planejamento e controle da produção e de gestão da qualidade, ao modelo de produto, representado pelo modelo BIM do empreendimento?;

Em relação ao primeiro ponto, destaca-se que a percepção geral de que a utilização das TIC, com apoio da computação móvel no canteiro de obras, beneficiou o processo de controle integrado, devido à facilidade percebida para a coleta de dados, os quais, uma vez processados, permitiram obter informações do avanço real da obra (isto é, pacotes concluídos e com qualidade aprovada). Com relação ao uso do BIM nos controles pró-ativos, evidenciou-se a potencial utilidade do mesmo para o gerenciamento visual das informações coletadas no canteiro. Adicionalmente, foi proposto o aproveitamento das informações contidas no BIM como um meio de apoio para a coordenação das reuniões de planejamento e para a consulta de informações durante a realização dos controles de produção e qualidade no canteiro de obras.

Considerando a segunda questão principal, foi desenvolvido o modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto. O mesmo foi obtido a partir do refinamento do método proposto no primeiro estudo empírico e consolidado no segundo estudo. Assim, a proposta de integração final entre os modelos de processo e produto inclui a vinculação de ambos nos diferentes níveis hierárquicos do LPS[®], o que permite a obtenção dos modelos *as-planned* e *as-built* do empreendimento. De fato, essas integrações executadas nas diferentes hierarquias podem ser comparadas entre si e em conjunto à informação estruturada nas bases de dados, relativas aos motivos de não conclusão e não qualidade das tarefas planejadas, servir como uma fonte de consulta em processos de tomada de decisão durante o gerenciamento dos empreendimentos.

Por outro lado, recapitulando as questões secundárias estabelecidas:

- c) Quais são os benefícios e dificuldades da utilização de dispositivos móveis e BIM, para o controle integrado de produção e qualidade no canteiro de obras?;
- d) Que nível de desenvolvimento (LOD) deveria ter o modelo BIM para poder facilitar a gestão posterior das informações geradas no canteiro, relativas aos controles de produção e qualidade?

Os principais benefícios percebidos a partir da utilização de dispositivos móveis e BIM para o controle integrado estão relacionados à viabilidade para a realização de controles sistemáticos mediante o uso dessas tecnologias, os indicadores, relatórios e resumos visuais que permitem aumentar a transparência dos processos de planejamento e controle, assim como as simulações de cenários e comparações entre modelos *as-built* e *as-planned*, que servem para apoiar a tomada de decisões relativas ao avanço da obra. No entanto, entre as dificuldades percebidas, a falta de uso sistemático dos procedimentos de planejamento e controle próprios das empresas dificultou a aceitação final dos dispositivos móveis para a execução conjunta dos roteiros de coleta de dados no canteiro. Nesse sentido, as entrevistas com gerentes da Empresa Y revelaram a necessidade de uma capacitação e supervisão aos encarregados das obras, de forma a implementar e manter os procedimentos que incluam a utilização de novas tecnologias. Além disso, a principal dificuldade observada para a adoção do modelo proposto foi relacionada aos custos para a aquisição das licenças dos aplicativos proprietários utilizados na pesquisa, os quais foram considerados como elevados por ambas as empresas.

Em relação ao nível de desenvolvimento do modelo BIM utilizado para a importação dos dados coletados no canteiro, foi observado que os controles da produção e da qualidade podem ser integrados ao modelo de produto a partir de níveis básicos, como o LOD 200. Porém, isso ocasiona que pacotes pertencentes a distintas atividades devem ser necessariamente vinculados aos mesmos objetos do modelo BIM. O aumento no nível de desenvolvimento do modelo pode permitir uma melhora na filtragem e identificação dos elementos controlados e facilitar a implementação do modelo proposto em etapas construtivas posteriores, mas isto aumentaria o esforço de modelagem e dos requerimentos computacionais para o hardware utilizado e o *software* de modelagem. Assim, é considerado que o LOD básico utilizado nesta pesquisa é suficiente para o gerenciamento eficaz da informação resultante dos controles feitos no canteiro durante a fase construtiva, tendo em consideração as limitações de recursos características dos canteiros de obras (*hardware*, *software*, operários), os tempos reduzidos para a modelagem BIM e a velocidade requerida para o mapeamento das informações diariamente coletadas.

Por sua vez, as proposições da pesquisa estabeleceram que:

- a) A integração do modelo de processo, relativo às tarefas de controle na fase de construção, ao modelo de produto, representado pelo modelo BIM, pode facilitar o acompanhamento do avanço produtivo a visualização da qualidade das tarefas sendo executadas e o monitoramento de perdas;
- b) Os modelos BIM podem ser utilizados para aumentar a transparência do processo de planejamento, como uma ferramenta de apoio para as negociações, análise de serviços interdependentes e atribuições de tarefas correspondentes ao planejamento produtivo, assim como para a exigência documentada de melhoria de qualidade na execução dos pacotes de trabalho.

A primeira proposição foi testada em forma completa no segundo estudo empírico, mediante a criação do modelo *as-built*, a partir dos dados coletados no canteiro resultantes dos controles pró-ativos, e a comparação do mesmo contra o planejamento original de longo prazo, elaborado por meio da simulação 4D da obra em estudo. Os desvios detectados a partir desse processo, foram apresentados para a gerência de produção da Empresa Y, a qual considerou esta informação como útil para a gestão da obra. Porém, deve-se considerar que os passos necessários (método) para obter esse resultado são muito complexos para serem utilizados diretamente pelos encarregados dos empreendimentos.

Ademais, as perdas coletadas de forma sistemática em ambos os estudos corresponderam aos pacotes informais de retrabalho, falta de terminalidade, ocorrências de *making-do* e reprovações de qualidade. A utilização de TI permitiu realizar um monitoramento sistemático para cada uma dessas categorias, assim como a sua incorporação dentro do modelo de produto. Dessa forma, foi possível implementar procedimentos para o monitoramento e redução dos pacotes informais controlados no segundo estudo empírico. Além disso, os registros com ocorrências de *making-do* e reprovações de qualidade foram apresentados para a gerência de ambas as empresas participantes da pesquisa, permitindo aos envolvidos visualizar as tarefas de controle no canteiro de uma perspectiva diferente. Assim, a vinculação dessas perdas ao modelo BIM dos empreendimentos, foi percebida como útil para resumir e interpretar o resultado dos controles de forma expedita.

A segunda proposição foi testada em parte, a partir dos usos alternativos propostos para o BIM no canteiro, os quais demonstraram ser úteis para o apoio aos controles de qualidade, a consulta de detalhes construtivos não visíveis na documentação 2D e a coordenação de tarefas com

interdependências. Além disso, o potencial aumento da transparência nas tarefas de planejamento foi facilitado a partir da estruturação do método e do decorrente modelo final para a vinculação entre os controles no canteiro e o BIM. Dessa forma, as informações contidas no BIM conseguiram ser utilizadas para a visualização dos *status* dos pacotes planejados e da evolução dos mesmos ao longo do tempo. Entretanto, embora esses resultados tenham sido apresentados em diversas ocasiões em ambos os estudos desenvolvidos, não foram efetivamente utilizados durante as reuniões de planejamento.

Por outro lado, considerando o objetivo principal de desenvolver um **modelo** para a integração entre **processos gerenciais**, representados pelos sistemas de planejamento e controle da produção e de gestão da qualidade, e o **modelo de produto**, representado pelo modelo BIM do empreendimento, pode-se afirmar que o mesmo foi atingido mediante o artefato desenvolvido para a pesquisa, o qual consistiu no modelo para a integração entre os domínios dos processos e do produto.

Em relação aos objetivos secundários, o refinamento do modelo de controle integrado de produção e qualidade proposto por (LEÃO, 2014) foi desenvolvido no primeiro estudo empírico por meio dos métodos propostos para o cadastramento de dados gerais do empreendimento e para a coleta de dados no canteiro, além das considerações adicionais e modificações feitas ao modelo mencionado, de forma a adaptá-lo à interface do aplicativo comercial B3F. A partir disso, foi desenvolvido um modelo de controle integrado próprio, considerando a nomenclatura do aplicativo comercial, assim como as adaptações necessárias no mesmo, de forma a poder obter os dados suficientes para os processamentos e as análises posteriores.

Por outro lado, os métodos de cadastramento e coleta foram inicialmente desenvolvidos no primeiro estudo empírico e depois refinados no segundo, de forma a obter um método de vinculação suficientemente estável entre as informações obtidas a partir dos controles no canteiro e o BIM. Além disso, o modelo proposto para a integração dos processos de planejamento e controle ao modelo BIM provou a sua utilidade e aplicabilidade em base aos constructos e fontes de evidências estabelecidas no método de pesquisa.

Adicionalmente aos pontos já mencionados, salienta-se que o sistema desenvolvido, composto por dispositivos móveis, computação nas nuvens e a integração entre modelos de processo e produto, apresenta algumas vantagens em relação a outros sistemas utilizados atualmente para a coleta automatizada de dados no canteiro. A principal vantagem é a facilidade para a coleta

de dados em ambientes interiores, a qual constitui uma das limitações dos métodos baseados, por exemplo, no *Laser-Scanning*, Fotogrametria ou Realidade Aumentada. Além disso, as estruturas hierárquicas flexíveis do modelo proposto se ajustaram corretamente às necessidades de coleta de dados em ambientes de construção reais, não se precisando de grandes ajustes durante a realização das coletas. Outra vantagem percebida foi a possibilidade de realizar o monitoramento eficaz de diversos tipos de perdas, por exemplo, ocorrências de *making-do*, retrabalho e falta de terminalidade. Adicionalmente, é possível retroalimentar os ciclos de planejamento das obras, por exemplo, mediante a observação de quais pacotes de trabalho se encontram efetivamente concluídos, com falta de terminalidade ou problemas de qualidade.

No entanto, é assumido que o sistema proposto pode ser melhorado mediante a utilização de *add-ins*, tais como, iConstruct ou BIMCAVE Custom Parameter, a ser incorporados ao aplicativo proprietário utilizado para a gestão de informações no BIM, ou seja, Navisworks®. Isso permitiria reduzir os tempos para a criação dos pacotes de trabalho no BIM e incrementar o tipo de informações incorporadas ao modelo BIM, isto é, enriquecimento do modelo de produto com fotos coletadas no canteiro, relatórios semanais dos controles e assim por diante. Alternativamente, a programação de algoritmos aproveitando o API¹⁹ do mesmo aplicativo, pode resultar igualmente útil para essa finalidade.

Dessa forma, são sugeridas as seguintes oportunidades de continuidade para trabalhos futuros:

- a) Programação de algoritmos para a gestão de informações dentro do modelo BIM;
- b) Utilização de ferramentas *open source*, tais como o Dynamo BIM, para a gestão de informações no modelo BIM;
- c) Utilização de formatos *open source*, tais como o IFC, para a integração entre modelos de processo e produto;
- d) Utilização do modelo proposto para a gestão de atividades de fluxo no canteiro de obras; e
- e) Adaptação do modelo proposto para a gestão de informações durante as fases de entrega, funcionamento e manutenção do empreendimento.

¹⁹ O *Application Programming Interface* (API) consiste em um conjunto de roteiros, protocolos e ferramentas para a elaboração de *software* e aplicativos.

REFERÊNCIAS

ABANDA, F. H.; TAH, J. H. M.; KEIVANI, R. Trends in built environment Semantic Web applications: Where are we today? **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 14, p. 5563–5577, 2013.

ACKOFF, R. A Concept of Corporate Planning. **Long Range Planning**, v. 3, n. 1, p. 2–8, set. 1970.

AKINCI, B.; BOUKAMP, F.; GORDON, C.; HUBER, D.; LYONS, C.; PARK, K. A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control. **Automation in Construction**, v. 15, n. 2, p. 124–138, mar. 2006.

AKKARI, A. M. P. **Interligação entre o Planejamento de Longo, Médio e Curto Prazo com o Uso do Pacote Computacional Msproject**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ALEXANDRE, I. F. **Manifestações Patológicas em Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda Executados em Alvenaria Estrutural: Uma Análise da Relação de Causa e Efeito**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ALVES, T. **Diretrizes para a Gestão dos Fluxos Físicos em Canteiros de Obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ANDRESEN, J.; BALDWIN, A.; BETTS, M.; CARTER, C.; HAMILTON, A.; STOKES, E.; THORPE, T. A framework for measuring it innovation benefits. **ITcon**, v. 5, n. January, p. 57–72, 2000.

ANUMBA, C. J. Industry uptake of construction IT innovations - key elements of a proactive strategy. **Construction Informatics and Information Technology in Civil Engineering and Construction**, p. 77–83, 1998.

ARENTSEN, A. L.; TIEMERSMA, J.; KALS, J. The integration of quality control and shop floor control. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 9, n. 2, p. 113–130, 1996.

ARTRA. **Software Overview**. Disponível em: <<http://www.artra.co.uk>>. Acesso: 16 de agosto de 2015.

AUTODESK. **BIM 360 Overview**. Disponível em: <<http://www.autodesk.com/products/bim-360/overview>>. Acesso: 16 de agosto de 2015.

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

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing lean construction: improving downstream performance. **Lean Construction**, p. 111–125, 1997.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding Production: Essential Step in Production Control. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 11–17, jan. 1998.

BERNARDES, M. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BERR, L. R.; FORMOSO, C. T. Método para avaliação da qualidade de processos construtivos em empreendimentos habitacionais de interesse social. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 77–96, jun. 2012.

BHATLA, A.; LEITE, F. Integration Framework of BIM With the Last Planner System. **20th International Group for Lean Construction**, p. 10, 2012.

BOWDEN, S.; DORR, A.; THORPE, A.; ANUMBA, C.J.; GOODING, P. Making the case for mobile IT in construction. **Computing in Civil Engineering**, p. 1–12, 2005.

BOWDEN, S.; DORR, A.; THORPE, A.; ANUMBA, C.J. Mobile ICT support for construction process improvement. **Automation in Construction**, v. 15, p. 664–676, 2006.

BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil : uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. Tese de Doutorado - Doutora em Engenharia Ambiental Urbana: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas., 2009.

CHEN, L.; LUO, H. A BIM-based construction quality management model and its applications. **Automation in Construction**, v. 46, p. 64–73, out. 2014.

CHEN, Y.; KAMARA, J. M. Using mobile computing for construction site information management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 15, n. 1, p. 7–20, 11 jan. 2008.

CHOO, H. J.; TOMMELEIN, I.; BALLARD, G.; ZABELLE, T. WorkPlan: Constraint-Based Database for Work Package Scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 3, p. 151–160, 1999.

CUNHA, M. P. E. Bricolage in Organization. **SSRN Electronic Journal**, n. January, p. 1–32, 2005.

DAVE, B. **Developing a Construction Management System Based On Lean Construction And Building Information Modelling**. Thesis (Ph.D): University of Salford Manchester, England., 2013.

DAVE, B.; KUBLER, S.; KOSKELA, L.; FRÄMLING, K. Addressing information flow in lean production management and control in construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22, Oslo, 2014.

Proceedings... Oslo: IGLC, 2014. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Improving information flow within the production management system with web services. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 18, Haifa, 2010.

Proceedings... Haifa: IGLC, 2010. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Visilean: designing a production management system with lean and BIM. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19, Lima, 2011. **Proceedings...** Lima: IGLC, 2011. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Challenges and Opportunities in Implementing Lean and Bim on an Infrastructure Project. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21, Fortaleza, 2013.

Proceedings... Fortaleza: IGLC, 2013. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

DAVIES, R.; HARTY, C. Implementing “Site BIM”: A case study of ICT innovation on a large hospital project. **Automation in Construction**, v. 30, p. 15–24, mar. 2013.

DE OLIVEIRA, K. A. **Desenvolvimento e Implementação de um Sistema de Indicadores no Processo de Planejamento e Controle da Produção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

DERMER, J. **Management planning and control systems: Advanced concepts and cases**. Georgetown, Ontario: R. D. Irwin, 1977.

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

FIESS, J. R.; OLIVEIRA, L.; BIANCHI, A.; THOMAZ, E. **Causas da ocorrência de manifestações patológicas em conjuntos habitacionais do Estado de São Paulo**. I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído. **Anais...**2004.

FIREMAN, M. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por making-do e retrabalho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FORMOSO, C. T. **A knowledge based framework for planning house building projects**. Thesis (Ph.D) - Department of Quantity and Building Surveying: University of Salford - Manchester, 1991.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M.; MENESCAL, L.; DE OLIVEIRA, K. **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas**

construtoras. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

FORMOSO, C. T.; SOMMER, L.; KOSKELA, L.; ISATTO, E. An Exploratory Study on the Measurement and Analysis of Making-Do in Construction Sites. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19, Lima, 2011. **Proceedings...** Lima: IGLC, 2011. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. Production Planning and Control and the Coordination of Project Supply Chains. In: O'BRIEN, W. *et al.* (Eds.). **Construction supply chain management handbook**. 1st. ed. New York, NY: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2008. p. 54–78.

FORMOSO, C. T.; ISATTO, E.; HIROTA, E. H. Method for Waste Control in the Building Industry. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7, Berkeley, 1999. **Proceedings...** Berkeley: IGLC, 1999. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

FROESE, T.; FISCHER, M.; GROBLER, F.; RITZENTHALER, J.; YU, K. Industry Foundation Classes For Project Management - A Trial Implementation. **ITcon**, v. 4, n. November, p. 17–36, 1999.

GILBRETH, F. B. **Motion Study: A Method For Increasing The Efficiency Of The Workman**. 2. ed. [s.l.] Kessinger Publishing, LLC, 1911.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. Automated Progress Monitoring Using Unordered Daily Construction Photographs and IFC-Based Building Information Models. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 1, 2015.

HAMZEH, F.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow. **Lean Construction Journal**, p. 15–34, 2012.

HARRISON, F. L. **Advanced project management**. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc., 1981.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. To Pull or Not to Pull: What Is the Question? **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 6, n. 2, p. 133–148, 2004.

IRIZARRY, J.; GILL, T. Mobile Applications for Information Access on Construction Jobsites. **Computing in Civil Engineering**, p. 176–185, 2009.

JERNIGAN, F. E. **BIG BIM little bim**. 2nd. ed. [s.l.] 4site Press, 2008.

JURAN, J.; GODFREY, B. **Juran's Quality Handbook**. New York, NY: McGrawHill, 1988.

KALA, T.; MOUFLARD, C.; SEPPÄNEN, O. Production Control Using Location-Based Management System on a Hospital Construction Project. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20, San Diego, 2012.

Proceedings... San Diego: IGLC, 2012. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

KASANEN, A.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, n. June 1991, p. 243–264, 1993.

KIM, C.; PARK, H.; LIM, H.; KIM, H. On-site construction management using mobile computing technology. **Automation in Construction**, v. 35, p. 415–423, 2013.

KOPSIDA, M.; BRILAKIS, I.; VELA, P. A Review of Automated Construction Progress and Inspection Methods. In: CIB W78 CONFERENCE ON CONSTRUCTION IT, 32, Eindhoven, 2015. **Proceedings...** Eindhoven: CIB W78, 2015. Disponível em: <<http://itc.scix.net>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

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

KOSKELA, L. Making-do - The Eighth Category of Waste. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12, Helsingør, 1999. **Proceedings...** Helsingør: IGLC, 2004. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

KOSKELA, L.; HOWELL, G. The Underlying Theory of Project Management Is Obsolete. In: PMI RESEARCH CONFERENCE, Washington, 2002. **Proceedings...** Washington: PMI, 2002. Disponível em: <http://usir.salford.ac.uk/9400/1/2002_The_underlying_theory_of_project_management_is_obsolete.pdf>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

KWON, O.; PARK, C.; LIM, C. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM , image-matching and augmented reality. **Automation in Construction**, v. 46, p. 74–81, 2014.

LANTELME, E.; FORMOSO, C. T. Improving performance through measurement: the application of lean production and organisational learning principles. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8, Brighton, 2000. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

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

LEÃO, C. F. **Proposta de Modelo para Controle Integrado da Produção e da Qualidade Utilizando Tecnologia de Informação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEÃO, C. F.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Integrating Production and Quality Control with the Support of Information Technology. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22, Oslo, 2014. **Proceedings...**

Oslo: IGLC, 2014. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

LEIGARD, A.; PESONEN, S. Defining the Path : a Case Study of Large Scale Implementation of Last Planner. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 18, Haifa, 2010. **Proceedings...** Haifa: IGLC, 2010. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

LOOSEMORE, M. Improving construction productivity: a subcontractor's perspective. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 21, n. 3, p. 245–260, 2014.

LOVE, P. E. .; IRANI, Z. Evaluation of IT costs in construction. **Automation in Construction**, v. 10, n. 6, p. 649–658, ago. 2001.

LU, N.; KORMAN, T. Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction: Benefits and Challenges. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS (ASCE), Banff, 2010. **Proceedings...** Banff: ASCE, 2010. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784411094>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. In **Ojala, L. and Hilmola, O-P. (eds.) Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration.**, p. 83–101, 2003.

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

MARCHESAN, P. R. C. **Modelo integrado de gestão de custos e controle da produção para obras civis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MAROSSZEKY, M.; THOMAS, R.; KARIM, K.; DAVIS, S.; MCGEORGE, D. Quality management tools for lean production-moving from enforcement to empowerment. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10, Gramado, 2002. **Proceedings...** Gramado: IGLC, 2002. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

MATTHEWS, J.; LOVE, P.; HEINEMANN, S.; CHANDLER, R.; RUMSEY, C.; OLATUNJ, O. Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction. **Automation in Construction**, v. 58, p. 38–47, 2015.

MCCAFFER, R.; EDUM-FOTWE, F. Construction in transition: where are we, and where could we be? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION IN THE 21ST CENTURY, 2, Hong Kong, 2003. **Proceedings...** Hong Kong: CITC-II, 2003. Disponível em: <<http://www.citcglobal.com/files/95119523.pdf>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

MELHADO, S. B. **Gestão, Cooperação e Integração para um Novo Modelo Voltado à Qualidade do Processo de Projeto na Construção de Edifícios.** Tese de Concurso de Livre-Docência – Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil: Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MERTON, R. K.; LOWENTHAL, M. F.; KENDALL, P. L. **The Focused Interview: A Manual of Problems and Procedures**. 2nd. ed. New York: Free Press, 1990.

MORAN, M. S. **Assessing the Benefits of a Field Data Management Tool**. Masters Thesis - Construction Management and Engineering: Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2012.

MORTON, M. (ED.). **The Corporation of the 1990s: Information Technology and Organizational Transformation**. 1st. ed. [s.l.] Oxford University Press, 1991.

NAM, C. H.; TATUM, C. B. Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology. **Construction Management and Economics**, v. 6, n. 2, p. 133–147, jun. 1988.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, n. 11, p. 69–81, 2008.

NAVON, R.; SACKS, R. Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). **Automation in Construction**, v. 16, n. 4, p. 474–484, 2007.

NIST. **National Building Information Modelling Standard (NBIMS)USA** Version 1.0 - Part 1.0. Overview, Principles and Methodologies, National Institute of Standards Technology, , 2008.

NOURBAKSH, M.; MOHAMAD ZIN, R.; IRIZARRY, J.; ZOLFAGHARIAN, S.; GHEISARI, M. Mobile Application Information Requirement in Construction Industry. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION IN THE 21ST CENTURY**, 6, Kuala Lumpur, 2011. **Proceedings...** Kuala Lumpur: CITC-VI, 2011. Disponível em: <<http://www.citcglobal.com/files/114006686.pdf>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

NOURBAKSH, M.; ZOLFAGHARIAN, S.; MOHAMAD ZIN, R.; IRIZARRY, J. Affordable Software for Collaboration, Document Management, and on-site Information Management in Small- and Medium-sized Construction Companies. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 4, n. 4, p. 460–463, 2012a.

NOURBAKSH, M.; MOHAMAD ZIN, R.; IRIZARRY, J.; ZOLFAGHARIAN, S.; GHEISARI, M. Mobile application prototype for on-site information management in construction industry. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 19, n. 5, p. 474–494, 31 ago. 2012b.

NYSVEEN, H.; PEDERSEN, P.; THORBJØRNSEN, H. Intentions to Use Mobile Services: Antecedents and Cross-Service Comparisons. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 33, n. 3, p. 330–346, 1 jul. 2005.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. [s.l.] Bookman, 1997.

PURAO, S.; STOREY, V. C. Evaluating the adoption potential of design science efforts: The case of APSARA. **Decision Support Systems**, v. 44, n. 2, p. 369–381, 2008.

REINHARDT, J.; AKINCI, B.; GARRETT, J. H. Navigational Models for Computer Supported Project Management Tasks on Construction Sites. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 18, n. 4, p. 281–290, 2004.

REINHARDT, J.; GARRETT, J. H.; AKINCI, B. Framework for Providing Customized Data Representations for Effective and Efficient Interaction with Mobile Computing Solutions on Construction Sites. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 19, n. 2, p. 109–118, 2005.

RIGHI, M. **Sistema de Controle da Qualidade e Planejamento de Curto Prazo na Construção Civil: Integração e Compartilhamento de Informações**. Trabalho de Diplomação - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RIGHI, M. D. M.; ISATTO, E. L. **Sistema De Controle Da Qualidade E Planejamento De Curto Prazo Na Construção Civil: Integração E Compartilhamento De Informações**. 7º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. **Anais...** Belém: 2011.

ROCHA, G. S. **Proposta de Refinamento de Modelo de Controle Integrado da Produção e Qualidade com o uso de Dispositivos Móveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RONEN, B. The complete kit concept. **International Journal of Production Research**, v. 30, n. 10, p. 2457–2466, out. 1992.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B.; OWEN, R. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968–980, set. 2010.

SACKS, R.; BARAK, R.; BELACIANO, B.; GUREVICH, U., PIKAS, E. Field Tests of the Kanbim™ Lean Production Management System. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19, Lima, 2011. **Proceedings...** Lima: IGLC, 2011. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

SACKS, R.; BARAK, R.; BELACIANO, B.; GUREVICH, U., PIKAS, E. KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing. **Lean Construction Journal**, n. 2012, p. 19–35, 2013.

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

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.

SAFFARO, F. **Uso da Prototipagem para Gestão do Processo de Produção da Construção Civil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

SCHMITZ, C. **Representação do Escopo da Construção em um Modelo BIM Visando o Planejamento e Controle da Produção através de Ferramentas 4d**. Trabalho de Diplomação - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

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

SEPASGOZAR, S.; LOOSEMORE, M.; DAVIS, S. Conceptualising information and equipment technology adoption in construction: a critical review of existing research. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 23, n. 2, 2016.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2da Edição ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHINOHARA, I. **New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries**. [s.l.] Productivity Press, 1988.

SHIONO, Y.; KUANG, Y.; NAKAGAWA, Y.; GOTO, T; TSUCHIDA, K. Cooperative Software Development and Usability Evaluation: A Web-based Work Management System for Construction Sites. **Journal of Software**, v. 5, n. 3, p. 259–268, 2010.

SKOYLES, E. R. Materials wastage – a misuse of resources. **Batiment International, Building Research and Practice**, v. 4, n. 4, p. 232, 1976.

SOMMER, L. **Contribuições para um método de identificação de perdas por improvisação em canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SRIPRASERT, E.; DAWOOD, N. Multi-constraint information management and visualisation for collaborative planning and control in construction. **ITcon**, v. 8, n. Special Issue eWork and Business, p. 341–366, 2003.

STUMPF, A. L.; GANESHAM, R.; SANGYOONG, C.; LIU, L. Object-Oriented Model for Integrating Construction Product and Process Information. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 10, n. 1992, p. 204–212, 1996.

SUKSTER, R. **A integração entre o sistema de gestão da qualidade e o planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Trabalho de conclusão – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

TAMMIK, J. **UniqueId, DWF and IFC GUID**. Disponível em: <<http://thebuildingcoder.typepad.com/blog/2009/02/uniqueid-dwf-and-ifc-guid.html>>. Acesso em: 14 de março de 2016.

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

TEZEL, B.; KOSKELA, L.; TZORTZOPOULOS, P. **Visual management in construction: Study report on Brazilian cases** Scri Research Report. Salford, UK: [s.n.]. Disponível em: <http://usir.salford.ac.uk/12865/2/Visual_Management_in_Construction.pdf>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

TOLEDO, R. DE; ABREU, A. F. DE; JUNGLES, A. E. **A Difusão de Inovações Tecnológicas na Indústria da Construção Civil**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**2000.

TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. **Look-Ahead Planning: Screening and Pulling**. Construction Engineering and Management Program, Civil and Environmental Engineering Department: University of California, Berkeley, CA, 1997.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, B. **Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology**. 1ra Edição ed. Boston, MA, USA: Auerbach Publications, 2007.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, B. **Design Science Research in Information Systems Overview of Design Science Research**. Disponível em: <<http://desrist.org/desrist/content/design-science-research-in-information-systems.pdf>>. Acesso: 17 de agosto de 2015.

VENUGOPAL, M.; EASTMAN, C.; SACKS, R.; TEIZER, J. Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 411–428, 2012.

VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; KALSAAS, B. T. Waste in Construction: a Systematic Literature Review on Empirical Studies. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20, San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego: IGLC, 2012. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Papers>>. Acesso: 13 de outubro de 2016.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109–127, mar. 2014.

WARSAWSKI, A. **Industrialization and Robotics in Building: A Managerial Approach**. [s.l.] Harper & Row, 1990.

WEICK, K. E. Introductory Essay—Improvisation as a Mindset for Organizational Analysis. **Organization Science**, v. 9, n. 5, p. 543–555, out. 1998.

WHYTE, J. **Virtual Reality and the Built Environment**. [s.l.] Architectural Press, 2002.

YIN, R. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. 2da. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

APÊNDICE A – ROTEIRO PARA ENTREVISTAS REALIZADAS NO
ESTUDO EMPÍRICO 2

ENTREVISTA – ESTUDO EMPÍRICO 2

Nome:

Data:

Formação:

Função:

QUESTIONÁRIO:

- 1) Qual é a perspectiva da empresa em relação ao desenvolvimento dos projetos futuros utilizando modelos BIM?
- 2) O que considera da disponibilidade das informações de controle produtivo e de qualidade dentro do modelo BIM do empreendimento? Para que é atualmente utilizado este modelo?
- 3) Qual é a visão da empresa em relação à integração dos controles de qualidade e produção no canteiro?
- 4) Quais são as vantagens ou oportunidades de melhoria percebidas no modelo proposto (de controle integrado apoiado no BIM)?
- 5) Quais seriam as desvantagens ou contratempos percebidos no modelo proposto?
- 6) Qual é a sua percepção enquanto à utilização de dispositivos móveis para a realização das tarefas de controle de obras (produção e qualidade)?
- 7) Qual é a sua percepção enquanto à facilidade de uso de dispositivos móveis e BIM para o controle de produção e qualidade?
- 8) O que mudou na rotina da obra com a implementação do modelo proposto de controle integrado?
- 9) Considera que a implementação do modelo proposto pode originar uma melhoria no sistema de controle da empresa tendo em conta o tempo e recursos utilizados?
- 10) O que sugeriria para a melhoria do sistema de planejamento e controle na obra?
- 11) Quais mudanças ou adaptações seriam necessárias (nos processos e operações gerenciais e administrativos) para a aplicação do modelo proposto (controle integrado + BIM)?
- 12) Quais mudanças ou adaptações seriam necessárias (nos processos e operações do canteiro) para a aplicação do modelo proposto (controle integrado + BIM)?
- 13) Quais mudanças ou adaptações seriam necessárias (nos processos e operações do canteiro) para a aplicação do modelo proposto (controle integrado + BIM)?
- 14) Qual é a perspectiva da empresa em relação ao desenvolvimento dos projetos futuros realizando um controle integrado simples? e apoiado no BIM?
- 15) Tendo em conta os custos de aquisição dos aplicativos e de capacitação do pessoal, qual é a perspectiva de aplicabilidade do modelo proposto dentro da empresa?

APÊNDICE B – RELAÇÃO ENTRE SUBCONSTRUCTOS, QUESTÕES E
RESPONDENTES DAS ENTREVISTAS REALIZADAS NO ESTUDO
EMPÍRICO 2

Constructo	Subconstructos	Questões	Respondentes * (o símbolo ✓ indica que foi obtida uma resposta para a questão pontual)						
			D	GP	GQ	CQ	GPPD	SO	EO
UTILIDADE	Contribuição da utilização do BIM (modelo de produto) para facilitar a representação visual do controle integrado de produção e qualidade no canteiro, assim como das perdas por making-do, retrabalho, etc. (modelo de processo).	1	✓	✓			✓		
		2	✓	✓	✓	✓	✓		
	Contribuição do modelo integrado de processo e produto para a percepção da importância de realizar os controles de produção e qualidade de forma simultânea.	3	✓	✓	✓	✓	✓		
	Contribuição do modelo integrado de processo e produto como referência na tomada de decisões corretivas e preventivas para a gestão do empreendimento.	4	✓	✓			✓		
		5	✓	✓			✓		
	Contribuição da utilização de dispositivos móveis para a gestão eficiente das informações geradas no canteiro.	6	✓	✓			✓	✓	✓
APLICABILIDADE	Facilidade de uso	7				✓		✓	✓
	Eficiência	8						✓	✓
		9						✓	✓
	Adequação ao processo existente	10 e 11		✓			✓		
		12	✓	✓	✓	✓	✓		
		13		✓	✓	✓	✓	✓	
	Possibilidade de continuação	14	✓	✓					
		15	✓				✓		

* D= Diretor da empresa; GP=Gerente da produção; GQ= Gerente da qualidade; CQ= Coordenadora da qualidade; GPPD= Gerente de projeto e pesquisa e desenvolvimento; SO= Supervisor de obra; EO= Estagiários da obra.