



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

THALMUS MAGNONI FENATO

**MÉTODO DE MODELAGEM BIM COM O EMPREGO DO
REVIT® PARA EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS DE
ORÇAMENTOS COM ABORDAGEM OPERACIONAL**

Londrina
2017

THALMUS MAGNONI FENATO

**MÉTODO DE MODELAGEM BIM COM O EMPREGO DO
REVIT® PARA EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS DE
ORÇAMENTOS COM ABORDAGEM OPERACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Profa. Dra. Fernanda Aranha Saffaro
Orientadora

Profa. Dra. Maria Bernardete Barison
Co-Orientadora

Londrina
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Fenato, Thalmus Magnoni.

Método de modelagem BIM com o emprego de REVIT para a extração de quantitativos para orçamentos com abordagem operacional / Thalmus Magnoni Fenato. - Londrina, 2017.

207 f. : il.

Orientador: Fernanda Aranha Saffaro.

Coorientador: Maria Bernardete Barison.

Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Gestão de custos - Tese. 2. Orçamento operacional - Tese. 3. Modelagem da informação da construção - Tese. 4. Modelagem BIM 5D - Tese. I. Saffaro, Fernanda Aranha. II. Barison, Maria Bernardete. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. IV. Título.

THALMUS MAGNONI FENATO

**MÉTODO DE MODELAGEM BIM COM O EMPREGO DO REVIT®
PARA EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS DE ORÇAMENTOS COM
ABORDAGEM OPERACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda A. Saffaro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Co-Orientadora: Profa. Dra. Maria Bernardete
Barison
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Luiz Fernando Mahlmann Heineck
Universidade Estadual do Ceará - UECE

Prof. Dr. Sergio Scheer
Universidade Federal de Paraná - UFPR

Londrina, 22 de Fevereiro de 2017.

Dedico este trabalho à minha esposa e filhos pela compreensão, apoio e orações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para superar as minhas dificuldades.

À minha esposa Tallita pelo amor e carinho.

Aos meus filhos Filipe e Débora que me rodearam sempre com um sorriso em seus rostos, me alegrando e motivando. Pela pureza das orações pedindo a conclusão do trabalho para que o papai tivesse tempo para as brincadeiras e aventuras.

À minha mãe que com lutas e dificuldades nos criou e educou. Pelas viagens à Londrina para dar atenção às crianças ao longo do mestrado.

Ao Prof. Sergio Scheer, pelo apoio ao me aceitar como aluno especial em suas disciplinas na UFPR e, principalmente, por sua admirável prestatividade, estando sempre disposto para ajudar e contribuir.

Às Professoras Maria Bernardete Barison e Fernanda Saffaro, pela flexibilização de horários, paciência e formidável competência na condução deste trabalho. Agradeço também, pela amizade proporcionada por elas.

Ao Prof. Heineck que, apesar da distância, se disponibilizou para participar da banca e com singular energia motivou melhorias na pesquisa, abstrações e continuação do trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina por oportunizar a minha formação.

À Universidade Federal do Paraná por contribuir com a minha formação, aprovando a minha presença como aluno especial.

À Mariana Macedo por aceitar de bom grado a participação na validação dos dados da pesquisa.

À construtora que financiou o meu aprendizado com o BIM e à construtora que deu oportunidade à efetivação da pesquisa.

FENATO, Thalmus Magnoni. Método de modelagem BIM, com o emprego do REVIT®, para a extração de quantitativos para orçamentos com abordagem operacional. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2017.

RESUMO

A gestão de custos é uma das bases mantenedoras da saúde financeira das empresas. Quando o orçamento é capaz de retratar como os custos ocorrem durante a execução da obra, é viabilizado o controle eficaz da produção. O orçamento operacional pode ser uma ferramenta eficiente na gestão de custos, pois apresenta os custos de forma segregada e de acordo com o desenvolvimento das operações, ao longo da produção do edifício. Entretanto, esta característica pode tornar sua estrutura extensa e complexa, principalmente quando apresentado em formato de planilha. O uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM) permite que informações de custos sejam inseridas no modelo, facilitando a extração automática dos quantitativos e o entendimento das considerações de orçamento por meio de visualização 3D. O objetivo desta pesquisa é propor um método para modelagem em BIM de orçamento operacional que permita explicitar as considerações de cálculo e automatizar a extração de quantitativos, com o uso do software REVIT®. Como abordagem de pesquisa, optou-se pela Pesquisa Construtiva (*Constructive Research*), sendo a estratégia da pesquisa o estudo de caso. Após uma pesquisa bibliográfica, este trabalho seguiu com a fase exploratória e com três estudos de caso. A partir dos resultados dos estudos de caso 1 e 2, foram extraídas diretrizes para elaboração da proposta inicial do método de modelagem. A validação do método de modelagem foi realizada no estudo de caso 3. Na fase de validação, foi verificado que no REVIT® há falta de classes de objetos capazes de representar as operações. Os objetos não possuem relacionamento entre si, de acordo com o comportamento real das operações, acarretando que alterações de projeto demandem ajustes manuais. Mediante esta lacuna, a modelagem a partir de objetos 3D torna-se complexa pela necessidade de inúmeras adaptações. Contudo, foi observado que o uso do recurso de modelagem por parâmetros, embora não disponibilize a visualização 3D, é uma alternativa simples para a modelagem deste tipo de orçamento no REVIT®. O método proposto foi considerado útil e fácil de ser aplicado. Deficiências foram detalhadas com relação à orientação para a escolha do tipo de modelagem, o que demandou adaptações complementares no método proposto. Desse modo, foram elaboradas diretrizes para auxiliar na escolha dos tipos de modelagem das operações.

Palavras-chave: Gestão de custos. Orçamento operacional. Modelagem da informação da construção. Modelagem BIM 5D.

FENATO, Thalmus Magnoni. BIM modeling method, using REVIT®, for quantitative extraction for budgets with an operational approach. 2017. Dissertation (Maste in Construction and Sanitation Engineering) – Univesidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

ABSTRACT

Cost management is one of the structural bases of companies' financial health. When the budget is able to portray how costs occur during the execution of the building, an efficient production control becomes feasible. The operational bill of quantities can be an efficient tool at cost management, as it presents itself in a segregated manner and according to the operations development throughout the building's production. This feature may, however, generate a long and complex budget structure, especially when presented in spreadsheet format. The use of Building Information Model (BIM) allows costs information to be inserted in the model, allowing the automatic quantity takeoff and the understanding of the budget considerations through 3D visualization. This research objective is to propose a method to prepare operational bill of quantities through BIM that allows to make it explicit the calculus considerations and automatize quantity takeoff, with the use of the REVIT® software. As this research approach, it has been opted to the Constructive Research approach, being this research's strategy the case study. After a bibliographic research, this work followed to an exploratory phase and with three case studies. From the results obtained on cases 1 and 2, directives were extracted for the elaboration of the initial proposal of the modelling method. The modelling method validation was made on case study 3. During the validation phase, it has been verified that REVIT® software lacks some objects classes that would be able to represent the operational estimating operations. The objects do not relate amongst each other, according to the real behavior of the operations, causing project alterations in need of manual adjustments. Due to this gap, modelling with 3D objects becomes complex as it need innumerable adaptations. However, it has been observed that the parameters' modelling resource, despite not allowing a 3D visualization, is a simple alternative for the modelling of this kind of budget using REVIT®. The proposed method has been considered useful and easy to be applied. A deficiency has been noted in regards to the orientation for the modelling type choice, which demanded complementary adaptations on the proposed method. Therefore, directives have been elaborated to help on the choosing of the type of operations modelling.

Key Words: Cost Management. Operational Bill of Quantities. Building Information Modeling. 5D modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Fluxo de trabalho BIM 5D: modelo interativo e integrado.....	41
Figura 2:	Processo BIM 5D nas diferentes fases do ciclo de vida do empreendimento.....	42
Figura 3:	Fluxo de trabalho BIM.....	48
Figura 4:	Diferentes considerações na produção de uma placa de concreto pré-moldado.....	53
Figura 5:	Elementos chave da pesquisa construtiva.....	59
Figura 6:	Delineamento da pesquisa.....	60
Figura 7:	Processo de desenvolvimento de orçamento operacional na empresa A.....	70
Figura 8:	Fachada e <i>lay-out</i> do pavimento térreo do Edifício 1.....	71
Figura 9:	Planta baixa dos apartamentos do Edifício 1.....	72
Figura 10:	Fachada e <i>lay-out</i> do pavimento térreo do Edifício 2.....	73
Figura 11:	Extração de quantitativos mediante uso da modelagem por camadas.....	81
Figura 12:	Classes de objetos pré-definidos pelo REVIT®.....	82
Figura 13:	Planos a partir de eixos ortogonais.....	83
Figura 14:	Desconto da área e do perímetro de portas inseridas na parede.....	85
Figura 15:	Serviço de alvenaria desagregado em operações.....	90
Figura 16:	Rede do serviço de emboço de parede desagregado em operações.....	91
Figura 17:	Rede do serviço de emboço de teto desagregado em operações.....	92
Figura 18:	Rede do serviço de enchimento hidráulico desagregado em operações.....	92
Figura 19:	Planejamento por módulos executivos.....	97
Figura 20:	Agrupamento das macro operações do serviço de alvenaria conforme a programação.....	99
Figura 21:	Agrupamento das macro operações do serviço de emboço de parede conforme a programação.....	100
Figura 22:	Agrupamento das macro operações do serviço de emboço de teto conforme a programação.....	100
Figura 23:	Agrupamento das macro operações do serviço de enchimento hidráulico conforme a programação.....	101
Figura 24:	Atividades para a programação do setor área privativa do apartamento.....	102
Figura 25:	Etapas de modelagem do orçamento operacional do Estudo Empírico 1.....	105
Figura 26:	Modelagem das macro operações.....	108
Figura 27:	Regiões modeladas do pavimento tipo.....	111
Figura 28:	Modelagem do requadro a partir de duas classes distintas.....	113
Figura 29:	Requadro da face da viga modelada com a classe de objeto parede.....	114
Figura 30:	Requadro da face vertical da mureta modelada com a classe de objeto parede.....	115
Figura 31:	Inserção dos nomes das portas presentes em uma parede.....	116
Figura 32:	Tabela com os quantitativos de paredes e os parâmetros de esquadrias.....	117
Figura 33:	Relacionamento entre os objetos do serviço alvenaria.....	118

Figura 34: Rede do serviço de emboço de fachada desagregado em operações.....	123
Figura 35: Rede do serviço de assentamento de pingadeira desagregada em operações	124
Figura 36: Rede do serviço de instalação de esquadrias desagregado em operações.....	125
Figura 37: Rede do serviço de pintura de fachada desagregada em operações.....	126
Figura 38: Agrupamento das macro operações do serviço de emboço da fachada conforme a programação	129
Figura 39: Agrupamento das macro operações do serviço de instalação de esquadria conforme a programação	130
Figura 40: Agrupamento das macro operações do serviço de pintura de fachada conforme a programação	130
Figura 41: Atividades para a programação do setor fachada do módulo de torre	131
Figura 42: Classe de objeto de requadros.	134
Figura 43: Macro operação de instalação de vergas e contravergas	138
Figura 44: Macro operações de execução de requadro, emboço externo com uso de balancim, frisos no emboço e pintura de frisos.....	139
Figura 45: Modelagem dos requadros das esquadrias.	140
Figura 46: Modelagem da macro operação de assentamento de pingadeira.....	141
Figura 47: Modelagem da macro operação de assentamento de contramarco de alumínio.....	142
Figura 48: Modelagem da macro operação textura com uso de balancim.	143
Figura 49: Possibilidade de cores em torno das esquadrias.....	144
Figura 50: Modelagem da macro operação de pintura de requadros de janelas.....	145
Figura 51: Modelagem da macro operações de pintura de frisos.	146
Figura 52: Divisão do emboço da fachada em etapas.....	148
Figura 53: Planejamento da execução do emboço da fachada em etapas conforme panos de execução.	148
Figura 54: Fachada modelada de acordo com as etapas do emboço.	149
Figura 55: Estruturação geral da planilha de apoio.....	150
Figura 56: Estruturação das abas da planilha de apoio.....	151
Figura 57: Tabela de quantitativos de paredes extraídos pelo REVIT®.....	151
Figura 58: Parâmetros extraídos do REVIT® para a classe de objetos janela.	153
Figura 59: Parâmetros extraídos do REVIT® para a classe de objeto parede.....	154
Figura 60: Parâmetros extraídos do REVIT® para a classe de objetos requadro.....	155
Figura 61: Quantitativo da macro operação de marcação de alvenaria.....	157
Figura 62: Estrutura inicial do método de modelagem BIM para elaboração de orçamentos operacionais.....	163
Figura 63: Macro operações modeladas por parâmetro no objeto janela.....	169
Figura 64: Transposição dos parâmetros do objeto nos campos da tabela de quantitativos do REVIT®.....	175
Figura 65: Modelo 3D do estudo empírico 3.	179

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Relação de softwares BIM específicos para orçamento	50
Quadro 2:	Diretrizes de modelagem de orçamento em BIM.	56
Quadro 3:	Técnicas construtivas do Edifício 1.	72
Quadro 4:	Técnicas construtivas do Edifício 2.	73
Quadro 5:	Desdobramento do constructo utilidade.	77
Quadro 6:	Desdobramento do constructo facilidade.	78
Quadro 7:	Correlação entre eixos, planos e parâmetros geométricos das classes de objetos.	83
Quadro 8:	Macro operações do Estudo Empírico 1.	94
Quadro 9:	Considerações referentes às macro operações de mesma espécie.....	95
Quadro 10:	Lotes de produção por setor do módulo de torre.	98
Quadro 11:	Critérios de orçamento das macro operações do Estudo Empírico 1	104
Quadro 12:	Definição das classes de objetos de modelagem das macro operações do Estudo Empírico 1	107
Quadro 13:	Regras de classificação para extração de quantitativos conforme lotes de produção	112
Quadro 14:	Macro operações do Estudo Empírico 2	127
Quadro 15:	Critérios de orçamento das macro operações do Estudo Empírico 2.	132
Quadro 16:	Classes de objetos de modelagem das macro operações do Estudo Empírico 2.	134
Quadro 17:	Coefficientes para o cálculo de quantitativos de acordo com os lotes de produção do Estudo Empírico 2.	147
Quadro 18:	Macro operações de acordo com dados de extração de quantitativos das tabelas da classe de objeto.	152
Quadro 19 -	Relação das macro operações a serem modeladas por classe de objetos do REVIT®.....	165
Quadro 20:	Tipos de modelagem pelo critério de extração de quantitativos.	171
Quadro 21:	Mapeamento dos tipo de modelagem por classe de objetos.	173
Quadro 22:	Relação de operações por tipo de modelagem e classe de objetos	178
Quadro 23:	Quantitativo de paredes extraído do REVIT®	181

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	<i>American Institute of Architects</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CR	<i>Constructive Research</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
LBC	Linha de Base de Custos
LoD	<i>Level of Development</i>
NIST	<i>National Institute of Standards of Technology</i>
PMI	<i>Project Management Institute</i>
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices da Construção Civil
REVIT®	Autodesk REVIT®
TCPO	Tabela de Composições de Preços para Orçamentos
TI	Tecnologia de Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contexto	17
1.2	Problema de pesquisa	20
1.3	Questões da pesquisa	22
1.4	Objetivo da pesquisa	22
1.5	Motivação da pesquisa	23
1.6	Delimitações do trabalho	24
1.7	Estrutura do trabalho	25
2	USO DO ORÇAMENTO OPERACIONAL PARA GESTÃO DE CUSTOS DA OBRA	26
2.1	Processo de Gestão	26
2.2	Gestão de custos	27
2.3	O processo de gestão de custos na construção civil	28
2.4	Tipos de orçamento	29
2.5	Orçamento Operacional	31
2.6	Método para a elaboração de orçamento operacional	34
2.7	Outras considerações para a elaboração do orçamento operacional	38
2.9	Considerações finais	38
3	USO DE BIM PARA A ELABORAÇÃO DE ORÇAMENTO OPERACIONAL	40
3.1	Modelagem de custos (BIM 5D)	40
3.2	Conceitos de BIM relacionados à modelagem	43
3.2.1	Programação orientada a objetos	43
3.2.2	Modelagem paramétrica	44
3.2.3	Restrições e regras que definem o comportamento dos objetos	44
3.2.4	Interoperabilidade	45
3.2.5	Nível de Detalhe e Nível de Desenvolvimento do modelo	46
3.3	Fluxo de trabalho BIM no processo de elaboração de orçamento operacional	47
3.4	Ferramentas BIM para modelagem e orçamentação	48

3.5	O Estado da Arte da orçamentação com o uso de BIM.....	50
3.5.1	Uso de BIM em orçamentos	51
3.5.2	Diretrizes de modelagem com foco no orçamento operacional	55
4	MÉTODO DE PESQUISA	58
4.1	Abordagem e estratégia de pesquisa	58
4.2	Delineamento da pesquisa	59
4.2.1	Etapa 1: Identificação do problema	60
4.2.2	Etapa 2: Revisão de bibliografia	60
4.2.3	Etapa 3: Estudo exploratório	61
4.2.4	Etapa 4: Desenvolvimento da pesquisa.....	62
4.2.4.1	Estudo Empírico 1	63
4.2.4.2	Estudo Empírico 2	65
4.2.5	Etapa 5: Elaboração do método de modelagem.....	66
4.2.6	Etapa 6: Validação do método de modelagem	66
4.2.7	Etapa 7: Análise e reflexão	67
4.3	Contexto da pesquisa	67
4.3.1	A empresa A.....	68
4.3.2	Processo de orçamentação da empresa A.....	69
4.3.3	Contexto dos Estudos Empíricos 1 e 2.....	71
4.3.4	Contexto do Estudo Empírico 3	72
4.4	Coleta de dados para validação da pesquisa	73
4.5	Considerações finais	78
5	RESULTADOS	79
5.1	Estudo Exploratório	79
5.1.1	Uso do modelo de estrutura em IFC e modelagem das instalações.....	79
5.1.3	Métodos de modelagem	80
5.1.4	Testes de extração de quantitativos	81
5.1.5	Considerações finais	85
5.2	Estudo Empírico 1	88
5.2.1	Identificação das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional	88
5.2.1.1	Identificação das operações	89

5.2.1.2	Agregação em macro operações para simplificação do orçamento	93
5.2.1.3	Macro operações de mesma espécie	95
5.2.1.4	Informações sobre o planejamento executivo	96
5.2.1.5	Critérios para extração dos quantitativos das macro operações	103
5.2.2	Modelagem BIM do orçamento operacional	105
5.2.2.1	Preparação para a modelagem	106
5.2.2.2	Modelagem 3D das macro operações	108
5.2.2.3	Modelagem das informações de planejamento	110
5.2.2.4	Compatibilização da modelagem parcial e os lotes de produção	110
5.2.2.5	Extração de quantitativos das macro operações conforme critérios adotados pela construtora	112
5.2.2.6	Outras Observações.....	117
5.2.3	Avaliação do estudo de empírico 1	118
5.2.4	Considerações finais	119
5.3	Estudo Empírico 2	121
5.3.1	Identificação das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional	121
5.3.1.1	Identificação das operações	121
5.3.1.2	Agregação em macro operações para simplificação do orçamento	126
5.3.1.3	Macro Operações de mesma espécie	128
5.3.1.3	Informações sobre planejamento executivo	128
5.3.1.5	Critérios para a extração dos quantitativos das macro operações	131
5.3.2	Modelagem BIM do orçamento operacional	133
5.3.2.1	Preparação para a modelagem	133
5.3.2.2	Modelagem 3D das macro operações	136
5.3.2.3	Modelagem de informações de planejamento	146
5.3.2.4	Compatibilização da modelagem parcial com os lotes de produção	146
5.3.2.5	Extração de quantitativos das macro operações conforme critérios adotados pela construtora	149
5.3.3	Avaliação do Estudo Empírico 2.....	157
5.3.4	Considerações finais	161
5.4	Proposta inicial do método de modelagem.....	162
5.4.1	Etapa 1: Planejamento	164
5.4.2	Etapa 2: Pré-modelagem.....	164

5.4.3	Etapa 3: Modelagem.....	174
5.3.4	Etapa 4: Recuperação de informações.....	174
5.5	Considerações finais	175
6	VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE MODELAGEM BIM	177
6.1	Planejamento.....	177
6.2	Pré-modelagem e modelagem	177
6.3	Recuperação de informações.....	180
6.4	Análise do estudo empírico 3	182
6.4.1	Utilidade.....	182
6.4.2	Facilidade	183
6.5	Diretrizes para decisão de escolha do tipo de modelagem no REVIT®	186
6.6	Considerações finais	189
7	ANÁLISE E REFLEXÃO	191
8	CONCLUSÕES	195
8.1	Conclusão.....	195
8.2	Recomendações.....	199

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta o contexto deste trabalho, o problema de pesquisa, as questões e os objetivos, a motivação, as delimitações e a estrutura dos capítulos.

1.1 Contexto

Nas últimas décadas, o cenário econômico mundial tem vivenciado mudanças significativas em relação à competitividade e globalização. Nesse novo contexto, os mercados passaram a ser regidos pela oferta e a formação dos preços migrou do domínio das organizações, passando a ser cada vez mais influenciada pelos consumidores. Desse modo, a manutenção das margens de lucro passou a depender, primordialmente, da redução de custos (KLIEMANN NETO e ANTUNES JUNIOR, 1990 *apud* MARCHESAN, 2001). Assim, para a manutenção da saúde financeira das empresas diante deste novo cenário, é fundamental a realização da gestão de custos.

A principal atribuição da gestão de custos é estimar custos e disponibilizar aos gestores da empresa informações que possam dar suporte à tomada de decisões ao longo do desenvolvimento do empreendimento. Além disso, a gestão de custos é um importante sistema de controle e medição de desempenho de custos, capaz de indicar como a empresa está sendo conduzida em termos financeiros (BERLINER e BRIMSON, 1998 *apud* KERN, 2003).

Para que a gestão de custos seja realizada, é necessária a determinação de um plano de custos que servirá como guia para a gestão e possibilitará um comparativo entre o custo planejado e o realizado. Uma ferramenta para elaboração do plano de custos é o orçamento, que, segundo Bazanelli (2003) e Losso (1995 *apud* KNOLSEISEN 2003), é a peça central para gestão dos mesmos na etapa de produção do empreendimento.

Para que a gestão de custos seja efetiva, é fundamental realizar a comparação entre os custos que foram incorridos, em um determinado tempo, e os custos que foram planejados para esse período. Isso significa que a estimativa com foco apenas na obtenção do custo total da obra não faz sentido no contexto de

gestão de custos. A vinculação de tempo, no orçamento, amplia sua efetividade na prática da gestão de custos (GONÇALVES e CEOTTO, 2014). A comparação entre os custos incorridos e os orçados só será possível se estes forem levantados de acordo com o momento de sua ocorrência. Conforme Cabral (1988) e Kern (2003), o orçamento, segundo a abordagem operacional, propõe esta premissa para estruturação de custos.

A elaboração de orçamentos, em geral, tem sido feita de modo que os componentes do projeto do empreendimento sejam apurados e transcritos, manualmente, a partir de desenhos em 2D, em planilhas, para fins de armazenamento e registro das informações. Esse processo é denominado levantamento de quantidades ou extração de quantitativos e é essencial para a orçamentação, pois é a base de transferência de informações de custos para a fase da construção (FIRAT *et al.* 2010).

Contudo, a extração de quantitativos, quando feito de forma manual, é a etapa mais demorada do processo de orçamentação, pois, de acordo com Rundell (2006), pode tomar de 50% a 80% do tempo de elaboração de um orçamento.

Além disso, a leitura e a interpretação dos desenhos em 2D exigem dos orçamentistas abstrações das respectivas representações, o que aumenta as chances de erros de interpretação e omissões (EASTMAN, 2011).

Kymmell (2008) explica que um dos maiores problemas na elaboração de um orçamento é a visualização incorreta das informações contidas no projeto. O projeto é representado por uma série de desenhos, cujos conteúdos, em muitos casos, não estão claros para todos os usuários. Assim, se esses conteúdos não forem totalmente visualizados, compreendidos e comunicados, podem não ser considerados de forma correta no orçamento e, portanto, gerar problemas durante a construção.

Card (1999), Karmat (2001) e McKinney (1998) *apud* Shen e Issa (2010) relatam que a visualização tem sido reconhecida como um meio efetivo para o entendimento de relacionamentos espaciais de alta complexidade, como estruturas e sistemas de edifícios. Isto também é importante para a estimativa de custo que requer compreensão e entendimento das relações entre os sistemas da edificação, a fim de que os itens do projeto sejam considerados corretamente.

De acordo com Eastman *et al.* (2011), o método de orçamentação realizado por meio de leitura e transposição de dados de desenhos em 2D apresenta-se fragmentado, pois há necessidade de transposição de dados de um local para outro, o que favorece a geração de erros. Como proposta de automação do processo de orçamentação e melhoria da precisão da orçamentação, apresenta-se o conceito de Modelagem da Informação da Construção ou *Building Information Modeling* (BIM).

BIM pode ser entendido como uma metodologia para gerir o processo de desenvolvimento de um empreendimento ao longo de sua vida útil: projeto, construção, gerenciamento e manutenção. Para tanto, cria-se um modelo digital que possibilita aos envolvidos acessarem, ao mesmo tempo, todas as informações do edifício (escopos, cronograma e orçamentos). O modelo digital é denominado Modelo da Informação da Construção ou *Building Information Model* (BIM), que é uma representação digital 3D paramétrica das características físicas e funcionais do empreendimento. BIM possibilita o compartilhamento de informações entre todos os envolvidos, constituindo-se, assim, como uma base de informações do empreendimento, o que confere confiabilidade para a tomada de decisão durante o ciclo de vida da edificação ou infraestrutura (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2015).

Segundo Eastman *et al.* (2011), no BIM, há interações automáticas entre o modelo 3D e a extração de quantitativos, o que resulta em redução de tempo na elaboração do orçamento e no favorecimento de simulações de custos.

Em relação ao processo de levantamento de custos, Eastman *et al.* (2011) explica que ao extrair quantitativos automaticamente do modelo BIM, nenhum elemento é esquecido pelo orçamentista. Além disso, sua conexão automática com um banco de dados de custos reduz a intervenção humana e, conseqüentemente, possíveis erros no orçamento.

Enquanto, no processo de levantamento feito a partir de desenhos 2D, as atualizações de quantificação são refeitas manualmente, quando há modificações no projeto, no processo BIM, uma vez que o modelo é atualizado, os quantitativos são alterados automaticamente. Assim, é possível simular diversos cenários de modo interativo e veloz (EASTMAN, 2011).

Desse modo, o BIM propõe eficiência, em termos de rapidez e precisão, nos processos de levantamento de quantitativos e de estimativas de custo, o que pode

levar o empreendimento ao sucesso, pois esses processos são pré-requisitos para muitas outras atividades como orçamentação, cotação (licitação) e contratação, planejamento da produção e controle de custos (ARAM, SACKS; EASTMAN, 2014).

Portanto, o uso de BIM na elaboração de planos de custos é uma forma de mitigação de riscos, pois reduz erros associados aos quantitativos (EASTMAN, 2011).

1.2 Problema de pesquisa

A prática da gestão de custos na etapa de produção envolve, constantemente, consultas ao orçamento, a fim de se comparar se o que ocorreu na obra está de acordo com as considerações feitas na elaboração do plano de custos, principalmente, em relação aos quantitativos.

O orçamento elaborado a partir da transposição manual de dados de projetos em 2D dificulta a busca por informações. Isso decorre do fato de que nesta transposição de dados, serem utilizados vários arquivos tipo texto¹. Esses arquivos são fragmentados, dificultando a recuperação de informações. As informações extraídas dos elementos contidos nos projetos e transpostas em arquivos tipo texto não são interligadas, a menos que cada elemento do projeto seja identificado por um código. Neste caso, seria necessário numerar e classificar todos os elementos existentes nos desenhos 2D provenientes do projeto, o que demandaria um tempo para tal. Porém, em caso de alterações, essa classificação teria que ser revisada. Assim, ao se transpor as dimensões geométricas e outras informações de um componente do projeto para uma planilha, não é possível identificar a que elemento do projeto essas informações estão relacionadas.

Tal situação agrava-se no caso de orçamentos operacionais. De acordo com Cabral (1988), a elaboração desse tipo de orçamento requer que o orçamentista tenha conhecimento minucioso do processo construtivo, o que exige um tempo maior para sua elaboração, quando comparado a outros tipos de orçamento. Como resultado final são geradas grandes quantidades de informações, o que resulta em orçamentos extensos que podem tornar o processo de busca por informações ainda mais complexo.

¹ Por exemplo: planilhas, tabelas, textos e esquemas feitos em *Microsoft Excel*, *Microsoft Word* e pdf (MATIPA, 2008).

Ao longo da gestão de custo da obra, ao se comparar os custos reais com os planejados, é comum que a precisão do orçamento seja questionada, principalmente, com relação ao cálculo de quantitativos. Como as informações não são facilmente rastreáveis nos documentos tipo texto, perde-se tempo em reavaliações ou, em alguns casos, com retrabalhos no processo de extração de quantitativos. Segundo Witicovski (2011), existe certa dificuldade para entender e identificar informações adotadas no orçamento, principalmente, por parte dos usuários que não participaram diretamente da elaboração das planilhas.

Além disso, para utilizar os quantitativos para a contratação de mão de obra, é necessário entender o que foi considerado para o cálculo dos mesmos. É preciso saber qual técnica construtiva foi considerada nos respectivos componentes de projeto, como, por exemplo, onde foi considerado requadro, reboco com andaime ou sem andaime e tipos de materiais aplicados para a fixação de alvenaria. Em alguns casos, a dificuldade para encontrar informações no orçamento pode ser tal, que o gestor da obra acaba por refazer o quantitativo ao invés de checar os itens das planilhas para entender o que foi considerado. Em outros casos, o orçamentista fará a conferência, mas também haverá perda de tempo, mesmo que o levantamento tenha sido feito por ele próprio. Como há dificuldade de rastrear os dados das planilhas com os elementos do projeto, o orçamentista terá que checar todos os elementos constantes na planilha e buscar identificá-los no projeto. Também, pode ter transcorrido um longo intervalo de tempo entre a elaboração do orçamento e a necessidade de resgate da informação, implicando dificuldade de recompor critérios estabelecidos.

Para que o gestor da obra atinja as metas de custos estabelecidas no orçamento, é fundamental que entenda o que está considerado no cálculo de quantitativos e em cada um dos itens do orçamento. Desse modo, procurou-se uma solução para facilitar a busca por informações, principalmente, no que diz respeito às considerações de cálculos de quantitativos, assim como, reduzir retrabalhos com extração de quantitativos, especificamente, no caso de orçamentos operacionais.

A literatura aponta como solução, o uso de BIM 5D, processo caracterizado por adicionar informações de custos ao modelo 3D. Neste processo a extração de quantitativos é automatizada. Além disso, a busca e identificação de informações de custos são facilitadas, visto que tais informações são atreladas a componentes que

podem ser visualizados em 3D. Entretanto, a proposta de automação de processos de gestão de custos por meio de BIM 5D ainda é deficiente, devido falta de suporte das tecnologias existentes, para a inserção de informações específicas de custo no modelo. Isto tem sido uma limitação para a realização da gestão de custos por meio de BIM 5D (STAUB-FRENCH et al., 2003; SHEN e ISSA, 2010, ARAM, SACKS; EASTMAN, 2014, LEE; KIM; YU, 2014).

Além do mais, as pesquisas na área de BIM 5D abordam orçamentos com foco na obtenção do custo total da obra, sendo que não foram encontradas, na literatura, pesquisas específicas sobre o uso de BIM 5D em orçamento operacional.

Diante dessa lacuna na literatura, buscou-se investigar o uso de BIM em orçamentos operacionais, utilizando-se ferramentas BIM disponíveis no mercado e de fácil acesso. Para tanto, a presente pesquisa se propôs em desenvolver um método de modelagem em BIM para a elaboração de orçamento operacional.

1.3 Questões da pesquisa

Neste contexto foi elaborada a seguinte questão de pesquisa:

Como elaborar modelos em BIM para a elaboração de orçamento com abordagem operacional de forma que as considerações dos cálculos de quantitativos das operações possam ser explicitadas, reduzindo o tempo com retrabalhos de levantamento e com buscas por informações?

Foram elaboradas, também, duas questões específicas:

1. Quais informações devem ser inseridas no modelo BIM para que este seja capaz de extrair os quantitativos de acordo com a abordagem operacional?
2. A ferramenta BIM utilizada na pesquisa é capaz de suportar todas as informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional?

1.4 Objetivo da pesquisa

O objetivo geral da pesquisa é:

Propor um método para modelagem em BIM de orçamento operacional, com o emprego do REVIT[®] que permita explicitar as considerações de cálculo e automatizar a extração de quantitativos.

A partir do objetivo geral surgem como objetivos específicos:

1. Identificar as informações que permitem a extração de quantitativos de acordo com a abordagem operacional, a partir do modelo BIM construído com o emprego do REVIT[®].
2. Verificar a capacidade de suporte de informações com abordagem operacional, a partir da ferramenta BIM utilizada nesta pesquisa.

1.5 Motivação da pesquisa

A presente pesquisa foi motivada por uma dificuldade experimentada pelo pesquisador ao longo de nove anos de atuação como gestor de custos em uma construtora de grande porte.

A construtora em questão segue um processo de gestão de custos que estabelece a meta de 1% para o desvio de custos de suas obras, sendo que a variação do custo final de produção da obra deve permanecer no intervalo entre -1% e +1% do valor estabelecido no orçamento. Os custos são monitorados mensalmente, no decorrer do andamento da obra, o que possibilita à empresa o planejamento de captação de recursos. O monitoramento e o controle dos custos são feitos com alto nível de detalhamento, tendo como premissa a identificação dos motivos dos desvios, tanto para valores acima como abaixo da meta. Assim, mensalmente, é elaborado pelo orçamentista, um relatório das obras com os vinte itens que mais apresentam desvios, sendo dez com os maiores custos excedentes e dez com as maiores economias. O orçamentista vai a campo para identificar os motivos dos desvios que são descritos em um relatório e apresentados para a coordenação e para a diretoria da empresa. A partir desse mecanismo, os processos de orçamentação e execução de obras são melhorados. O funcionamento desse mecanismo exige uma busca constante por informações contidas no orçamento.

Para implementar esse processo, a empresa buscou uma ferramenta de orçamento que servisse como base efetiva para que permitisse tal processo. Para tanto, o orçamento é elaborado pelo orçamentista no canteiro de obras, com a

orientação técnica da equipe de engenharia da obra. Isto é feito para que o orçamento retrate, de forma fiel, a execução da obra e, conseqüentemente, os custos. Além das metas de custos, o orçamento estabelece as listas de materiais de compras de todas as atividades, com as respectivas quantidades e especificações extraídas dos projetos. Os engenheiros gestores das obras não possuem autonomia para comprar materiais além do que está previsto no orçamento. O mesmo ocorre com a mão de obra terceirizada. Os contratos são gerados a partir dos quantitativos das atividades inseridos no orçamento. A elaboração do contrato é feita com o auxílio de um software que impossibilita alterações nas quantidades. Assim, sempre que há divergências com o levantamento feito *in loco*, o orçamentista deve estar presente para conferências.

Desse modo, o orçamento é a base para a gestão da obra, em termos de custos e suprimentos de materiais e de mão de obra. Contudo, o orçamento é complexo, extenso e com muitas informações. Assim, o processo de busca por informações e os retrabalhos com a extração de quantitativos causados por mudanças de projetos demandam um tempo considerável. Isso tem se agravado com o aumento do volume de obras, momento em que foi iniciada uma busca por alternativas que pudessem facilitar o processo de quantificação e o resgate de informações inseridas no orçamento, dando origem à presente pesquisa.

1.6 Delimitações do trabalho

Esta dissertação teve duas delimitações no desenvolvimento do estudo. A primeira refere-se ao fato de o método proposto neste trabalho ser investigado apenas para uso específico para o software REVIT® da Autodesk. A segunda relaciona-se ao processo de orçamentação. O presente trabalho limitou-se a estudar apenas o processo de quantificação, não abrangendo o processo de orçamentação de forma completa como preços dos insumos, taxas de depreciação, leis sociais e despesas indiretas.

1.7 Estrutura do trabalho

O presente trabalho é composto por sete capítulos. O primeiro capítulo apresenta o contexto em que a pesquisa está inserida, assim como, o problema de pesquisa, questões, objetivos e as delimitações do estudo.

O segundo e terceiro capítulos apresentam a revisão bibliográfica. No capítulo 2, o Orçamento Operacional é apresentado e no capítulo 3, são explicitados o conceito de BIM 5D, assim como, o estudo da arte do uso de BIM para a elaboração de orçamentos.

O capítulo 4 apresenta o Método de Pesquisa utilizado pelo pesquisador, os métodos de coleta e análise de dados e o delineamento da pesquisa, mostrando as fases pelas quais o trabalho foi conduzido.

No capítulo 5, estão os resultados da pesquisa obtidos por meio de 3 estudos: o Estudo Exploratório, o Estudo Empírico 1 e o Estudo Empírico 2. Encontra-se descrita, também, a proposta inicial do Método de Modelagem BIM para a elaboração de orçamento operacional.

Em seguida, no capítulo 6, são apresentados os resultados do Estudo Empírico 3 e, em seguida, é realizada a análise para a validação do método de modelagem proposto inicialmente.

O capítulo 7 é constituído por uma análise dos resultados e por reflexões sobre o tema,

Por último, no capítulo 8 é feita a conclusão da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 USO DO ORÇAMENTO OPERACIONAL PARA GESTÃO DE CUSTOS DA OBRA

Neste capítulo, primeiramente apresenta-se a definição geral do termo gestão, assim como, as funções constituintes deste mecanismo. Em seguida, a gestão é abordada de forma específica para custos, apresentando-se o respectivo histórico e, na sequência, o contexto da gestão de custos na construção civil. São discutidos também, os principais tipos de orçamento, com ênfase nas características do orçamento operacional. Por último, é apresentado um método para a elaboração de orçamento operacional e efetuada uma avaliação dos pontos positivos e negativos do orçamento operacional.

2.1 Processo de Gestão

O principal objetivo do gerenciamento é organizar os recursos de uma empresa para que esta possa atingir de forma mais eficaz as metas e os objetivos por ela estabelecidos (SLACK *et al.*, 1996; KOSKELA, 2000).

Segundo Cabral (1988), gerenciamento é a tarefa de interpretar os objetivos propostos pela empresa e transformá-los em ações que conduzam ao alcance desses objetivos.

De acordo com a definição apresentada², um processo consistente de gerenciamento pode determinar o sucesso dos negócios de uma empresa. Para tanto, é necessário entender quais mecanismos desse gerenciamento possibilitam atender às metas e aos objetivos da empresa. Existem, na literatura, variações quanto ao número e quanto às denominações das funções de um sistema de gestão. SLACK *et al.* (1995), GUINATO (1996) e KOSKELA (2000) agrupam essas variações em três funções principais, que estão relacionadas ao: (a) planejamento; (b) monitoramento e (c) controle. O desdobramento das funções do processo de gestão é importante para o entendimento da inter-relação entre as mesmas.

O processo de planejamento é definido por Formoso (1991) como um processo de tomada de decisão que envolve o estabelecimento de metas e dos

² Os termos Gerenciamento e Gestão são, neste trabalho, utilizados como sinônimos, visto que são definidos, em dicionários da língua portuguesa como termos de mesma denotação.

procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo quando seguido de controle. Para Slack *et al* (1997), planejar é trabalhar com expectativas.

Assim, o processo de planejamento pode ser entendido como um plano de referência introdutório, interpretado como hipóteses iniciais a serem confirmadas, de acordo com a execução do trabalho (HOC, 1988 *apud* FORMOSO, 1991). A confirmação dessas hipóteses ocorrerá durante a fase de execução, por meio das funções monitoramento e controle da produção.

O monitoramento consiste em acompanhar e comparar os resultados da execução com as referências estabelecidas na fase de planejamento, bem como, em determinar a causa fundamental da ocorrência de uma falha (BALLARD; HOWELL, 1998; GUINATO, 1996).

Dessa forma, a função monitoramento apenas verifica se algo está em desacordo com o planejado, objetivando identificar desvios e oportunidades de melhoria. No monitoramento, não são efetivadas ações para a retomada do plano inicial. A execução de eventuais ações é objetivo da função controle (BALLARD; HOWELL, 1998; BARBOSA *et al.*, 2009).

Para Slack *et al* (1997), o processo de controle lida com as variáveis que impedem ou modificam um plano. Dessa forma, controlar significa revisar os planos e intervir no processo de execução, visando a promover o realinhamento do processo de produção ao plano original.

A veracidade das hipóteses ou expectativas inseridas em um plano só pode ser constatada durante a execução. Desse modo, de acordo com Shingo (1981), a função controle, assim como a de monitoramento, sempre acompanha a execução.

Ballard e Howell (1998) acrescentam que o controle visa o cumprimento do plano, ou seja, à avaliação constante da execução em conformidade com o mesmo, de modo a levantar informações para planos futuros.

2.2 Gestão de custos

A Revolução Industrial foi responsável pelo surgimento de dois papéis distintos no âmbito empresarial: o do proprietário (investidor) e o do gestor. Como consequência, tornou-se necessária a apresentação de demonstrações financeiras

consistentes, por parte do gestor, para a conferência dos custos por parte dos investidores (BARBOSA *et al.*, 2009).

Até 1950, os produtos fabricados eram, relativamente, homogêneos e o cálculo de custos aproximados dos produtos era bastante aceito pelos investidores. O cálculo preciso de custos demandava muito detalhamento e esforço. As décadas seguintes foram marcadas por um forte crescimento econômico e, como consequência, a apresentação de demonstrativos financeiros, de forma global, tornou-se fundamental para análises e decisões por parte dos investidores.

A recessão econômica ocorrida entre os anos de 1980 e 1990, caracterizada pela abertura e pela competitividade dos mercados internacionais, acarretou drástica redução das margens do lucro. Esse cenário teve como consequência, a necessidade de se conhecer, de forma detalhada, os custos de cada produto, ou seja, de contabilizar os custos de forma individual e efetivar o respectivo controle. A busca por novos mercados deu início à globalização, que, somada à revolução da tecnologia da informação (TI), causou pressões competitivas mundiais e mudanças na maneira de se operar os negócios. Nesse cenário, a oferta passou a ser maior do que a demanda e o lucro passou a depender da redução de custos (MARCHEHSAN, 2001; KERN, 2005; BARBOSA *et al.*, 2009).

Inserida nesse novo contexto, a gestão de custos tem papel fundamental para a sobrevivências das empresas. Atualmente, as informações relativas aos custos são formuladas para fornecer suporte gerencial para a definição de metas organizacionais e para seu cumprimento.

Assim, o sistema de gestão de custos tornou-se um importante balizador de medição de desempenho, pois indica como a empresa está em relação à sua situação financeira (KERN, 2005).

2.3 O processo de gestão de custos na construção civil

Com exceção de construções residenciais populares, a construção civil é caracterizada por apresentar produtos únicos, com baixíssima escala de repetição, longo ciclo de produção e pelo emprego de vultosos montantes monetários para sua execução (GONÇALVES; CEOTTO, 2014).

Assim, por caracterizar-se como uma forma de mitigação de riscos na construção civil, a gestão de custos pode ser usada como uma estratégia para a manutenção da saúde financeira de uma empresa.

Um dos objetivos da gestão de custos é disponibilizar informações para que se possa visualizar projeções da tendência de custos e do prazo de construção, ao longo do ciclo de produção de um empreendimento. Geralmente, isso é feito por meio de relatórios gerenciais de custos que apresentam indicadores para que se possa analisar o desempenho³ de uma obra (BARBOSA *et al.*, 2009).

Desse modo, a gestão de custos fornece informações comparativas e de projeção das tendências de custos para que o gestor possa tomar decisões antes do término da obra. Contudo, ter um plano de custo consistente como referência é fundamental, não apenas para o monitoramento e controle da execução, mas também para a tomada de decisões desde as fases iniciais do empreendimento.

Como os custos da produção de uma edificação representam, em média, cerca de mais de 50% do valor total de um empreendimento, imprecisões na elaboração dos custos de produção podem impactar, de forma significativa, o cálculo das margens de lucro. Além disso, o uso de um orçamento impreciso como base de referência para estudos de viabilidade influencia na tomada de decisão, ainda na fase de concepção, o que pode determinar, inclusive, o cancelamento do empreendimento (GONÇALVES; CEOTTO, 2014; MATTOS, 2006).

O cálculo dos custos de uma obra é obtido a partir da elaboração do orçamento que serve de apoio à gestão de custos. Desse modo, esse cálculo é considerado por Kern (2005) e Firat *et. al* (2010) como ferramenta importante para a gestão de custos.

2.4 Tipos de orçamento

Segundo Gonçalves e Ceotto (2014), a elaboração do orçamento de obras é uma tarefa complexa, uma vez que resulta da somatória de custos de inúmeros itens que ocorrem de acordo com o desenvolvimento do empreendimento.

³ O termo desempenho é referente à situação em que a obra se encontra em relação ao cumprimento de um plano inicial.

À medida que se avança com o empreendimento, a quantidade e a qualidade das informações aumentam, o que exige revisão e detalhamento do orçamento. Nas fases iniciais, há poucas informações disponíveis, mas estas evoluem, segundo decisões tomadas ao longo do desenvolvimento dos projetos, até serem inseridas nos projetos executivos e de detalhamento (ASSUMPÇÃO; FOGAZZA, 2000). A visão evolutiva do orçamento promove uma nova perspectiva de seu uso, pois as distintas fases do empreendimento requerem propósitos diferentes do orçamento (MARCHIORI, 2009).

Não há um consenso, na literatura, sobre os nomes e tipos de orçamentos. Isto pôde ser observado nas diferentes nomenclaturas adotadas pelos seguintes autores: Cabral (1988), Bazanelli (2003), Knolseisen (2003), Kern (2005), Matos (2006), Mendonça (2006), Marchiori (2009) e Gonçalves e Ceotto (2014). De forma geral, a literatura considera, pelo menos, três tipos distintos de orçamento: (a) orçamento voltado para viabilidade; (b) orçamento convencional e (c) orçamento operacional.

O orçamento para viabilidade tem por objetivo fornecer um valor aproximado do custo total de um empreendimento. Geralmente, este é utilizado em fases em que ainda não há projetos elaborados. De maneira geral, seu cálculo é feito a partir de dados históricos de custos, por meio de comparação com projetos similares e de índices que fornecem médias de custos praticados pelo mercado (MATTOS, 2006).

O orçamento convencional é elaborado com o objetivo único de calcular os custos totais da construção, sem levar em consideração o modo como o trabalho será conduzido no canteiro (CABRAL, 1988; MARCHIORI, 2009).

Nesse tipo de orçamento, os serviços são organizados de acordo com agrupamentos funcionais. Esses grupos agregam serviços de mesma natureza, sob o ponto de vista de sua função no produto edificação, por exemplo: serviços relacionados à estrutura, à vedação ou aos acabamentos. Assim, cada serviço é orçado de forma independente, sem a consideração das particularidades que podem onerar seus custos, como, por exemplo, a mão de obra. Segundo Cabral (1988), nesse tipo de orçamento, a mão de obra é considerada proporcional à quantidade de serviço e, dessa forma, o orçamento não considera fatores como: (a) local; (b) momento; e (c) dificuldade de execução, que influenciam nos custos da mão de obra. Um exemplo deste caso é o serviço de execução de alvenaria, que, nesse tipo

de orçamento, apresenta o mesmo custo unitário, independente, do local onde o serviço será realizado e da dificuldade da mão de obra (STONE, 1975 *apud* CABRAL, 1988; ASSUMPÇÃO; FOGAZZA, 2000; BAZANELLI, 2003).

Ainda que este tipo de orçamento seja bastante detalhado, não serve como base de referência para a gestão de custos, uma vez que não é estruturado para tal função. Esse tipo de orçamento dificulta a gestão de custos por apresentar algumas deficiências, tais como: o distanciamento entre o modo como ocorre a produção e a forma de apresentar os custos (CABRAL, 1988; KERN, 2005; MARCHIORI, 2009).

Nesse caso, durante a construção, quando somente uma parte da edificação tiver sido realizada, o fato de o custo de um serviço se apresentar de forma agregada, em um único agrupamento do orçamento, dificultará a comparação entre o custo incorrido até o referido momento e o respectivo custo orçado. Segundo Marchesan (2001), uma das causas que torna a gestão de custo ineficiente é o fato das informações serem apresentadas de forma agregada, ou seja, os custos serem registrados de forma totalizada por agrupamentos funcionais, ao invés de estarem segregados de acordo com o momento de execução dos serviços. Nessa situação, haverá dificuldades para se buscar no orçamento, informações que auxiliem na medição e no pagamento dos serviços executados. Além disso, não é possível estabelecer comparações diretas entre o custo planejado e o custo efetivamente incorrido até o momento.

Em uma abordagem com foco na gestão de custos, o orçamento deveria retratá-los de acordo com sua ocorrência no canteiro e, assim, servir de base para a gestão (CABRAL, 1988; MARCHESAN, 2001), pois facilita o monitoramento e o controle, tendo em vista a possibilidade de acompanhando e comparação dos custos durante a execução do empreendimento. Segundo Kern (2005), dentre os diversos tipos de orçamento citados na literatura, o mais adequado para ser utilizado como ferramenta de gestão de custos é o orçamento operacional.

2.5 Orçamento Operacional

O orçamento operacional é caracterizado por retratar, com fidelidade, o processo de produção do edifício. Isto é feito a partir da programação da obra que determina as operações necessárias para a execução de um determinado serviço.

Assim, este tipo de orçamento segue a abordagem operacional por decompor os serviços conforme as operações necessárias para a execução da obra (CABRAL, 1988; SKOYLES, 1968; ASHWORTH; SKITMORE, 2005).

O termo serviço é entendido como um conjunto de operações, que resultam em uma parte funcional da obra, podendo envolver diversas categorias de mão de obra (CABRAL, 1988).

Segundo Cabral (1988), operação é uma tarefa executada por um mesmo tipo de mão de obra ou máquina, de forma contínua, sem interrupção, com início e término bem definidos.

Assim, no contexto do orçamento operacional, o serviço de alvenaria pode ser segregado, utilizando-se, como critério de decomposição, as operações necessárias para sua execução: (a) marcação de alvenaria; (b) elevação de alvenaria; e (c) fixação de alvenaria.

De acordo com Cabral (1988), a abordagem operacional para orçamentos baseia-se na seguinte premissa: se os custos forem estabelecidos de acordo com as operações, o orçamento apresentará os custos de forma fiel, no momento da ocorrência desses. Esta afirmação é apoiada por Marchesan (2010) que acrescenta que os custos são desencadeados pelas operações. Com tal característica, o orçamento operacional pode servir como base e facilitar a realização da gestão de custos.

Galvão, Heineck e Kliemann (1990) adicionam que para facilitar a gestão é necessário que os custos de materiais sejam separados dos custos de mão de obra. Quando o critério de levantamento de materiais é diferente do critério de levantamento de mão de obra é imprescindível tal distinção. Por exemplo, há casos em que não se desconta vãos para o pagamento da mão de obra, entretanto, para o cálculo dos materiais é necessário descontar todos os vãos.

Kern (2005) acrescenta que a separação dos custos de mão de obra e de material facilita a gestão de financeira, uma vez que, de modo geral, o pagamento da mão de obra é feita após a execução da operação, enquanto a aquisição do material é feita em um momento anterior e o pagamento pode ser feito de forma parcelada.

A estruturação distinta entre material e mão de obra facilita a gestão de suprimentos de materiais. Para tanto, é necessário que as operações sejam distinguidas de acordo com o uso de diferentes tipos de materiais, mesmo que estes não causem alterações significativas de produtividade⁴. Por exemplo, a fixação de alvenaria deve ser segregada conforme o tipo de material utilizado: (a) fixação de alvenaria com argamassa com aditivo expensor; (b) fixação de alvenaria com argamassa comum; ou (c) fixação de alvenaria com poliuretano. O mesmo procedimento aplica-se também na distinção da operação de elevação de alvenaria com blocos de diferentes geometrias, por exemplo blocos de 9cm, 12cm e 19cm de largura. Neste caso, o consumo de argamassa para o assentamento de cada um destes blocos é distinto. Também, a geometria dos blocos pode afetar a produtividade da mão de obra.

Além disso, no orçamento operacional, a mão de obra própria é orçada a partir da composição de equipes e da duração que estas equipes levam para concluir uma operação. Assim, a mão de obra é considerada proporcional ao tempo ao invés de apenas à quantidade física executada (GALVÃO; HEINECK; KLIEMANN, 1990). Isto ocorre porque há casos de operações serem aparentemente similares, porém possuírem custos diferentes devido ao grau de dificuldade propiciado pelo ambiente ou seu entorno, como congestionamento no local de trabalho ou acesso limitado (MARCHIORI, 2009). O emboço, por exemplo, quando executado em um local estreito ou de difícil acesso, não pode ser considerado igual ao emboço realizado em um local com acesso livre.

Segundo Skoyles (1964 *apud* KERN 2005), o orçamento operacional deve considerar as dificuldades particulares de cada operação. Desse modo, devem ser observados os aspectos físicos e geométricos referem-se às dimensões geométricas do material, peso e espessuras de revestimentos, os quais podem influenciar o esforço empreendido pela mão de obra para o desenvolvimento das operações.

Como o orçamento operacional tem foco na gestão, um grande número de informações sobre a programação e a estratégia de condução da obra devem ser deixados explícitos. Neste sentido, Galvão, Heineck e Kliemann (1990) destacam outras considerações para a elaboração do orçamento como: (a) os custos indiretos

⁴ A produtividade pode ser entendida como um índice que representa a eficiência da utilização dos recursos para a produção de um artefato (SOUZA, 1996).

são proporcionais ao tempo (água, telefone, luz, etc); (b) as taxas de lucro, de administração e de leis sociais são agregadas em um único valor ao invés de serem diluídas em todos os itens; (c) os equipamentos e as instalações de canteiros são especificados, assim como seus critérios de reutilização, vida útil e depreciação, sendo seus custos orçados pelo prazo em que permanecerem na obra; (d) os tempos de mobilização e desmobilização de canteiro devem ser deixados de forma explícita; e (e) as unidades dos materiais devem seguir a unidade de compra.

Desse modo, o orçamento operacional deixa transparente a forma como o projeto será executado, explicitando quais operações, quais equipamentos, quantos funcionários nas equipes, que instalações de canteiro e qual a duração da obra (GALVÃO; HEINECK; KLIEMANN, 1990).

De acordo com Skoyles (1968), o orçamento operacional retrata o que acontece no canteiro ao longo do tempo, definindo operações que sejam relevantes dentro da unidade de tempo escolhida para o controle (hora, turno, dia, semana, mês, entre outras). Uma vez que os custos são apresentados de acordo com a programação da obra, a gestão de custos é facilitada, integrando-se o controle da programação das operações com seus custos. Desta forma, o custo planejado para a realização da operação pode ser comparado com o valor gasto na execução da operação, logo após a sua conclusão.

Desse modo, o orçamento operacional possibilita o rastreamento dos custos, promovendo a transparência do orçamento, favorecendo a identificação de desvios (monitoramento) e possibilitando uma atuação efetiva da função controle sobre as atividades.

2.6 Método para a elaboração de orçamento operacional

Do mesmo modo como ocorre na elaboração do orçamento convencional, no orçamento operacional os custos dos materiais requeridos para a execução das operações podem ser calculados por meio de composições unitárias (CABRAL, 1988).

A composição unitária de operação é uma relação de todos os insumos (materiais, mão de obra e equipamentos) com seus respectivos consumos unitários,

ou seja, a quantidade de insumo necessária para a execução de uma unidade de medida da operação em questão (CABRAL, 1988).

De acordo com Cabral (1988), o consumo unitário de material é proporcional aos quantitativos das operações. Diferentemente dos materiais, o consumo unitário de mão de obra é calculado levando em consideração a equipe necessária para a execução da operação e a respectiva duração (SKOYLES, 1968).

A somatória da multiplicação dos preços de cada insumo pelos respectivos consumos unitários resulta no custo unitário da composição, que, por sua vez, é multiplicado pelos quantitativos das respectivas operações, obtendo-se o custo total do orçamento.

A seguir, será apresentado um método para a elaboração de orçamento operacional desenvolvido por Cabral (1988).

Para a elaboração do orçamento operacional, Cabral (1988) propõe três etapas principais: (a) segregação dos serviços conforme a abordagem operacional; (b) realização da primeira agregação das operações para formação das macro operações, com o objetivo de simplificar o orçamento; e (c) realização da segunda agregação, considerando-se a programação da obra.

Na primeira etapa, para decompor os serviços em operações, Cabral (1988) utiliza o critério operacional, o que significa que o critério de decomposição é avaliado de acordo com a sequência e a forma como as equipes de mão de obra dividem suas tarefas na etapa de produção. O critério operacional utilizado, nesse método, é composto pelos seguintes aspectos: (a) momento distinto de execução no processo construtivo; (b) execução por diferentes categorias de mão de obra; e (c) quando a unidade de medida das tarefas não forem proporcionais entre si, é necessário estabelecer uma operação distinta, por exemplo, a marcação de alvenaria e a fixação de alvenaria, são contabilizadas por metro, sem proporcionalidade com a unidade de medida da elevação de alvenaria, que é contabilizada em metros quadrados. Assim, sempre que uma situação atende a somente um dos três critérios, caracteriza-se como uma operação, sendo necessário segregar o serviço de acordo com as operações.

Cabe ressaltar que Cabral (1988) propõe a utilização de serviços como base inicial para a elaboração do orçamento operacional, porém, é possível determinar as

operações de acordo com o critério operacional, de forma direta, analisando o modo de produção, sem necessidade de listar os serviços previamente.

Observa-se também, que não há uma regra sobre o nível de detalhamento das operações. As variações ocorrem de acordo com os propósitos da empresa. Galvão, Heineck e Kliemann (1990) explicam que o grau de detalhamento pode ser tal a ponto da segregação atingir os movimentos elementares⁵ da mão de obra. Porém, muitas vezes, não há interesse na obtenção de custos em níveis muito detalhados. Para Marchiori (2009), há casos em que o alto grau de detalhamento de custos não faz sentido na prática, uma vez que o esforço para controlar tal nível de discriminação de custo pode ser maior que o esforço para executar a operação.

O nível de detalhamento a ser atingido em um orçamento deve ser um nível que ainda tenha interesse para análises e controle (MARCHIORI, 2009).

Na segunda etapa, as operações que foram segregadas dos serviços são agregadas em macro operações. Ao segregar os serviços em operações, o orçamento atinge um alto nível de detalhamento. Desse modo, algumas operações podem aparecer de forma segregada, mas serem executadas com a mesma mão de obra, de maneira interligada, quase que de modo ininterrupto, podendo assim, serem agregadas. Por esse motivo, nesta etapa, Cabral (1988) propõe que as operações sejam agregadas quando atenderem os três aspectos do critério operacional, simultaneamente, do seguinte modo: (a) quando um conjunto de operações é executado de forma quase contínua, de tal modo que a existência de uma interrupção seja desprezível em relação ao tempo de execução do conjunto de operações; (b) quando o conjunto de operações for executado pelo mesmo tipo de mão de obra; e (c) quando o conjunto de operações possuir as mesmas unidades de medidas, exceto se o custo da operação for desprezível em relação ao conjunto de operações. Neste caso, mesmo que a unidade de medida das operações seja diferente, é possível agregá-las. Podem ocorrer também, casos em que a macro operação seja composta por apenas uma operação.

A necessidade de realizar a segregação de serviços em operações, seguida da agregação de tais operações em macro operações, é questionável. Cabral (1988) defende que a realização do respectivo procedimento confere conhecimento

⁵ Movimentos elementares são os movimentos mínimos feitos pelos operários como por exemplo, levantar o tijolo e lançar a argamassa.

detalhado do processo de produção. Contudo, se houver conhecimento do processo de produção, por parte do orçamentista, os serviços poderiam ser segregados em macro operações, de forma direta.

A terceira etapa trata de um segundo nível de agregação e tem como propósito a viabilização da programação e controle da obra por meio da organização das macro operações, de acordo como estas ocorrem no canteiro. Para tanto, é proposto nesta etapa, que as macro operações sejam agregadas de acordo com os respectivos momentos em que são executadas. Este conjunto de macro operações é denominado, por Cabral (1988), de atividade e tem por objetivo ser utilizado para a programação da obra. Halpin e Woodhead (1976) acrescentam que uma atividade está relacionada com uma parte física do produto final, que normalmente é estabelecida para fins de controle de tempo e custo da obra. No presente trabalho, atividade é definida como um conjunto de macro operações, agrupadas segundo o critério de momento de execução, para fins de programação de obra e para o controle de tempo e custo.

Desse modo, no segundo nível de agregação, as macro operações são agrupadas de acordo com um único critério: o momento de execução. Deve ser considerado que o momento de execução depende do modo como a empresa pretende programar a execução e controlar a obra. O nível de detalhamento pode variar, de acordo com os objetivos da construtora e o intervalo temporal de controle. Além disso, nesta etapa o agrupamento das macro operações pode ocorrer mesmo em casos em que estas tenham sido obtidas por serviços distintos e possuem unidades de medidas não proporcionais. Contudo, as atividades deverão retratar fielmente como a obra será construída. Cabral (1988) cita o seguinte exemplo: duas macro operações oriundas da decomposição do serviço de instalações elétricas, (a) instalação de caixas na laje e (b) instalação de eletrodutos na laje, embora não tenham unidades de medida proporcionais, sendo a primeira medida em unidade e a segunda em metro, respectivamente, são executadas em um mesmo momento, sendo agregadas em uma única atividade, chamada pelo autor de instalação elétrica da laje. Cabe ressaltar que podem ocorrer casos em que uma atividade é formada por apenas uma macro operação.

2.7 Outras considerações para a elaboração do orçamento operacional

O orçamento operacional deve servir de base para a gestão de contratos de mão de obra (ASHWORTH; SKITMORE, 2005), assim como para a compra de materiais (CABRAL, 1988). Para tanto, é importante tecer considerações diferenciadas quando os critérios de levantamento não forem os mesmos, de modo a fornecer informações que atendam tanto à gestão de custos da mão de obra (contratos de mão de obra) quanto à de materiais.

No caso de mão de obra própria de serventes, a orçamentação operacional torna-se muito complexa. O servente é uma categoria de mão de obra utilizada em diversas operações, pois oferece apoio a diferentes equipes de produção, como descarga, limpeza, armazenamento e transporte. Este aspecto dificulta a previsão e o controle do número de horas despendidas pelos serventes em cada uma das operações que realizam. Como forma de simplificar o orçamento, a estimativa de custos dos serventes pode ser feita a partir da soma da quantidade de homens-hora⁶ requerida pelas operações, no mesmo intervalo de tempo (CABRAL, 1988). Desta forma, é possível obter a quantidade estimada de serventes dentro de intervalos de tempo, facilitando o monitoramento deste recurso e a atuação (controle) para que o custo do mesmo não extrapole o valor orçado.

2.9 Considerações finais

Este capítulo apresentou os principais tipos de orçamento e suas respectivas finalidades. O orçamento operacional foi apresentado com maior ênfase, principalmente pelo fato de ser o foco de investigação nesta pesquisa, dadas as suas características que facilitam a gestão de custos. O fato de o orçamento operacional ser estruturado de acordo com as operações da produção, levar em conta a programação e a formação de equipes e respectivas durações, possibilita a gestão de custos de forma flexível e precisa. Por outro lado, essas características o tornam extenso e complexo. Desse modo, é necessário maior tempo para sua elaboração, ao se comparar com o tempo necessário para a elaboração do orçamento convencional (CABRAL, 1988). No próximo capítulo será apresentado o

⁶ Homens-hora é uma unidade que indica o tempo de mão de obra necessário para a execução de uma tarefa (THOMAS *et al.* apud MARCHIORI, 2009).

conceito BIM, que propõe a automação do processo de orçamentação, assim como a melhoria na precisão de orçamentos e possibilidade de recuperação de informações a partir de objetos 3D.

3 USO DE BIM PARA A ELABORAÇÃO DE ORÇAMENTO OPERACIONAL

Neste capítulo, são apresentados os conceitos envolvidos na modelagem em BIM de um orçamento operacional, os quais foram identificados a partir de uma revisão bibliográfica. Primeiramente, será apresentado o conceito de BIM 5D e, em seguida, os conceitos específicos para a elaboração de um orçamento tendo como apoio o uso de uma ferramenta BIM.

3.1 Modelagem de custos (BIM 5D)

O BIM amplia a possibilidade de visão de espectros da modelagem 3D para outros níveis de dimensões capazes de agregar informações que vão além da geometria e das propriedades técnicas dos componentes de uma edificação, como a inserção de informações de tempo (dimensão 4D) e de custo (dimensão 5D) (EASTMAN, 2011).

O que caracteriza a quarta dimensão da modelagem (4D) é a inserção do fator tempo no modelo 3D. Por meio desse processo, é possível visualizar o planejamento das etapas da obra, o que facilita o entendimento da programação por parte dos agentes envolvidos no processo de projeto e construção. Com o uso da modelagem 4D, o usuário pode fazer simulações para visualizar sobreposições da execução de operações, por meio dos respectivos sequenciamentos, e simulações do *lay-out* de canteiro e, assim, verificar a construtibilidade antes da execução do empreendimento (FLORIO, 2007, KYMELL, 2008 *apud* BIOTO, FORMOSO; ISATTO 2013).

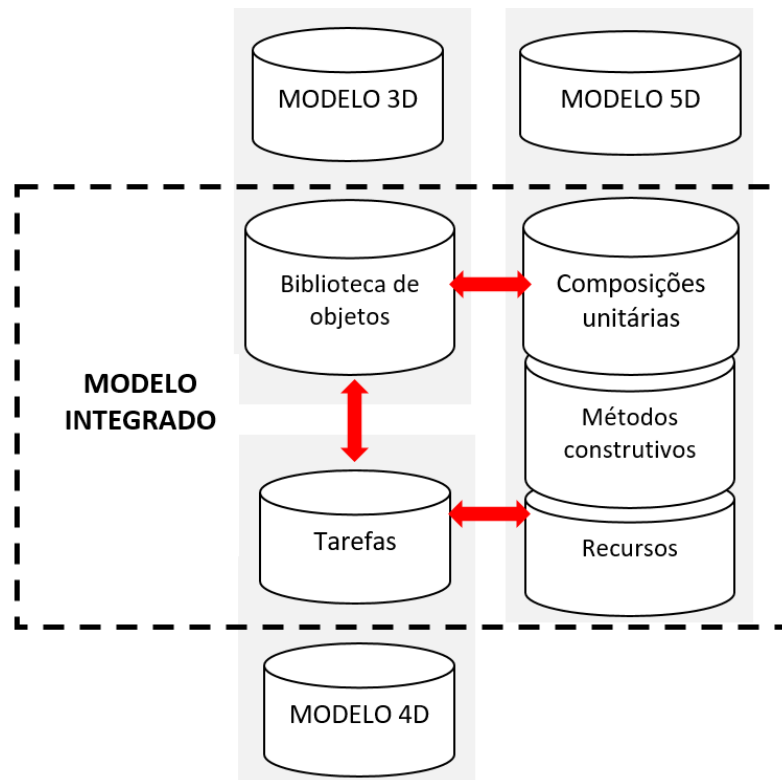
A modelagem 5D é explicada por Eastman *et al.* (2011) e Staub-French (2007 *apud* SAKAMORI, 2015) como a inserção de informações de custos no modelo 4D. Mouflard (2013) e Smith (2014) acrescentam que a quinta dimensão do BIM trata da integração das informações que compõem os custos: quantitativos, cronograma e preços.

Segundo o *Project Management Institute* (2013), a estimativa de custo é a determinação dos valores monetários dos recursos necessários para as atividades do projeto. O processo de orçamentação é definido como a distribuição das estimativas de custos das atividades ao longo do tempo. Nessa abordagem, o

principal objetivo do orçamento é a criação de um plano de custo que servirá como base para a gestão de custos.

Para Panuchev e Spiro (2006), o BIM 5D é um processo iterativo com os processos 3D e 4D, sendo que o modelo 4D é fundamental para o levantamento de custos, pois o fator tempo exerce influência na relação entre quantidade de recursos para a execução das tarefas e duração da obra. Por outro lado, o modelo 5D também interage com o 4D, pois fornece quantitativos para o estabelecimento da duração das tarefas. Como resultado, obtém-se um modelo integrado, proposta conceitual de BIM. Essa interação pode ser vista no fluxo de trabalho BIM 5D da Figura 2.

Figura 1: Fluxo de trabalho BIM 5D: modelo interativo e integrado.

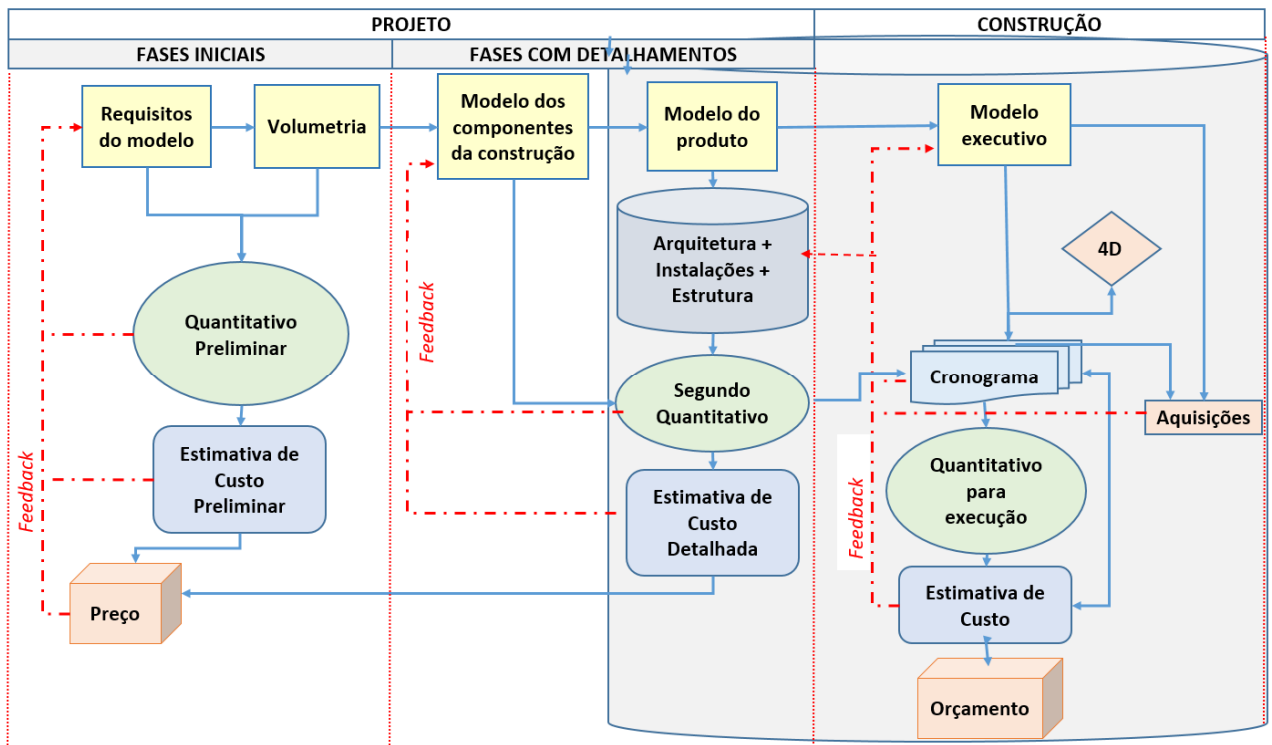


Fonte: Adaptado de PANUCHEV; SPIRO (2006)

Witcovski (2011) propôs um fluxo de informações para o processo BIM 5D, concluindo que o modelo BIM 5D, quando integrado ao modelo 4D, é capaz de melhorar o planejamento e o controle de custos do empreendimento. A integração das informações de tempo e sequenciamento das operações da obra (4D) com as informações de custos (5D), mantém as informações do plano de custos atualizadas, frente às mudanças executadas no decorrer da construção.

O fluxo da Figura 2, apresentado por Firat *et al.* (2010), mostra que o processo de elaboração de custos está presente nas etapas de projeto e construção. Nas fases iniciais e de detalhamento de projetos são feitas as estimativas de custos e na fase de construção, são realizados os orçamentos.

Figura 2: Processo BIM 5D nas diferentes fases do ciclo de vida do empreendimento.



Fonte: Adaptado de FIRAT et al. (2010)

Desse modo, foram identificados na literatura estudos em que modelos BIM 5D são integrados a modelos 3D e 4D para fins de gestão do custo do empreendimento.

Na presente pesquisa, o processo de extração de quantitativos e de estimativas de custos será considerado, como BIM 5D.

O uso de BIM na área de custos traz inúmeros benefícios para o processo de orçamentação, tornando os quantitativos mais precisos e reduzindo o tempo do processo.

A seguir, serão abordados alguns usos de BIM e conceitos relacionados ao mesmo que estão ligados à modelagem para orçamento operacional, os quais serão apresentados a seguir.

3.2 Conceitos de BIM relacionados à modelagem

O BIM pode ser utilizado para diversas finalidades, as quais envolvem diferentes conceitos. Para identificar os conceitos específicos para a modelagem do orçamento operacional, foi analisado um estudo de Barison (2016a) que propõe correlações entre os usos e os conceitos de BIM.

Entre os conceitos específicos para a modelagem do orçamento operacional estão: (a) programação orientada a objetos; (b) modelagem paramétrica; (c) restrições e regras que definem o comportamento dos objetos; (d) interoperabilidade e (e) nível de detalhe e nível de desenvolvimento do modelo.

Esses conceitos serão abordados, com maior profundidade, a seguir.

3.2.1 Programação orientada a objetos

A partir de vários autores, Ayres (2009) apresenta o conceito de objeto como uma unidade de informação que pode representar um elemento constituinte de um projeto de edificação, como, por exemplo, parede, viga, janela, porta, entre outros. Além disso, também pode representar outros elementos não construtivos, como espaços, regiões, simbologias (cotas e níveis dentre outros).

A orientação a objetos trata de uma tecnologia que organiza o software em conjuntos de objetos e interfaces para acesso dos dados relativos aos mesmos. Assim, os componentes do mundo real são representados por meio de objetos que explicam como eles devem interagir entre si. Essa tecnologia está apoiada em três princípios: encapsulamento⁷, hereditariedade⁸ e polimorfismo⁹.

Dessa forma, a orientação a objetos estabelece estruturas-padrão para a criação de objetos, organizando as estruturas-padrão em classes de objetos. As classes são compostas por atributos¹⁰ (características) e por métodos que determinam as regras de comportamento dos objetos. Dessa forma, como os objetos

⁷O **Encapsulamento**: protege o conteúdo do objeto para que não seja alterado por outros objetos, mediante regras e comportamento definidos (EASTMAN, 1999; AYRES, 2009).

⁸ A **hereditariedade** permite a criação de um novo objeto a partir de objetos já existentes, reutilizando a estrutura de dados. O novo objeto pode especializar-se com a adição de novos parâmetros (EASTMAN, 1999; AYRES, 2009).

⁹O **polimorfismo** permite que uma interface se adapte a várias situações. Por exemplo, mudança de escala do projeto sem alteração dos componentes do modelo (EASTMAN, 1999; AYRES, 2009).

¹⁰**Atributos** são as especificações dos parâmetros do objeto e podem ser divididos em dois grupos: (a) geométricos (posição, dimensões) e (b) funcionais (tipo de material, preço, fabricante) (AYRES, 2009).

derivam de tais classes, carregam consigo suas regras de comportamento e, ao serem inseridos no modelo, adquirem os atributos. Assim, os objetos são tidos como uma instância¹¹ da classe (EASTMAN, 1999).

3.2.2 Modelagem paramétrica

Modelagem paramétrica é a técnica utilizada para a construção de modelos paramétricos 3D. Ela é formada por um conjunto de classes de objetos específicos que possuem informações (parâmetros e regras) para a criação de objetos da mesma classe, com qualquer dimensão. Esse dispositivo permite que o usuário crie vários resultados para o mesmo objeto, sem que este perca suas características estruturais. Isso é possível porque essa técnica utiliza variáveis (parâmetros) conectadas a regras para associar as entidades de um objeto (geometria, propriedades e características não geométricas). Essas regras determinam o comportamento das entidades gráficas e definem os relacionamentos entre os objetos. Assim, os objetos paramétricos tendem a se comportar como componentes do mundo real e são, intimamente, ligados à tecnologia de orientação a objetos (AYRES 2009, EASTMAN *et. al* 2011).

Para a elaboração de um modelo BIM, é necessário o uso de um software de modelagem paramétrica. As empresas de software de modelagem paramétrica para a construção civil têm desenvolvido um conjunto de classes de objetos de construção, os quais podem ser modificados pelos usuários. Na modelagem paramétrica, é possível criar várias instâncias de objetos a partir de uma classe de objetos.

Florio (2007) explica que a modelagem paramétrica possibilita a alteração dos objetos já modelados com atualizações instantâneas em todo o projeto. Isso resulta em: redução de conflitos entre os elementos, facilidade de revisões e, por consequência, aumento da produtividade.

3.2.3 Restrições e regras que definem o comportamento dos objetos

O conceito de restrições e regras que definem o comportamento dos objetos se refere aos critérios ou condições que devem ser seguidos (ou cumpridos) no

¹¹ Quando cria-se um novo objeto a partir de um objeto já existente, o novo objeto é chamado de instância.

desenvolvimento de um sistema ao se construir a relação entre as variáveis de um modelo qualquer (EASTMAN, 1999).

Um modelo é caracterizado pela presença de objetos, propriedades e relações capazes de reproduzir características do mundo real. Seu potencial pode ser medido pela capacidade de previsão de comportamento do sistema real, a partir de simulações feitas pelo mesmo (MAYER; PAINTER; WRITE, 1992 *apud* MANZIONE, 2014).

Desse modo, para que o modelo possa representar os componentes do mundo real de forma inteligente, regras e restrições são aplicadas aos objetos por meio de parametrizações, a fim de que resultem em representações precisas. Por exemplo, em softwares BIM, uma janela possui uma regra em sua estrutura capaz de entender que ela só pode ser inserida em objetos pertencentes à classe parede. Portanto, ao tentar inserir uma janela no objeto telhado ou no objeto piso, o software avisa o usuário que essa ação não pode ser realizada.

Essas regras de relacionamento entre os objetos garantem a inteligência dos mesmos, pois automatizam os projetos e simulam o comportamento do mundo real. Entretanto, o mundo real é dinâmico e o processo de projeto é complexo. Fatores como criatividade, subjetividade e inovação podem não estar contemplados nas regras de comportamento usuais (RODRIGUES, 2008).

Assim, é coerente refletir que, dificilmente, os sistemas computacionais, são capazes de abranger todas as possibilidades de regras de relacionamento. Uma alternativa para auxiliar e mitigar a questão da complexidade e do dinamismo do processo de projeto é a utilização de customizações¹² (RODRIGUES, 2008).

3.2.4 Interoperabilidade

Eastman (2011) define interoperabilidade como a capacidade de troca de dados entre softwares distintos. Além disso, a interoperabilidade deve, no mínimo, eliminar cópias manuais de dados já gerados por alguma das especialidades de projetos. Para tanto, é necessária a troca de informações entre os diversos softwares presentes no processo de desenvolvimento de projetos, sem que haja perda de dados.

¹² Customização refere-se às adaptações de acordo com a preferência ou necessidade do usuário (DICIONÁRIO AURÉLIO, 2016).

Portanto, o eixo principal do conceito de interoperabilidade é o compartilhamento de dados e a colaboração entre todos os agentes envolvidos no processo de projeto e construção, otimizando, assim, o processo e melhorando a qualidade do projeto.

Para tal, foi desenvolvido o *Industry Foundation Classes* (IFC) que consiste em um esquema que define como os dados devem ser compartilhados em uma estrutura de troca de dados padronizada. Os elementos são representados por classes genéricas com informações suficientes para descrever suas características principais (EASTMAN, 2011; AYRES, 2009). O IFC funciona como um modelo de tradução de dados e engloba informações de diversas disciplinas. Para isso, são determinados requisitos que especificam a informação que precisa estar presente na troca de dados. Além disso, este esquema tem por objetivo permitir que as informações de um determinado objeto, modeladas em um software de autoria BIM, possam ser entendidas por qualquer outro aplicativo BIM, pois carregam consigo todas as informações necessárias para sua leitura, entendimento e compreensão (MANZIONE, 2014; BUILDING SMART, 2016).

3.2.5 *Nível de Detalhe e Nível de Desenvolvimento do modelo*

O Nível de Desenvolvimento (*Level of Development* - LOD) descreve o grau de completude de cada elemento do modelo e tem por objetivo permitir que os agentes se comuniquem de forma eficaz. Para tanto, devem ser definidos níveis mínimos de informações que proporcionam a comunicação eficaz (AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, 2008).

Cinco níveis de desenvolvimento ou *Level of Development* (LoD) foram sugeridos pelo *American Institute of Architects* (2008). Estes níveis são iniciados no LoD 100 e terminam no LoD 500. O número menor (LoD 100) significa que o modelo possui um nível de desenvolvimento baixo e o maior número (LoD 500) indica um modelo com nível de desenvolvimento alto. BIMForum (2015) também sugere a inclusão do LoD (350). Contudo, o *American Institute of Architects* (2013b) explica que podem ser necessárias modificações nesses níveis, conforme particularidades do projeto.

Segundo o *American Institute of Architects* (2008), há diferença entre o Nível de Detalhe (*Level of Detail* – LoD) e o Nível de Desenvolvimento de um modelo BIM.

O primeiro trata da quantidade de detalhes (informações) de um elemento específico. O segundo se refere às avaliações e validações feitas sobre os detalhes (informações) dos objetos.

Nesta seção, foram levantados os aspectos conceituais de BIM para oferecer suporte à modelagem de orçamento em geral. A seguir será apresentado o fluxo de trabalho BIM com foco em orçamentos com abordagem operacional.

3.3 Fluxo de trabalho BIM no processo de elaboração de orçamento operacional

Forgues *et al.* (2012) definem fluxo de trabalho como um padrão de atividades usado para a organização sistemática de recursos e para a definição de regras e de fluxos de informações, dentro de um processo de trabalho que pode ser documentado.

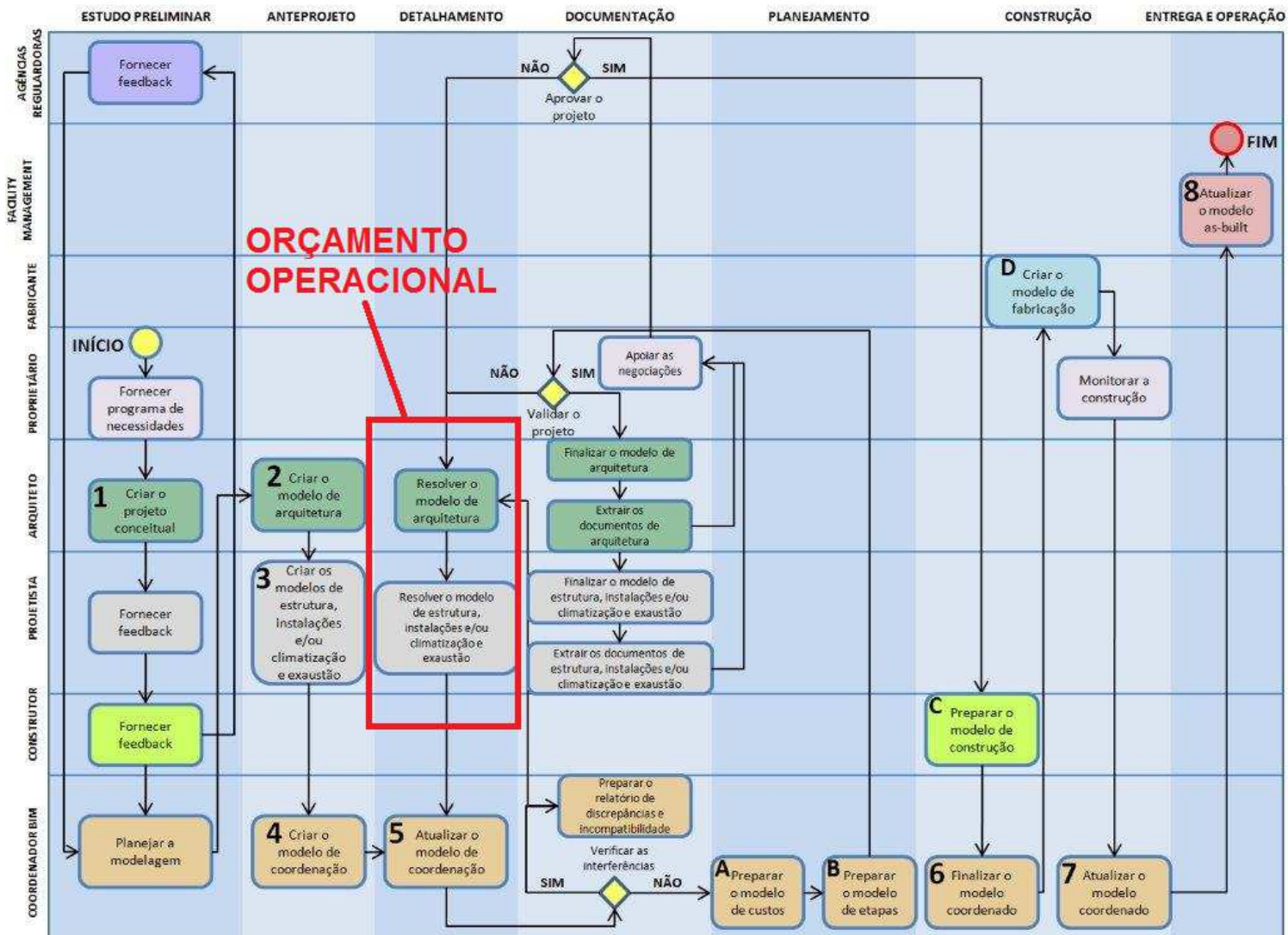
Assim, o fluxo de trabalho BIM se constitui em uma sequência de passos necessários para a execução de atividades relacionadas à produção do modelo BIM. A elaboração do modelo BIM pode ser, na sua totalidade ou em partes, internos a uma organização ou colaborativos, onde documentos, informações ou tarefas são passadas de um participante para outro, para a execução de uma ação, de acordo com um conjunto de regras de procedimentos (BARISON; SANTOS, 2016).

Desse modo, o orçamento operacional foi inserido dentro do fluxo de trabalho BIM proposto por Barison e Santos (2016) com o intuito de se visualizar em qual momento do fluxo de trabalho BIM é possível sua elaboração. Este fluxo é apresentado na Figura 3.

O processo de orçamento passa por diversas etapas, conforme a disponibilidade de informações e evolui ao longo do ciclo de vida (ASSUMPÇÃO, 2000; MARCHIORI, 2009; WITCOVISK, 2009; FIRAT *et al.*, 2010).

As informações referentes às operações para a execução do empreendimento, geralmente não estão disponíveis nas etapas iniciais do ciclo de vida do empreendimento. Essas informações são disponibilizadas em projetos executivos, detalhes construtivos, definição de métodos construtivos e cronograma, entre outros.

Figura 3: Fluxo de trabalho BIM.



Fonte: adaptado de BARISON; SANTOS (2016)

Assim, ao analisar o fluxo apresentado na Figura 3 e considerar que as informações para o orçamento operacional precisam ser detalhadas, de forma a retratar a execução da obra (CABRAL, 1988), pode-se concluir que a elaboração desse orçamento só será possível a partir do modelo detalhado. Isso significa que para esse tipo de orçamento, o modelo deverá ter um LoD capaz de apresentar detalhes dos objetos e, por isso, este deve ser superior ou igual ao LoD 300.

3.4 Ferramentas BIM para modelagem e orçamentação

As ferramentas BIM utilizadas para a modelagem de um empreendimento são conhecidas como ferramentas de autoria de projeto. Dentre estas o mercado disponibiliza algumas como: Autodesk AUTOCAD CIVIL 3D®, Graphisoft

ARCHICAD[®], Autodesk REVIT[®], Bentley AECOSIM[®], Gehry Technologies DIGITAL PROJECT[®] e Vectorworks ARCHITECT SOFTWARE[®].

Segundo Eastman *et al.* (2011), a maioria das ferramentas de autoria BIM fornece recursos para a extração automática de quantitativos e exportação destes dados para planilhas.

Entretanto, a extração de quantitativos, a partir de uma ferramenta de autoria BIM é limitada por critérios e parâmetros de cálculo de quantidades dos componentes da edificação, estabelecidas pelo software. Assim, quando as unidades de medidas nele configuradas forem diferentes das unidades de medida estabelecidas no orçamento, o objeto deverá ser customizado. Dessa forma, a parametrização para a extração de quantitativos será ajustada de acordo com as unidades de medida e os critérios estabelecidos no orçamento (MONTEIRO, 2012).

Atualmente, estão disponíveis diversas ferramentas BIM específicas para quantificação e estimativa de custos, entretanto, nenhuma dessas ferramentas fornece a flexibilidade de uma planilha utilizada para cálculo de orçamento (EASTMAN *et al.* 2011). Além disso, Forgues *et al.* (2012) testaram diversos aplicativos BIM¹³ para orçamento e verificaram problemas de interoperabilidade em todas as ferramentas.

De modo geral, Eastman *et al.* (2011) apresentam três procedimentos de BIM para orçamentação:

- Procedimento 1: exportação de quantidades do modelo para o software de orçamento. Neste caso, os softwares de autoria possuem ferramentas que fazem a extração de quantitativos por meio de exportação de tabelas;
- Procedimento 2: conexão direta dos componentes do modelo com o software de orçamento. Neste caso os objetos do modelo são associados, diretamente dos softwares de autoria, às informações referentes aos custos do software BIM específico de orçamento;
- Procedimento 3: extração de quantitativos com uso de ferramentas BIM específicas de orçamento. Estas ferramentas importam dados de

¹³Innovaya VISUAL ESTIMATING[®], Autodesk QUANTITY TAKEOFF[®] e Sage TIMBERLINE ESTIMATION[®].

diversas outras ferramentas BIM de autoria e oferecem recursos de visualização e conexões automáticas, entre outras.

Foi encontrado, na literatura, um grupo de softwares específicos para orçamentação com uso de BIM. O Quadro 1 apresenta a relação destes softwares.

Quadro 1: Relação de softwares BIM específicos para orçamento

NOME DO SOFTWARE	EMPRESA	PROCEDIMENTO DE ATUAÇÃO PARA ORÇAMENTO
DPROFILER®	Beck-Technology	Modelador com foco em custo
REVIT®, ARCHCAD®, AECOSIM®, DDS® e outros		Procedimento 1
COSTOS®	Nomitech	Procedimento 2
ITALSOFT®	Italsoft	Procedimento 2
SAGE TIMBERLINE®	Innovaya	Procedimento 2
SUCCESS ESTIMATOR®	U.S.Cost	Procedimento 2
TOCOMAN ILINK® + EXPRESS®	Tocoman	Procedimento 2
VICO ESTIMATOR®	Vico	Procedimento 2
EXACTAL COST X®	Exactal	Procedimento 3
INNOVAYA®	Innovaya	Procedimento 3
ONCENTER®	OnCenter	Procedimento 3
QTO®	Autodesk	Procedimento 3
SMARTBIM QTO®	CmdGroup	Procedimento 3
TAKEOFF MANAGER®	Vico	Procedimento 3

Fonte: adaptado de ARDITI, 2010; EASTMAN, 2011; FIRAT; FORGUES *et al.*, 2012

A seguir será apresentada uma revisão da literatura sobre o uso de BIM em orçamento. O objetivo é conhecer o Estado da Arte nesse aspecto, para identificar estudos e pesquisas e entender os limites de BIM referentes ao suporte de informações de orçamentos operacionais.

3.5 O Estado da Arte da orçamentação com o uso de BIM

Este tópico apresenta, inicialmente, o uso de BIM em processos 5D e discute a capacidade de ferramentas BIM para suportar informações de orçamentos operacionais. Por fim, são apresentados estudos cujo objetivo é dar suporte ao desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas para uso em orçamentos.

3.5.1 Uso de BIM em orçamentos

Segundo Eastman *et al.* (2011), o uso de BIM em processos 5D proporciona diversas vantagens, tais como: alto nível de precisão nos quantitativos e possibilidade de extração automática de quantitativos. Alguns estudos, como o de Jiang (2011), de Witicovski (2011) e de Santos, Antunes e Bilbinot (2014), comprovaram a eficiência de BIM quanto às vantagens citadas anteriormente, se comparado ao processo de orçamentação com uso de projetos 2D e planilhas.

Sakamori (2015) identificou que o uso de BIM 5D favorece a precisão do orçamento mediante menor intervenção humana, propiciada pela automatização dos processos de orçamentação.

Contudo, nem todos os itens de um orçamento são possíveis de extração automática. As ferramentas de autoria BIM têm a capacidade de extrair do modelo um número de componentes e seus respectivos volumes e áreas. Tais informações, segundo Eastman *et al.* (2011), são adequadas para produzir um levantamento preliminar de custo.

Costa e Serra (2014) constataram que apenas 64% dos itens contidos em uma planilha orçamentária (elaborada pelo método tradicional) puderam ser extraídos de forma automática, enquanto que 36% não puderam ou foram extraídos de forma parcial.

Quando se trata de extração de informações detalhadas para a orçamentação que busca retratar as operações, há dificuldades de automatização devido à falta de suporte de informações específicas de orçamentos para a base de gestão de custos.

Laasonen e Happio (2010) estudaram uma forma de automatizar a extração de quantitativos, conectando essas informações a um banco de dados de custos em uma planilha Excel. Para tanto, os serviços para a fabricação de uma estrutura metálica foram decompostos em operações. Não foi possível inserir no modelo BIM todas as informações de custos, como, por exemplo, os custos influenciados pelo posicionamento da solda, pela posição de montagem dos parafusos no canteiro e pela produtividade das máquinas. Neste caso, foi necessária a realização de cálculos manuais.

Ao investigar a integração entre orçamento e planejamento, Liu, Lu e Russen (2014) enfrentaram dificuldades para inserir no modelo, informações que pudessem representar particularidades referentes ao processo executivo e momentos de ocorrência do custo. Além disso, o software utilizado no estudo (REVIT®) não conseguiu extrair os quantitativos de alguns elementos com as mesmas unidades de medidas do banco de dados de custos utilizado na pesquisa. Neste caso, a integração foi estabelecida manualmente.

Monteiro e Martins (2012) observaram inflexibilidade nos softwares BIM frente à necessidade de extrair quantitativos de acordo com os critérios utilizados em casos reais.

Monteiro e Martins (2013) também identificaram que, para a extração automática dos quantitativos de fôrmas estruturais, seguindo os critérios de execução, é necessário trabalho manual mediante adaptações no modelo BIM.

Como pôde ser observado, nos trabalhos apresentados anteriormente, há dificuldades na automatização dos processos de orçamentação a partir de BIM. Além disso, foram encontradas dificuldades para a modelagem de informações que são essenciais para a elaboração do orçamento operacional, como: informações sobre produtividade, métodos construtivos, momentos de ocorrência de custos e critérios de quantificação de acordo com a realidade das empresas. Desse modo, adaptações têm sido feitas na tentativa de automatizar processos de orçamentação que envolvem informações detalhadas e de aspectos operacionais.

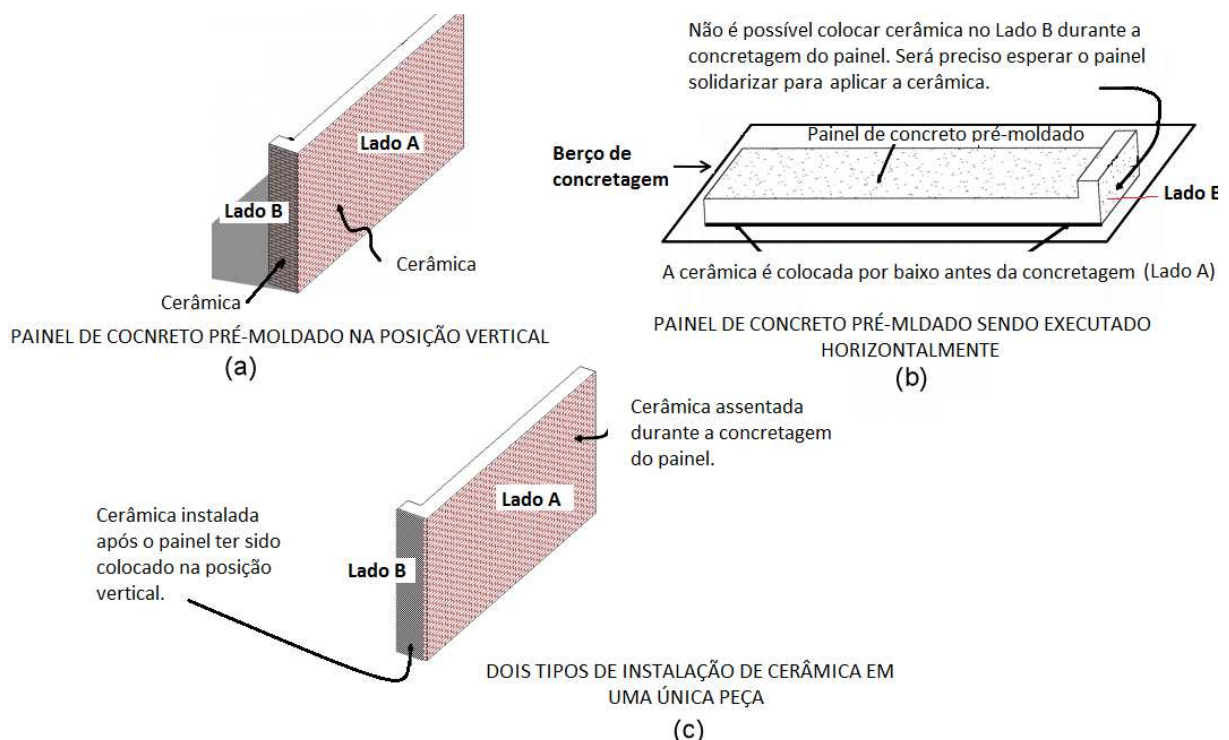
Com o objetivo de adaptar software BIM para suportar informações específicas de custos, Leung (2013) sugeriu o uso de parâmetros do tipo texto para complementar as informações necessárias para a elaboração de orçamento. Nesse estudo, foi necessário criar parâmetros para a inserção de informações sobre a resistência do concreto, a taxa de armadura e o código do serviço.

Uma das causas da falta de informações de custos, segundo Staub-French *et al.* (2003), é o fato de a modelagem ser elaborada com foco no produto, ou seja, os componentes são inseridos no modelo para atender a composição do produto, sem se preocupar com o processo adotado para sua produção. Aram, Sacks e Eastman (2014) acrescentam que falta suporte de informações essenciais para a formulação de custos e a realização da aquisição. Os autores citam quatro características de elementos pré-fabricados que, atualmente, não são suportadas

pelos softwares: extração de quantitativo em unidade por peça, geometria da peça estrutural, carga e vão.

Um estudo realizado por Shen e Issa (2010) demonstrou que o software *BIM* utilizado para a modelagem de um painel de concreto pré-moldado, com geometria em L e revestimento cerâmico em duas faces, não foi capaz de suportar a inserção de informações de diferentes métodos construtivos e produtividades em um mesmo elemento. Conforme mostra a Figura 4, o lado A do painel é concretado sobre um revestimento cerâmico. Assim, o assentamento da cerâmica, no lado A, é feito no momento da concretagem, sendo necessário apenas o posicionamento da cerâmica abaixo da armadura do painel. Já o assentamento da cerâmica, no lado B, só poderá ser feito em um momento posterior, quando o painel estiver sólido, de forma que a equipe terá que voltar para esse elemento e assentar a cerâmica de forma manual.

Figura 4: Diferentes considerações na produção de uma placa de concreto pré-moldado



Fonte: Adaptado de Shen e Issa (2010)

Outro fator causador da falta de suporte de informações de custos é a carência de estruturas padronizadas para esse tipo de informação (STAUB-FRENCH *et al.*, 2003; ARAM, SACKS; EASTMAN, 2014).

Assim, algumas pesquisas têm focado o desenvolvimento de ontologias¹⁴ e de sistema de classificação com o objetivo de suprir a lacuna de estruturas padronizadas para informações de custos e buscar a automatização dos processos BIM 5D.

Staub-French *et al.* (2003) exploraram as características que afetam o custo e que não são facilmente inseridas no modelo, como requadros e juntas de dilatação. A partir disso, foi elaborada uma ontologia para descrever os itens específicos de orçamento, para que os orçamentistas possam inserir e ajustar preços unitários consistentes e completos. Contudo, a ontologia não foi capaz de abranger todos os aspectos.

Lee, Kim e Yu (2014) desenvolveram uma ontologia que permite a conexão automática dos objetos presentes no modelo com as composições de custos de um banco de dados orçamentário. A conexão automática foi feita de modo que o banco de dados interpretava qual composição de custo deveria ser conectada ao objeto, a partir das condições de projeto (nome do ambiente do empreendimento, elemento construtivo, tipo de acabamento e espessura). Para tanto, foi criado um sistema de classificação. O trabalho, porém, ficou limitado ao item revestimento de piso.

Ma e Liu (2014) propuseram uma abordagem para identificar e capturar as informações que afetam o custo. A pesquisa indicou fatores que não são possíveis de serem inseridos automaticamente em softwares BIM, como método construtivo e uso de equipamentos.

Aram, Sacks e Eastman (2014) desenvolveram uma estrutura de trabalho simplificada para a racionalização dos processos de quantificação e a estimativa de custos com o uso de BIM. O objetivo da pesquisa foi prover os modelos BIM com informações necessárias para a elaboração de orçamentos, a fim de possibilitar extração de quantitativos mais eficiente e automatizada, semi automatizada ou menos manual.

Conforme pôde ser observado na literatura, a proposta de automação de processos de BIM 5D ainda é deficiente, pois exige trabalhos manuais e adaptações do modelo. As pesquisas apontam que há falta de uma base de conhecimento para

¹⁴ Ontologia é uma técnica de informações com estruturação baseada na descrição de conceitos e de relacionamentos semânticos entre eles. Seu principal objetivo é o entendimento comum de algum domínio de conhecimento para facilitar o compartilhamento e a reutilização de informações (GUARINO, 1998 *apud* MORAIS E AMBRÓSIO, 2007).

que o modelo BIM dê suporte às informações específicas de orçamentos. Desse modo, é preciso identificar quais informações de custos são necessárias para a elaboração de um orçamento. A partir disso, será possível o desenvolvimento de tecnologias de informação BIM capazes de dar suporte às informações essenciais para a elaboração de orçamento.

3.5.2 Diretrizes de modelagem com foco no orçamento operacional

A elaboração de orçamentos que servem como base para a gestão da obra requer que os quantitativos estejam de acordo com a execução do empreendimento. Para tanto, é requerido do modelo um LoD alto. Além disso, para facilitar a gestão de custos, é necessário que os quantitativos sejam extraídos do modelo de maneira fácil e forneçam informações de forma direta, sem necessidade de retrabalhos no modelo para obtenção de quantitativos (FIRAT *et al.* 2010, FORGUES *et al.* 2012). Para tanto, segundo Amiri (2012), o maior esforço deve ser empreendido na criação do modelo. Uma vez que a modelagem retrata o modo como a obra será executada, os quantitativos serão extraídos de acordo com a execução.

Aram, Eastman e Sacks (2014) explicam que há três requisitos críticos para a eficiência do modelo BIM para custos. São eles:

- (a) estar preparados para que deles possam ser extraídos corretamente os quantitativos e as estimativas de custos;
- (b) conter todas as informações necessárias para que se possa extrair os quantitativos, sem necessidade de ajustes manuais e sem retrabalhos;
- (c) conter informações completas requeridas pelas tarefas de quantificação e estimativa de custos.

Além disso, segundo Firat *et al.* (2010), um dos principais obstáculos para usar a quantificação extraída de modelos BIM para a gestão da produção é a falta de diretrizes para modelagens. Na tentativa de solucionar esses problemas apresentados, Firat *et al.* (2010), Forgues *et al.* (2012) e Lee, Kim e Yu (2014) elaboraram diretrizes para a modelagem BIM, com foco em orçamentos detalhados e úteis para a gestão de custos na etapa de produção. O Quadro 2 apresenta essas diretrizes de modelagem.

Quadro 2: Diretrizes de modelagem de orçamento em BIM.

DIRETRIZ	REFERÊNCIA
Recomenda-se fazer a detecção de conflitos no software BIM, pois os softwares de orçamento não reconhecem todas as interferências do modelo. Ressalta-se que atualmente há softwares específicos para detecção de conflitos como o NAVISWORKS® e SOLIBRI®.	(FIRAT <i>et al.</i> , 2010)
Estabelecer um nível de detalhe suficiente para gerar quantitativos adequados.	(FIRAT <i>et al.</i> , 2010)
A modelagem dos objetos deve ser feita para retratar o componente real da construção, levando em consideração os métodos construtivos. Recomenda-se que a nomenclatura dos objetos seja feita de acordo com as operações.	(FIRAT <i>et al.</i> , 2010; FORGUES <i>et al.</i> , 2012)
O modelo deveria ser construído de forma a permitir a extração de quantitativos sem a necessidade de retrabalhos. É recomendado que cada operação tenha o seu respectivo quantitativo.	(FIRAT <i>et al.</i> , 2010; LEE, KIM e YU, 2014)
As regras de cálculo de quantitativos devem ser bem definidas, ou seja, é importante verificar as regras de cálculo do software e compatibilizá-las com os critérios estabelecidos no orçamento.	(FIRAT <i>et al.</i> , 2010)
Recomenda-se elaborar o modelo de forma que os objetos possam sejam capazes de representar a execução da obra, na modelagem 4D.	(LEE, KIM e YU, 2014).
Em fases mais avançadas do empreendimento, como a fase de construção, é essencial o uso de ferramentas específicas de orçamento com recursos de diferenciação visual dos objetos, por meio de filtros, regras e fórmulas que mudam as cores dos objetos. Essas ferramentas auxiliam em buscas por informações de custos. Por exemplo, os softwares VICO® e QTO®.	(FORGUES <i>et al.</i> , 2012)

Fonte: O autor

De acordo com as diretrizes listadas no Quadro 2, pode-se concluir que o uso de BIM para orçamento operacional prescinde de um levantamento correto de quais informações relacionadas aos custos devem estar contidas nos modelos BIM. Entretanto, existe uma diversidade de padrões de orçamentação, referentes ao nível de detalhamento e tipos de informações necessárias para a elaboração de um orçamento, como unidade de medida de acordo com a cadeia de suprimentos,

produtividade e critérios de levantamento. A inexistência de classes específicas para informações de custos em IFC e ontologias constitui um fator impeditivo para o avanço de BIM em orçamentos, de modo geral, e, principalmente, em orçamentos detalhados com foco operacional. Desse modo, mesmo que as informações estejam inseridas nos objetos, o IFC não terá condições de identificá-las no modelo.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta a descrição do método de pesquisa empregado neste trabalho. Inicialmente, será apresentada a estratégia de pesquisa e, posteriormente, serão descritos seu delineamento e as etapas do trabalho, assim como as fontes de evidências empregadas na coleta de dados.

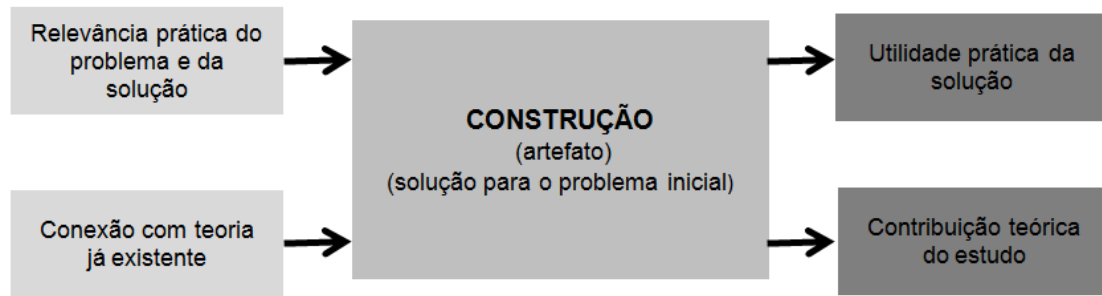
4.1 Abordagem e estratégia de pesquisa

O presente trabalho visa à proposição de um método para modelagem BIM de orçamento operacional que permita explicitar as considerações de cálculo e automatizar a extração de quantitativos, empregando o software de autoria REVIT®.

A proposta deste estudo é caracterizada pela criação de um artefato novo para solucionar problemas provenientes do mundo real. A forma como este artefato foi construído reforça a justificativa do Pesquisa Construtiva (*Constructive Research - CR*), também conhecido como Pesquisa da Ciência do Projeto (*Design Science Research - DSR*), como abordagem de pesquisa.

O artefato (método proposto) foi construído a partir do envolvimento e da cooperação entre o pesquisador e a organização, de modo a promover uma aprendizagem proveniente da troca de experiência entre ambos, fator importante para a construção do artefato. A experiência de ambas as partes foi adquirida mediante um conhecimento construído com base na teoria existente e nas reflexões propiciadas ao longo do desenvolvimento e da aplicação prática do artefato. Ao final, o artefato proposto trouxe uma contribuição de caráter prático e teórico. Prático, na medida em que soluciona um problema proveniente do mundo real e teórico, uma vez que apresenta um conjunto de diretrizes sistematizadas (método) que orientam a modelagem BIM, propiciando a gestão de custos na etapa de execução dos empreendimentos. Estes elementos chave da *CR*, destacados por Lukka (2003), são apresentados na Figura 5.

Figura 5: Elementos chave da pesquisa construtiva.



Fonte: Adaptado de LUKKA (2003)

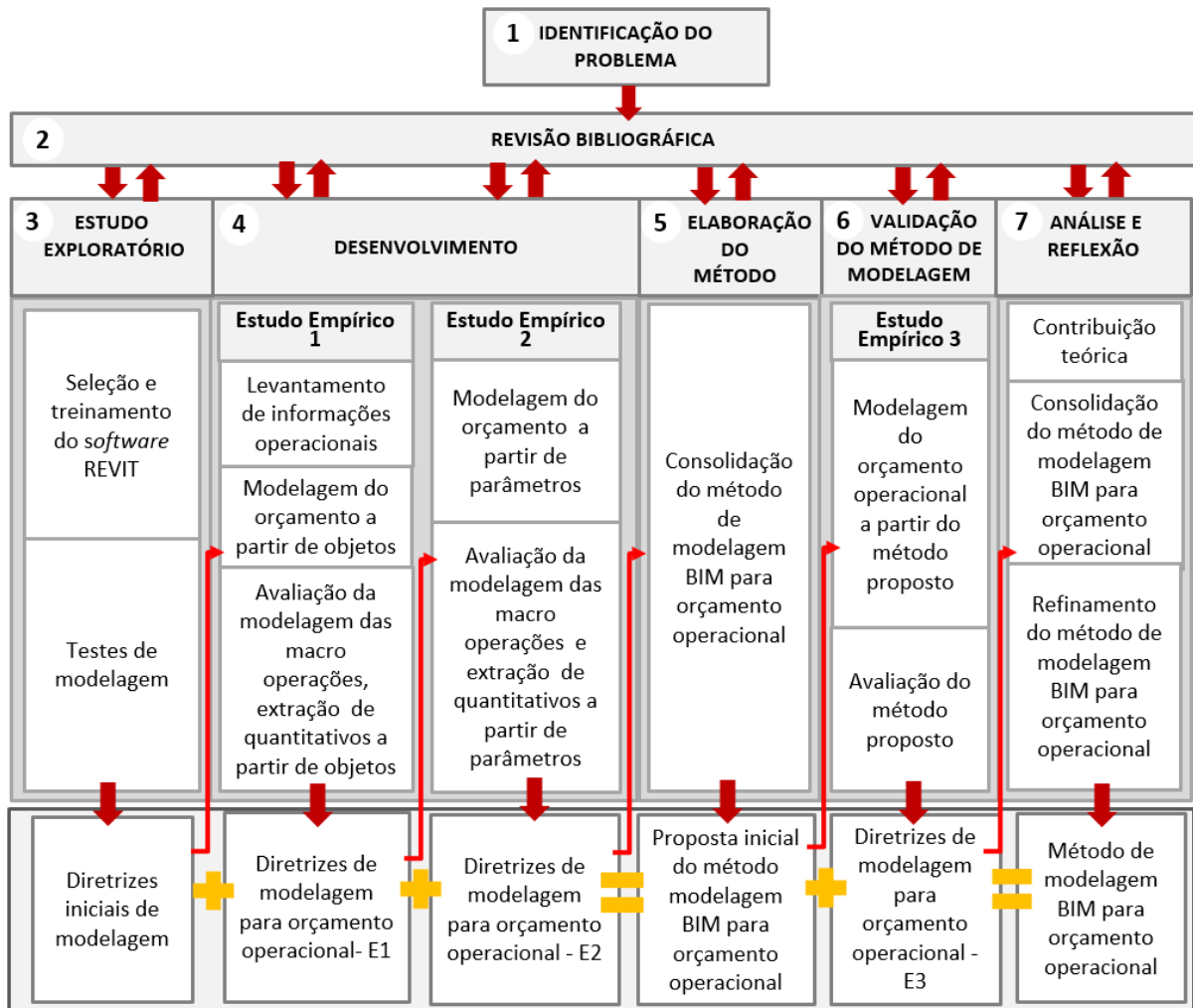
Uma pesquisa que adota a abordagem *CR* pode ser conduzida sob diferentes estratégias, entre elas se destacam: múltiplos estudos de caso (LUKKA, 2003; HOLMSTRÖM; KETOKIVI; 2009) e a pesquisa-ação (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; 2009). A estratégia adotada para a condução desta pesquisa foi o estudo de caso.

A seguir, é apresentado o delineamento da pesquisa, descrevendo as etapas cumpridas e seus propósitos.

4.2 Delineamento da pesquisa

A pesquisa apresentada neste trabalho se desenvolveu em sete etapas principais: (1) identificação do problema; (2) revisão bibliográfica; (3) estudo exploratório; (4) desenvolvimento; (5) elaboração do método inicial de modelagem; (6) validação do método de modelagem e (7) análise e reflexão. Isto pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Delineamento da pesquisa.



Fonte: O autor

A seguir, são descritas as etapas que delinearão a pesquisa.

4.2.1 Etapa 1: Identificação do problema

A presente pesquisa foi motivada por um problema real, vivenciado em duas construtoras a partir da rotina de trabalho do pesquisador. Este problema consistia na dificuldade de recuperar informações do orçamento operacional, apresentadas por meio de planilhas, o que desfavorecia a gestão de custos.

4.2.2 Etapa 2: Revisão de bibliografia

Como consequência do problema identificado, foi necessário realizar uma revisão da literatura sobre o tema com o objetivo de encontrar uma solução para o

mesmo. Inicialmente, foi feita uma investigação sobre orçamento operacional e gestão de custos. Em seguida, investigou-se o conceito BIM, a modelagem 5D e o software BIM.

Nessa etapa, foi possível compreender os principais conceitos relativos aos respectivos temas. Verificou-se que muito pouco se tem pesquisado sobre orçamento operacional e a literatura que trata desse tema está restrita a poucos autores. Durante esta etapa, o uso de BIM foi identificado como uma alternativa para solucionar o problema desta pesquisa. Além disso, constatou-se que não havia pesquisas que tratavam do uso de BIM, especificamente, para a elaboração de orçamentos operacionais, o que confirmou a necessidade desta pesquisa. Contudo, na literatura foram encontrados estudos por meio dos quais foi possível identificar algumas diretrizes para a elaboração de orçamentos. Esta etapa perdurou por todo o período de desenvolvimento deste trabalho.

4.2.3 Etapa 3: Estudo exploratório

A terceira etapa, de caráter exploratório, durou, aproximadamente, um ano. Buscou-se, nesta etapa, a formulação das diretrizes iniciais de modelagem BIM para orçamentos operacionais. Para tanto, foram realizadas as seguintes etapas: (a) seleção do software de modelagem; (b) treinamento do pesquisador no manuseio do software; e (c) testes de modelagem para a consolidação do aprendizado da ferramenta.

A seleção do software de modelagem considerou o propósito inicial da pesquisa, que era a modelagem das seguintes disciplinas: estrutura, arquitetura, instalações elétricas e hidráulicas. Os critérios para a escolha foram: disponibilidade e duração de licença gratuita, facilidade para a obtenção da licença, capacidade de modelar todas as disciplinas e disponibilidade de manuais. O software que atendeu a esses critérios de modo mais acessível foi o *Autodesk REVIT*[®] versão 2016.

O treinamento do pesquisador foi realizado, fundamentalmente, por meio do estudo de vídeo aulas. Também foi necessária a contratação de consultoria especializada para o pesquisador obter conhecimento avançado na ferramenta.

Nessa etapa, foram feitas diversas modelagens de partes isoladas da obra e de interações entre os sistemas das várias disciplinas, com o objetivo de entender

quais critérios o software utilizava para a modelagem e, em especial, para a extração dos quantitativos.

Primeiramente, foram feitos testes para verificar a possibilidade de se utilizar o modelo BIM estrutural, o qual foi importado em formato IFC, de um software¹⁵ de cálculo estrutural. Em seguida, foi feita a modelagem das disciplinas de hidráulica e elétrica para a verificação da extração de quantitativos. Também foram analisados métodos de modelagem com o intuito de identificar o mais adequado para o propósito desta pesquisa e, por fim, foram feitos testes para entender os critérios do software para o cálculo de quantitativos das principais classes de objetos da arquitetura: paredes, piso, janelas, portas e vigas.

Assim, foi identificada a necessidade de se modelar a estrutura a partir do Autodesk REVIT[®], devido a problemas de interoperabilidade encontrados no formato IFC. Além disso, a modelagem das disciplinas de hidráulica e elétrica foi descartada por esta pesquisa devido a dificuldades, tais como, a inexistência de classes de objetos e a complexidade de modelagem. A partir daí, a pesquisa foi delimitada à modelagem da estrutura e da arquitetura. O método de modelagem dos componentes de arquitetura escolhido foi o método de camadas (MONTEIRO; MARTINS, 2012). Em seguida, foi realizado um mapeamento dos critérios de quantificação das classes de objetos para auxiliar na correlação entre as operações do orçamento e os objetos para a respectiva representação no modelo.

Essa fase contribuiu para a etapa seguinte da pesquisa (etapa de desenvolvimento), uma vez que estabeleceu as diretrizes iniciais que seriam consideradas nos estudos empíricos seguintes. Além disso, o estudo exploratório colaborou na delimitação do trabalho, determinando a modelagem apenas da estrutura e da arquitetura.

4.2.4 Etapa 4: Desenvolvimento da pesquisa

Na etapa de desenvolvimento, foram realizados dois estudos empíricos conduzidos de forma sequencial que forneceram diretrizes complementares às iniciais para o desenvolvimento do método de modelagem BIM para o orçamento operacional.

¹⁵ Software TQS[®]

4.2.4.1 Estudo Empírico 1

O Estudo Empírico 1 foi desenvolvido entre fevereiro e março de 2016 e teve como finalidades: (a) identificar as informações a serem inseridas no modelo para que deste pudessem ser extraídos quantitativos das macro operações de acordo com a abordagem operacional; (b) verificar a possibilidade de modelagem dessas informações e (c) investigar se as extrações dos quantitativos poderiam ser feitas sem a necessidade de adaptações.

Optou-se por investigar neste estudo, a elaboração do orçamento apenas das macro operações obtidas pela segregação dos serviços de alvenaria, de reboco e de enchimento hidráulico de um pavimento tipo.

Primeiramente, os serviços foram segregados em operações e em seguida, foi realizada a agregação das operações em macro operações, levando em conta os critérios proposto por Cabral (1988). As operações se referem ao modo de execução com alto nível de detalhe. Porém, a modelagem foi realizada no nível das macro operações. Desse modo, neste trabalho, para se referir aos itens modelados foi utilizado o termo macro operações.

A identificação das informações que permitiriam que os quantitativos fossem extraídos de acordo com as macro operações, foi realizada a partir de duas reuniões com os engenheiros executores de obras. Foi necessário, também, realizar uma visita à obra com o objetivo de (a) conhecer o processo de execução; (b) analisar alguns documentos da empresa, tais como medições e contratos de mão de obra; e (c) fazer diversas consultas com os engenheiros de obra e com o gerente de engenharia para esclarecimento de dúvidas.

A primeira reunião com a equipe de engenharia teve o objetivo de identificar como a execução da obra seria realizada. Essa reunião propiciou o conhecimento das operações necessárias para a execução da obra de acordo com a produção do empreendimento.

Também foi realizada a análise de medições e contratos de mão de obra, a fim de levantar os critérios de pagamento de mão de obra. Para complementar as informações contidas nesses documentos, foram realizadas várias consultas ao gerente de engenharia a fim de solicitar esclarecimentos sobre tais critérios.

A visita em obra foi feita juntamente com o engenheiro responsável pela mesma com o objetivo de validar as operações relacionadas na primeira reunião.

A segunda reunião foi feita com a equipe de engenharia com o objetivo de definir as macro operações e os respectivos momentos de execução. Assim, foram realizadas: (a) análise e discussão da estratégia de execução da obra; e (b) definição da programação da obra e dos respectivos lotes de produção¹⁶.

A partir desse levantamento, a modelagem BIM foi iniciada. O modelador foi o próprio engenheiro orçamentista da empresa, que também é o pesquisador deste trabalho. Para tanto, os projetos (estrutural e arquitetônico) foram disponibilizados em forma de desenhos 2D. O modelo foi elaborado no REVIT[®] 2016.

Para simplificar a modelagem e reduzir o tamanho do arquivo gerado, foram modelados apenas três apartamentos de um pavimento tipo e o *hall* do elevador e escadaria.

A modelagem ocorreu a partir das diretrizes estabelecidas no estudo exploratório. Assim, foi feita a modelagem da estrutura e das macro operações obtidas com a segregação dos serviços de alvenaria, reboco e enchimento hidráulico. Cada uma das macro operações foi modelada a partir de um objeto.

Ao término da modelagem, foi feita uma avaliação para verificar se a modelagem de todas as macro operações foi possível e se a extração de quantitativos ficou de acordo com a abordagem operacional. Além disso, avaliou-se ainda, se a extração de quantitativos precisava de adaptações ou poderia ser realizada de forma direta.

A contribuição do Estudo Empírico 1 foi a adição de diretrizes àquelas já formuladas na etapa exploratória, as quais determinavam que as macro operações deveriam ser modeladas a partir de objetos. Mediante as deficiências mostradas no Estudo Empírico 1, as diretrizes foram reformuladas para que algumas macro operações fossem modeladas a partir de parâmetros personalizados pelo modelador. Estas diretrizes tinham o intuito de otimizar o processo de modelagem e automatizar o processo de extração de quantitativos. Também foi observada a

16

Lote de produção é definido neste trabalho como sendo a quantidade de trabalho a ser executado de forma ininterrupta. Isto é definido de acordo com o nível de controle desejado pela construtora, como por exemplo: apartamento ou pavimento.

necessidade de criação de uma nova classe de objetos para representar os requadros. Assim, foi necessário realizar um novo Estudo Empírico para que a nova classe de objetos e as novas diretrizes fossem avaliadas.

4.2.4.2 Estudo Empírico 2

O Estudo Empírico 2 foi desenvolvido entre Maio e Julho de 2016 e teve como objetivos: (a) avaliar a possibilidade de modelagem das macro operações conforme as diretrizes sugeridas no Estudo Empírico 1 (com uso de parâmetros personalizados); e (b) avaliar a extração de quantitativos de forma segregada, ou seja, de acordo com a abordagem operacional.

Neste estudo, optou-se pela extração de quantitativos das macro operações necessárias para a execução da fachada do edifício. Primeiramente, foi desenvolvida uma classe de objeto customizada mediante contratação de uma empresa especializada em desenvolvimento de famílias de REVIT®. Em paralelo, foi realizada uma reunião com os engenheiros executores de obras com a intenção de identificar as informações referentes ao modo de execução da fachada. Também foi necessário analisar alguns documentos da empresa como medições e contratos de mão de obra, a fim de levantar os critérios de pagamento de mão de obra. Para complementar as informações contidas nesses documentos, foram realizadas várias consultas ao gerente de engenharia para solicitar esclarecimentos sobre os critérios de pagamento de mão de obra.

A reunião com a equipe de engenharia teve o intuito de: (a) identificar como a execução da fachada seria realizada; e (b) definir as operações e macro operações para execução da fachada e os respectivos momentos de execução. Essa reunião propiciou a confecção de uma relação das operações e em seguida, das macro operações necessárias para a execução da fachada, de acordo com o respectivo modo de execução, e a definição da programação e devidos lotes de produção. A partir desse levantamento, a modelagem BIM foi iniciada. Da mesma forma que o Estudo Empírico 1, o modelador foi o pesquisador e a documentação 2D foi utilizada como referência para a modelagem. Para a fachada foi preciso modelar as macro operações do serviço de alvenaria, somente as que ficam nas bordas do perímetro do edifício, mas de todos os pavimentos tipo. Nesse caso, o

modelo de estrutura utilizado no Estudo Empírico 1 foi aproveitado. A modelagem ocorreu a partir das diretrizes estabelecidas no Estudo Empírico 1.

Ao término da modelagem, foi feita uma avaliação para verificar se as macro operações foram passíveis de modelagem e se a extração de quantitativos ficou em acordo com a abordagem operacional. Além disso, foi avaliado, ainda, se a extração de quantitativos precisava de adaptações ou poderia ser realizada de forma direta.

Ao término do Estudo Empírico 2, foram adicionadas diretrizes àquelas iniciais. Em seguida, foi feita uma primeira consolidação dos resultados dos Estudos Empíricos 1 e 2 e proposta a primeira versão do método de modelagem de orçamento operacional com o uso de BIM.

4.2.5 Etapa 5: Elaboração do método de modelagem

Nesta fase do trabalho, os dados avaliados nos Estudos Empíricos 1 e 2 foram consolidados para que se pudesse propor o método de modelagem. A etapa seguinte descreve a respectiva validação.

4.2.6 Etapa 6: Validação do método de modelagem

A validação do método de modelagem proposto neste trabalho foi feita por meio do Estudo Empírico 3.

O Estudo Empírico 3 foi realizado em novembro de 2016 por uma engenheira civil, treinadora de REVIT[®] e desenvolvedora de classes de objetos em uma empresa sueca¹⁷ com filial no Brasil. O objetivo principal foi avaliar se o método estava claro e se era capaz de permitir que um profissional, diferente do pesquisador, elaborasse o orçamento operacional por meio de BIM.

Para tanto, foi feita a modelagem da fachada de um edifício, sendo disponibilizados para a modeladora: (a) os projetos estruturais e arquitetônicos apresentados em documentação 2D; (b) a relação de macro operações segregadas dos serviços; (c) o agrupamento das macro operações de acordo com a programação; e (d) os critérios de extração de quantitativos das macro operações. A

¹⁷ A BIMobject é uma empresa que desenvolve objetos, a partir de demandas de projetistas e construtoras que decidem, inclusive, pelo LOD. A disponibilização é feita em forma de catálogo, gratuitamente, para os usuários. O desenvolvimento é financiado pelo fabricante.

entrega da relação das macro operações foi necessária pelo fato de a modeladora não atuar na área de orçamentos. O agrupamento das macro operações conforme a programação e os critérios de extração dos quantitativos também foram informados, uma vez que podem variar de acordo com as práticas da empresa ou do gestor do empreendimento.

Após a conclusão, foi feita a avaliação do método, esperando-se novas diretrizes para o aprimoramento deste. A consolidação do método de modelagem foi feita a partir de uma avaliação baseada em dois constructos: utilidade e facilidade.

O constructo utilidade é, segundo Kasanen, Lukka e Siitonen (1993 apud SCHRAMM 2009), o critério fundamental para se medir os resultados dos estudos aplicados que empregam a estratégia de pesquisa construtiva.

O constructo facilidade foi selecionado para que o processo de modelagem de orçamento operacional propiciado a partir do método proposto também fosse avaliado.

Os constructos utilidade e facilidade estão descritos no item 4.4 desta pesquisa.

4.2.7 Etapa 7: Análise e reflexão

Na etapa foi feita uma análise e reflexão dos resultados obtidos nesta pesquisa frente ao que foi encontrado na literatura com o propósito de explicitar as contribuições de cunho teórico e prático desta pesquisa. Para tanto, foi feita uma análise comparativa dos dados coletados nos estudos empíricos, a fim de concluir o método de modelagem proposto por esta pesquisa. Posteriormente, foi feita uma reflexão sobre as contribuições teóricas alcançadas por esta pesquisa.

4.3 Contexto da pesquisa

A seguir será feita a apresentação da empresa na qual se realizou a pesquisa, assim como do processo de orçamentação e das obras utilizadas nos estudos empíricos.

4.3.1 A empresa A

A empresa construtora A, na qual foram realizados os estudos empíricos da presente pesquisa, é uma empresa de pequeno porte, que atua no mercado da construção há 25 anos. Dentro deste mercado, o nicho principal de atuação são obras residenciais e comerciais verticais de múltiplos pavimentos. Até início desta pesquisa, 15 edifícios haviam sido concluídos e, no momento, a empresa conta com 8 edifícios em construção. A empresa atua na região de Londrina-PR, sendo que as obras atuais estão divididas em quatro cidades: Rolândia-PR, Ibiporã-PR, Cornélio Procopio – PR e Santo Antônio da Platina-PR.

A empresa conta com uma pequena equipe própria de mão de obra que dá apoio administrativo e à produção. A grande maioria dos trabalhos é terceirizado.

Existe também uma equipe no escritório-matriz da empresa, responsável por elaborar os orçamentos e cronogramas das obras.

No final de 2015, a empresa iniciou um processo de reestruturação com o objetivo de implementar a gestão de custos da produção. Como proposta para tal, orçamentos com aspectos operacionais estão sendo elaborados. Assim, os orçamentos das obras em execução estão sendo refeitos. As contas gerenciais e financeiras, presentes no software de gestão utilizado pela empresa, estão sendo reestruturadas de acordo com a elaboração da estrutura do orçamento operacional.

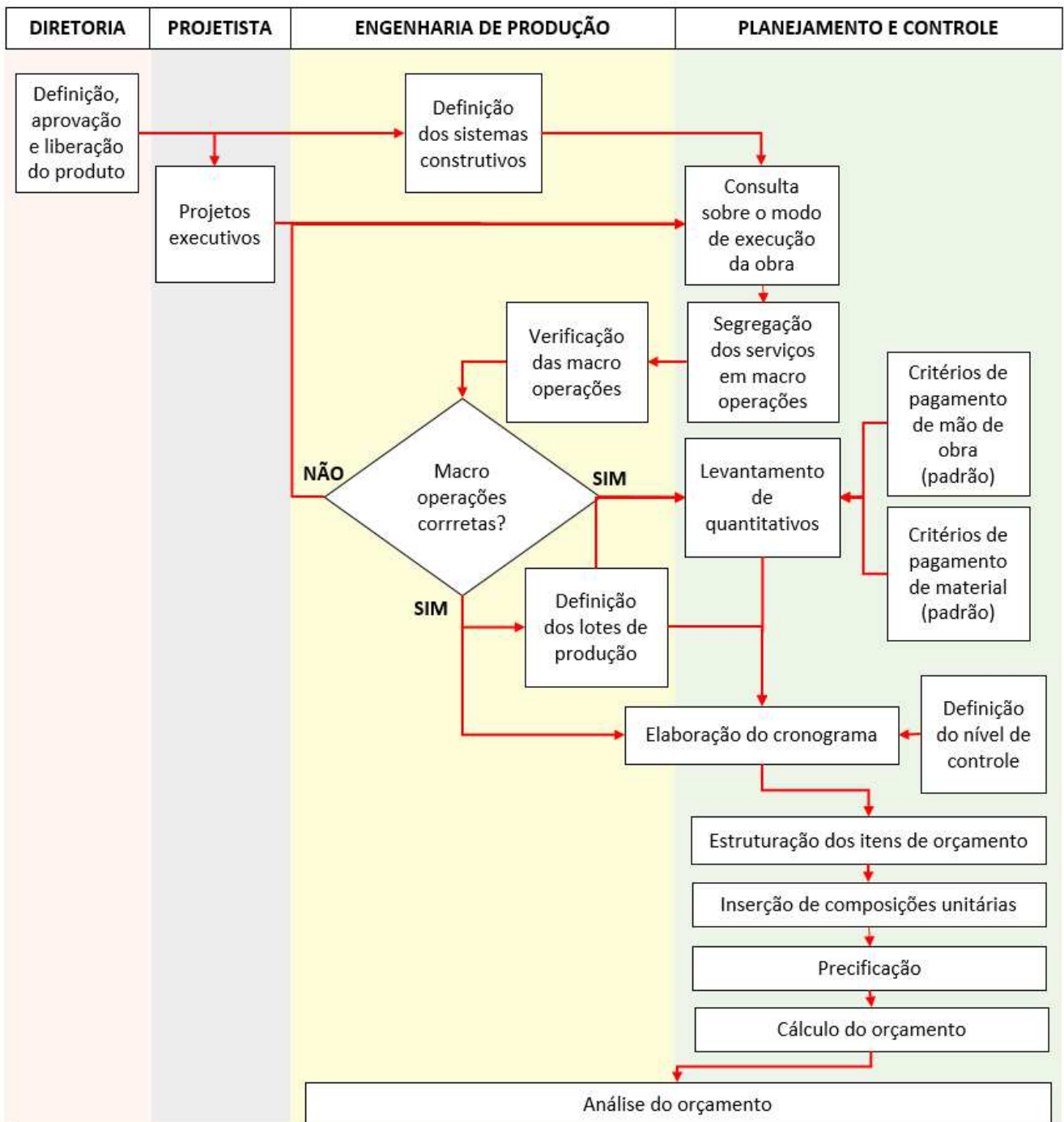
Em consequência da implementação da gestão de custos com o uso de orçamento com abordagem operacional, outros processos estão sendo instituídos ou revisados, como a antecipação de elaboração de projetos, definições e especificações de produtos e a instituição de indicadores de custos e prazos.

O desenvolvimento de projetos é todo terceirizado e, nesse aspecto, têm sido feitas solicitações de mudanças de apresentação de projeto e de listas de materiais, principalmente, para as áreas de hidráulica e elétrica. A relação da empresa com os projetistas é de parceria consolidada há mais de dez anos. A empresa e os escritórios que elaboram os projetos da empresa não têm o BIM implementado. Somente, o software utilizado pelo projetista de estrutura emite um modelo em IFC. Os escritórios de hidráulica e elétrica começaram a pesquisar softwares específicos de suas áreas e enviaram funcionários para treinamentos na cidade de São Paulo-SP.

4.3.2 Processo de orçamentação da empresa A

O orçamento é desenvolvido pelo setor de planejamento, somente após o desenvolvimento dos projetos executivos e a definição dos sistemas construtivos. O orçamento é desenvolvido com a participação da equipe de produção, que orienta e verifica as considerações operacionais feitas pelo orçamentista. A engenharia de produção é envolvida nesse processo, principalmente para dar as instruções sobre a execução, definir sistemas construtivos e elaborar o cronograma. O setor de planejamento e controle desenvolve na empresa as seguintes atividades: (a) relaciona as macro operações de acordo com a execução da obra; (b) elabora o cronograma; (c) estrutura os itens do orçamento conforme as macro operações; (d) insere as composições unitárias das macro operações; (e) precifica os insumos e (f) analisa os custos junto à engenharia. A empresa possui padronização de levantamento de materiais, sendo que para os critérios de pagamentos de mão de obra foi feita uma padronização por cidade de atuação. O setor de planejamento e controle também monitora e atualiza esses padrões, conforme as adequações necessárias. A Figura 7 apresenta um fluxo simplificado do processo de orçamentação na empresa.

Figura 7: Processo de desenvolvimento de orçamento operacional na empresa A.



Fonte: O autor

Dentre as diversas etapas do processo de elaboração de orçamento operacional, o presente trabalho limitou-se a investigar uso de BIM somente na extração de quantitativos.

4.3.3 Contexto dos Estudos Empíricos 1 e 2

Nos Estudos Empíricos 1 e 2, a modelagem BIM foi utilizada para a elaboração do orçamento operacional do edifício denominado neste trabalho de Edifício 1.

O Edifício1 (Figura 8), localizado na cidade de Ibiporã – PR, é um edifício residencial, composto por duas torres de 12 pavimentos e seis apartamentos por pavimento cada uma. A área de lazer conta com piscina, churrasqueiras, salões de festas, quadra, academia e *playground*.

Figura 8: Fachada e *lay-out* do pavimento térreo do Edifício 1.



Fonte: Adaptado do site da Empresa A

No Edifício1 existem três¹⁸ tipos de apartamentos, sendo dois deles com aproximadamente 70m² e um com 66m² de área privativa.

¹⁸ O *site* da empresa mostra apenas dois *layouts* de apartamento porque a diferença do terceiro é apenas no comprimento de entrada do apartamento. Entretanto, para a elaboração do modelo, o edifício foi considerado com três modelos, conforme a realidade da obra.

Figura 9: Planta baixa dos apartamentos do Edifício 1.



Fonte: Adaptado do site da Empresa A

O prazo de execução da obra é de 48 meses e a entrega está prevista para final de 2018. A obra encontra-se na fase final da estrutura das torres. Em seguida, serão desenvolvidos os serviços de alvenaria, instalações e emboço das áreas internas dos apartamentos.

O Quadro 3 mostra as técnicas construtivas dos principais elementos da obra.

Quadro 3: Técnicas construtivas do Edifício 1.

Elemento Construtivo	Técnicas construtivas
Estrutura	Concreto armado (Laje maciça)
Paredes externas	Bloco cerâmico (vedação)
Paredes internas	Gesso acartonado
Acabamentos	Piso e azulejo cerâmico
Esquadrias	Alumínio

Fonte: O autor

4.3.4 Contexto do Estudo Empírico 3

O empreendimento utilizado neste estudo foi o mesmo que no Estudo Empírico 2: Edifício 2 (Figura 10). Esta obra é residencial e está localizada na cidade de Cornélio Procópio – PR, sendo composta por uma torre de 11 pavimentos e oito apartamentos por pavimento.

Figura 10: Fachada e *lay-out* do pavimento térreo do Edifício 2.



Fonte: Adaptado do site da Empresa A

Os apartamentos são todos iguais e contam com uma área privativa de 75m². O Quadro 4 mostra as técnicas construtivas dos principais elementos da obra.

Quadro 4: Técnicas construtivas do Edifício 2.

Elemento Construtivo	Técnicas construtivas
Estrutura	Concreto armado (Laje maciça)
Paredes externas	Bloco cerâmico (vedação)
Paredes internas	Gesso acartonado
Acabamentos	Piso e azulejo cerâmico
Esquadrias	Alumínio

Fonte: Adaptado da Empresa A

4.4 Coleta de dados para validação da pesquisa

Os dados são coletados para obter evidências que comprovem se o método é adequado ao objetivo da pesquisa. Para tanto, os constructos utilidade e facilidade foram utilizados como critérios de avaliação do método de modelagem proposto neste trabalho. A coleta de dados relativos aos constructos foi realizado por meio da utilização de múltiplas fontes de evidência, como forma de reforçar a consistência da análise de dados.

A seguir, são descritas as fontes de evidência utilizadas para testar as proposições do trabalho: (a) Observação participante, (b) Análise de documentos e (c) Entrevista.

A observação participante é um modo especial de observação, pelo fato de o pesquisador não ser um mero observador passivo. Nesse caso, o pesquisador participa ativamente dos eventos que estão sendo estudados (YIN, 2003).

No presente trabalho, a observação participante foi a mais utilizada para a coleta de dados, visto que o pesquisador atuou como modelador do orçamento operacional. O constructo utilidade foi apoiado, principalmente, pelas observações participantes. Nesse caso, o pesquisador analisou se a extração de quantitativos do software atendeu aos critérios operacionais, sugerindo e executando as mudanças necessárias.

Para Yin (2003), o principal objetivo da análise de documentos é corroborar outras fontes, de modo a aumentar as evidências. No presente trabalho, a análise de documentos foi aplicada para identificar critérios operacionais, os quais foram analisados a partir de vários documentos utilizados na extração das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional.

Para a identificação das informações operacionais, foram analisados contratos de mão de obra e para entender os respectivos critérios de pagamento de mão de obra foram utilizados documentos de medições. Outros documentos, tais como: documentação 2D do projeto, desenhos esquemáticos e detalhes construtivos foram utilizados para esclarecimentos diversos, assim como, para desenvolver a modelagem.

A entrevista pode ser realizada por meio de perguntas estruturadas ou abertas, permitindo que o pesquisador extraia conclusões a partir dos dados registrados (YIN, 2003).

Essa fonte de evidência foi utilizada no presente trabalho por meio de entrevistas abertas com os engenheiros de obra, a fim de relacionar as operações segregadas dos serviços. No Estudo Empírico 3, foi feita uma entrevista aberta com a modeladora do respectivo estudo para avaliar a facilidade do método proposto, segundo a percepção dela, assim como, as principais vantagens e desvantagens e as possibilidades de melhorias.

Cabe ressaltar, também, que, ao longo de todo o trabalho, dúvidas foram esclarecidas com os engenheiros de obras, a fim de se obter as informações necessárias para que o orçamento operacional pudesse atender os requisitos da

construtora. As respostas foram registradas em planilhas de considerações necessárias para a elaboração do orçamento operacional.

Como os constructos utilidade e facilidade são bastante abrangentes e difíceis de mensurar, optou-se por desdobrá-los em subconstructos. A seguir, são apresentadas as formas de avaliação de cada constructo e os seus respectivos subconstructos.

As evidências que comprovam a utilidade do modelo foram extraídas da bibliografia e estão baseadas nos fatores essenciais de modelos para fins de orçamento:

- (a) o modelo precisa estar preparado para extrair os quantitativos e as estimativas de custos de forma correta (ARAM; EASTMAN; SACKS, 2014);
- (b) o modelo precisa conter todas as informações para a extração dos quantitativos de forma natural, ou seja, sem necessidade de adaptações e retrabalhos (FIRAT et al., 2010; LEE, KIM e YU, 2014; ARAM; EASTMAN; SACKS, 2014)
- (c) A modelagem dos objetos deve ser feita para retratar o componente real da construção, levando em consideração os métodos construtivos (FIRAT et al., 2010; FORGUES et al., 2012).

Para facilitar a avaliação do método proposto, o constructo utilidade foi desdobrado em três subconstructos: (a) capacidade de modelagem das macro operações; (b) capacidade de extração de quantitativos; e (c) capacidade de extração de quantitativos segregados, de acordo com a abordagem operacional. Para que o método de modelagem seja considerado útil para a elaboração do orçamento operacional, as macro operações do orçamento deverão estar inseridas no modelo e ter seus respectivos quantitativos extraídos de forma automatizada e segregada, conforme a abordagem operacional.

Para tanto, foram estabelecidos dois indicadores que servem como evidências para a análise do constructo utilidade. Os elementos de cálculo para a formulação desses indicadores foram a macro operação e seu respectivo quantitativo. As fontes que provêm tais elementos de cálculo são as tabelas de quantitativos.

Para o subconstructo Capacidade de modelagem das macro operações, foi elaborado o seguinte indicador:

(I) Indicador de Macro Operações Modeladas (IMM)

$$IMM = \frac{\text{(número de macro operações modeladas)}}{\text{(número de macro operações que devem estar contidas no orçamento)}}$$

Para o subconstructo Capacidade de Extração de Quantitativos, foi elaborado o seguinte indicador:

(II) Indicador de Quantificação Não Possível (IQN)

$$IQN = \frac{\text{(número de macro operações sem possibilidade de extração)}}{\text{(número de macro operações contidas no orçamento)}}$$

Cabe ressaltar que os indicadores propostos (IMM e IQN) se complementam e devem ser analisados conforme descrição a seguir.

O valor do IMM varia de zero a um. Obtendo como resultado, um valor igual ou próximo de um, o método é considerado útil, por modelar todas as macro operações necessárias para o orçamento.

Além disso, para o método ser considerado útil, a extração de quantitativos deve ser realizada de acordo com os critérios de orçamento utilizados pela construtora. Para verificar esta possibilidade utiliza-se o indicador IQN. O IQN pode ter valores de zero a um, sendo que o método será considerado útil quando o valor do IQN for igual ou próximo de zero.

O subconstructo capacidade de extração de quantitativos segregados, de acordo com a abordagem operacional, assume uma avaliação dicotômica, do tipo: sim (atende) ou não (não atende).

O Quadro 5 apresenta o desdobramento do constructo utilidade e suas fontes de evidências.

Quadro 5: Desdobramento do constructo utilidade.

Constructo	UTILIDADE
Subconstructo	(a) Capacidade de modelagem das macro operações
Variável	Indicador de macro operações modeladas (IMM)
Fontes de evidência	Análise de documentos (tabela de quantitativos e modelo) Observação participante
Subconstructo	(b) Capacidade de extração de quantitativos
Variável	(IV) Indicador de quantificação não possível (IQN)
Fontes de evidência	Análise de documentos (tabela de quantitativos e modelo) Observação participante
Subconstructo	(c) Capacidade de extração de quantitativos segregados de acordo com a abordagem operacional
Evidências	Extração de quantitativos conforme macro operações, lotes de produção e programação.
Fontes de evidência	Análise de documentos (tabela de quantitativos e modelo) Observação participante

Fonte: O autor

Além do constructo utilidade, a facilidade do uso do método também foi validada. Partiu-se da premissa de que o uso do modelo para a elaboração de orçamentos operacionais deve ser de fácil uso a fim de possibilitar sua utilização na prática.

Por se tratar de um constructo amplo e de difícil mensuração, o constructo facilidade foi desdobrado em dois subconstructos: (a) capacidade de clareza, e (b) complexidade de uso do método (frente à percepção do modelador). As evidências que podem confirmar se os subconstructos são positivos ou negativos e suas respectivas fontes provedoras das evidências encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6: Desdobramento do constructo facilidade.

Constructo	FACILIDADE	
Subconstructo	(a) Capacidade de clareza	
Evidências	Ocorrência de solicitações de esclarecimentos sobre o método	Ocorrência de retrabalhos de modelagem pela falta de clareza do método
Fontes de evidência	Registro do nº de ocorrência;	Registro do nº de ocorrência;
Subconstructo	(b) Complexidade de uso do método	
Evidências	Auxílio na tomada de decisão sobre o tipo de modelagem das macro operações	
Fontes de evidência	Entrevista com o modelador	

Fonte: O autor

As perguntas direcionadas para o modelador estão descritas a seguir:

- 1) Qual a maior dificuldade ao usar o método como base para a modelagem do edifício? O que você faria para eliminar estas dificuldades? Especifique.
- 2) Em sua opinião, o que influenciou a sua tomada de decisão sobre o tipo de modelagem a ser utilizada para cada uma das macro operações?
- 3) Em sua opinião, o método proposto ajudou na modelagem do orçamento operacional? Por quê?
- 4) Em sua opinião, O método deve ser modificado? Em quais aspectos?

4.5 Considerações finais

Neste capítulo foi exposta a estruturação da pesquisa. Primeiramente, foi apresentada a abordagem científica (pesquisa construtiva) e a estratégia de pesquisa adotada para o desenvolvimento deste trabalho. Em seguida, foram apresentadas as sete etapas que delinearão a pesquisa. Logo após, foi feita a descrição do contexto da pesquisa, apresentando a atuação e processos da empresa, assim como, as obras onde os estudos de caso foram realizados. Por fim, foram apresentados os critérios para avaliação do método de modelagem proposto inicialmente.

5.0 RESULTADOS

5.1 Estudo Exploratório

No estudo exploratório, foram modeladas diversas partes isoladas da obra, assim como algumas interações entre estas. Desse modo, primeiramente foi feita a modelagem da alvenaria e das instalações hidráulica e elétrica. O modelo de estrutura a foi enviado em IFC pelo projetista. Em seguida, foram analisadas algumas interações entre os elementos dessas disciplinas. Posteriormente, efetuou-se um estudo de métodos de modelagem para os componentes de arquitetura, compatíveis com a extração de quantitativos para orçamento operacional. Por último, foram realizados testes de extração de quantitativos com o intuito de identificar e entender quais são os critérios e parâmetros utilizados pelo software.

5.1.1 *Uso do modelo de estrutura em IFC e modelagem das instalações*

O modelo de estrutura foi gerado a partir do software TQS¹⁹ e exportando em IFC. Em seguida, o arquivo IFC foi importado para o software REVIT[®]. Foi observado que o REVIT[®] não é capaz de reconhecer os objetos do modelo estrutural em IFC, como sendo elementos estruturais: pilar, viga e laje. Como o REVIT[®] não reconhece os elementos do modelo IFC como objetos, não é possível modelar furos nas vigas para passagens de tubulações. Além disso, ao inserir a alvenaria sobre o modelo estrutural, o programa não faz, de forma automatizada, a união da geometria da parede com os elementos estruturais. Para corrigir a geometria da alvenaria em relação às vigas, é necessário calcular o nível inferior de cada viga, a altura da parede para cada viga, de acordo com o nível da face inferior da viga, e solicitar para o software criar a parede com a altura calculada. Isso deve ser feito, parede por parede.

Para a modelagem das instalações hidráulicas, utilizou-se um *plugin* da Ofcdesk²⁰ que continha quase todas as conexões da marca Tigre. Contudo, algumas conexões não existiam e isso foi um fator complicador, pois foi necessário fazer adaptações. Cabe ressaltar que a construtora não utilizava a marca Tigre. Algumas conexões da fabricante que fornecia as conexões para a construtora não constavam

¹⁹Software de cálculo estrutural que elabora um modelo em 3D e exporta em IFC

²⁰Empresa desenvolvedora de classes de objetos e *plug-ins* para BIM e CAD.

no catálogo disponibilizado pela Ofcdesk. Para a modelagem das instalações elétricas, não havia disponibilidade de diversos elementos, como, por exemplo, eletrodutos flexíveis, caixas e quadros de tamanhos personalizados. Os eletrodutos flexíveis foram modelados, utilizando-se de objetos pertencentes à classe conduítes rígidos existente no REVIT[®]. Para tanto, o caminhamento dos eletrodutos foi modelado em vários trechos retos. Além disso, não havia objetos para modelar a fiação com representação gráfica.

As dificuldades de modelagem das instalações hidráulicas e, principalmente, das elétricas ajudaram a fazer um recorte no foco da pesquisa. Assim, para otimização do uso de BIM para a elaboração do orçamento operacional, foi decidido restringir a modelagem aos elementos de estrutura e arquitetura.

5.1.3 Métodos de modelagem

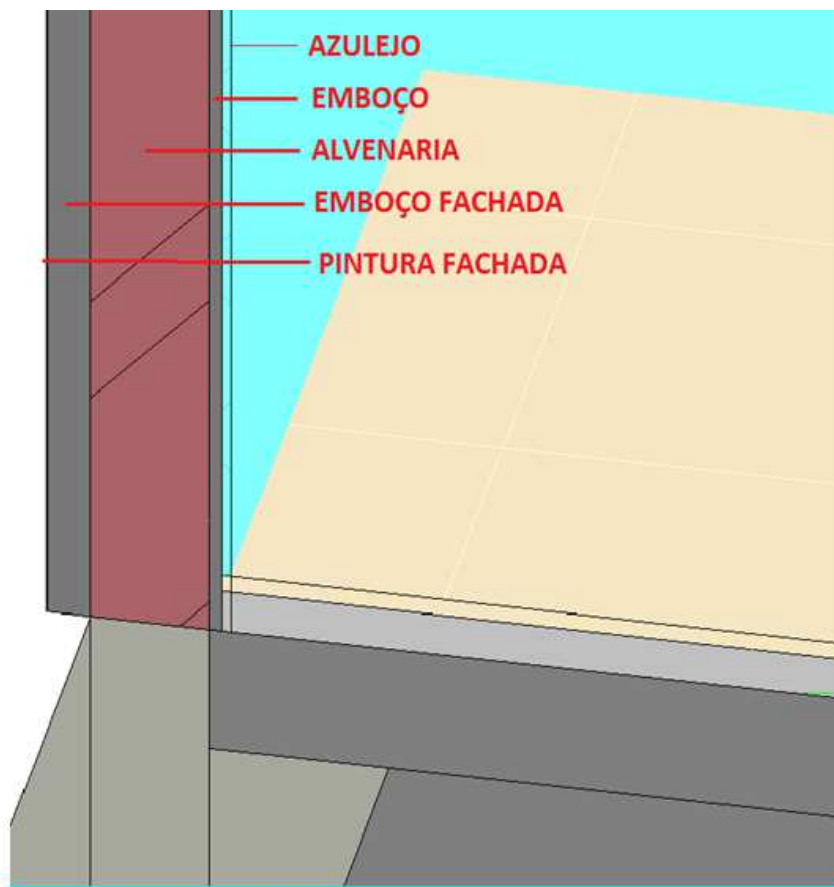
Tendo como base o trabalho de Monteiro e Martins (2012), que apresentaram quatro métodos para modelagem BIM, foi possível optar por um deles. O método que mais se enquadrava ao propósito da modelagem para orçamento operacional foi o método de modelagem que se aplica a objetos por camadas²¹. No caso do orçamento operacional, isso significa que, para cada macro operação, deve ser modelado um objeto independente. A vantagem desse método é que cada objeto pode ter características e dimensões geométricas facilmente modeladas, ou seja, há maior flexibilidade de modelagem das macro operações. Por outro lado, o modelo torna-se complexo e pesado em termos de tamanho de arquivo.

O teste desse método foi feito por intermédio da modelagem de algumas macro operações, extraíndo-se os respectivos quantitativos do REVIT[®]. A Figura 11 mostra que, ao usar esse método, cada objeto modelado tem suas quantidades extraídas de forma independente, ou seja, em uma linha da tabela de quantitativos disponibilizada pelo programa. Desse modo, cada objeto modelado teve suas dimensões independentes das demais.

A partir desse estudo, observou-se que, para se obter os quantitativos por macro operação, cada uma delas precisaria ser representada por um objeto independente, no modelo BIM.

²¹ Este método é chamado por Monteiro e Martins (2012) de método de modelagem por materiais.

Figura 11: Extração de quantitativos mediante uso da modelagem por camadas.



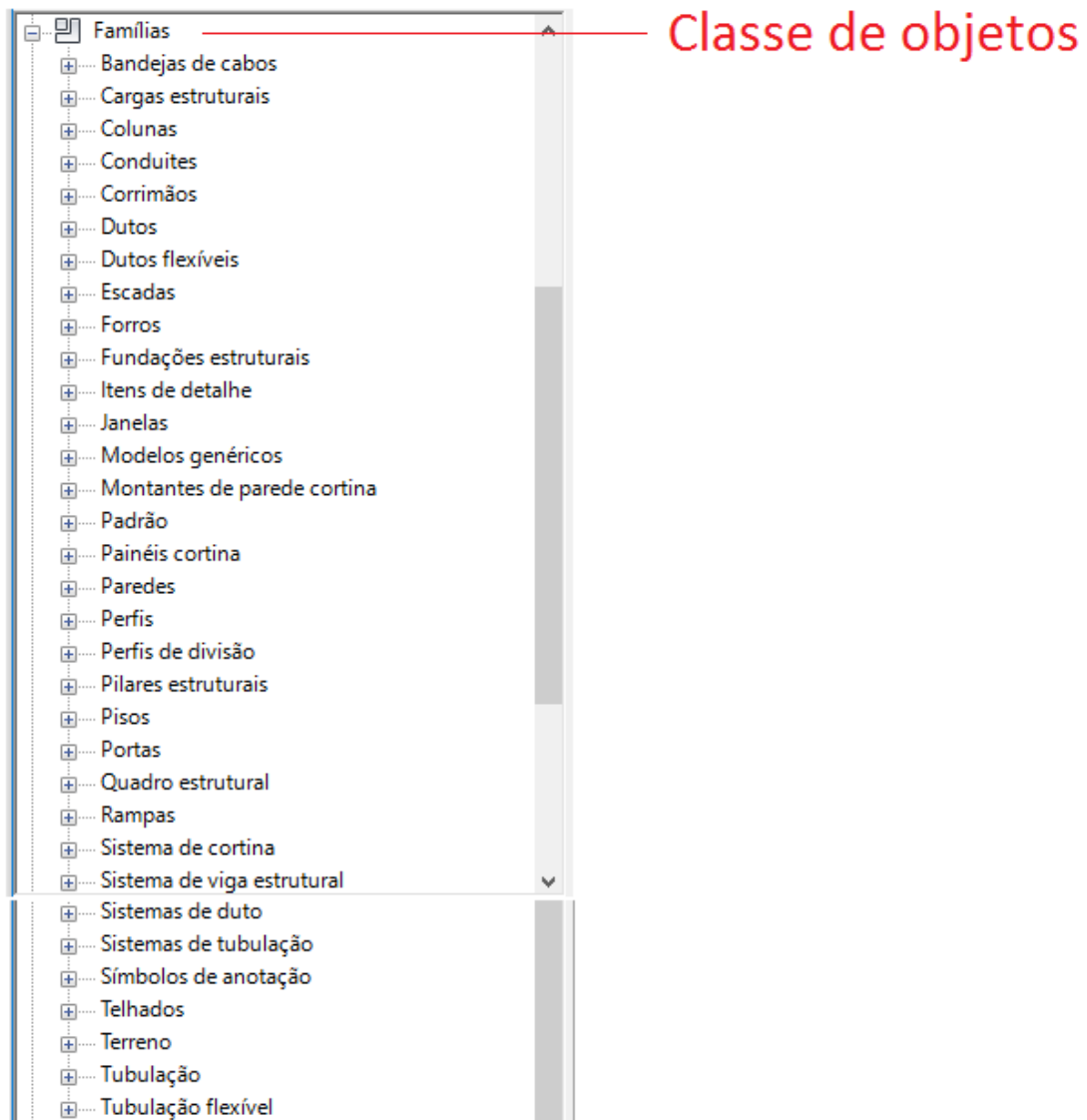
<Tabela de parede>				
A	B	C	D	E
Tipo	Largura	Comprimento	Altura	Área
Alvenaria	14,000 cm	274,000 cm	315,000 cm	6,576 m ²
Azulejo	1,000 cm	137,000 cm	250,000 cm	3,425 m ²
Emboço Fachada	6,000 cm	358,000 cm	315,000 cm	11,277 m ²
Emboço Interno	2,000 cm	274,000 cm	288,000 cm	7,891 m ²
Pintura Fachada	0,400 cm	358,000 cm	280,000 cm	10,024 m ²

Fonte: O autor

5.1.4 Testes de extração de quantitativos

Em seguida, foi necessário entender como o REVIT[®] extrai seus quantitativos. O software possui classes de objetos pré-definidas e as tabelas de quantitativos são emitidas por classes de objetos. A Figura 12 mostra a lista de classes pré-definidas existentes no REVIT[®].

Figura 12: Classes de objetos pré-definidos pelo REVIT®.

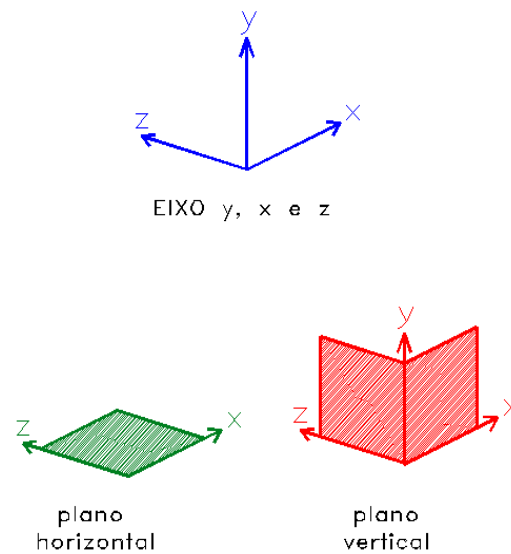


Fonte: Autodesk REVIT® versão 2016

Para se entender como os quantitativos são extraídos do software, foram testadas cinco classes de objetos: parede, piso, vigas, portas e janelas. Os parâmetros geométricos analisados foram: volume, área, comprimento, largura e altura (chamada pelo software de altura desconectada).

Para sumarizar as relações entre parâmetros geométricos, eixos e planos, foi elaborada uma tabela com o resumo de todas as correlações. A Figura 13 mostra o esquema de planos a partir de eixos e o Quadro 7 as correlações dos parâmetros geométricos das classes de objetos.

Figura 13: Planos a partir de eixos ortogonais.



Fonte: O autor

Quadro 7: Correlação entre eixos, planos e parâmetros geométricos das classes de objetos.

Classe de objeto	Direção principal do elemento	Eixos de extração de quantidades				
		Volume (m ³)	Área (m ²)	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
Parede	Plano vertical	XYZ	YZ ou YX	X ou Z	X ou Z	Y
Piso	Plano horizontal	XYZ	XZ	Não extrai	Não extrai	Não extrai
Janela	Plano vertical	Não extrai	Não extrai	-	X ou Z	Y
Porta	Plano vertical	Não extrai	Não extrai	-	X ou Z	Y
Viga	Plano horizontal	XYZ	Não extrai	X ou Z	Não extrai	Não extrai

Fonte: O autor

Os dados do Quadro 7 dão suporte para que se possa decidir a melhor classe de objeto para representar a macro operação, segundo critérios de extração de quantitativos. Para tanto, deve-se verificar qual o parâmetro de extração, em seguida, procurar o plano ou o eixo. A classe de objeto escolhida será a que contiver todas essas informações em sua linha. Assim, as macro operações que têm como parâmetro de extração de quantitativo a área, que está em planos verticais YX ou

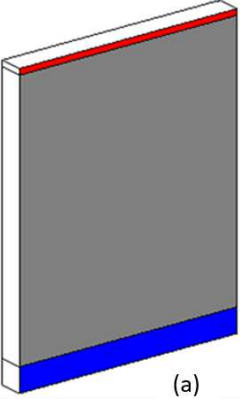
YZ, poderão ser modeladas por meio da classe de objeto parede. Entre estas, estão o emboço de parede, a pintura de parede e a elevação de alvenaria.

Também foram feitos testes para a verificação dos critérios de extração de quantitativos das macro operações e as correlações com descontos dos vãos de esquadrias.

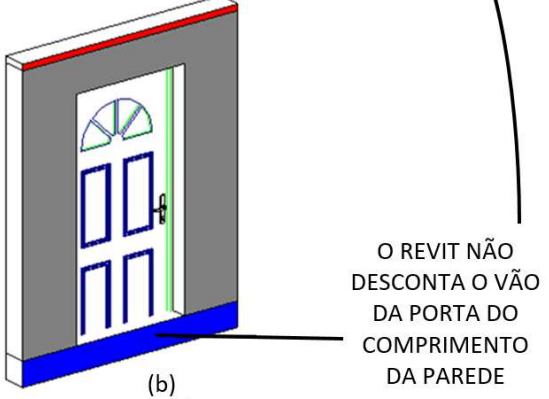
Para extrair os quantitativos da marcação de alvenaria, elevação de alvenaria e fixação de alvenaria foi necessário utilizar como recurso, a representação por meio do objeto parede. Para tanto, foi necessário modelar três paredes sobrepostas. A partir disto, duas extrações de quantitativos foram feitas, sendo que em uma delas foi inserida uma porta. A Figura 14 mostra que ao se inserir a porta o perímetro dos objetos não foi alterado. Com relação à área das paredes, a área do vão da porta só foi descontada da parede que representa a elevação de alvenaria. Este teste mostrou que, no caso de paredes sobrepostas, o REVIT[®] só desconta o vão de porta em uma das paredes. Além disso, não há descontos das larguras das portas nos perímetros das paredes.

Figura 14: Desconto da área e do perímetro de portas inseridas na parede.

Parede sem a porta			Parede com a porta		
Tipo	Área	Comprimento	Tipo	Área	Comprimento
Marcação de alvenaria	0.38	190	Marcação de alvenaria	0.38	190
Elevação de alvenaria	4.18	190	Elevação de alvenaria	2.37	190
Fixação	0.1	190	Fixação	0.1	190



(a)



(b)

Fonte: O autor

Outros pontos observados foram que a área dos objetos é calculada descontando-se todos os vãos existentes (portas, janelas, buracos e outros), independentemente do tamanho desses vãos, e que não é possível identificar quais esquadrias estão inseridas nas paredes.

Mediante os testes realizados, foi possível identificar que o software não é flexível quanto aos critérios de quantificação e, por isso, é necessário identificar os critérios dos cálculos das macro operações e das regras de cálculo do software de modelagem.

5.1.5 Considerações finais

Os testes realizados foram importantes para delimitar a pesquisa e definir as primeiras diretrizes da metodologia de modelagem BIM para orçamento operacional.

As seguintes diretrizes extraídas da literatura também foram consideradas na proposta inicial do método de modelagem:

- (a) A modelagem dos objetos tem que ser feita para retratar o componente real da construção e levar em consideração os métodos construtivos (FORGUES et al 2014);

- (b) As regras de cálculo de quantitativos devem estar claras e definidas (FIRAT et al 2010);
- (c) cada macro operação (ou item de trabalho) tem que ter seu respectivo quantitativo (LEE, KIM, YIU 2014);

Mediante os resultados encontrados nas tabelas de quantitativos extra no estudo exploratório e as diretrizes apresentadas pela literatura, foram elaboradas diretrizes iniciais de modelagem considerando três momentos distintos: (a) a preparação para a modelagem, que antecede a modelagem e onde é necessária realizar análises e definir aspectos como os critérios de orçamento e de modelagem; (b) a modelagem 3D, mostrando o que tem que ser feito e como tem que ser feito; e (c) a extração de quantitativos, onde é preciso fazer algumas adaptações para obter os quantitativos de acordo com o que é praticado pela obra.

A seguir estão dispostas as primeiras diretrizes da metodologia de modelagem BIM de orçamento operacional, proposta nesse trabalho:

1 – Preparação para a modelagem

- listar as macro operações que serão modeladas;
- levantar o critério da empresa para extração de quantitativos de cada macro operação;
- levantar as regras de extração de quantitativos do software;
- relacionar os projetos necessários para a modelagem.

2 – Modelagem 3D

- modelar a estrutura no REVIT®;
- modelar as demais macro operações referentes à arquitetura, utilizando o método de camadas (MONTEIRO e MARTINS, 2012);
- modelar um objeto 3D para cada macro operação.

3 – Extração de quantitativos

- inserir as tabelas de quantitativos de todas as classes de objetos em uma única planilha.

- fazer as adaptações necessárias com o auxílio de fórmulas em uma planilha de apoio, compatibilizando regras de extração do software e critérios de extração de quantitativos da construtora.

5.2 Estudo Empírico 1

Neste estudo, foi realizada a elaboração do orçamento operacional das macro operações referentes aos serviços de alvenaria, emboço e enchimento hidráulico de um apartamento, com o uso de BIM. O estudo teve como objetivo identificar quais são as informações necessárias para que o modelo BIM possa extrair os quantitativos das macro operações de acordo com a abordagem operacional. Também foi verificada a possibilidade de modelagem dessas informações e de extração dos respectivos quantitativos de acordo com os critérios operacionais da construtora. Para tanto, foi feita a identificação das informações essenciais para a elaboração do orçamento operacional, seguida da modelagem das macro operações necessárias para a construção de um apartamento. A partir desse estudo foram extraídas diretrizes para a modelagem BIM de orçamento operacional.

5.2.1 Identificação das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional

A identificação das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional foi feita principalmente a partir da análise do processo de execução da obra. Esse levantamento de informações foi dividido em cinco etapas, as quais foram propostas a partir dos aspectos operacionais encontrados na literatura e experiência do pesquisador.

As etapas para a identificação das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional são as seguintes: (a) identificação das operações; (b) agregação em macro operações para simplificação do orçamento; (c) levantamento dos critérios para definições das macro operações de mesma espécie; (d) informação sobre o planejamento executivo e (e) levantamentos dos critérios para cálculo dos quantitativos das macro operações.

Primeiramente, os serviços são segregados em operações. Em seguida as operações segregadas a partir dos serviços, são agregadas em macro operações de acordo com os critérios proposto por Cabral (1988), apresentados no capítulo dois. Há casos em que apenas uma operação representará uma macro operação. Neste caso, tal operação será chamada de macro operação para fim de padronização.

Posteriormente, serão identificadas as macro operações de mesma espécie. Por fim, as macro operações serão agrupadas de acordo com a programação da obra.

Uma observação é realçada para os termos agregar e agrupar. Neste trabalho o termo agregar é empregado com o sentido de fundir duas operações em uma única. A palavra agrupar denota o sentido de organização, ou seja, formação de um grupo sem que haja fusão das macro operações.

Ressalta-se também, que só serão consideradas neste trabalho as operações realizadas para a transformação de um bem. Assim, o transporte não será abordado. Além disso, as operações de apoio como fabricação e mistura de argamassa também não serão consideradas. O motivo desta desconsideração é o fato do REVIT[®] não ter suporte para representá-las. Para tanto, é indicado o uso de um software BIM 4D.

5.2.1.1 Identificação das operações

Primeiramente, foi feito o levantamento das operações necessárias para a execução do edifício. Isso foi feito relacionando os serviços necessários para a execução dos componentes de projeto e a partir disso, os serviços foram segregados conforme as operações.

Para a decomposição dos serviços em operações foram desenhados diagramas de rede, que mostram as operações necessárias para a execução de tal serviço e seu sequenciamento. Operações como recebimento de materiais na obra e transporte desses materiais até o local de estocagem não foram incluídos nos diagramas de rede, visto que a investigação não abrangeu esses tipos de operações.

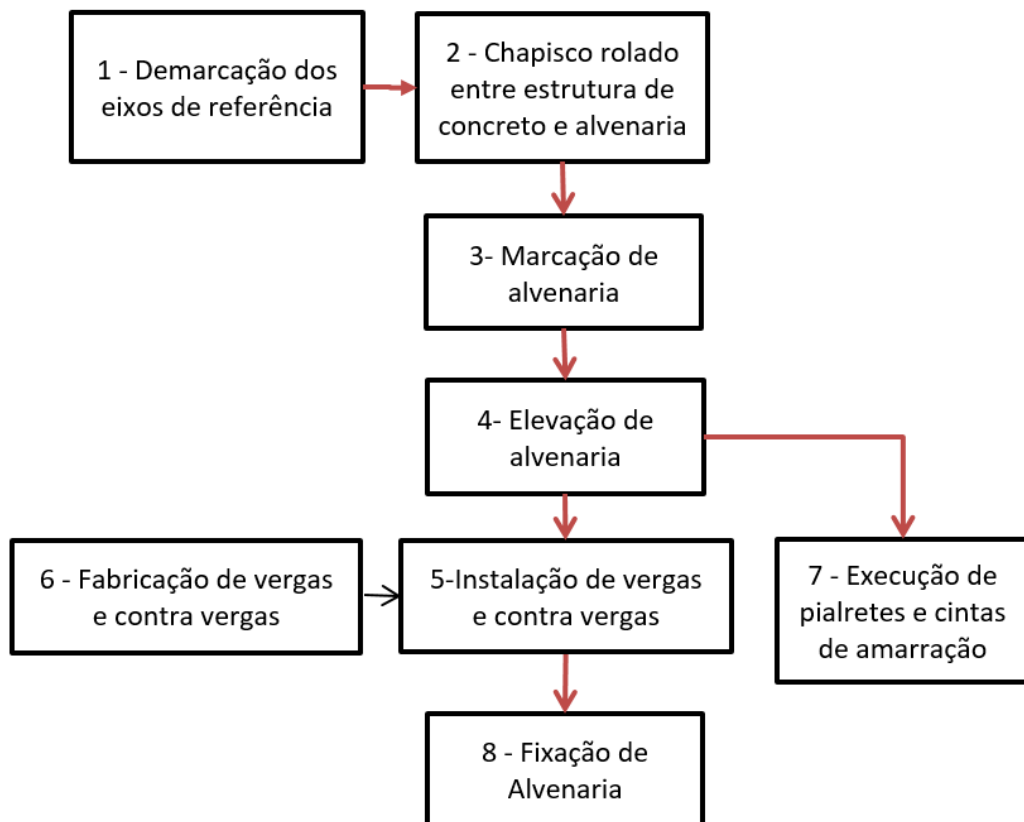
A seguir, serão apresentadas as redes de desagregação de serviços em operações, dos seguintes serviços: (a) serviço de alvenaria, (b) serviço de emboço e (c) serviço de enchimento hidráulico.

Para a execução de alvenaria, foram utilizados blocos cerâmicos furados, com espessuras variadas, conforme projeto arquitetônico. A argamassa do chapisco rolado foi fabricada na obra e a argamassa de assentamento da alvenaria era industrializada, sendo apenas misturada com cimento na obra. As vergas e

contravergas foram pré-fabricadas em concreto armado. A fixação da alvenaria foi feita com argamassa acrescida de aditivo expensor, sendo esta produzida na obra.

Primeiramente, são demarcados os eixos de referência para a locação das paredes. Depois, é executado o chapisco rolado apenas nos elementos estruturais. Em seguida, a marcação da alvenaria é executada, assentando-se a primeira fiada do mesmo bloco cerâmico da parede. Posteriormente, as alvenarias são elevadas e as vergas e contravergas, produzidas em paralelo, em uma central de fabricação, são instaladas nos devidos locais. Em alguns casos, é necessário executar pilaretes e vigas cintas de amarração nas alvenarias, como, por exemplo, em peitoris de sacada. Esses elementos são executados em concreto armado, com formas de madeira. A Figura 15 apresenta o serviço de alvenaria desagregado em operações.

Figura 15: Serviço de alvenaria desagregado em operações.



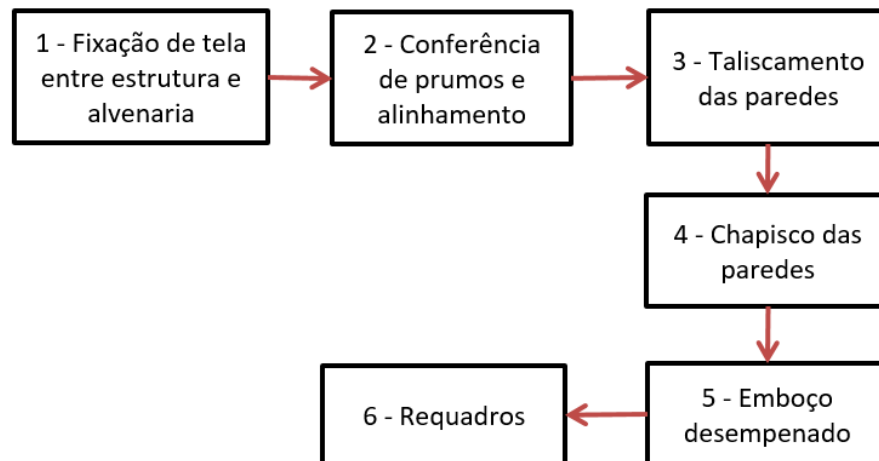
Fonte: O autor

A execução de emboço de parede e teto ocorre em momentos distintos e, por isso, foi dividida em dois serviços: (a) de emboço em parede e (b) de emboço em teto. A partir disso, foram feitas as respectivas redes de serviço, desagregados conforme as operações.

O serviço de execução de emboço, tanto em parede como em teto, é feito com argamassa industrializada misturada na obra. A argamassa do chapisco é produzida na obra. O chapisco é aplicado com rolo sobre a parede e o teto. O emboço é aplicado com lançamento manual da argamassa.

A execução do emboço da parede inicia-se pela instalação de telas metálicas entre a estrutura de concreto e a alvenaria, a fim de se evitar fissuras no emboço, desencadeadas por movimentações estruturais. Em seguida, são feitas as conferências de prumos e alinhamento das alvenarias para a instalação das taliscas ou mestras. Depois, o chapisco é aplicado em todas as paredes e, a partir de então, o emboço é executado. Por último, são feitos os requadros ou arremates. A rede do serviço de emboço de parede desagregada em operações é apresentada na Figura 16.

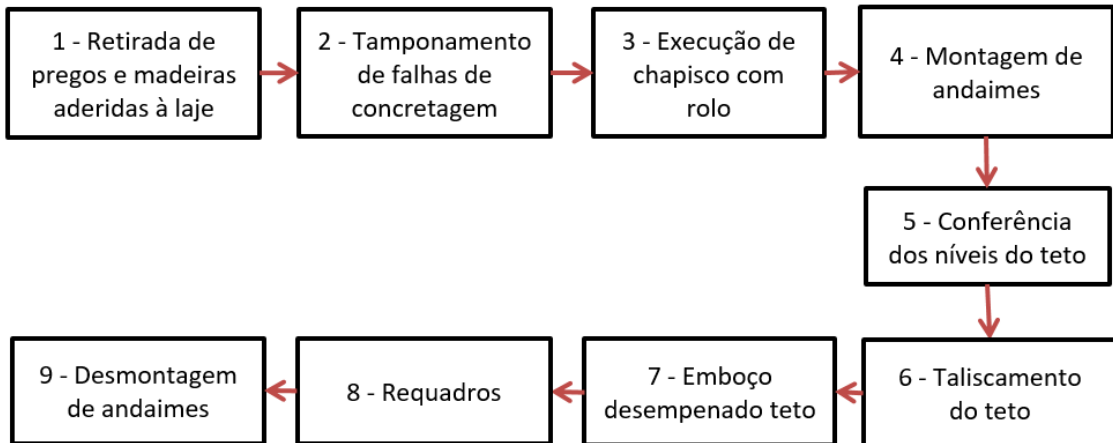
Figura 16: Rede do serviço de emboço de parede desagregado em operações.



Fonte: O autor

A execução do emboço do teto inicia-se com a retirada de pregos e pedaços de madeiras aderidas à laje, seguida do tamponamento de eventuais falhas de concretagem. Em seguida é realizada a aplicação de chapisco com rolo. Depois é feita a montagem de andaimes, seguida da conferência dos níveis do teto para a instalação das taliscas. Posteriormente, é executado o emboço desempenado e, na sequência, os requadros e arremates. Por fim, os andaimes são desmontados e retirados do local. A Figura 17 apresenta a rede do serviço de emboço do teto desagregado em operações.

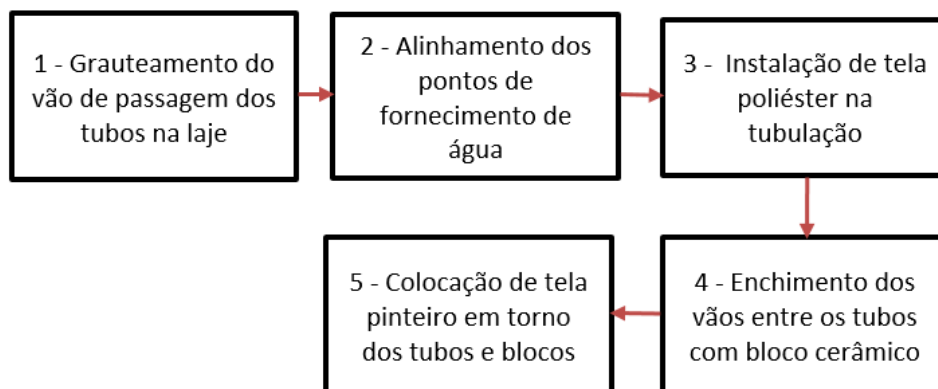
Figura 17: Rede do serviço de emboço de teto desagregado em operações.



Fonte: O autor

O enchimento hidráulico é iniciado com o grauteamento do vão de passagem dos tubos na laje. Em seguida, é feito o alinhamento dos pontos de fornecimento de água, que ficam à frente das prumadas. Depois, as tubulações de prumadas são envolvidas com uma manta de poliéster, seguido da colocação de blocos cerâmicos entre os tubos. Por último, é aplicada uma tela metálica envolvendo os blocos e os tubos, de modo a deixá-los preparados para o recebimento do emboço. As operações que constituem o serviço de enchimento hidráulico estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18: Rede do serviço de enchimento hidráulico desagregado em operações.



Fonte: O autor

A seguir, será apresentada a agregação das operações em macro operações a fim de simplificar o orçamento.

5.2.1.2 Agregação em macro operações para simplificação do orçamento

Para reduzir a quantidade de operações, foi feita a agregação em macro operações seguindo os critérios apresentados por Cabral (1988), descritos no capítulo dois.

A simplificação por meio da agregação de operações resultou em 17 macro operações. O Quadro 10 mostra as macro operações que foram agregadas para a simplificação do orçamento.

Quadro 8: Macro operações do Estudo Empírico 1.

OPERAÇÕES	MACRO OPERAÇÕES
Serviço de alvenaria	
Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria	Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria
Demarcação dos eixos de referência	Marcação de alvenaria
Marcação de alvenaria	
Elevação de alvenaria	Elevação de alvenaria
Execução de pilaretes e cintas de amarração	Execução de pilaretes e cintas de amarração
Fabricação de vergas e contra-vergas	Fabricação de vergas e contra-vergas
Instalação de vergas e contra vergas	Instalação de vergas e contra vergas
Fixação de alvenaria	Fixação de alvenaria
Serviço de reboco	
Fixação de tela entre estrutura e alvenaria	Fixação de tela entre estrutura e alvenaria
Conferência de prumos e alinhamento	Taliscamento de paredes
Taliscamento de paredes	
Chapisco de paredes	Chapisco de paredes
Retirada de pregos e madeiras aderidas à laje	Chapisco do teto (com rolo)
Tamponamento de falhas de concretagem	
Execução de chapisco do teto (com rolo)	
Montagem de andaimes	Emboço desempenado de teto
Conferência dos níveis de teto	
Taliscamento de teto	
Emboço desempenado de teto	
Desmontagem de andaimes	
Requadros de tetos	Requadros de tetos
Emboço desempenado de parede	Emboço desempenado de parede
Requadros de paredes	Requadros de paredes
Serviço de Enchimentos Hidráulico	
Grauteamento de vão de passagem de tubos na laje	Grauteamento de vão de passagem de tubos na laje
Alinhamento de pontos de fornecimento de água	Enchimento hidráulico
Instalação de tela em tubulação	
Enchimento de vãos entre tubos com bloco cerâmico	
Colocação de tela pinteiro em torno de tubos e blocos	

Fonte: O autor

Cabe ressaltar que após a agregação das operações, estas passaram a ser chamadas de macro operações, mesmo nos casos em que a macro operação é representada por apenas uma operação.

5.2.1.3 Macro operações de mesma espécie

Algumas macro operações necessitam ser distinguidas, mediante fatores que causam alterações no custo, como produtividade, consumo de materiais ou devido a diferentes tipos de materiais aplicados. Por exemplo, o projeto trazia várias espessuras de paredes (9, 12, 14 e 19cm), o que exigiu que a macro operação de elevação de alvenaria fosse diferenciada da seguinte forma: (a) elevação de alvenaria de 9cm, (b) elevação de alvenaria de 12cm, (c) elevação de alvenaria de 14cm e (d) elevação de alvenaria de 19cm. A espessura das paredes determinava diferentes tipos de blocos e, conseqüentemente, os respectivos consumos de argamassa. Além disso, a produtividade da mão de obra era diferente para cada espessura, resultando em custos distintos da alvenaria, conforme respectivas espessuras. Desse modo, a variedade de espessuras de paredes exigia a criação do que foi denominado de macro operações de mesma espécie. Isto permite designar paredes de alvenaria de blocos com espessuras diferentes. O Quadro 8 mostra as considerações que levavam à criação de macro operações de mesma espécie.

Quadro 9: Considerações referentes às macro operações de mesma espécie.

MACRO OPERAÇÕES	MÃO DE OBRA		MATERIAL	
Marcação de alvenaria	m	pagamento por espessura de parede	m	compra por espessura de bloco
Elevação de alvenaria	m ²	pagamento por espessura de parede / pagamento por tipo de bloco (cerâmico ou de concreto) / pagamento por tipo acabamento no caso de bloco estrutural	m ²	compra por espessura e tipo de bloco (cerâmico, concreto de vedação, concreto estrutural)
Fixação de alvenaria	m	pagamento independe do tipo de material aplicado	m	de acordo com material aplicado (ex: argamassa com aditivo expansor e poliuretano)
Emboço desempenado de parede	m ²	a partir de altura de 2,8m paga-se a mão de obra, com uso de andaime	m ²	tipo de argamassa (feita em obra ou industrializada)

Fonte: O autor

Após a definição das macro operações envolvidas na execução dos serviços, sob o enfoque operacional, buscou-se agrupar as macro operações que ocorreriam concomitantemente, para que assim, os custos fossem organizados de

acordo com o momento de sua ocorrência. O agrupamento de macro operações que ocorrem no mesmo momento formam as atividades. Desse modo, foi necessário entender como seria a estratégia executiva e a programação da obra.

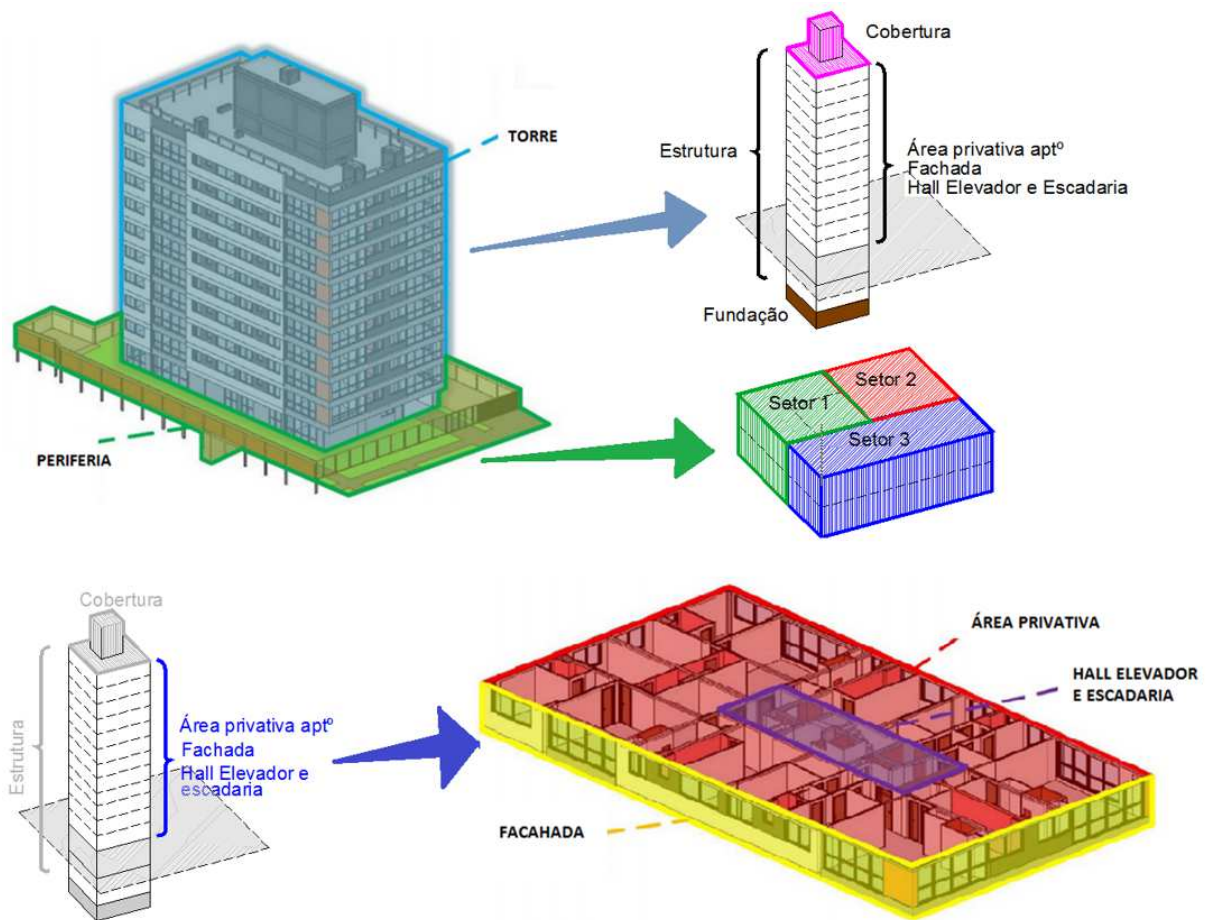
5.2.1.4 Informações sobre o planejamento executivo

A construtora possui uma padronização de divisão da obra em módulos. O critério de divisão destes módulos é o momento de execução. A obra é dividida em dois módulos principais: torre e periferia. Cada módulo principal é subdividido em setores, conforme a estratégia executiva determinada pela construtora.

O módulo de Torre é dividido em sete setores: (a) Fundação, (b) Estrutura, (c) Área privativa dos apartamentos, (d) *Hall* de elevador e escadaria, (e) Cobertura, (f) Fachada e (g) Elevadores. O módulo de periferia é dividido em setores que variam de acordo com o projeto de cada obra e seu respectivo plano de execução. A Figura 20 apresenta um esquema dessa divisão.

Cada um desses setores é executado em momentos distintos. Primeiro, é executada a fundação, em seguida, a estrutura da torre. Depois, inicia-se a área privativa, seguida da cobertura e fachada. Por fim, é realizada a execução da região do *hall* de elevador e da escadaria.

Figura 19: Planejamento por módulos executivos.



Fonte: O autor

A programação da obra é planejada de acordo com os respectivos lotes de produção. A determinação dos lotes de produção considera a quantidade de trabalho a ser executada de forma ininterrupta. Os lotes de produção para a programação da obra são determinados pela construtora, de acordo com os setores dos módulos de execução. O Quadro 10 apresenta os lotes de produção de cada setor do módulo de Torre.

Quadro 10: Lotes de produção por setor do módulo de torre.

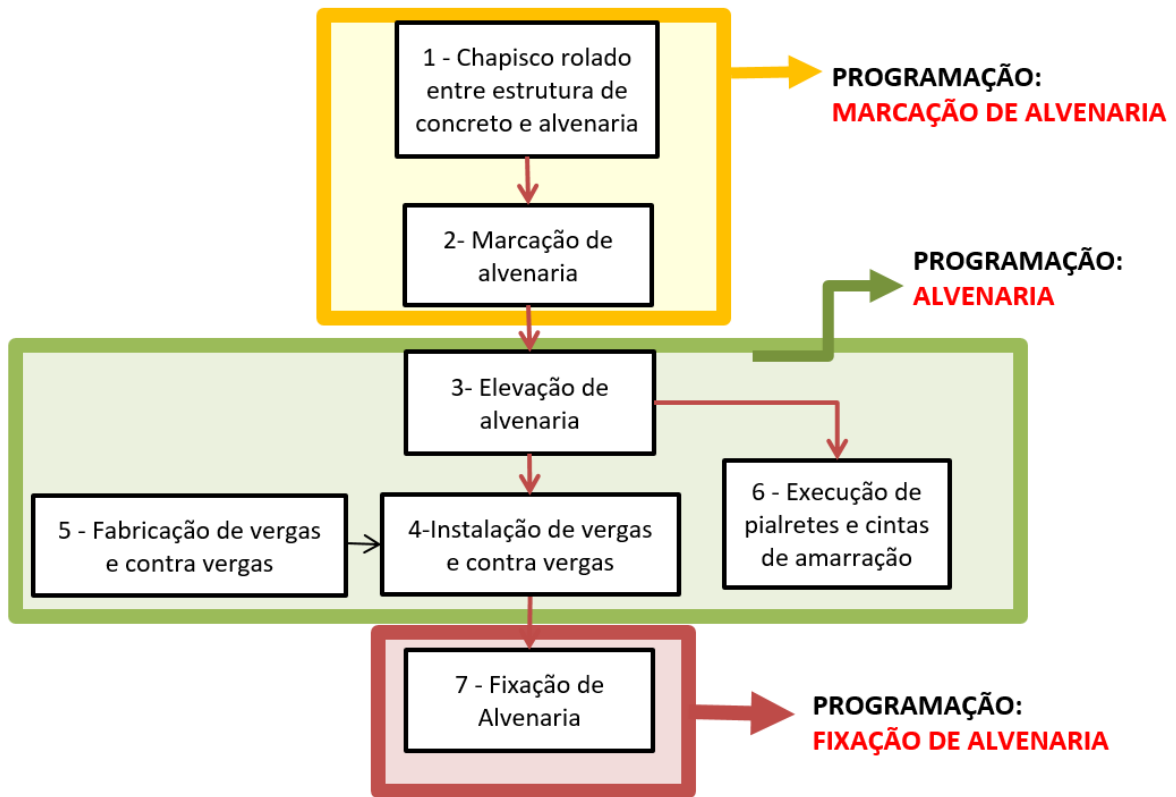
DESCRIÇÃO DOS SETORES DO MÓDULO TORRE	LOTE DE PRODUÇÃO PADRÃO
Fundação	Torre
Estrutura	Pavimento
Área privativa dos apartamentos	-
Atividades que não são de acabamentos	Pavimento
Atividades de acabamento	Área privativa dos apartamentos (por pavimento)
Cobertura	Cobertura
Fachada	-
Reboco da fachada	Etapas (Panos de reboco a serem executados simultaneamente)
Demais atividades da fachada	Fachada
Hall de elevador e escadaria	Hall de elevador e escadaria (todos os pavimentos)
Elevadores	Único

Fonte: O autor

Como o orçamento operacional se propõe a organizar os custos conforme estes ocorrem na obra, foi realizado o agrupamento das macro operações de acordo com programação da obra, segundo o critério do momento de execução. Os agrupamentos das macro operações provenientes dos serviços de alvenaria, de emboço de paredes, de emboço de teto e de enchimento hidráulico serão descritos a seguir, e apresentados nas Figuras 20, 21, 22 e 23.

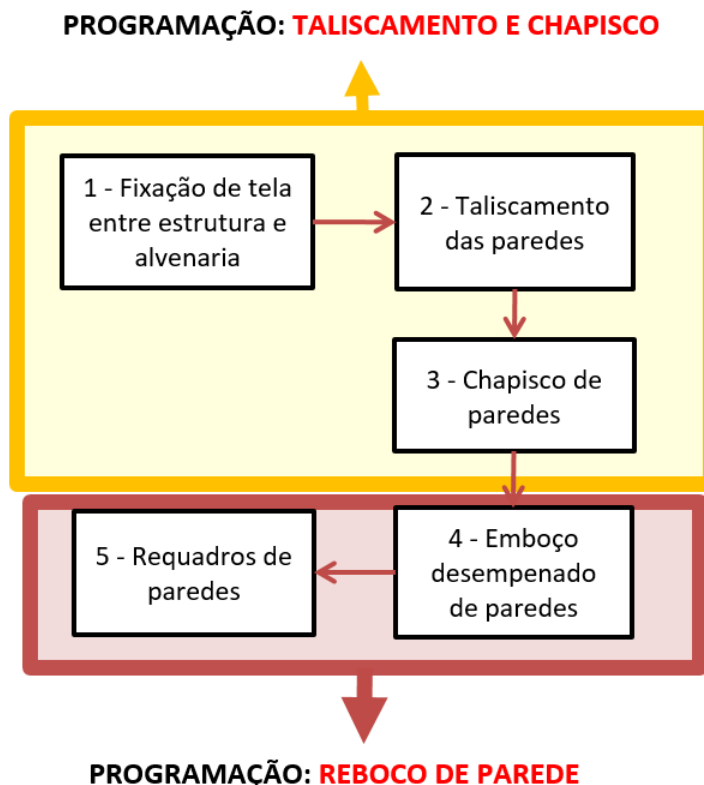
Um ponto importante de ser esclarecido é que as macro operações estão sendo agrupadas em conjuntos de macro operações, para a programação, mas não estão sendo agregadas (fundidas). Assim, no orçamento elas aparecem separadamente, dentro dos respectivos agrupamentos estabelecidos para a programação.

Figura 20: Agrupamento das macro operações do serviço de alvenaria conforme a programação.



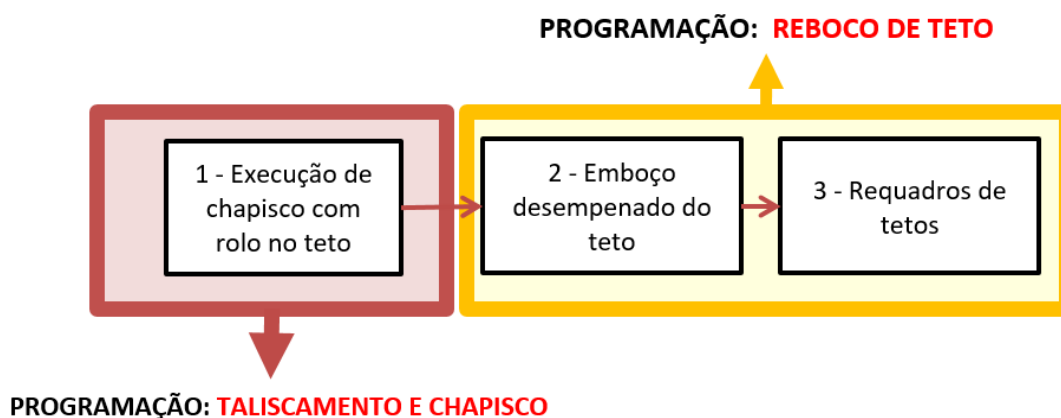
Fonte: O autor

Figura 21: Agrupamento das macro operações do serviço de emboço de parede conforme a programação



Fonte: O autor

Figura 22: Agrupamento das macro operações do serviço de emboço de teto conforme a programação

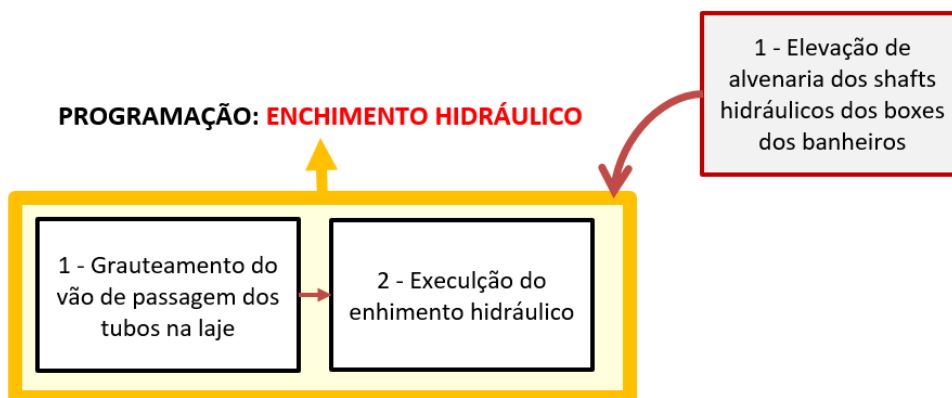


Fonte: O autor

A Figura 23 mostra o agrupamento das macro operações provenientes do serviço de enchimento hidráulico. Nessa figura, é possível observar a presença da macro operação de elevação de alvenaria dos shafts hidráulicos. Essa alvenaria é referente à parede de fechamento do *shaft* existente nos boxes dos banheiros. A princípio, essa macro operação não foi mostrada na rede de desagregação do

serviço de enchimento hidráulico. Porém, a execução da parede de fechamento do *shaft* hidráulico é feita em momento diferente das demais alvenarias, pois depende da execução das prumadas hidráulicas. Desse modo, essa macro operação foi agrupada conforme a programação de execução de enchimento hidráulico.

Figura 23: Agrupamento das macro operações do serviço de enchimento hidráulico conforme a programação



Fonte: O autor

A Figura 24 apresenta os agrupamentos de macro operações, utilizadas para a programação da obra, definidos para o setor área privativa do apartamento do módulo Torre. Os agrupamentos das macro operações são chamadas, neste trabalho, de atividades, conforme definição apresentada no capítulo dois. Estas atividades são utilizadas para estabelecer a programação da obra, assim como o controle de tempo e de custo. Assim, as atividades em destaque na Figura 24 foram analisadas no Estudo Empírico 1.

Figura 24: Atividades para a programação do setor área privativa do apartamento

Código	Nome da tarefa	Duração	Início	Término
E1T1S.15	☐ Vedações e Acabamentos - Torre	374 dias	20/04/16	03/10/17
E1T1S.15.001	☐ Marcação alvenaria - Torre - Pav Tipo	0 dias	20/04/16	20/04/16
E1T1S.15.003	☐ Alvenaria - Torre - Pav Tipo	20 dias	20/04/16	18/05/16
E1T1S.15.009	☐ Kit Churrasqueira - Torre	60 dias	20/04/16	14/07/16
E1T1S.15.006	☐ Fixação- Torre - Pav Tipo	40 dias	20/04/16	16/06/16
E1T1S.15.012	☐ Taliscamento e Chapisco - Torre - Pav Tipo	55 dias	20/04/16	07/07/16
E1T1S.15.014	Fabricação Contramarcos Alumínio - Pav Tipo	0 dias	20/04/16	20/04/16
E1T1S.15.015	☐ Instalação Contramarcos (Alumínio e Aço) - Torre - Pav Tipo	64 dias	20/04/16	20/07/16
E1T1S.15.018	Prumada Elétrica (eletrodutos e caixas) Torre	140 dias	20/04/16	08/11/16
E1T1S.15.021	☐ Eletrodutos e Caixas- Torre - Pav Tipo	55 dias	20/04/16	07/07/16
E1T1S.15.024	Prumadas Hidráulicas - Torre	30 dias	07/06/16	18/07/16
E1T1S.15.027	☐ Tulações Hidráulicas - Ramais paredes - Torre - Pav Tipo	110 dias	20/04/16	23/09/16
E1T1S.15.030	☐ Instalação de split (infra) - Torre - Pav Tipo	136 dias	20/04/16	01/11/16
E1T1S.15.033	☐ Enchimentos Hidráulica - Torre - Pav Tipo	136 dias	20/04/16	01/11/16
E1T1S.15.036	☐ Reboco Teto - Torre - Pav Tipo	126 dias	20/04/16	18/10/16
E1T1S.15.039	☐ Reboco Parede - Torre - Pav Tipo	116 dias	06/06/16	18/11/16
E1T1S.15.040	☐ Tubulações Hidraulicas - Esgoto Aéreo - Torre	110 dias	19/07/16	23/12/16
E1T1S.15.045	☐ Impermeabilização - Torre - Pav Tipo	116 dias	11/07/16	23/12/16
E1T1S.15.048	☐ Instalações de gás - Torre - Pav Tipo	104 dias	18/07/16	14/12/16
E1T1S.15.051	☐ Regularização e Contrapiso - Torre - Pav Tipo	126 dias	06/06/16	02/12/16
E1T1S.15.054	☐ Forro de gesso - Torre - Pav Tipo	88 dias	17/10/16	17/02/17
E1T1S.15.057	☐ Azulejo - Torre - Pav Tipo	88 dias	04/10/16	07/02/17
E1T1S.15.060	☐ Piso cerâmico - Torre - Pav Tipo	110 dias	09/11/16	12/04/17
E1T1S.15.063	☐ Acabamento granito - Torre - Pav Tipo	103 dias	24/11/16	17/04/17
E1T1S.15.066	☐ Rejuntamento - Torre - Pav Tipo	49 dias	14/02/17	21/04/17
E1T1S.15.069	☐ Dry-Wall - Torre - Pav Tipo	110 dias	05/12/16	05/05/17
E1T1S.15.070	☐ Rodapé - Pav Tipo	110 dias	19/12/16	19/05/17
E1T1S.15.072	☐ Eletrodutos e Caixas - Dry Wall - Pav Tipo	104 dias	07/12/16	01/05/17
E1T1S.15.075	☐ Instalações Hidráulicas Dry Wall - Pav Tipo	104 dias	07/12/16	01/05/17
E1T1S.15.078	☐ Fiação Dry-Wall- Torre - Pav Tipo	106 dias	13/12/16	09/05/17
E1T1S.15.081	☐ Bancadas - Torre - Pav Tipo	110 dias	24/11/16	26/04/17
E1T1S.15.084	☐ Emassamento - Torre - Pav Tipo	88 dias	27/10/16	01/03/17
E1T1S.15.087	☐ Pintura Inicial - Torre-Pav Tipo	88 dias	17/01/17	18/05/17
E1T1S.15.093	☐ Squad madeira - Torre - Pav Tipo	59 dias	03/03/17	24/05/17
E1T1S.15.096	☐ Tomadas, Interruptores e Acab. Elétrico - Torre - Pav Tipo	88 dias	27/01/17	30/05/17
E1T1S.15.102	☐ Louças e Metais - Torre - Pav Tipo	88 dias	19/04/17	18/08/17
E1T1S.15.105	☐ Pintura final - Torre - Pav Tipo	88 dias	01/05/17	30/08/17
E1T1S.15.108	☐ Limpeza Inicial- Torre - Pav Tipo	88 dias	11/05/17	11/09/17
E1T1S.15.111	☐ Chek-list final - Torre 1 - Pav Tipo	88 dias	23/05/17	21/09/17
E1T1S.15.114	☐ Limpeza Final - Torre - Pav Tipo	88 dias	02/06/17	03/10/17

Fonte: O autor

5.2.1.5 Critérios para extração dos quantitativos das macro operações

Para que o orçamento operacional retrate a realidade da obra, é necessário que os levantamentos de quantitativos sejam efetivados de acordo com os critérios para a compra de materiais e o pagamento de mão de obra.

O levantamento de tais critérios foi realizado a partir de análise de medições e contratos de mão de obra e de consultas com o gerente de engenharia. Observou-se que, para algumas operações, o cálculo para pagamento de mão de obra era feito de forma diferente do cálculo para levantamento das quantidades dos materiais. O Quadro 11 mostra as considerações para cada uma das macro operações. As macro operações em destaque são as que possuem critérios diferentes de mão de obra e de material.

Quadro 11: Critérios de orçamento das macro operações do Estudo Empírico 1

MACRO OPERAÇÕES	MÃO DE OBRA		MATERIAL	
Chapisco rolado na Estrutura	m2	área de chapisco desenvolvido	m2	área de chapisco desenvolvido
Marcação de alvenaria	m	metro linear descontado os vãos	m	metro linear descontado os vãos
Elevação de alvenaria	m2	área de alvenaria desenvolvida, descontando todos os vãos	m2	área de alvenaria desenvolvida, descontando todos os vãos
<i>Execução de pilaretes e cintas de amarração</i>	<i>m</i>	<i>comprimento dos elementos estruturais</i>	-	<i>volume para o concreto e área para as fôrmas.</i>
<i>Fabricação de vergas e contra-vergas</i>	<i>m</i>	<i>comprimento dos elementos estruturais</i>	<i>m3</i>	<i>volume de concreto</i>
Instalação de vergas e contra vergas	m	comprimento dos elementos estruturais	-	-
Fixação de alvenaria	m	comprimento de parede	m	comprimento de parede
Fixação de tela entre estrutura e alvenaria	m2	área de tela aplicada sem considerar sobreposições	m2	área de tela aplicada sem considerar sobreposições
Taliscamento de paredes	m2	área de parede e teto descontando todos os vãos	m2	área de parede e teto descontando todos os vãos
Chapisco	m2	área de aplicação de chapisco descontando todos os vãos	m2	área de aplicação de chapisco descontando todos os vãos
Grauteamento de vão de passagem de tubos na laje	m	comprimento do vão	m3	volume de graute
Enchimento Hidráulico	m2	área da face do enchimento	m2	área da face do enchimento
Elevação de alvenaria dos shafts hidráulicos	m2	área de alvenaria desenvolvida	m2	área de alvenaria desenvolvida
Emboço desempenado de teto	m2	área de emboço desenvolvido, descontando todos os vãos	m2	área de emboço desenvolvido, descontando todos os vãos
<i>Requadros de teto</i>	<i>m</i>	<i>comprimento para ressaltos com largura menor que 50cm.</i>	<i>m2</i>	<i>área de requadro</i>
Emboço desempenado de parede	m2	área de emboço desenvolvido, descontando todos os vãos	m2	área de emboço desenvolvido, descontando todos os vãos
<i>Requadros de paredes</i>	<i>m</i>	<i>comprimento para paredes com largura menor que 50cm.</i>	<i>m2</i>	<i>área de requadro</i>

Fonte: O autor

5.2.2 Modelagem BIM do orçamento operacional

Para a elaboração do orçamento operacional a partir do uso de BIM, foi necessário inserir no modelo: (a) as macro operações estabelecidas a partir da segregação dos serviços e (b) os dados para extrair os quantitativos conforme o momento de ocorrência das macro operações. Para tanto, foram realizadas quatro etapas: (1) a preparação para a modelagem, com o objetivo de decidir as classes de objetos que representariam as macro operações, (2) a modelagem das macro operações, (3) a modelagem das informações de planejamento, e (4) a compatibilização da modelagem parcial e os lotes de produção. Em seguida, os quantitativos foram extraídos para verificação da capacidade de extração de acordo com a abordagem operacional. A Figura 26 ilustra esta sequência. Por fim foi feita uma avaliação do estudo empírico 1.

Figura 25: Etapas de modelagem do orçamento operacional do Estudo Empírico 1

<p>Inserção no modelo das macro operações obtidas na segregação dos serviços</p>	<p>1 - Preparação para a modelagem 2 - Modelagem das macro operações</p>
<p>Inserção de dados para extrair os quantitativos conforme o momento de ocorrência das macro operações</p>	<p>3 - Modelagem de informações de planejamento. 4 - Compatibilização da modelagem parcial e os lotes de produção.</p>
<p>Extração de quantitativos</p>	

Fonte: O autor

A modelagem foi realizada a partir das diretrizes iniciais propostas na etapa do Estudo Exploratório.

5.2.2.1 Preparação para a modelagem

Nessa etapa foram relacionadas as macro operações a serem modeladas, os respectivos critérios de levantamento, as regras de extração do software e definida a classe de objetos que representa as macros operações.

Cada operação precisa ter uma classe de objetos capaz de representá-la em forma de um componente. A escolha das classes de objetos foi feita de acordo com os critérios geométricos de extração de quantitativos. Esses critérios foram observados no estudo exploratório e têm relação com as dimensões geométricas do objeto, alocadas nos eixos x, y e z. O Quadro 12 apresenta a escolha das classes de objetos em que cada operação foi modelada.

Quadro 12: Definição das classes de objetos de modelagem das macro operações do Estudo Empírico 1

MACRO OPERAÇÃO	DIREÇÃO DO ELEMENTO	UNIDADE DE MEDIDA	EIXO PARA CÁLCULOS DOS QUANTITATIVOS	CLASSE DE OBJETO
Elevação de alvenaria	Plano vertical	Área	YX ou YZ	Parede
Fixação de tela entre estrutura e alvenaria				
Taliscamento de paredes				
Enchimento hidráulico				
Elevação de alvenaria dos shafts hidráulicos				
Emboço desempenado de parede				
Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria (só em face de vigas e pilares)				
Chapisco (em parede)	Plano horizontal	Área	XZ	Piso
Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria (só em fundo de vigas)				
Chapisco (em teto)				
Emboço desempenado de teto	Plano vertical	Comprimento	X ou Z	Parede
Marcação de alvenaria				
Fixação de alvenaria	Plano vertical	Comprimento	Y ou Z ou X	Parede
Requadro de parede				
Requadro de teto e fundo de vigas	Plano Horizontal	Comprimento	X ou Z	Piso
Instalação de vergas	Plano Horizontal	Comprimento	X ou Z	Vigas
Grauteamento de vão de passagem de tubos na laje	Plano Horizontal	Comprimento	X ou Z	Vigas
Fabricação de vergas	Plano Horizontal	Volume	XYZ	Vigas
Execução de pilaretes e cintas de amarração (material)	Plano Horizontal	Volume	XYZ	Vigas / Colunas
Execução de pilaretes e cintas de amarração (mão de obra)	Plano Horizontal	Comprimento	X ou Z ou Y	Vigas / Colunas
Janelas	Plano vertical	Área	XY ou ZY	Janelas
Portas	Plano vertical	Área	XY ou ZY	Portas

Fonte: O autor

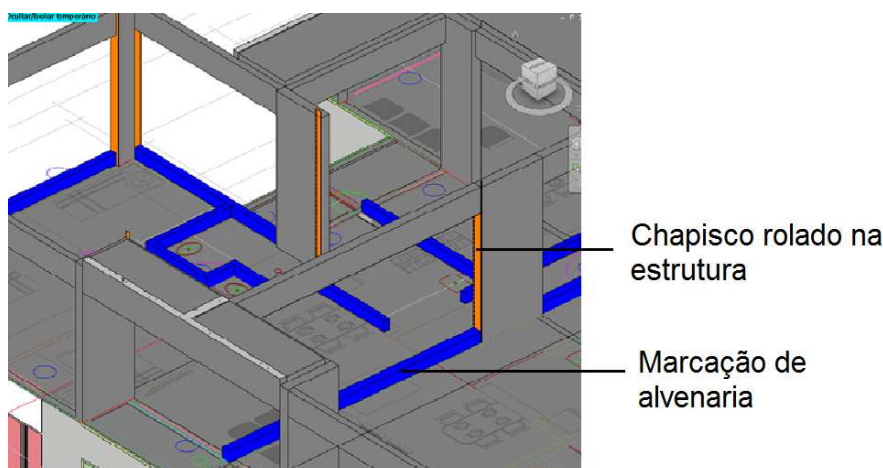
Em destaque no Quadro 12, é possível observar que a modelagem das macro operações de chapisco entre estrutura e alvenaria, chapisco e requadro pode acontecer em dois planos distintos vertical (parede e face lateral de vigas) e horizontal (teto, face inferior de vigas e face superior de vigas, entre outros). Assim, para a modelagem de cada uma destas macro operações são necessárias duas classes de objetos, sendo uma para modelar no plano vertical e outra para o plano horizontal. Como o software extrai os quantitativos em tabelas separadas, por classes de objeto, para obter o quantitativo total destas macro operações, é necessário somar os quantitativos extraídos em duas tabelas distintas.

5.2.2.2 Modelagem 3D das macro operações

Todas as macro operações necessárias para o orçamento operacional puderam ser modeladas. Primeiramente, foi modelada a estrutura que é de fundamental importância para a extração correta dos quantitativos das macro operações provenientes da segregação do serviço de alvenaria. Posteriormente, as demais macro operações foram modeladas. A Figura 27 apresenta as macro operações modeladas no REVIT®.

Figura 26: Modelagem das macro operações

(a)



Além da modelagem das macro operações, é necessário modelar as demais informações que dão suporte à organização dos custos, conforme estes ocorrem na obra. Para tanto, é importante classificar as operações de acordo com a programação da obra e identificar o setor ao qual a operação pertence (torre, cobertura, fachada, periferia, entre outros).

5.2.2.3 Modelagem das informações de planejamento

Nesta etapa, a informação do momento de execução foi inserida nas macro operações. Isto foi feito inserindo a informação de qual agrupamento de programação as macro operações seriam executadas. Para tanto, foi criado um parâmetro do tipo texto, denominado “@ atividade”. O software permite que o modelador crie parâmetros personalizados. Assim, é possível adicionar o nome do agrupamento de programação em cada um dos objetos modelados. Além disso, esse parâmetro pode ser extraído das tabelas de quantitativos das macro operações modeladas, o que facilita a organização das informações.

5.2.2.4 Compatibilização da modelagem parcial e os lotes de produção

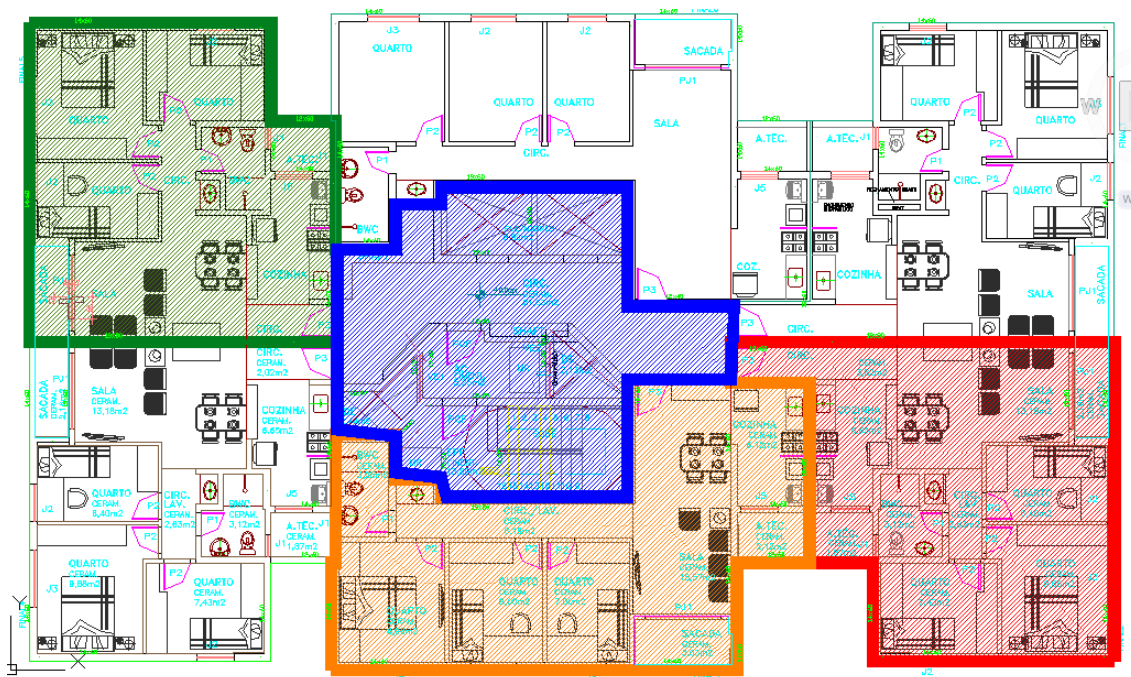
Como apresentado anteriormente, as macro operações ficam agrupadas conforme a programação da obra. A programação, por sua vez, é planejada e controlada de acordo com lotes de produção definidos pela empresa. Desse modo, é necessário que os quantitativos sejam extraídos de acordo com os lotes de produção da programação.

Neste estudo empírico a modelagem foi feita de forma parcial. Isto acarretou na extração de quantitativos em desacordo com os lotes de produção. Por exemplo, para a execução da alvenaria, a empresa utiliza o pavimento como lote de produção. Porém, neste trabalho foram modeladas apenas três apartamentos, dos seis que formavam um pavimento. Isto acarretou na necessidade de criar um sistema de classificação para ajustar os quantitativos das macro operações de acordo com o lote de produção utilizado na programação.

Para que o arquivo do modelo não ficasse muito extenso, não foram modeladas as macro operações de todos os pavimentos. O pavimento tipo era formado por 6 apartamentos, contendo 3 formatos de apartamento distintos, além da

região do hall de elevador e escadaria, conforme mostra a Figura 27. Foram modelados apenas 3 apartamentos, um de cada tipologia, e o hall do elevador e a escadaria, o que foi feito em apenas um pavimento. Desse modo, para que a extração de quantitativos fosse realizada de acordo com o lote de produção, foi criado um coeficiente de cálculo para ser multiplicado pelas quantidades extraídas, a fim de deixá-las em conformidade com o lote de produção.

Figura 27: Regiões modeladas do pavimento tipo



Fonte: O autor

Para tanto, foram estabelecidas regras para determinar um coeficiente que aplicado aos objetos obtivesse os quantitativos de acordo com o lote de produção. Para tanto, foi criado um sistema de classificação que estabeleceu quatro classificadores: Apt 01, Apt 02, Apt 03 e Area Comum. Foi criado um campo no REVIT® chamado 'Setor' para a inserção desses classificadores. Esses classificadores eram inseridos nos objetos de acordo com o local ao qual o objeto pertencia. Isso era feito manualmente. Ao extrair a tabela de quantitativos, as macro operações que têm o campo "Setor", preenchido com as classificações Apt 01, Apt 02, Apt 03 tiveram suas quantidades multiplicadas por 2. Quando o código de classificação é o de Área Comum as quantidades das macro operações são

multiplicadas pelo número de pavimentos. O quadro 13 mostra os coeficientes dos classificadores.

Quadro 13: Regras de classificação para extração de quantitativos conforme lotes de produção

Setor	Classificador a ser inserido no campo Setor	Coeficiente de multiplicação	Estratégia de modelagem
Área privativa dos apartamentos	Apt 01	2	modelado 1 apartamento
	Apt 02	2	modelado 1 apartamento
	Apt 03	2	modelado 1 apartamento
Hall do elevador e escadaria	Área Comum	11	modelado o Hall de 1 pavimento

Fonte: O autor

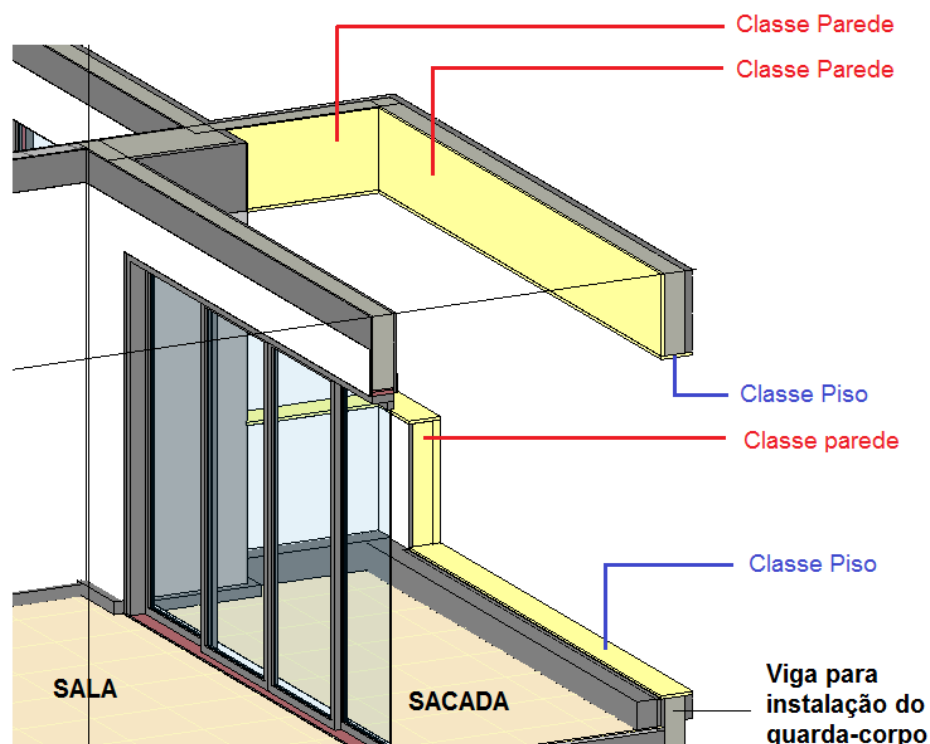
5.2.2.5 Extração de quantitativos das macro operações conforme critérios adotados pela construtora

Os critérios de quantificação das macro operações encontram-se no Quadro 11, da seção 5.2.1.6, deste trabalho.

Embora o chapisco de teto e chapisco de parede pudessem ser modelados como uma macro operação única, uma vez que são executadas de forma sequencial e pela mesma equipe, foram modelados por meio de objetos distintos porque não havia uma única classe de objeto capaz de fazer a modelagem do chapisco nos dois planos: vertical (chapisco de parede) e horizontal (chapisco de teto). Por esta razão, posteriormente, foi necessário somar o quantitativo das duas macro operações a partir das planilhas fornecidas pelo software.

A modelagem do requadro (objetos em amarelo nas Figuras 28, 29, 30 e 31) é o mesmo caso apresentado para o chapisco. A Figura 28 mostra a modelagem do requadro a partir das duas classes de objetos distintas.

Figura 28: Modelagem do requadro a partir de duas classes distintas



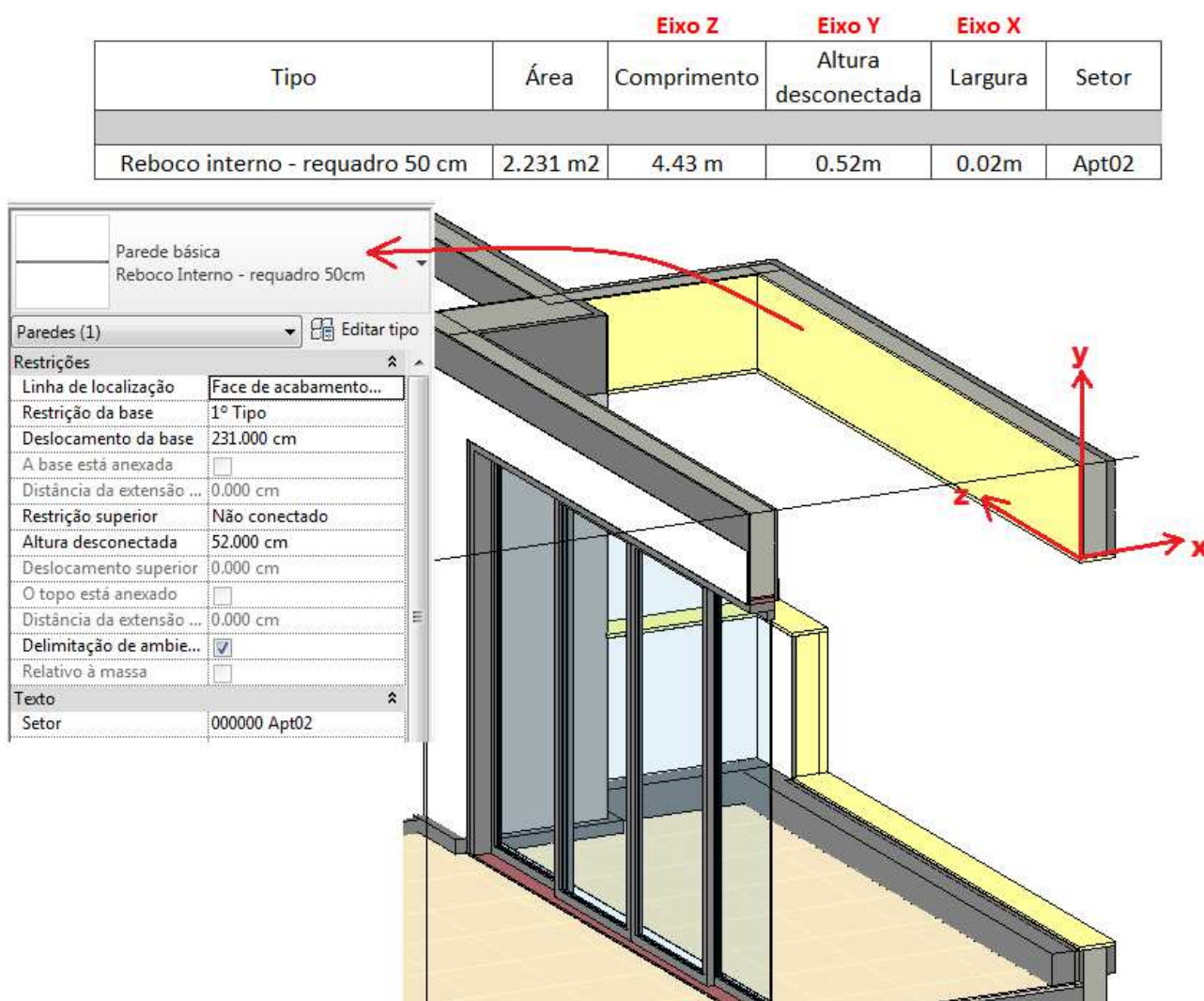
Fonte: O autor

A macro operação de requadro possui critérios de cálculo diferentes para a mão de obra, que é em metros e para o material, em área (m^2).

O critério para pagamento de mão de obra do requadro é o cálculo do comprimento (metro linear). A classe de objeto piso extrai a quantidade de perímetro, mas não extrai o comprimento de cada lado do objeto, logo uma adaptação precisou ser feita.

A classe parede extrai o comprimento, contudo, dependendo do sentido que o requadro é modelado, o eixo referente ao comprimento é modificado, sendo ora o eixo x, ora o eixo y e ora o eixo z. A Figura 29 mostra o caso de um requadro na face da viga da sacada, modelado com a classe de objeto parede, no qual o cálculo do comprimento para pagamento da mão de obra é extraído no eixo z.

Figura 29: Requadro da face da viga modelada com a classe de objeto parede

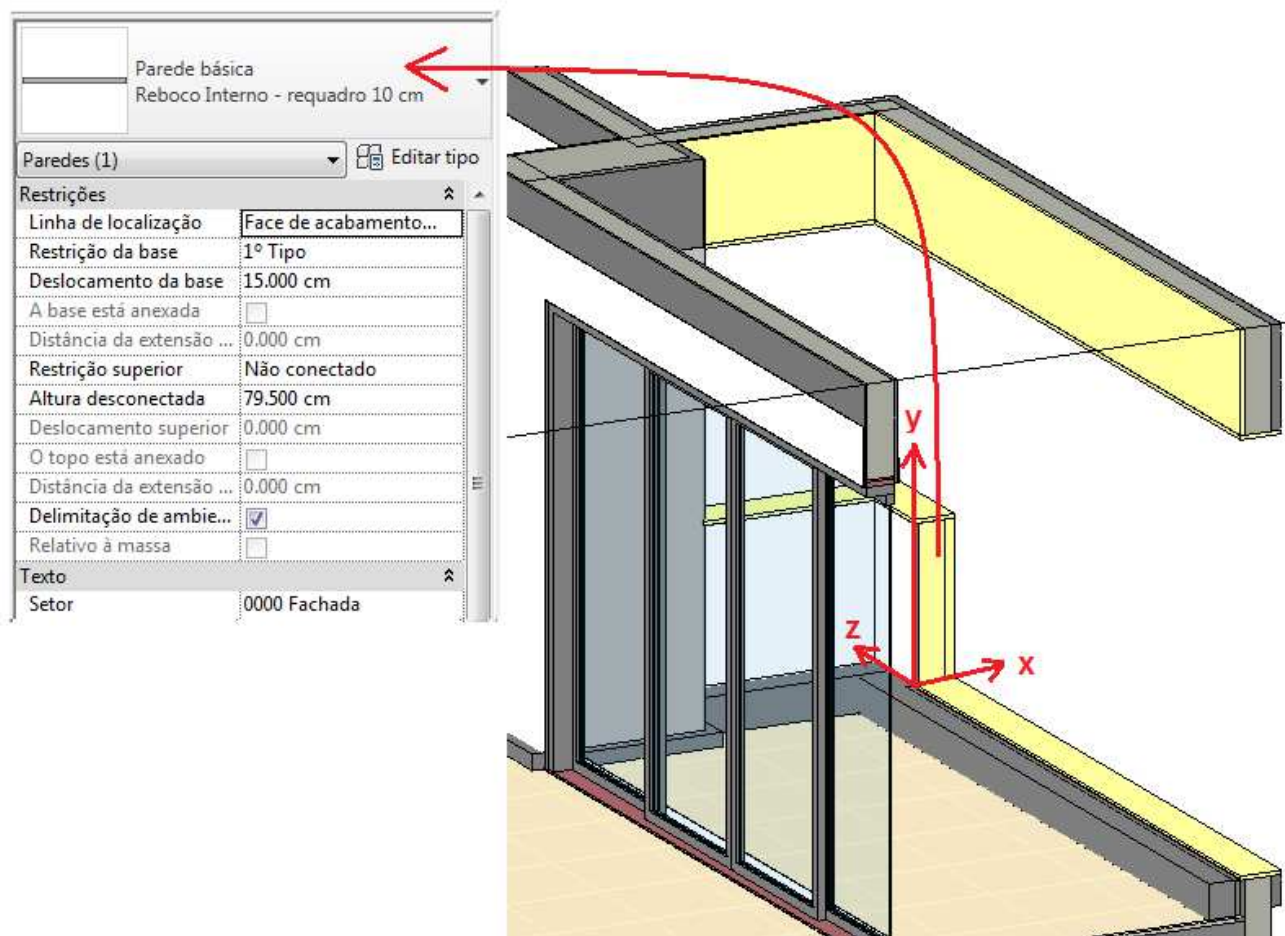


Fonte: O autor

A Figura 30 mostra o caso de um requadro na face vertical da mureta da varanda, modelado com a classe de objeto parede, no qual o cálculo do comprimento para pagamento da mão de obra é extraído no eixo y. No caso da Figura 30, o comprimento a ser considerado para pagamento de mão de obra está no eixo y (altura desconectada) e no caso da Figura 29, tal comprimento está no eixo z (comprimento). Embora, ambos os objetos fiquem na mesma tabela de extração de quantitativos, o eixo onde está o comprimento a ser considerado no pagamento de mão de obra é alternado entre os parâmetros: comprimento, altura e largura. Assim, a soma total de requadros, em metros, para pagamento de mão de obra é impossibilitada.

Figura 30: Requadro da face vertical da mureta modelada com a classe de objeto parede.

Tipo	Área	Eixo X	Eixo Y	Eixo Z	Setor
		Comprimento	Altura desconectada	Largura	
Reboco interno - requadro 10 cm	0.111 m ²	0.10 m	0.80m	0.02m	Apt02



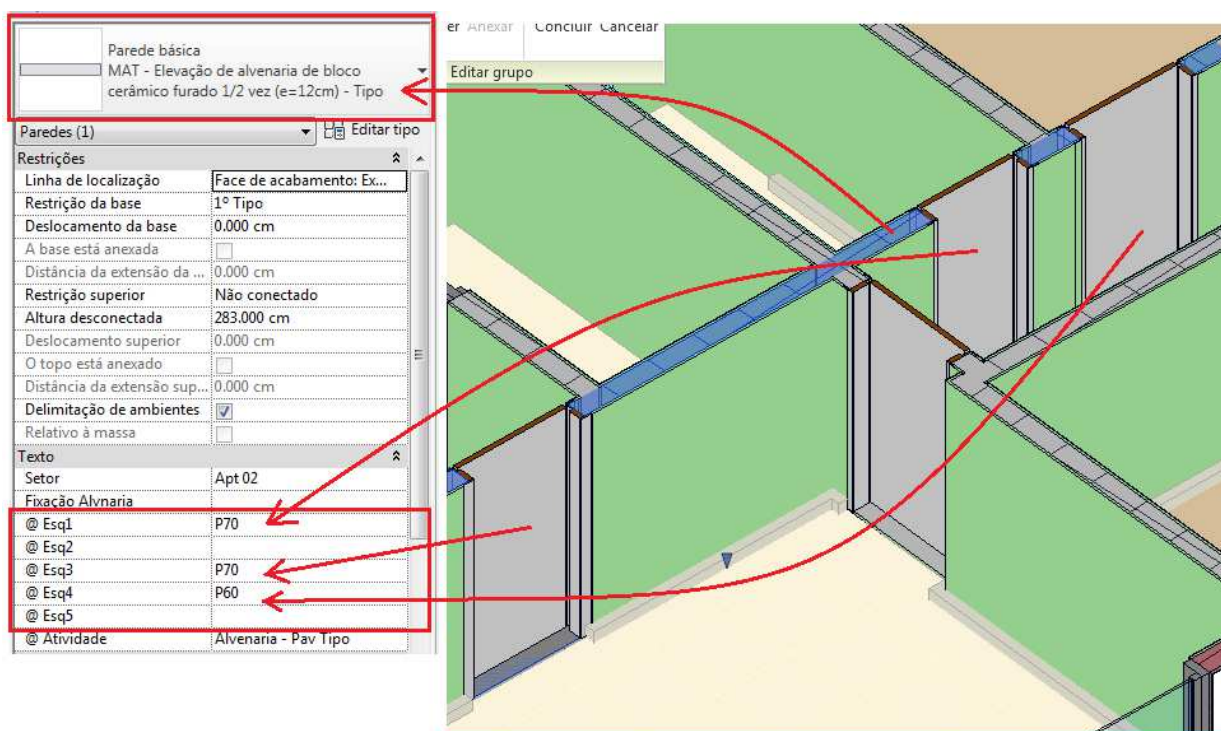
Fonte: O autor

As demais macro operações puderam ser modeladas a partir de uma única classe de objeto. Contudo, embora a macro operação de marcação de alvenaria tivesse seu quantitativo extraído do software pelo comprimento total, a construtora tinha como critério descontar os vãos de todas as portas. Desse modo, para calcular os quantitativos, conforme os critérios utilizados pela construtora, foi necessário exportar a tabela de quantitativos, extraída do software, para uma planilha *Excel* e realizar cálculos com a ajuda de fórmulas. Como o programa não mostrava, nas tabelas de quantitativos, quais esquadrias estavam inseridas nas respectivas

paredes, foram criados cinco parâmetros tipo texto denominados @Esq1, @Esq2, @Esq3, @Esq4 e @Esq5, para que fosse possível inserir até cinco nomes de esquadrias. Esses parâmetros recebem os nomes das esquadrias inseridas nas paredes e são mostrados nas tabelas de extração de quantitativos. Cabe ressaltar que a inserção dos nomes das portas no modelo é feita manualmente em todas as paredes.

Assim, é possível saber quais portas estão inseridas nas paredes e fazer os cálculos, após exportar os quantitativos para a planilha Excel. A Figura 31 mostra uma parede na qual foram inseridos nomes de três portas. A Figura 32 mostra a tabela de quantitativos extraída do software.

Figura 31: Inserção dos nomes das portas presentes em uma parede



Fonte: O autor

Figura 32: Tabela com os quantitativos de paredes e os parâmetros de esquadrias

<Tabela de parede>										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Tipo	Área	Comprimento	Altura desconecta	Largura	Setor	@ Esq1	@ Esq2	@ Esq3	@ Esq4	@ Esq5
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	3.012 m²	2.09 m	2.36 m	0.14 m	Apt 02	J160				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	10.658 m²	5.53 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02	J110				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	11.875 m²	7.25 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02	J160		J200		
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	6.245 m²	2.72 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	4.928 m²	2.14 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	3.012 m²	2.09 m	2.36 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	10.658 m²	5.53 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	11.875 m²	7.25 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	6.245 m²	2.72 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	4.928 m²	2.14 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	3.012 m²	2.09 m	2.36 m	0.14 m	Apt 02	J160				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	10.658 m²	5.53 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02	J110				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	11.875 m²	7.25 m	2.30 m	0.14 m	Apt 02	J160		J200		
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0.714 m²	0.42 m	1.70 m	0.14 m	Platiban					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	7.556 m²	2.68 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	3.312 m²	1.79 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02	P70				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	10.467 m²	4.28 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02	P70				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	5.802 m²	2.18 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	6.877 m²	2.36 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	5.826 m²	2.75 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02	P70				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	7.783 m²	2.88 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	16.633 m²	7.51 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02	P70		P70	P60	
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	2.045 m²	0.78 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	1.234 m²	1.19 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02	P70				
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	4.186 m²	1.96 m	2.30 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	1.896 m²	0.67 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	1.999 m²	0.86 m	2.83 m	0.12 m	Apt 02					
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	5.367 m²	2.88 m	2.82 m	0.12 m	Apt 02	J6		PC90		
MAT - Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1/2 vez (e=12cm) - Tip	7.037 m²	3.24 m	2.22 m	0.12 m	Apt 02					

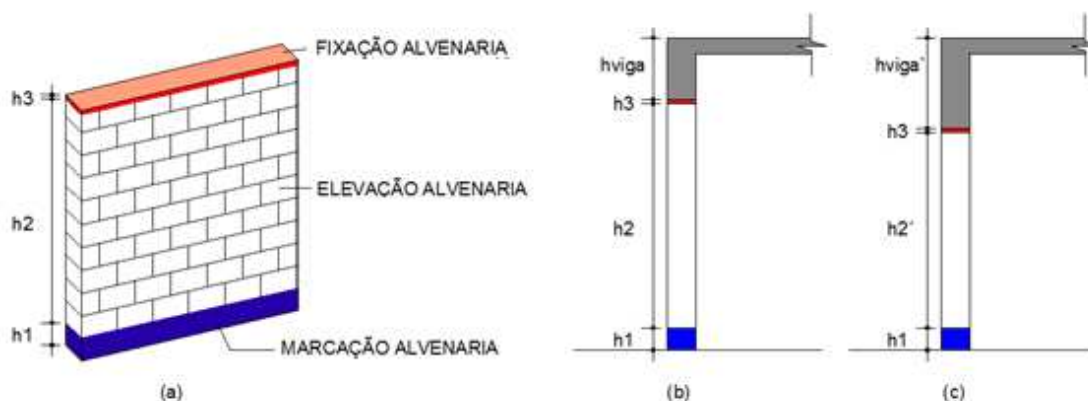
Fonte: O autor

A tabela com os quantitativos extraídos do software é exportada para uma planilha Excel para o cálculo dos perímetros das paredes, com os vãos das portas descontados. Para tanto, é preciso colocar todas as tabelas de quantitativos de classes de objetos em uma única planilha. Esse procedimento facilita a busca de dados com o uso de fórmulas. Por exemplo, estando a tabela de portas na mesma planilha que a tabela de paredes, por meio de fórmulas, é feita a busca da largura das portas para subtraí-la, automaticamente, do comprimento da parede.

5.2.2.6 Outras Observações

Foi observada falta de regras de relacionamento entre a marcação de alvenaria, a elevação de alvenaria e a fixação de alvenaria. Essas três macro operações não possuíam uma conexão entre si, no REVIT®, de forma que, se a altura de alguma delas fosse modificada, as alturas das demais deveriam ser modificadas manualmente. Não há, no software, nenhum dispositivo que permitia essa conexão. A Figura 33 mostra um exemplo em que a altura da viga foi modificada. Nesse caso, o nível inferior da fixação de alvenaria foi rebaixado, porém, a altura da elevação da alvenaria não foi reduzida automaticamente.

Figura 33: Relacionamento entre os objetos do serviço alvenaria



Fonte: O autor

5.2.3 Avaliação do estudo de empírico 1

Com relação à modelagem, foi possível modelar em 3D todas as macro operações do orçamento por meio de objetos, assim como, as respectivas informações necessárias para que a organização do orçamento fosse estruturada de forma operacional. Para tanto, foi necessário criar novos parâmetros para a inserção de informações referentes a programação da obra e para a compatibilização da modelagem parcial com os lotes de produção das macro operações. Foram criados diversos parâmetros tipo texto para que as informações fossem inseridas no modelo manualmente, objeto por objeto.

Durante a modelagem, foi identificado que os objetos utilizados para a modelagem das macro operações de marcação de alvenaria, de elevação de alvenaria e de fixação de alvenaria não tinham relacionamento automático entre si. Também, o software não foi capaz de entender o comportamento real da macro operação de requadro, que pode ocorrer nos planos vertical e horizontal. Não havia uma classe de objeto programado para interpretar tal macro operação. Isso significa que o software não é capaz de entender essas macro operações de forma inteligente, de acordo com suas funções e relacionamento com outras macro operações. Assim, no caso de modificações de projetos, pode haver grande quantidade de operações manuais (retrabalhos).

Não foi possível extrair os quantitativos de todas as macro operações. Por exemplo, para o requadro, mesmo sendo modelado a partir de objetos, não foi possível extrair os quantitativos conforme era necessário. O quantitativo de

marcação de alvenaria requisitou uma planilha de cálculo auxiliar, pelo fato do software não descontar a largura das portas. Os quantitativos das demais macro operações foram extraídos diretamente.

Assim, a maioria das macro operações tiveram seus quantitativos extraídos de forma direta. Isto foi proporcionado pelo fato de, coincidentemente, os critérios de cálculo de quantitativos do software serem iguais aos praticados pela construtora. Por exemplo, a construtora e o software descontam todos os vãos da área da macro operação de elevação de alvenaria. Entretanto, foi observada inflexibilidade do REVIT® em aceitar critérios de cálculo de quantitativos diferentes daqueles utilizados pelo software, necessitando para tanto, o uso de planilhas de apoio para a realização de cálculos de quantitativos com o uso de fórmulas.

5.2.4 Considerações finais

Assim, foram acrescentadas diretrizes na proposta inicial elaborada no Estudo Exploratório. A partir dos resultados do Estudo Empírico 1, foi verificada a necessidade de ajustes devido ao fato de não existir classes de objetos específicas para representar o comportamento real das macro operações. Desse modo, foram propostas diretrizes de modelagem com o uso de parâmetros personalizados ao invés de usar objetos para representar as macro operações. Isto otimiza o tempo de modelagem e reduz chances de retrabalhos mediante alterações de projetos.

Como forma de mitigar os retrabalhos exigidos, devido à falta de regras de relacionamento entre as macro operações e possibilitar a extração dos quantitativos de todas as macro operações, no mínimo de forma indireta, foram propostas as seguintes ações:

- Não modelar a macro operação de marcação de alvenaria e de fixação de alvenaria por meio de objetos. Nesse caso, a extração de quantitativos será feita utilizando o comprimento da elevação de alvenaria como base para quantificação destas macro operações. O benefício se evidenciará em termos de redução do número de componentes de modelagem e, no caso de modificações de projeto, não haverá retrabalho de modelagem.

- Criar uma classe de objeto capaz de representar as macro operações que precisam ser medidas linearmente, de modo essa medida seja alternada de acordo com o eixo que o objeto esteja inserido.
- Optar pela modelagem das macro operações a partir de parâmetros personalizados, principalmente do tipo calculado, a fim de automatizar a extração de quantitativos das macro operações. O software permite a criação de parâmetros personalizados, com inserção de fórmulas para cálculos de quantidades. Por exemplo, ao invés de modelar o vidro de uma janela como um objeto 3D, dentro do objeto janela, cria-se um parâmetro chamado vidro, programando-se o software para que calcule o quantitativo do parâmetro vidro, a partir de uma fórmula que multiplique o comprimento pela altura da janela. Assim, sempre que o comprimento e a altura da janela forem alterados, o quantitativo do parâmetro vidro será modificado automaticamente.

Para modelar o orçamento operacional aplicando as diretrizes encontradas no Estudo Empírico 1, foi realizado um novo estudo empírico que será descrito a seguir.

5.3 Estudo Empírico 2

Neste estudo foi realizada a elaboração do orçamento operacional das macro operações necessárias para a execução da fachada com o uso de BIM. O estudo teve por objetivo: (a) a verificação da possibilidade de modelagem dessas macro operações, conforme as diretrizes propostas no Estudo Empírico 1; e (b) a extração dos respectivos quantitativos de acordo com os critérios utilizados para a elaboração do orçamento operacional. Para tanto, foi realizado o mesmo procedimento de levantamento de informações apresentado no Estudo Empírico 1.

Cabe ressaltar que o orçamento operacional da fachada do edifício não havia sido elaborado e só foi feito a partir deste estudo empírico. Para tanto, foi realizado o mesmo procedimento de levantamento de informações apresentado no Estudo Empírico 1.

5.3.1 Identificação das informações necessárias para a elaboração do orçamento operacional

As etapas para a identificação das informações necessárias para elaboração do orçamento operacional foram as mesmas descritas no Estudo Empírico 1.

5.3.1.1 Identificação das operações

Primeiramente, foram identificadas as operações necessárias para a execução do edifício. Para tal, foram relacionados os serviços necessários para a execução dos componentes de projeto e, a partir daí, os serviços foram segregados em operações, conforme a execução.

A seguir, são apresentadas as redes de desagregação de serviços em operações. Os serviços necessários para a execução da fachada foram: (a) serviço de alvenaria, (b) serviço de emboço de fachada, (c) serviço de colocação de pingadeira de granito, (d) serviço de instalação de esquadrias e (e) serviço de execução de pintura.

A alvenaria necessária para a modelagem da fachada é apenas a que fica nas bordas do perímetro da edificação. A rede de desagregação desse serviço foi apresentada no Estudo Empírico 1.

A modelagem das macro operações de marcação de alvenaria e de fixação de alvenaria foi feita a partir de parâmetros tipo texto, conforme proposta de modelagem das diretrizes do Estudo Empírico 1.

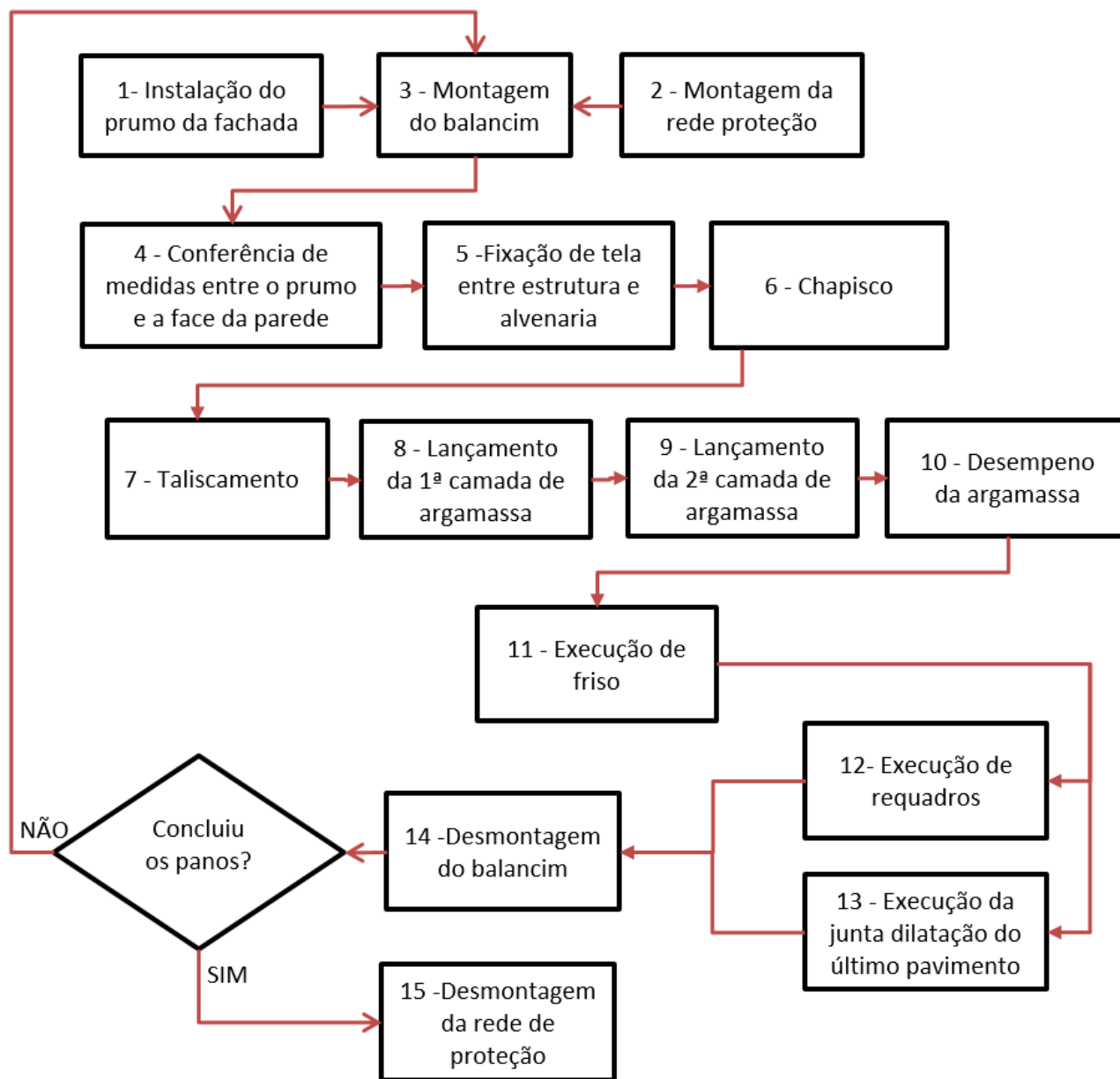
A rede de desagregação do serviço de alvenaria, as operações segregadas e as macro operações agregadas estão descritas no Estudo Empírico 1 (Figura 15 e Quadro 8 do tópico 5.2.1.1).

A execução do serviço de emboço da fachada inicia-se pela instalação dos prumos da fachada. Em seguida, é necessário montar a rede para a proteção de queda de detritos em torno da fachada e os balancins. Feito isto, durante a subida do balancim, são realizadas medições da distância entre o arame do prumo e a face da fachada. A partir dos resultados destas medições, identificam-se os pontos críticos da fachada e as necessidades de cheias ou distorcimentos. Em seguida, são fixadas as telas para evitar fissura entre a estrutura e a alvenaria, e o chapisco é executado. Posteriormente, inicia-se a descida do balancim com o taliscamento, seguida do lançamento da primeira camada de argamassa. Após a secagem da primeira camada de argamassa, é sobreposta a segunda camada de argamassa e, em seguida, é realizado o desempenamento da argamassa. Posteriormente, inicia-se a execução dos frisos. A seguir, o balancim sobe novamente e são feitos os requadros das esquadrias, do fundo de vigas e outros, assim como a junta de dilatação entre a laje e a platibanda do último pavimento tipo. Por fim, os balancins são desmontados e as telas de proteção de queda de detritos retiradas. Cabe ressaltar que o emboço é executado em panos. Assim, ao final de cada pano, o ciclo de execução se repete a partir da montagem de balancim em outro pano. Os prumos de referência da fachada e a tela de proteção de queda de detritos não são executados por pano, mas ao longo de toda a fachada, de uma única vez.

O chapisco é lançado manualmente. A argamassa do chapisco é fabricada na obra e a argamassa de assentamento da alvenaria é industrializada, sendo apenas misturada com cimento na obra. As juntas no emboço são executadas com o auxílio de uma ferramenta de corte.

A Figura 34 apresenta a rede de serviço de emboço da fachada desagregado em operações.

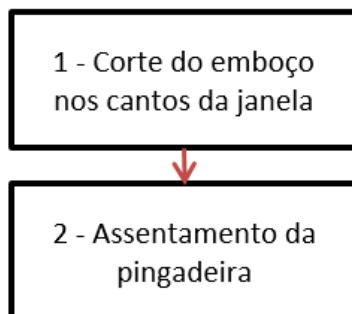
Figura 34: Rede do serviço de emboço de fachada desagregado em operações



Fonte: O autor

O serviço de assentamento de pingadeira é composto pelo corte do emboço nos cantos das janelas, para que a pingadeira fique dois centímetros embutida no emboço, seguido do assentamento da peça que é feito com argamassa industrializada. A Figura 35 apresenta a rede do serviço de assentamento de pingadeira desagregado em operações.

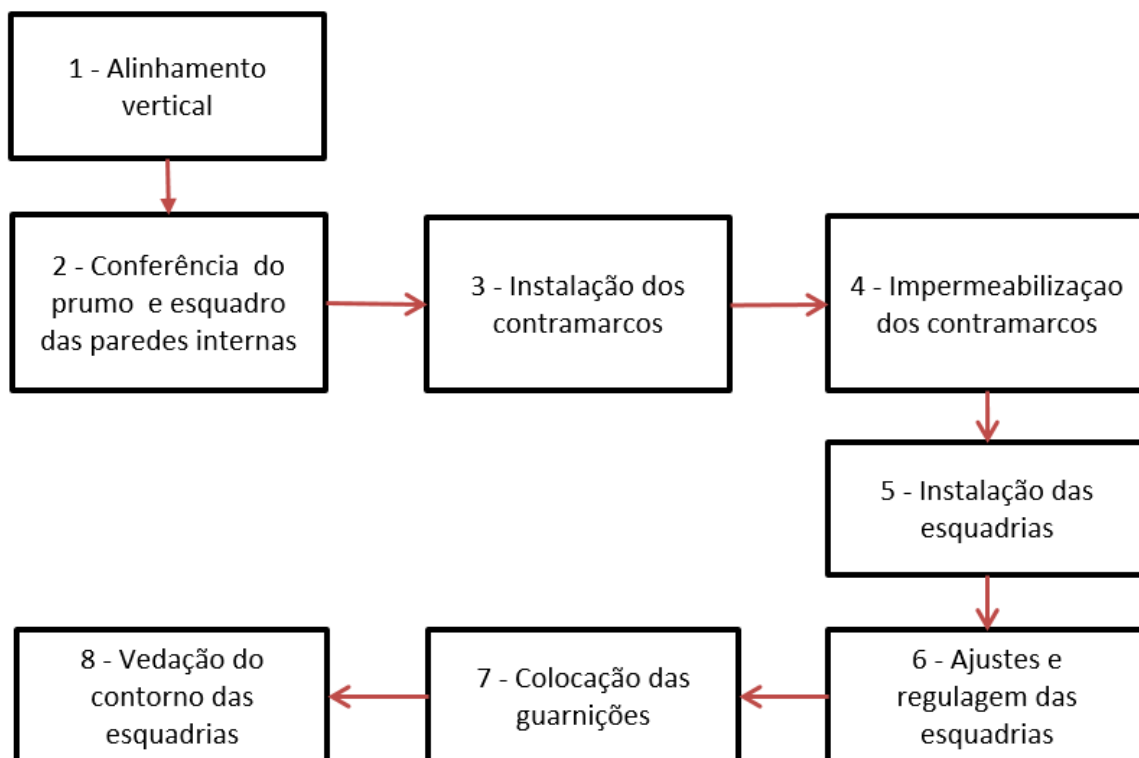
Figura 35: Rede do serviço de assentamento de pingadeira desagregada em operações



Fonte: O autor

O serviço de instalação de esquadrias inicia-se pela conferência do alinhamento vertical das esquadrias na fachada. Isto é realizado com o auxílio de um prumo instalado na fachada. Logo após é realizada a conferência do prumo e esquadros das paredes internas, para que a esquadria fique alinhada com a face interna da parede. Em seguida, é feita a instalação do contramarco, com argamassa de cimento e areia, e a execução da impermeabilização, com tinta emborrachada, entre o contramarco e a pingadeira. Para tanto, destaca-se a necessidade de conclusão das operações de requadro das janelas e do assentamento das pingadeiras. A partir de então, as esquadrias de alumínio com vidro são parafusadas nos contramarcos e instaladas. Posteriormente, são realizadas as devidas regulagens e a colocação das guarnições. Ressalta-se, também, que para a instalação das esquadrias, é necessário executar a pintura dos requadros em torno do perímetro dos vãos onde serão instaladas. Por fim, é aplicado um selante na parte inferior da esquadria. A Figura 36 apresenta a desagregação do serviço de instalação de esquadria em operações conforme a execução.

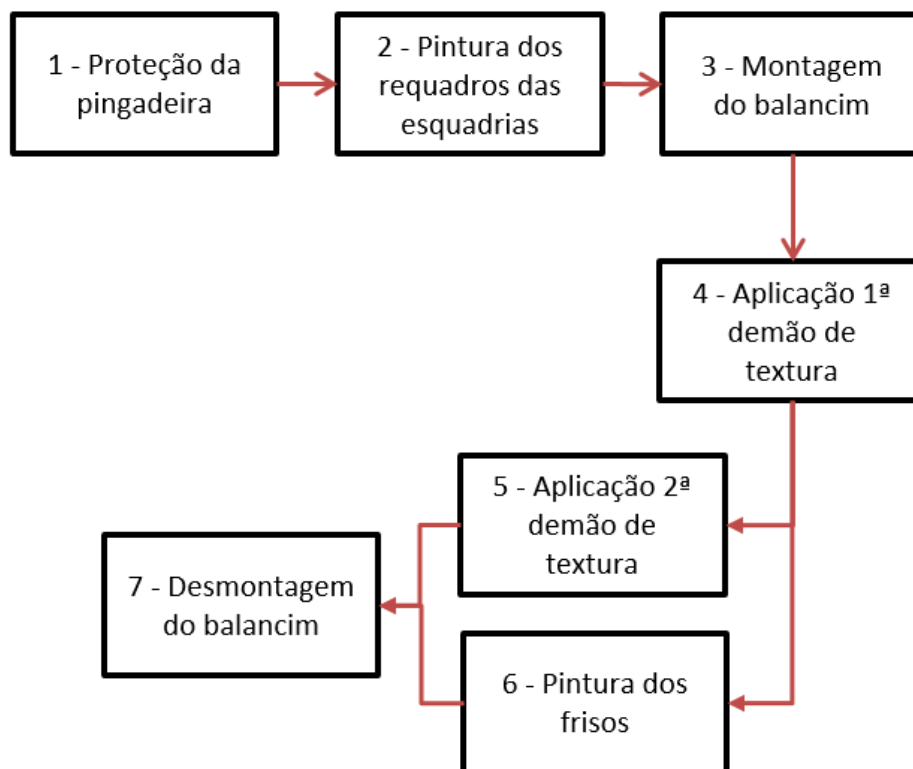
Figura 36: Rede do serviço de instalação de esquadrias desagregado em operações



Fonte: O autor

O serviço de pintura da fachada inicia-se pela proteção das pingadeiras e, em seguida, é realizada a pintura dos requadros das esquadrias. Esses trabalhos não são feitos no balancim, que é montado em seguida. Logo a seguir, na subida do balancim, a 1ª demão de textura é aplicada e, logo após, na descida do balancim, executa-se a 2ª demão. Em paralelo à 2ª demão, é feita a pintura dos frisos de cor diferente à do pano da fachada, se houver. Por fim, o balancim é desmontado e o serviço está concluído. A Figura 37 apresenta a desagregação do serviço de pintura de fachada conforme as operações necessárias para sua execução.

Figura 37: Rede do serviço de pintura de fachada desagregada em operações



Fonte: O autor

5.3.1.2 Agregação em macro operações para simplificação do orçamento

A agregação foi feita de acordo com os critérios propostos por Cabral (1988) e seguiu os mesmos procedimentos descritos no Estudo Empírico 1. Cabe ressaltar que a montagem e a desmontagem de balancim ficam por conta da empresa contratada. Assim, a construtora paga apenas pela mão de obra de execução de reboco e de pintura, conforme o avanço dos trabalhos. Devido a este motivo, a montagem e a desmontagem dos balancins foram agregadas na operação de reboco e de pintura.

No Quadro 14, estão descritas as macro operações. A agregação reduziu o número de operações de 38 para 23.

Quadro 14: Macro operações do Estudo Empírico 2

OPERAÇÕES	MACRO OPERAÇÕES
SETOR: ÁREA PRIVATIVA DOS APARTAMENTOS	
Ver Estudo Empírico 1	Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria
	Marcação de alvenaria
	Elevação de alvenaria
	Execução de pilaretes e cintas de amarração
	Fabricação de vergas e contra-vergas
	Instalação de vergas e contra vergas
	Fixação de alvenaria
SETOR: FACHADA	
Serviço de reboco da fachada	
<i>Montagem de rede de proteção</i>	<i>Instalação de rede de proteção</i>
<i>Desmontagem de rede de proteção</i>	
Instalação de prumo da fachada	Execução de prumo da fachada
<i>Conferência de medidas entre o prumo e a face da parede</i>	<i>Chapisco de fachada</i>
<i>Chapisco</i>	
Fixação de tela entre estrutura e alvenaria	Fixação de tela entre estrutura e alvenaria
<i>Montagem de balancim</i>	<i>Emboço externo com uso de balancim</i>
<i>Taliscamento</i>	
<i>Lançamento de 1ª camada de argamassa</i>	
<i>Lançamento de 2ª camada de argamassa</i>	
<i>Desempenamento de argamassa</i>	
<i>Desmontagem de balancim</i>	
Execução de friso	Execução de friso
Execução de requadros	Execução de requadros
Execução de junta de dilatação	Execução de junta de dilatação
Serviço de instalação de pingadeira de granito	
<i>Corte de emboço no canto das janelas</i>	<i>Assentamento de pingadeira</i>
<i>Assentamento de pingadeira</i>	
Serviço de instalação de esquadrias de alumínio	
<i>Alinhamento vertical</i>	<i>Instalação de contramarco</i>
<i>Conferência de prumo e esquadro das paredes internas</i>	
<i>Instalação de contramarcos</i>	
<i>Instalação de esquadrias</i>	<i>Instalação de esquadrias de alumínio</i>
<i>Ajuste e regulagem de esquadrias</i>	
<i>Colocação de guarnições</i>	
<i>Vedação de contorno das esquadrias</i>	
Impermeabilização de contramarco	Impermeabilização de contramarco
Serviço de pintura externa	
<i>Montagem de balancim</i>	<i>Textura com uso de balancim</i>
<i>Aplicação de 1ª demão de textura</i>	
<i>Aplicação de 2ª demão de textura</i>	
<i>Desmontagem dos balancins</i>	
Proteção de pingadeira	Proteção de pingadeira
Pintura de requadro de esquadria	Pintura de requadro de esquadria
Pintura de frisos	Pintura de frisos

Fonte: O autor

5.3.1.3 Macro Operações de mesma espécie

As macro operações de mesma espécie referentes à alvenaria foram apresentadas no Estudo Empírico 1.

Das macro operações necessárias para a execução da fachada, apenas a macro operação relacionada à pintura precisou de criação de macro operações de mesma espécie, pois utiliza-se de diferentes tipos de materiais que, no caso, dizem respeito às cores das tintas da pintura da fachada. A fachada conta com 3 cores diferentes e, assim, é preciso quantificar a operação de aplicação de textura por cor.

5.3.1.3 Informações sobre planejamento executivo

No Estudo Empírico 1, foi apresentada a forma como a construtora organiza a produção. Para se estruturar o orçamento conforme a abordagem operacional, as macro operações devem ser organizadas de acordo com a programação executiva da fachada.

A seguir são apresentados os agrupamentos das macro operações, de acordo com a programação referentes à execução da fachada do edifício. O agrupamento das macro operações oriundas do serviço de alvenaria está apresentado no Estudo Empírico 1 (Figura 21).

As Figuras 38, 39, 40 e 41 mostram o agrupamento das macros operações provenientes dos serviços: emboço da fachada, assentamento de pingadeira, instalação de esquadrias e pintura da fachada, respectivamente. O critério utilizado para tal foi o momento de execução. Esse agrupamento tem por objetivo organizar os custos conforme estes ocorrem na obra, ou seja, de acordo com a programação.

As operações e macro operações referentes à fabricação de argamassa, mistura de argamassa e transporte de materiais não foram abordadas.

A Figura 39 mostra que as macro operações que são derivadas do serviço de emboço da fachada, são realizadas no mesmo momento, de acordo com a programação de execução de chapisco e emboço da fachada.

Figura 38: Agrupamento das macro operações do serviço de emboço da fachada conforme a programação



Fonte: O autor

A macro operação de assentamento de pingadeira foi agrupada na programação da execução da pingadeira de granito.

A Figura 39 mostra que as macro operações do serviço de instalação de esquadrias de alumínio foram organizadas em três agrupamentos de programação distintos. O contramarco é instalado em um momento distinto da impermeabilização e da instalação da esquadria. Além disso, observou-se que a impermeabilização de contramarco é executada no mesmo momento que a pintura de requadros em torno das esquadrias, sendo organizadas no orçamento, no mesmo agrupamento.

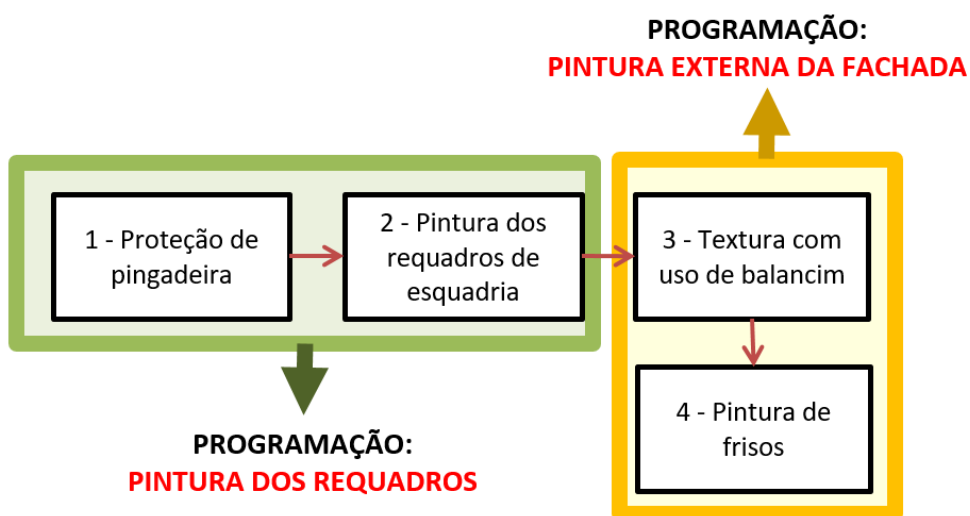
Figura 39: Agrupamento das macro operações do serviço de instalação de esquadria conforme a programação



Fonte: O autor

A Figura 40 apresenta as macro operações do serviço de pintura, inseridas em dois agrupamentos distintos de programação, de acordo com o momento de execução: pintura dos requadros da fachada e pintura externa da fachada.

Figura 40: Agrupamento das macro operações do serviço de pintura de fachada conforme a programação



Fonte: O autor

As atividades utilizadas para a programação da execução do setor fachada são apresentadas na Figura 41. Os respectivos lotes de produção foram apresentados no Estudo Empírico 01.

Figura 41: Atividades para a programação do setor fachada do módulo de torre

Código	Nome da tarefa	Duração	Início	Término
E1T1S.25	Fachada - Torre	530 dias	26/04/2016	08/05/2018
E1T1S.25.001	Chapisco e Reboco - Fachada - Torre	257 dias	23/01/2017	16/01/2018
E1T1S.25.003	Pingadeiras granito- Fachada - Torre	100 dias	08/02/2017	27/06/2017
E1T1S.25.008	Pintura Requadros - Fachada - Torre	80 dias	14/03/2017	03/07/2017
E1T1S.25.012	Esquadrias e guarda-corpo de alumínio - Fachada - Torre	321 dias	26/04/2016	19/07/2017
E1T1S.25.009	Pintura externa - Fachada - Torre	60 dias	24/01/2018	17/04/2018

Fonte: O autor

5.3.1.5 Critérios para a extração dos quantitativos das macro operações

O Quadro 15 mostra as considerações para quantificação das macro operações. Aquelas em destaque são as que possuem critérios diferentes de pagamento para cálculo do custo da mão de obra e do material.

Quadro 15: Critérios de orçamento das macro operações do Estudo Empírico 2.

MACRO OPERAÇÕES	MÃO DE OBRA		MATERIAL	
Instalação de contramarco	m2	área quadrada da esquadria	-	Inserida lista de materiais enviadas pelo fornecedor
Instalação de rede de proteção da fachada	m2	área quadrada de rede		área quadrada de rede
Execução de prumo da fachada	unid	quantidade de prumos lançados	-	executa com corpo de provas de concreto (material de descarte)
Chapisco de fachada	m2	área de chapisco , descontando todos os vãos	m2	área de chapisco desenvolvido, descontando todos os vãos
Fixação de tela entre estrutura e alvenaria	m2	área de tela aplicada sem considerar sobreposições	m2	área de tela aplicada sem considerar sobreposições
Emboço externo com uso de balancim	m2	área de emboço desenvolvido, descontando todos os vãos	m2	área de emboço desenvolvido, descontando todos os vãos
Execução de friso	m	comprimento de friso	-	não precisa de material
<i>Execução de requadros</i>	<i>m</i>	<i>metro linear para paredes com largura menor que 50cm.</i>	<i>m2</i>	<i>área de requadro</i>
Execução de Junta de dilatação	m	comprimento da junta	m	comprimento da junta
<i>Assentamento de pingadeira</i>	<i>m</i>	<i>comprimento da pingadeira</i>	<i>m2</i>	<i>área de granito</i>
Impermeabilização de contramarcos	m	comprimento inferior da esquadria mais 30cm em cada lateral	m	comprimento inferior da esquadria mais 30cm em cada lateral
Proteção de pingadeiras	m	comprimento da pingadeira	m	comprimento da pingadeira
Pintura de requadro de esquadria	m	comprimento superior e laterais	m2	área de pintura
<i>Instalação de esquadria de alumínio</i>	<i>m2</i>	<i>área quadrada da esquadria</i>	<i>-</i>	<i>Inserida lista de materiais enviadas pelo fornecedor</i>
<i>Textura com uso de balancim</i>	<i>m2</i>	<i>área quadrada descontando somente vãos acima de 2m2.</i>	<i>m2</i>	<i>área quadrada descontando todos os vãos</i>
Pintura de frisos	m	comprimento dos frisos com cores difentes da cor do pano e quem está inserida	m	comprimento dos frisos com cores difentes da cor do pano e quem está inserida

Fonte: O autor

5.3.2 Modelagem BIM do orçamento operacional

A modelagem do Estudo Empírico 2 seguiu as diretrizes de modelagem do estudo Empírico 1, utilizando representação por meio de objetos em 3D e também parâmetros tipo texto e calculado. Além disso, foi necessário o uso de uma planilha de apoio²² para adaptações no cálculo dos quantitativos.

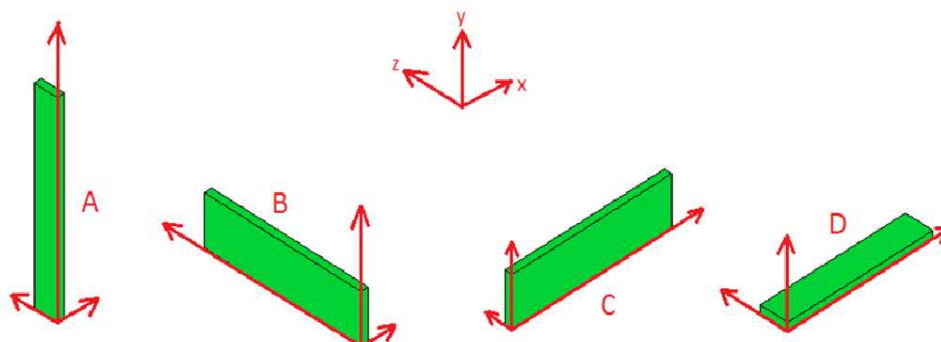
5.3.2.1 Preparação para a modelagem

Para o Estudo Empírico 2, foi criada uma nova classe de objetos, de modo a atender os critérios de levantamento de requadros, de acordo com a construtora, conforme apresentado no Estudo Empírico 1.

A classe de objeto de requadro tem a característica de extrair o parâmetro comprimento, independente do eixo e do plano em que o objeto for modelado. A Figura 42 mostra quatro objetos modelados a partir da nova classe de objetos criada. Cada objeto foi modelado com o comprimento em um eixo diferente. Foi possível observar na tabela de quantitativos da Figura 42 que o comprimento é extraído sempre com base no mesmo parâmetro (apresentado em uma coluna da tabela), independente do eixo em que foi modelado.

²² A planilha foi desenvolvida à parte do REVIT®, com o auxílio do software Microsoft Excel.

Figura 42: Classe de objeto de requadros.



<Tabela de multi-categorias>					
A	B	C	D	E	F
Família	Tipo	@ Comprimento	@ Espessura	@ Largura	Nível
Requadro Fachada e 5cm	Requadro A	1228	20	160	
Requadro Fachada e 5cm	Requadro B	1080	20	300	
Requadro Fachada e 5cm	Requadro C	1100	20	300	
Requadro Fachada e 5cm	Requadro D	1000	20	190	

Fonte: O autor

Para se iniciar a modelagem, foi feita a definição das classes de objetos para representação das macro operações. O Quadro 16 apresenta as macro operações e as classes de objetos que serão modeladas.

Quadro 16: Classes de objetos de modelagem das macro operações do Estudo Empírico 2.

Nº	MACRO OPERAÇÕES	DIREÇÃO DO ELEMENTO	UNIDADE DE MEDIDA	EIXOS PARA CÁLCULO DE QUANTITATIVOS	CLASSE DE OBJETO
1	Elevação de alvenaria	Plano vertical	Área	YX ou YZ	Parede
2	Fixação de tela entre estrutura e alvenaria				
3	Emboço externo com uso de balancim				
4	Instalação de rede de proteção de fachada				
5	Textura com uso de balancim				
6	Execução de pilaretes e cintas de amarração (material)	Plano Horizontal	Volume	XYZ	Vigas / Colunas
7	Execução de pilaretes e cintas de amarração (mão de obra)	Plano Horizontal	Comprimento	X ou Z ou Y	
8	Instalação de esquadria de alumínio	Plano vertical	Área	YX ou YZ	Janela

9	Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria	Qualquer plano	Área	YX, YZ ou XZ	Requadros (criada para este estudo)
10	Execução de requadros (mão de obra)	Qualquer plano	Comprimento	X ou Z ou Y	
11	Execução de friso no emboço	Qualquer plano	Comprimento	X ou Z ou Y	
12	Execução de junta de dilatação	Qualquer plano	Comprimento	X ou Z ou Y	
13	Execução de requadros (Materiais)	Qualquer plano	Área	YX, YZ ou XZ	
14	Execução de requadros em torno das esquadrias	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
15	Assentamento de pingadeira (material)	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
16	Assentamento de pingadeira (mão de obra)	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
17	Proteção de pingadeiras	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
18	Impermeabilização de contramarcos	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
19	Fabricação de vergas e contra-vergas	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
20	Instalação de vergas e contra vergas	modelada a partir de parâmetros calculados com regras pré-determinadas inseridas nas janelas			
21	Fixação de alvenaria	modelada a partir de parâmetros tipo texto inseridos na elevação da alvenaria			
22	Pintura de requadros da esquadria	modelada a partir de parâmetros tipo texto inseridos nas janelas			
23	Chapisco de fachada	não foi modelada - quantitativo calculado direto na planilha de apoio			
24	Marcação de alvenaria	não foi modelada - quantitativo calculado direto na planilha de apoio			
25	Pintura de frisos	não foi modelada - quantitativo calculado direto na planilha de apoio			
26	Instalação de contramarco	não foi modelada - quantitativo calculado direto na planilha de apoio			
27	Instalação de prumo da fachada	Não houve como modelar, nem com parâmetros personalizados do tipo texto (quantitativo por unidade)			

Fonte: O autor

As macro operações de 1 a 8 do Quadro 16 foram modeladas a partir de classes de objetos existentes no software. As macro operações de 9 a 13 foram modeladas com a classe de objetos requadros criada pelo modelador, de forma personalizada, para este trabalho. As macro operações de 14 a 20 foram modeladas a partir de parâmetros calculados. Por exemplo, a classe de objetos esquadrias não tinha um parâmetro pré-configurado, no software, que calcule a área. Com esse recurso, foi criado um parâmetro denominado c@Área (referente à área de

esquadria) que foi programado para calcular a multiplicação dos parâmetros já existentes: largura bruta e altura bruta. Assim, os quantitativos são extraídos, automaticamente, sem necessidade de qualquer inserção de dados. As macro operações 21 e 22 foram modeladas a partir de parâmetros tipo texto, ou seja, é preciso inserir dados de classificação (textos) nos elementos, para possibilitar o cálculo de quantitativo dessas macro operações. As macro operações de 23 a 26 não foram modeladas com objetos e com parâmetros. Essas tiveram seus quantitativos extraídos diretamente em uma planilha de apoio, na qual eram inseridas todas as tabelas extraídas do software. O cálculo do quantitativo destas macro operações foi feito com o uso de fórmulas do *Excel* que fazem operações matemáticas entre os parâmetros existentes nas tabelas de quantitativos extraídos do REVIT®. Por exemplo, o cálculo do quantitativo de chapisco da fachada foi realizado a partir da área da macro operação de emboço externo com o uso de *balancim*. Por fim, a instalação de prumo da fachada²³ não pôde ser modelada pelo fato da inexistência de classe de objeto, ou mesmo parâmetro, capaz de suportar tal informação e extrair o quantitativo de acordo com o critério da construtora.

A seguir, apresenta-se a modelagem 3D das macro operações listadas no Quadro 25.

5.3.2.2 Modelagem 3D das macro operações

Das vinte e sete macro operações necessárias para o orçamento operacional de fachada, apenas uma não foi possível de ser modelada: instalação do prumo da fachada. Das vinte e seis macro operações da fachada, treze foram modeladas a partir de objetos. Nove macro operações foram modeladas a partir de parâmetros personalizados (tipo texto e calculados) e quatro não foram modeladas, tendo seus quantitativos extraídos a partir de quantitativos de outras macro operações.

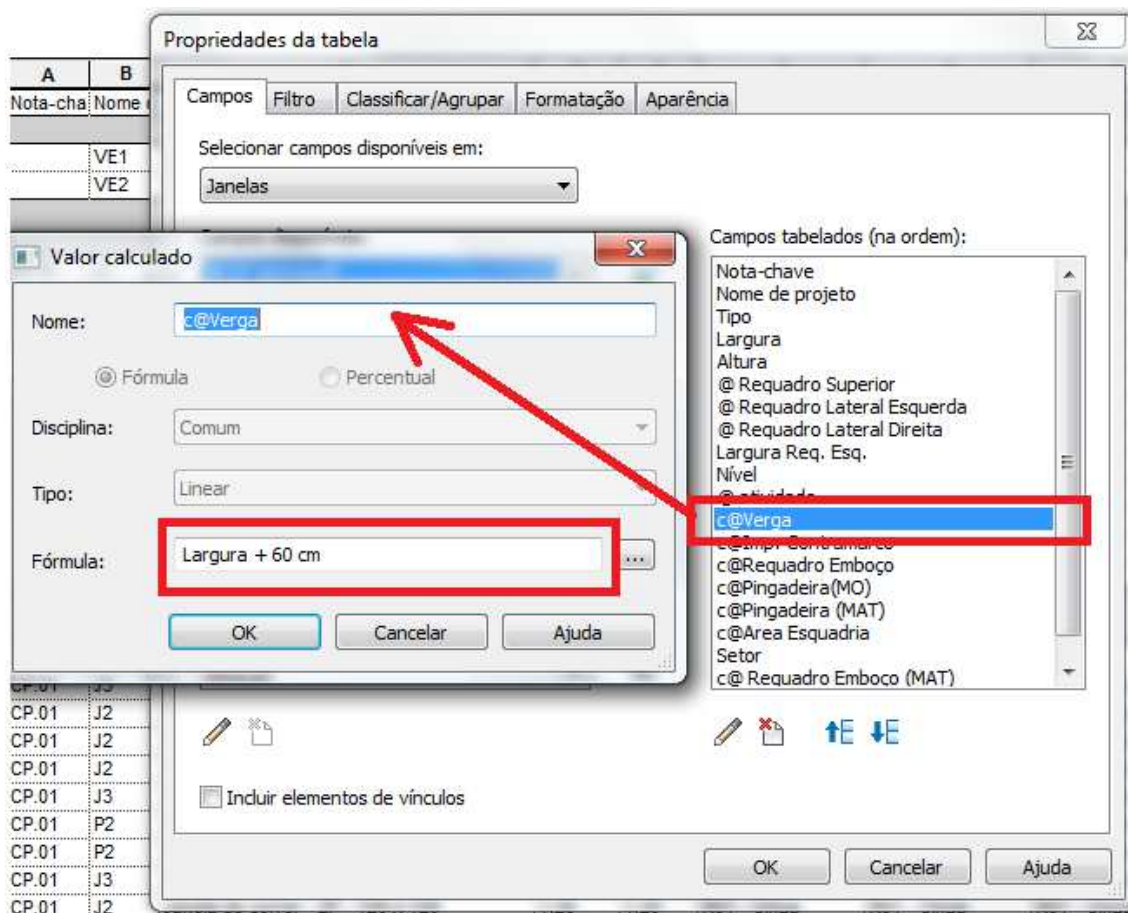
A elevação de alvenaria foi modelada a partir de objetos da classe parede. A operação de fixação de alvenaria foi modelada pela criação um parâmetro tipo texto, denominado fixação de alvenaria, para a inserção, de forma manual, do tipo de

²³ Essa operação consiste em instalar um prumo, desde a platibanda até o primeiro pavimento, a fim de orientar a espessura do emboço da fachada. Em cada extremidade de esquadria é instalado um prumo.

fixação da parede em questão. A marcação de alvenaria tem seu quantitativo calculado, diretamente, em uma planilha de apoio fora do REVIT®. Como o critério de cálculo é descontar os vãos das portas, foi necessário criar parâmetros tipo texto para a inserção manual dos nomes das portas inseridas na respectiva parede (ver Figura 21). A partir disso, as larguras das portas são identificadas. Os tipos de marcação de alvenaria são feitos de acordo com as larguras da elevação de alvenaria. Por exemplo, se a macro operação é a elevação de alvenaria com bloco cerâmico de 9cm, naturalmente, a marcação de alvenaria será de 9cm. Então, o tipo da macro operação de elevação de alvenaria define o tipo de marcação de alvenaria.

A macro operação de instalação de vergas e contravergas foi modelada a partir de parâmetro calculado com regra pré-determinada que computa o quantitativo automaticamente. Há um padrão na construtora segundo o qual as contravergas sempre passam 30cm de cada lado, além da largura da esquadria. Assim, o cálculo pode ser feito a partir da janela. A Figura 43 apresenta a modelagem das regras para calcular os quantitativos de tais macro operações.

Figura 43: Macro operação de instalação de vergas e contravergas

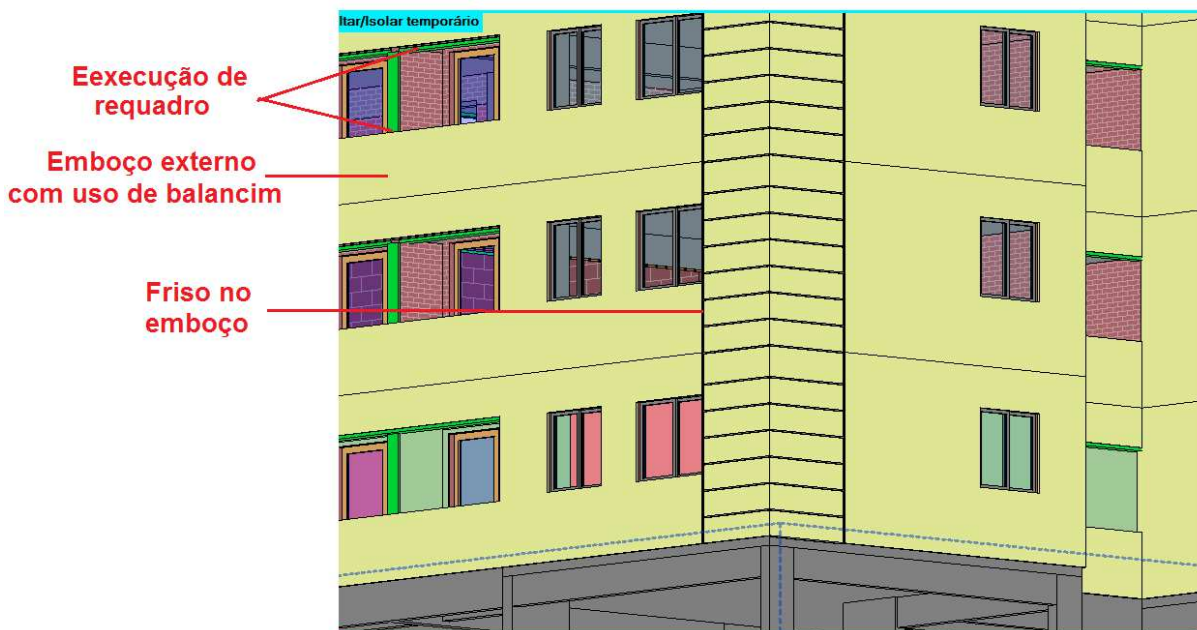


Fonte: O autor

Na Figura 44, é possível visualizar as macro operações de: (a) requadro da fachada; (b) emboço externo com uso de balancim; e (c) e execução de friso no emboço, além dos parâmetros para cálculo do quantitativo de pintura de frisos.

A macro operação de emboço externo com uso de balancim foi modelada a partir da classe de objeto parede. A macro operação de execução de friso no emboço foi modelada a partir da classe de objeto de requadro.

Figura 44: Macro operações de execução de requadro, emboço externo com uso de balancim, frisos no emboço e pintura de frisos.



Fonte: O autor

Cabe ressaltar que os requadros, no entorno das janelas, não foram modelados a partir da classe de objeto de requadro. Para tal, seria necessário modelar os contramarcos primeiro, em seguida, os requadros e somente depois inserir as janelas. Desse modo, o vão para a instalação da janela deveria ser alguns centímetros maior do que as dimensões das janelas. Contudo, ao inserir a janela, a geometria dos objetos é ajustada automaticamente, descontando o vão da mesma, não ficando, desse modo, nenhuma folga para a inserção do requadro. Assim, o requadro em torno das janelas foi modelado a partir da criação de um parâmetro calculado inserido na classe de objeto janela. Como o requadro tem critérios diferentes para o levantamento de materiais (área) e mão de obra (comprimento), foi necessária a criação de dois parâmetros, um para o material e um para mão de obra. Para o cálculo de materiais foi necessário criar um parâmetro tipo texto, denominado Largura Req. Esq²⁴, para a inserção da largura do requadro na esquadria. A inserção desse dado foi manual. As regras foram programadas dentro do software, conforme apresenta a Figura 45.

²⁴ Largura do requadro das esquadrias. No software, o nome foi abreviado para facilitar a visualização deste parâmetro no monitor.

Figura 45: Modelagem dos requadros das esquadrias.

Propriedades

Janela de correr - 2 Painéis
Janela de correr - 2F - 150 x 120

Janelas (1) Editar tipo

Restrições

Nível Pav 2

Altura do peitoril 105,000 cm

Gráficos

@ atividade Esq Alumínio - Fach...

Texto

Setor Borda

Nome de projeto J3

Requadro Esquadria EXTERNO

Largura Req. Esq. 14,000 cm

@ Requadro Lateral Direita Cinza Claro

@ Requadro Lateral Esquerda Cinza Escuro

@ Requadro Superior Branco

Dados de identidade

Imagem

Comentários

Marca 399

Opção de desenho Modelo principal

Valor calculado

Nome: c@Requadro Emboço (MO)

Fórmula: $Largura + 2 * Altura$

Valor calculado

Nome: c@Requadro Emboço (MAT)

Fórmula: $Largura\ Req.\ Esq. * [c@Requadro\ Emboço\ (MO)]$

Campos tabelados (na ordem):

- Largura
- Altura
- @ Requadro Superior
- @ Requadro Lateral Esquerda
- @ Requadro Lateral Direita
- Largura Req. Esq.
- Nível
- @ atividade
- c@Verga
- c@Imp. Contramarco
- c@Requadro Emboço (MO)
- c@Requadro Emboço (MAT)
- c@Pingadeira (MO)
- c@Pingadeira (MAT)

Largura é inserida em cada uma das janelas, conforme projeto.

Fonte: O autor

A macro operação de instalação de contramarco não foi modelada. Não havia uma classe de objeto específica de contramarco, apenas para a janela instalada completa. O quantitativo dessa macro operação foi extraído da planilha de apoio, considerando-se a mesma área das janelas.

A macro operação de assentamento de pingadeira tem como critério de pagamento da mão de obra o comprimento. Já, os materiais utilizam a área como critério de para o cálculo da quantidade de materiais a serem adquiridos. A modelagem dessa macro operação pode ser feita a partir da classe de objetos de requadro. Contudo, optou-se por não modelar as pingadeiras a partir de objetos, com o intuito de simplificar a modelagem. Assim, foram criados parâmetros com regras de cálculo pré-determinadas para calcular o quantitativo de mão de obra e de material. Isto foi feito a partir da classe de objetos de janelas. A mão de obra é medida pelo comprimento da pingadeira de granito, que é proporcional à largura da janela, acrescido de 2cm de cada lado devido ao embutimento no emboço. O cálculo de material depende do comprimento e da largura da peça de granito. A largura das peças foi definida com uma medida padrão de 20cm. Isso foi possível porque a espessura de todas as paredes de borda, onde ficam as esquadrias, possui a

mesma largura (14cm). A partir disso, foram criados dois parâmetros para a pingadeira, conforme mostra a Figura 46.

Figura 46: Modelagem da macro operação de assentamento de pingadeira.

The image displays two side-by-side screenshots of a software dialog box titled "Valor calculado".

The left dialog box has the following fields:

- Nome:
- Radio buttons: Fórmula, Percentual
- Disciplina:
- Tipo:
- Fórmula:
- Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

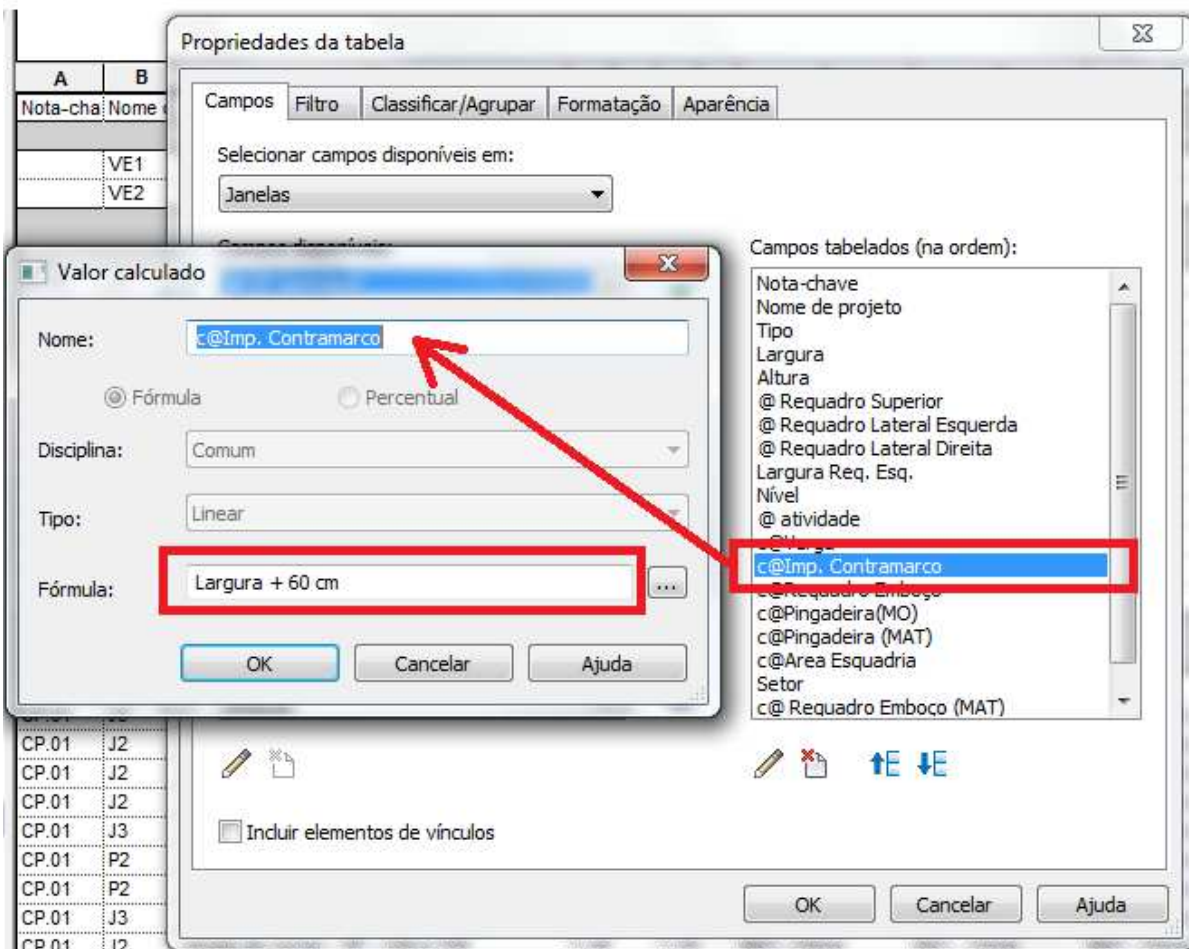
The right dialog box has the following fields:

- Nome:
- Radio buttons: Fórmula, Percentual
- Disciplina:
- Tipo:
- Fórmula:
- Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: O autor

A macro operação de impermeabilização de contramarco foi modelada a partir de parâmetro com regras de cálculo pré-determinadas. Havia um padrão na construtora, de impermeabilizar a largura e 30 cm da parte vertical das laterais dos vãos da janela. A Figura 47 apresenta a modelagem das regras para calcular os quantitativos de tais macro operações.

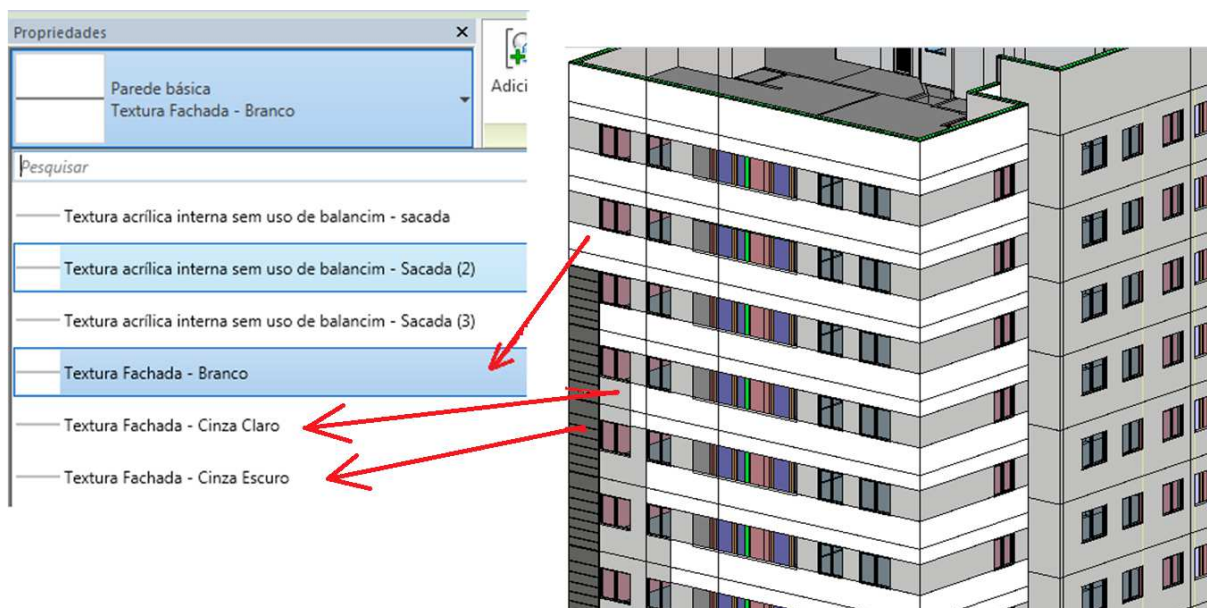
Figura 47: Modelagem da macro operação de assentamento de contramarco de alumínio



Fonte: O autor

A macro operação de textura com uso de balancim da fachada foi modelada a partir da classe de objeto paredes. O projeto apresentava três cores, necessitando, assim, que se diferenciasse essa macro operação por especificação de cor para que se obtivesse os quantitativos de materiais para cada uma delas. Desse modo, foram criadas três instâncias de objetos para representar cada cor, conforme mostra a Figura 48.

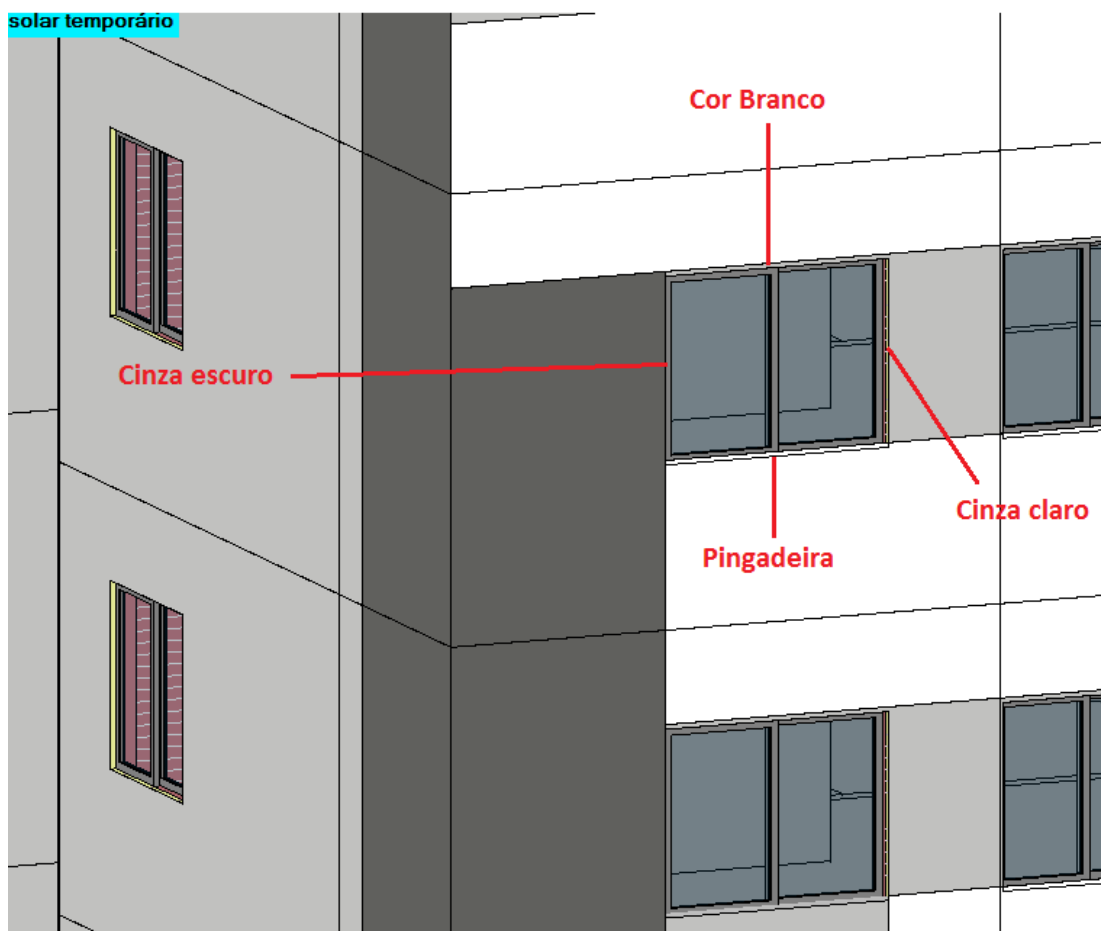
Figura 48: Modelagem da macro operação textura com uso de balancim.



Fonte: O autor

Para a macro operação de requadro de pintura em torno da esquadria, foram criados parâmetros tipo texto. Não há uma regra para as cores ou para o tipo de materiais aplicados em cada lado da janela. Há possibilidade de aplicação de cores diferentes em torno das janelas ao longo da fachada, conforme mostra a Figura 49. Assim, como na parte inferior havia uma pingadeira, foram criados três parâmetros, um para cada aresta, as duas laterais e a superior, de forma que o modelador indique a cor a ser pintada em cada aresta. A Figura 50 mostra os parâmetros tipo texto criados para a modelagem dessa macro operação.

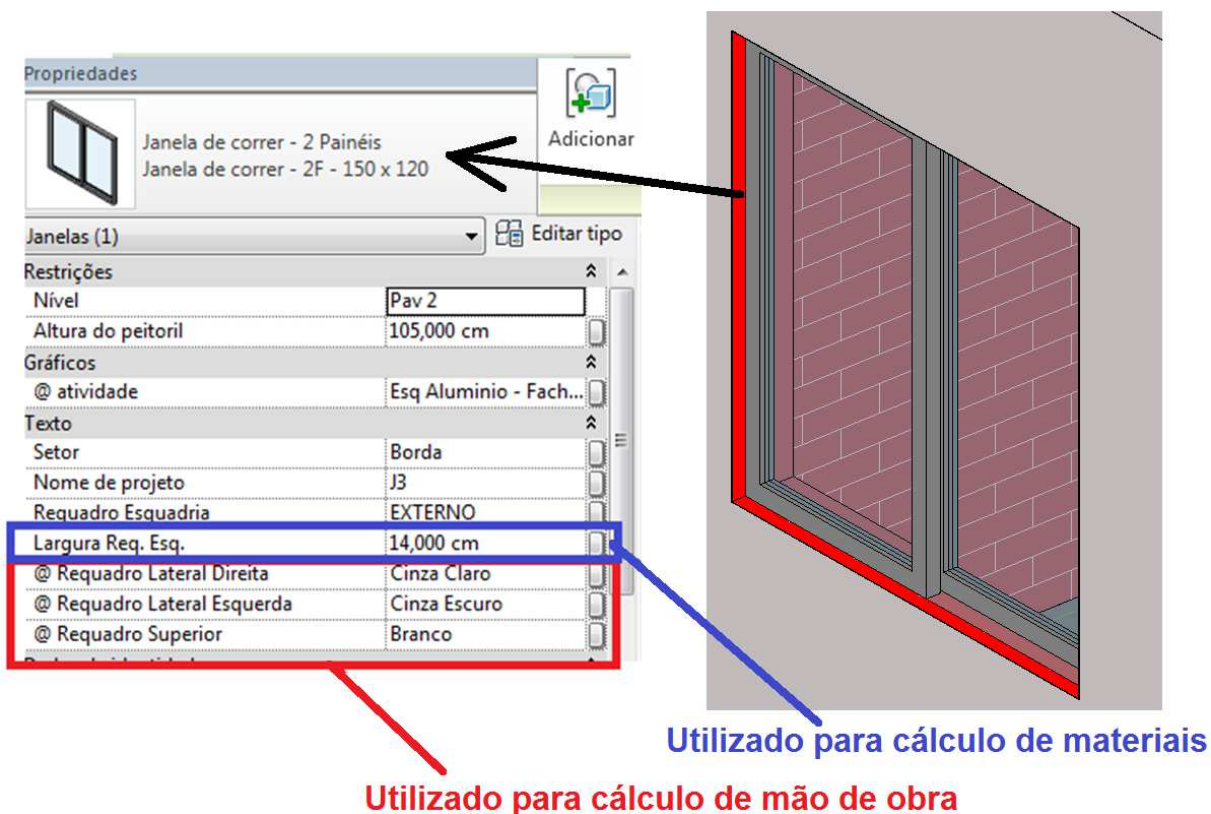
Figura 49: Possibilidade de cores em torno das esquadrias.



Fonte: O autor

A macro operação de pintura de requadro tem considerações diferentes para o levantamento de materiais (área) e de mão de obra (comprimento das arestas). A área depende da largura e comprimento do requadro. Desse modo, foi utilizado o parâmetro criado para inserir a largura de requadro, com base na qual é possível calcular a área de materiais. A Figura 50 mostra o parâmetro criado para o cálculo de materiais.

Figura 50: Modelagem da macro operação de pintura de requadros de janelas.

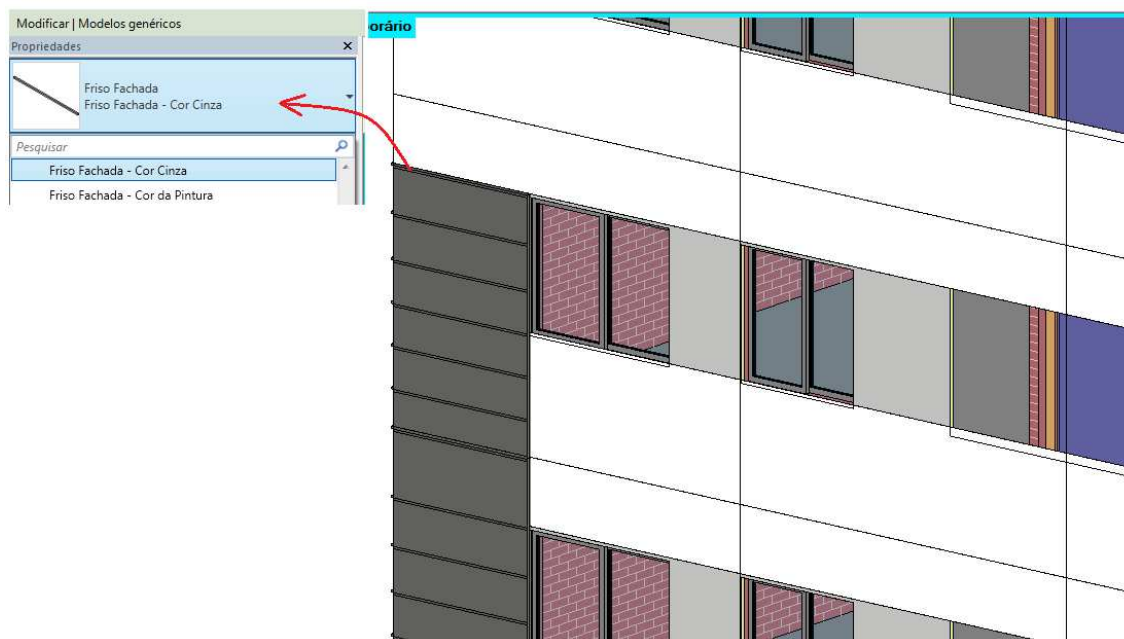


Fonte: O autor

Para facilitar o cálculo de quantitativo relativo aos materiais e à mão de obra, além de criar um parâmetro para especificar a cor, foi criado um parâmetro calculado dentro do objeto janela, que será apresentado nos resultados da extração de quantitativos.

A macro operação de pintura de friso não foi modelada e seu quantitativo era extraído diretamente da planilha de apoio, a partir de informações inseridas no objeto criado para representar a macro operação de friso no emboço. Como nem todos os frisos seriam pintados de cores diferentes da cor do pano, para identificar se o friso seria ou não pintado com cor diferenciada, foram criadas instâncias de objetos, colocadas no nome do objeto, que representavam o friso no emboço e indicavam se a macro operação era ou não pintada. Esse parâmetro foi utilizado como critério para o cálculo do quantitativo de pintura em frisos de fachada. A Figura 51 apresenta o nome dado ao objeto que representa os frisos que são pintados de cinza.

Figura 51: Modelagem da macro operações de pintura de frisos.



Fonte: O autor

5.3.2.3 Modelagem de informações de planejamento

A informação de programação das macro operações foi realizada por meio da criação de um parâmetro do tipo texto denominado “@ atividade”.

5.3.2.4 Compatibilização da modelagem parcial com os lotes de produção

Do mesmo modo que ocorreu no Estudo Empírico 1, o edifício foi modelado parcialmente e, para que a extração de quantitativos fosse feita de acordo com os lotes de produção estabelecidos para a programação, foi proposto um sistema de classificação.

Na tabela de quantitativo do software, não é possível identificar quais paredes são de borda e quais são internas ao pavimento. Considerando-se que em um pavimento a alvenaria pode ser modelada completa e nos demais pavimentos ser modelada somente as paredes das bordas, foi criado um parâmetro denominado Setor para possibilitar a identificação do posicionamento das paredes nos pavimentos, na tabela de quantitativos extraída pelo REVIT®. Ao inserir o classificador nos objetos, este aparece na tabela de quantitativos. Cada classificação possui um coeficiente a ser aplicado no quantitativo da respectiva

parede, a fim de se obter o quantitativo conforme o lote de produção. O Quadro 17 apresenta os classificadores de cada setor e os respectivos coeficientes.

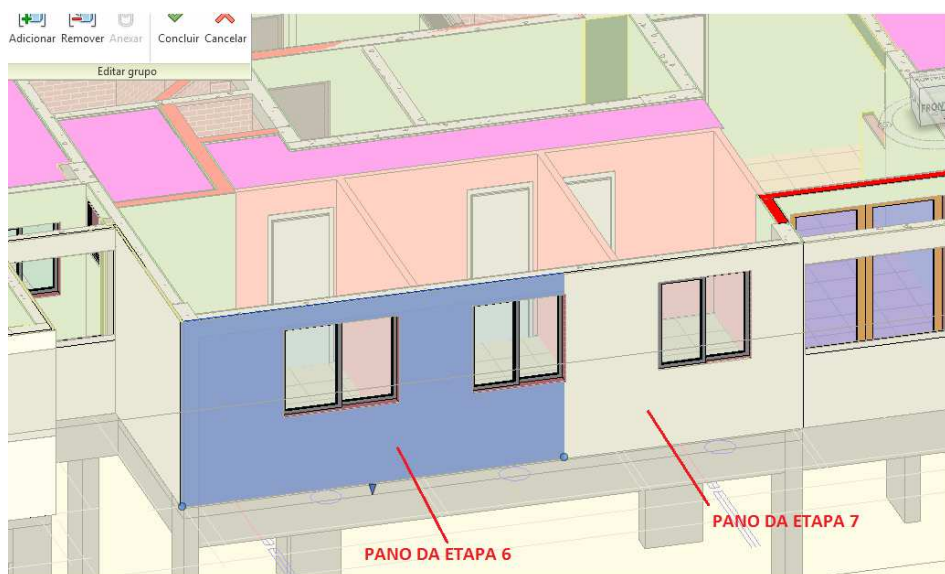
Quadro 17: Coeficientes para o cálculo de quantitativos de acordo com os lotes de produção do Estudo Empírico 2.

Setor	Classificador a ser inserido no campo Setor	Coeficiente de multiplicação	Estratégia de modelagem
Área privativa dos apartamentos	Apt Tipo	1	modelado 1 pavimento (exceto bordas)
	Pav Tipo	1	modelado 1 pavimento
Hall do elevador e escadaria	Area Comum	12	modelado o Hall de 1 pavimento
	Area Comum - Torre	1	modelada a torre inteira (todos os pavimentos)
Fachada	Borda	0,083 (1/nº pav tipo)	só elementos da borda
	Fachada	1	Fachada Toda
	Etapa 1	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 2	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 3	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 4	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 5	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 6	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 7	1	conforme o pano da fachada
	Etapa 8	1	conforme o pano da fachada
Etapa 9	1	conforme o pano da fachada	
Cobertura	Cob	1	modelada a cobertura completa (platibanda, casa de máquinas, caixa d'água, barriete)

Fonte: O autor

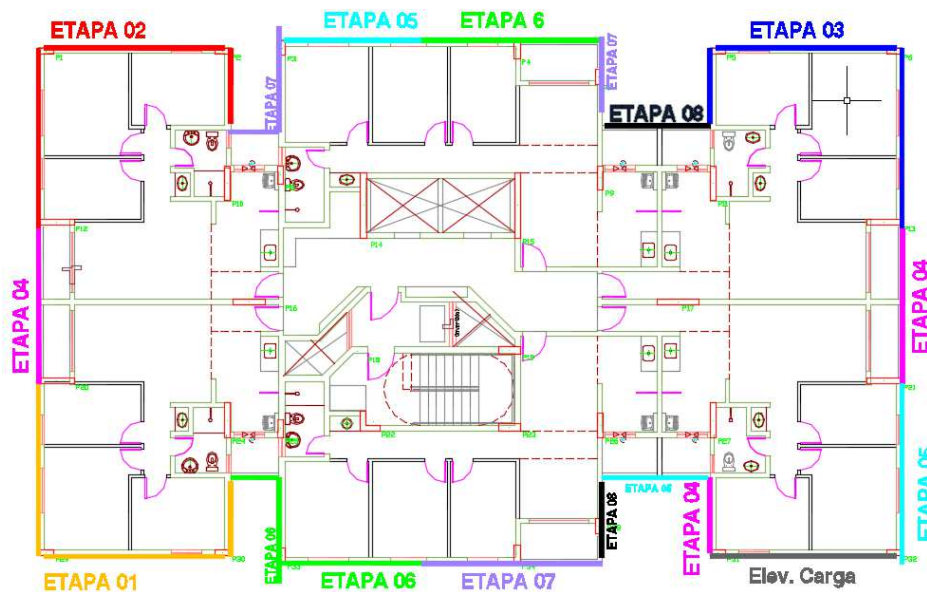
No caso da fachada, é preciso segregar os elementos em etapas, conforme a sequência de execução dos panos. A Figura 52 mostra a divisão de panos das etapas 6 e 7. A Figura 53 apresenta o plano inicial de execução do emboço da fachada em etapas.

Figura 52: Divisão do emboço da fachada em etapas.



Fonte: O autor

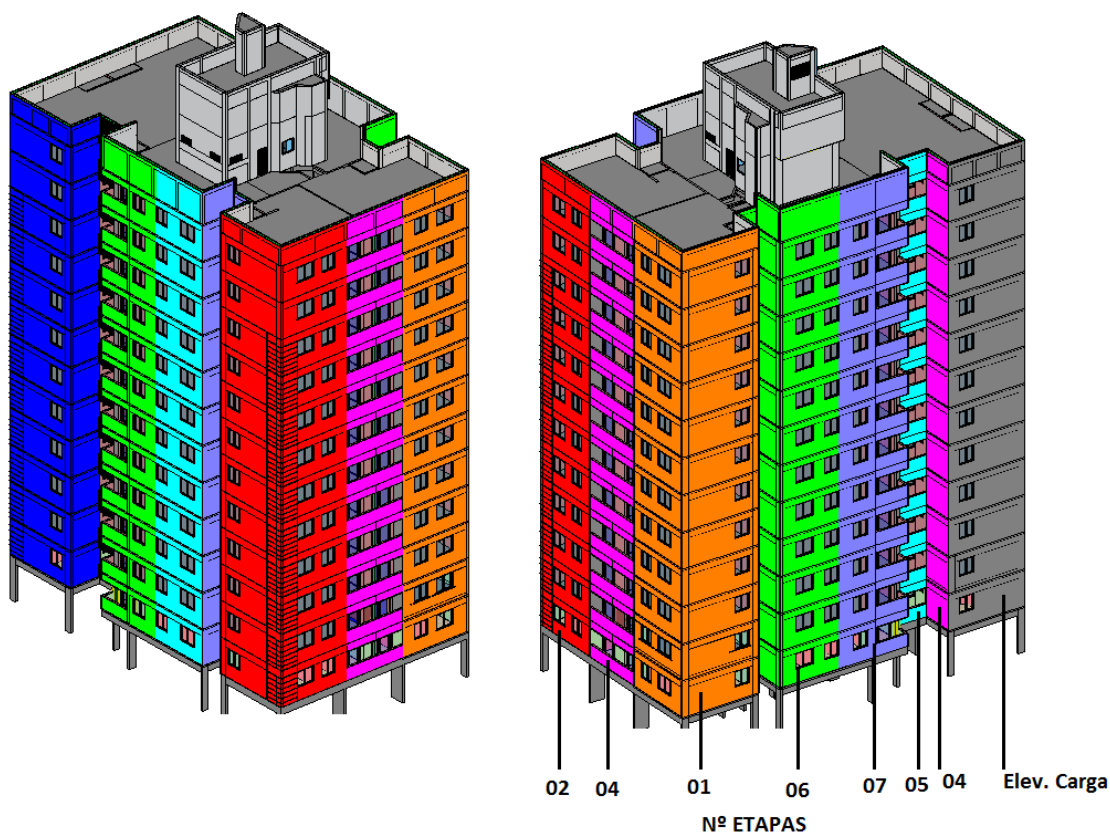
Figura 53: Planejamento da execução do emboço da fachada em etapas conforme panos de execução.



Fonte: Empresa A

A Figura 54 apresenta o emboço da fachada modelado conforme as etapas de execução.

Figura 54: Fachada modelada de acordo com as etapas do emboço.



Fonte: O autor

5.3.2.5 Extração de quantitativos das macro operações conforme critérios adotados pela construtora

Neste estudo empírico, uma parte das macro operações foi modelada a partir de parâmetros tipo texto e de parâmetros calculados com regras pré-determinadas. Desse modo, a extração de quantitativos exigiu a elaboração de uma planilha de apoio. Essa planilha foi elaborada no *Excel*.

Observou-se que os parâmetros criados para inserção de informação de programação (@Atividade) e para compatibilização entre o que foi modelado e o lote de produção (Setor) constituem a base para que o quantitativo das macro operações do orçamento possa ser extraído de acordo com o seu momento de execução.

A planilha de apoio foi elaborada pela inserção das tabelas de quantitativos, das classes de objetos extraídas do REVIT® nas respectivas abas, conforme mostra a Figura 55.

Figura 55: Estruturação geral da planilha de apoio.

	A	B	C	D
356	<Tabela de multi-categorias>			
359	<Tabela de piso>			
362	<Tabela de parede 2>			
365	<Tabela de porta>			
368	<Tabela de janela 2>			
377				
378				

Fonte: O autor

Cada aba da planilha de apoio foi organizada em duas partes: (a) tabela de quantitativos proveniente do REVIT[®] e (b) tabela de cálculos de quantitativos personalizados.

Na parte de cálculo de quantitativos personalizados, foram colocados os nomes das macro operações nas colunas e seus quantitativos foram calculados de acordo os lotes de produção. O cálculo é feito por fórmulas simples do *Excel*, que retiram os dados na parte onde a tabela proveniente do REVIT[®] foi inserida. Esse procedimento permite que os cálculos das quantidades das macro operações sejam realizados automaticamente quando a tabela de quantitativos do REVIT[®] é atualizada. Desse modo, se o modelo sofrer alterações, não é necessário refazer os cálculos. A Figura 56 apresenta essa estruturação da planilha de apoio.

Figura 56: Estruturação das abas da planilha de apoio.

TABELA DE QUANTITATIVO EXTRAÍDA PELO REVIT						CÁLCULO DAS MACRO OPERAÇÕES				
Objeto Instanciado	Parâmetro 01	Parâmetro 02	Parâmetro 03	...	Parâmetro n	Macro operação 01	Macro operação 02	Macro operação 03	...	Macro operação 04
Objeto 1										
Objeto 2										
Objeto 3										
...										
Objeto n										

Uso de fórmulas para buscar dados na tabela de quantitativo extraída pelo Revit

Fonte: O autor

A Figura 57 apresenta a tabela de quantitativos extraída do REVIT®.

Figura 57: Tabela de quantitativos de paredes extraídos pelo REVIT®.

B	C	D	E	F	G	M
Tipo	Largur	Comprimento	Altura desconecta	Área	Setor	@ atividade
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	7,83	2,880	14,181	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	2,725	2,880	7,373	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	1,52	2,880	3,713	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	1,1	2,880	2,781	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	1,86	2,880	4,740	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	0,855	2,880	2,177	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	2,63	2,880	7,373	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	2,687	2,880	5,916	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	1,365	2,880	3,258	Apt Tipo	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	5,5	2,880	9,300	Borda	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	5,37	2,880	10,804	Borda	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	3,79	2,880	8,104	Borda	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	1,63	2,880	2,557	Borda	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	3,67	2,880	7,990	Borda	Alvenaria Tipo
Alvenaria de bloco cer. furado 1 vez (e=14cm) c	0,140	7,59	2,880	12,625	Borda	Alvenaria Tipo
Alvenaria de tijolo furado 1/2 vez (e=12cm) - Cob	0,120	0,834	3,870	3,101	Cob	Alvenaria - Cob
Alvenaria de tijolo furado 1/2 vez (e=12cm) - Cob	0,120	1,484	3,870	4,647	Cob	Alvenaria - Cob

Fonte: O autor

Foram realizados quatro tipos de extração de quantitativos a partir de: (a) objetos; (b) parâmetros tipo texto; (c) parâmetros calculados; e (d) planilha de apoio (itens que não foram modelados e tiveram seus quantitativos calculados diretamente nesta planilha).

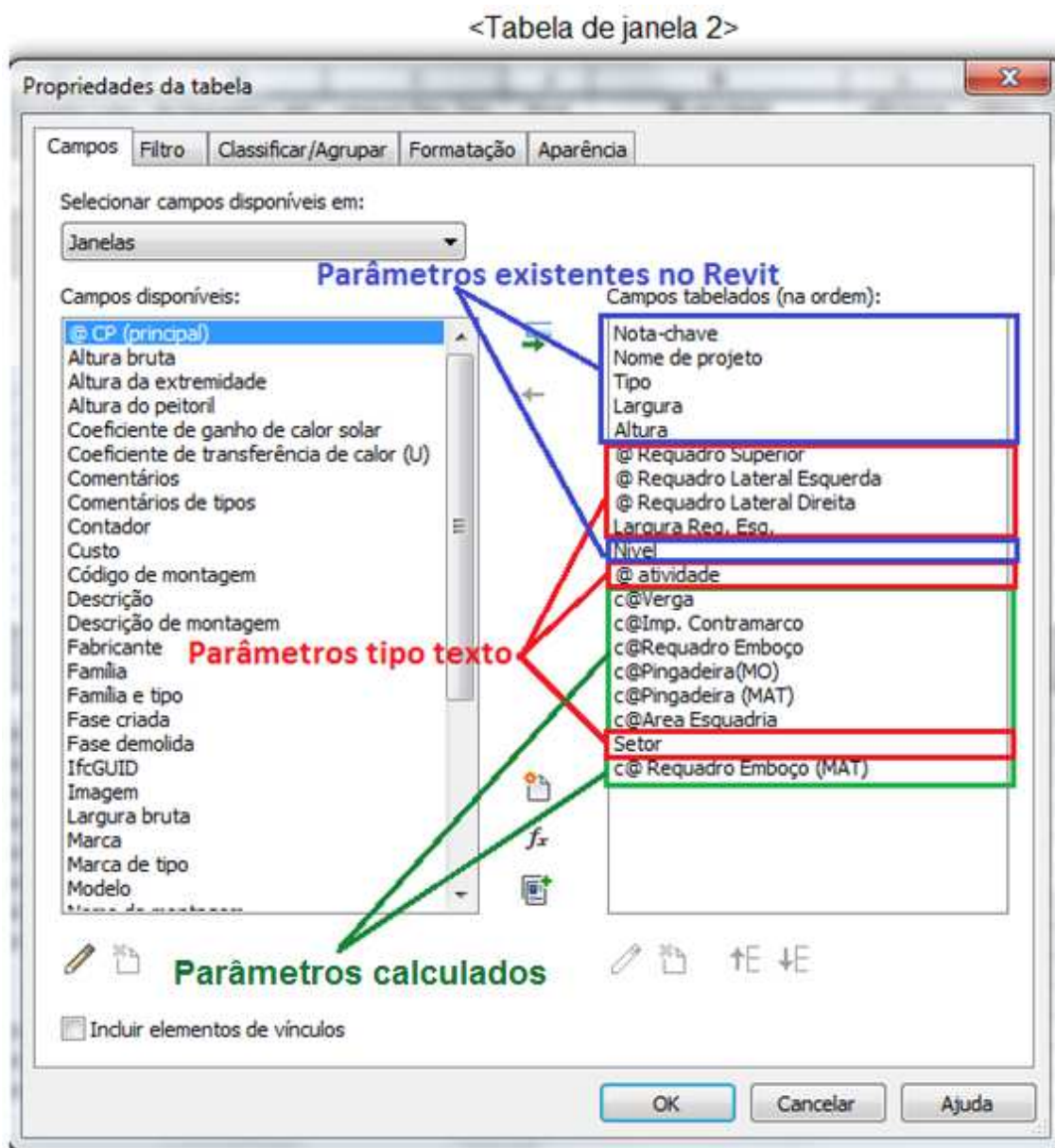
O Quadro 18 apresenta: (a) as macro operações; (b) tipo de extração do quantitativo; e (c) classe de objeto a partir da qual as macro operações foram modeladas.

Quadro 18: Macro operações de acordo com dados de extração de quantitativos das tabelas da classe de objeto.

Nº	MACRO OPERAÇÕES	TIPO DE EXTRAÇÃO	TABELA DE CLASSE DE OBJETO QUE CONTÉM OS DADOS PARA EXTRAÇÃO
1	Execução de prumo da fachada	-	-
2	Instalação de esquadria alumínio	Objeto	Janela
3	Execução requadros em torno das esquadrias (material)	Parâmetro calculado	Janela
4	Execução requadros em torno das esquadrias (mão de obra)	Parâmetro calculado	Janela
5	Assentamento de pingadeira (material)	Parâmetro calculado	Janela
6	Assentamento de pingadeira (mão de obra)	Parâmetro calculado	Janela
7	Proteção de pingadeira	Parâmetro calculado	Janela
8	Impermeabilização de contramarco	Parâmetro calculado	Janela
9	Fabricação de vergas e contra-vergas	Parâmetro calculado	Janela
10	Instalação de vergas e contra vergas	Parâmetro calculado	Janela
11	Pintura de requadros da esquadria	Parâmetro tipo texto	Janela
12	Instalação de contramarco	Direto na planilha de apoio	Janela
13	Elevação de alvenaria	Objeto	Parede
14	Fixação de tela de entre estrutura e alvenaria	Objeto	Parede
15	Emboço externo com uso de balancim	Objeto	Parede
16	Instalação de rede de proteção de fachada	Objeto	Parede
17	Textura com uso de balancim	Objeto	Parede
18	Fixação de alvenaria	Parâmetro tipo texto	Parede
19	Chapisco de fachada	Direto na planilha de apoio	Parede
20	Marcação de alvenaria	Direto na planilha de apoio	Parede
21	Chapisco rolado entre estrutura e alvenaria	Objeto	Requadro
22	Execução de requadros (mão de obra)	Objeto	Requadro
23	Execução de requadros (Materiais)	Objeto	Requadro
24	Execução de friso no emboço	Objeto	Requadro
25	Execução de junta de dilatação	Objeto	Requadro
26	Pintura de frisos	Direto na planilha de apoio	Requadro

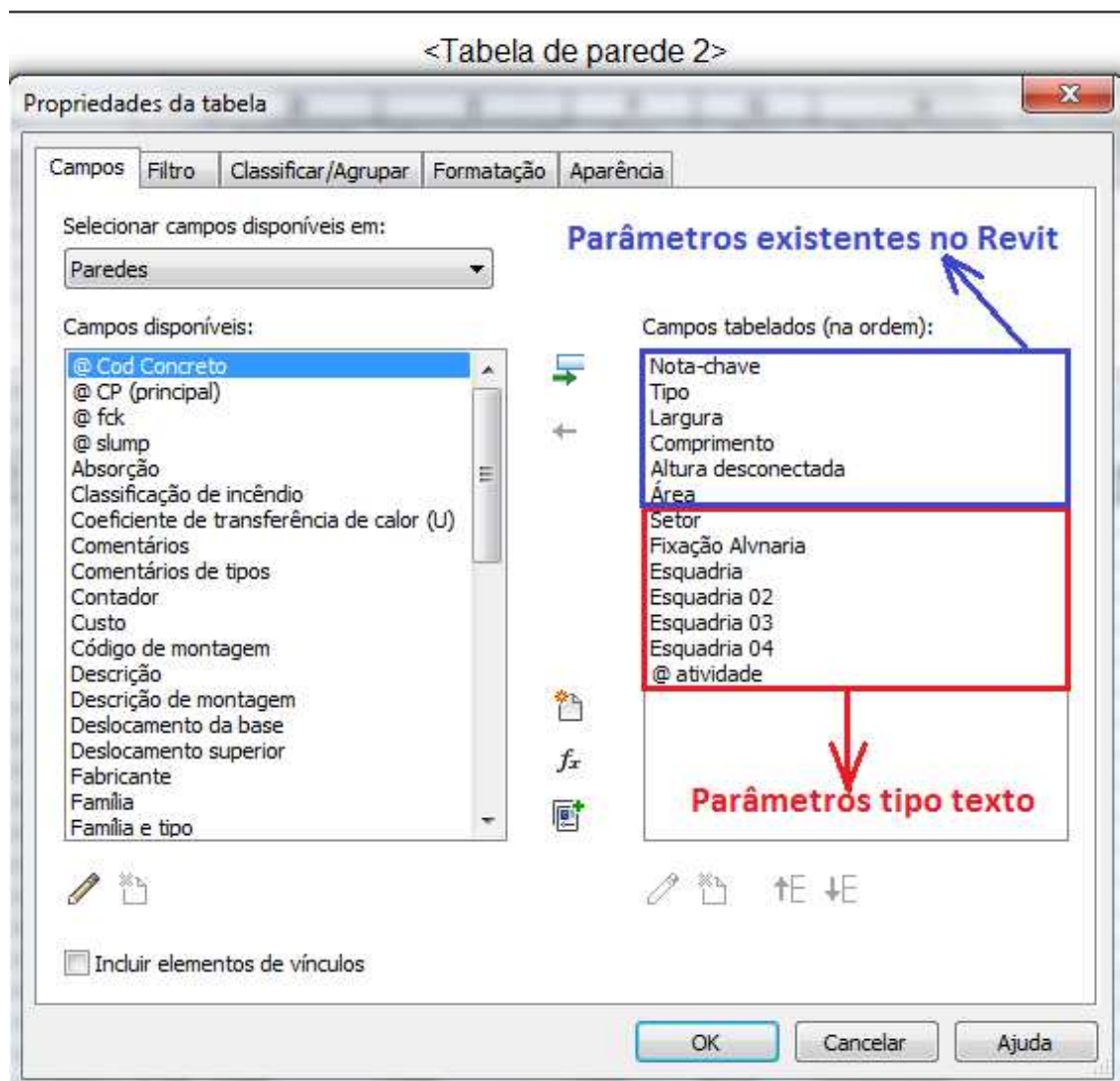
As Figuras 58, 59 e 60 apresentam os parâmetros utilizados para a extração dos quantitativos por classe de objetos. Os parâmetros calculados e tipo texto foram criados pelo modelador para a presente pesquisa.

Figura 58: Parâmetros extraídos do REVIT® para a classe de objetos janela.



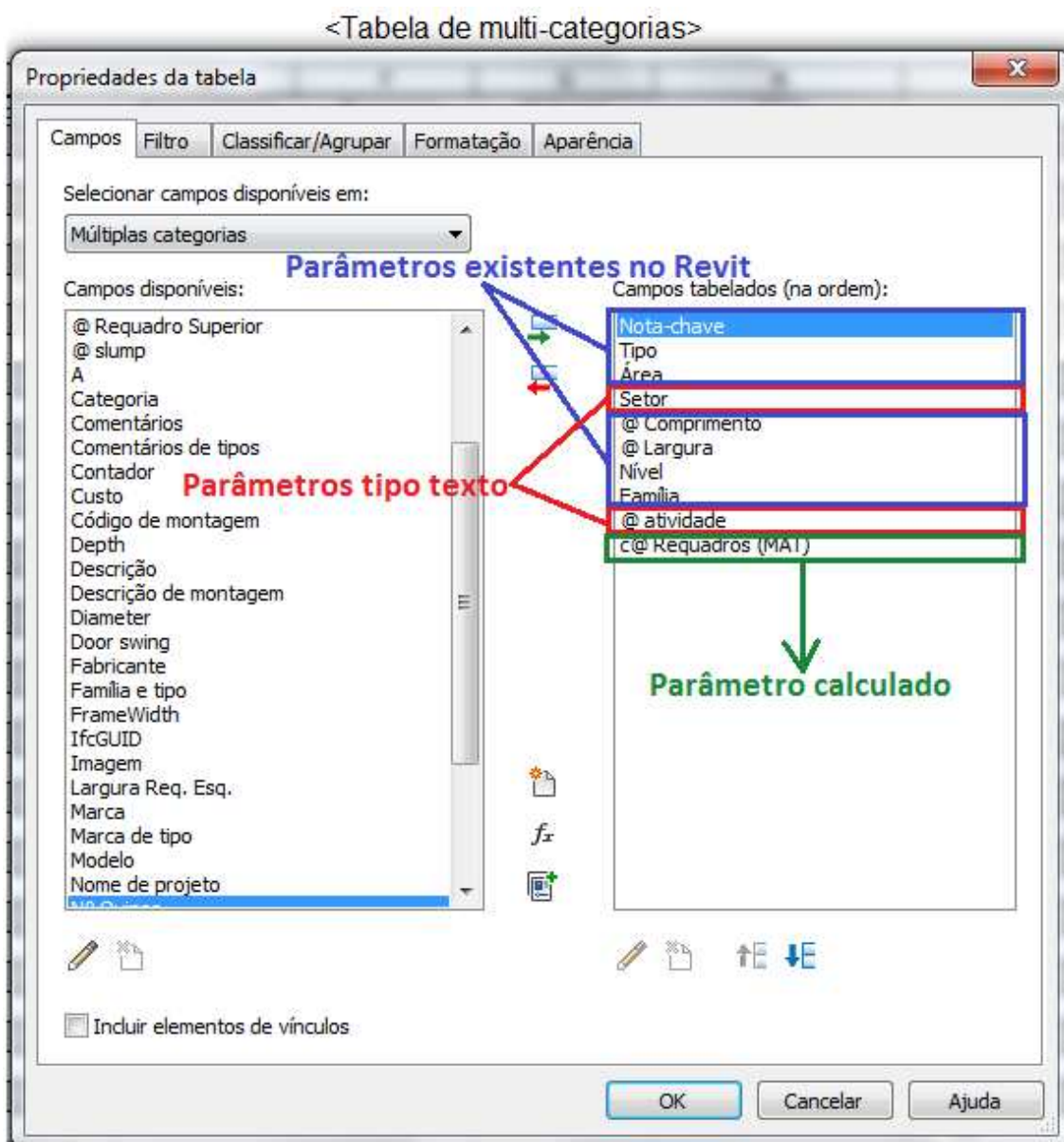
Fonte: O autor

Figura 59: Parâmetros extraídos do REVIT® para a classe de objeto parede.



Fonte: o Autor

Figura 60: Parâmetros extraídos do REVIT® para a classe de objetos requadro.



Fonte: O autor

Nos casos em que os critérios de cálculo de quantitativo do software são os mesmos do critério utilizado pela construtora, a extração de quantitativos das macro operações modeladas a partir de um objeto é feita de forma direta na própria tabela do REVIT®. Caso contrário, é necessário calcular os quantitativos de forma personalizada na planilha de apoio.

As macro operações modeladas a partir de parâmetros texto e calculado ficam dependentes do lote de produção do objeto no qual os parâmetros foram inseridos. Assim, a macro operação modelada a partir de parâmetros deveria ter o

lote de produção igual ao da macro operação representada pelo objeto no qual essa informação é inserida.

Isso foi observado no requadro de esquadrias, que deveria seguir o lote de produção do emboço, o qual era por etapa (pano). O requadro da esquadria foi modelado a partir de parâmetro calculado, inserido na classe de objetos “janela”. Essa classe de objeto de janelas representa a macro operação de instalação de esquadrias de alumínio, cujo lote de produção é a fachada. Assim, no campo Setor, é inserido o classificador chamado fachada, em vez do classificador da macro operação de requadro da esquadria, que é a etapa (pano). Com isso, a macro operação de requadro é apresentada na tabela de quantitativos do REVIT®, com o lote de produção fachada, sem parâmetros para que o cálculo de seu quantitativo seja realizado por etapa.

Uma solução para tal ocorrência é a criação de um parâmetro tipo texto, específico para a macro operação de requadro, que possibilite a inserção do respectivo lote de produção.

No caso das macro operações que têm seus quantitativos extraídos diretamente da planilha de apoio, foi observado que conforme a quantidade de macro operações de mesma espécie aumenta, o cálculo fica mais complexo e necessita de campos auxiliares, o que aumenta o volume de dados da planilha de apoio. A Figura 61 apresenta os cálculos dos quantitativos da macro operação marcação de alvenaria. Os comprimentos das marcações foram calculados a partir dos comprimentos das paredes representadas pelas macro operações de elevação de alvenaria. Assim, nas colunas AC, AD e AE da planilha, os nomes das elevações de alvenarias foram repetidos a fim de obter o comprimento total de cada tipologia de alvenaria, ou seja, diferenciando as espessuras das marcações. As colunas de X a AB buscam os comprimentos das esquadrias contidas nas respectivas paredes, a fim de que o quantitativo da marcação de alvenaria seja obtido descontando os vãos das portas.

Figura 61: Quantitativo da macro operação de marcação de alvenaria

	Cálculo Marcação de Alvenaria)				MARCAÇÃO DE ALVENARIA	ELEVAÇÃO DE ALVENARIA
	Desconto da largura da Esquadria 1	Desconto da largura da Esquadria 2	Desconto da largura da Esquadria 3	Largura total	Alvenaria de bloco cerâmico furado (e=14cm) com argamassa pre-misturada - Tipo	Alvenaria de bloco cerâmico furado (e=14cm) com argamassa pre-misturada - Tipo
TOTAIS (uso de fórmulas para sumarização):						
Pav. Tipo	11.28			11.28	134.58	330.52
Hall elevador e escadaria	0	0	0	0.00		0
Fachada	0	0	0	0.00	0	0
Cobertura	0	0	0	0.00	0	0
QUANTIDADES EXTRAÍDAS DAS TABELAS DO REVIT (conforme sistema de classificação):						
Apt Tipo	0	0	0	0.00	17.71	48.25
Pav Tipo	0	0	0	0.00	0	0
Borda	135.36	0	0	135.36	1537.79	3387.20
Area Comum	0.00	0	0	0.00	0	0
Fachada	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 1	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 2	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 3	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 4	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 5	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 6	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 7	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 8	0	0	0	0.00	0	0
Etapa 9	0	0	0	0.00	0	0

Fonte: O autor

Nos casos em que os critérios de levantamento de materiais e de mão de obra são diferentes, é necessário fazer cálculos diretos na planilha, independentes do tipo de extração. Isto ocorre porque o REVIT® extrai os quantitativos a partir de uma única regra para cada classe de objeto.

5.3.3 Avaliação do Estudo Empírico 2

A quantificação foi possível para todas as macro operações modeladas, sendo necessário, entretanto, o uso de uma planilha de apoio. Foram criados parâmetros calculados para macro operações que tinham seus quantitativos

proporcionais às variáveis geométricas da respectiva classe de objeto, a partir da qual a macro operação era modelada. Além disso, eram necessárias regras fixas de cálculo entre as variáveis geométricas da classe de objeto e da macro operação, como por exemplo, no caso da Impermeabilização da pingadeira que, independentemente do tamanho da janela, tinha seu quantitativo obtido somando a largura da janela com 30 cm de cada lado da esquadria.

Algumas macro operações continham variações que dependiam de particularidades do projeto do edifício, como, por exemplo, variação do tipo de fixação de alvenaria (argamassa com aditivo expensor, poliuretano expandido ou tijolo maciço) e da cor da pintura do requadro das laterais verticais das janelas da fachada. A modelagem destas macro operações por meio de objetos é complexa e não há uma lógica no projeto, capaz de ser automatizada para o cálculo dos respectivos quantitativos. Desse modo, não é possível retratar que todos os requadros do lado esquerdo de uma prumada de janela serão pintados na cor cinza, pois essa cor varia ao longo dos pavimentos, conforme o projeto. Assim, a modelagem foi feita inserindo-se dados de forma manual, de acordo com a característica encontrada em cada situação do projeto, a partir de parâmetros tipo texto. As macro operações que têm quantitativos exatamente iguais aos de outras macro operações ou que dependem de cálculos personalizados, com base em diferentes critérios de levantamento de quantitativos, tiveram seus quantitativos calculados diretamente na planilha de apoio.

Apenas as macro operações modeladas a partir de objetos puderam ser visualizadas a partir de elementos de representação 3D. Entretanto, mesmo que a modelagem tenha sido feita a partir de objetos, se o critério para a quantificação utilizado pela construtora for diferente do critério utilizado pelo software, serão necessários cálculos na planilha de apoio. Isso foi observado na macro operação de textura com uso de balancim. Os critérios de quantificação de área para a compra de materiais eram os mesmos utilizados pelo software (desconto de todos os vãos, independente, do tamanho). O cálculo da área de pintura, para o pagamento de mão de obra, considerava o desconto de vãos com área superior a dois metros quadrados. Assim, foi necessário calcular esses quantitativos na planilha de apoio. Nesse caso, a extração de quantitativos da macro operação de textura com uso de balancim foi considerada como indireta.

A modelagem por meio de parâmetros tipo texto favorece erros no cálculo dos quantitativos, pois a inserção dos textos ocorre de forma manual, o que pode prejudicar a precisão dos quantitativos. Os parâmetros tipo texto funcionam como classificadores ou códigos-chave para serem usados nas fórmulas que fazem os cálculos de quantitativos na planilha de apoio. O cálculo na planilha de apoio ocorre por meio de lógica (fórmulas), que faz as somas e multiplicações dos dados que contêm tal palavra, no campo de determinado parâmetro (coluna da tabela de quantitativo do REVIT®). Por exemplo, a somatória do comprimento das paredes com fixação de alvenaria do tipo argamassa comum, vai resultar na soma de todos os comprimentos das paredes que contêm o respectivo texto no parâmetro fixação de alvenaria. Por isso, se o modelador digitar o texto argamassa comum com algum caractere diferente, o respectivo comprimento não será contabilizado.

Por outro lado, o uso de parâmetros confere agilidade à modelagem, o que foi percebido na modelagem de requadros de janelas. Ao invés de modelar três objetos por janela (lateral direita, lateral esquerda e superior), o uso de um parâmetro calculado atrelado ao objeto janela calculou o perímetro e a área dos requadros das janelas automaticamente. O mesmo ocorreu nos demais parâmetros calculados, como no caso do cálculo da instalação das pingadeiras de granitos e da pintura dos requadros das janelas.

Além disso, o uso de parâmetros calculados reduz a chance de retrabalhos no caso de alterações geométricas do projeto. Como os cálculos ficam atrelados a parâmetros geométricos, como comprimento, altura e área, se estes mudarem, os cálculos de quantitativos serão atualizados automaticamente. Por exemplo, se o comprimento e a altura de uma janela for alterada, todos os quantitativos calculados por meio de parâmetros calculados a partir da geometria das janelas serão alterados automaticamente.

Caso se modele todas as macro operações como objeto, quando houver alterações, haverá retrabalhos, pois o software não possui objetos inteligentes, capazes de representar o comportamento real das macro operações, ou seja, o software não entende que, entre a elevação de alvenaria e a viga ou laje, precisa haver um elemento para a fixação da alvenaria. O mesmo ocorre com a falta de regras capazes de entender que, em torno das esquadrias, é necessário executar os requadros. Desse modo, se as macro operações de fixação de alvenaria e de

requadros das janelas forem modeladas a partir de objetos e houver modificação de geometria das vigas e das janelas, o software não adequará as geometrias dos objetos que dão origem a estas macro operações. Assim, os objetos são capazes de ser modelados, mas são estáticos e independentes de regras de relacionamento com os demais objetos. Desse modo, o uso de parâmetros personalizados (tipo texto ou calculado) é uma estratégia para deixar o processo de modelagem de orçamento operacional veloz e menos dependente de possíveis retrabalhos. Outra estratégia é o desenvolvimento de novas classes de objetos.

O uso de parâmetros para a modelagem de orçamento operacional requer uma análise para a identificação da classe de objeto que poderá representar a respectiva macro operação. Um dos critérios para tal é a análise da correlação de proporcionalidade geométrica dos quantitativos das macro operações e das classes de objeto. A partir dessa análise, é feita a identificação das classes de objetos a que os parâmetros, necessários para o cálculo de quantitativo das macro operações, deverão estar atrelados para a obtenção do respectivo quantitativo. Por exemplo, o quadro de janela, a instalação de pingadeiras e a pintura do quadro de janelas têm seus quantitativos proporcionais à geometria da classe de objeto de janelas. É necessário fazer uma observação, porém, quanto à análise do lote de produção, pois a extração do quantitativo da macro operação será feita em função do lote de produção do objeto pelo qual teve seu parâmetro modelado. Cabe ressaltar que todos os parâmetros tipo texto ficam atrelados ao objeto. Se o conteúdo desses parâmetros for diferente para a macro operação modelada a partir de parâmetros inseridos nos objetos, deve-se encontrar outra estratégia de modelagem.

Outro ponto importante observado foi que, em alguns casos, o uso de parâmetros não é suficiente para modelar e calcular os quantitativos das macro operações, como constatado no caso dos quadros. Observou-se, também, que a criação de novas classes de objetos é uma estratégia que simplifica a extração de quantitativos. No caso, por exemplo, dos quadros, o objeto teria que ser flexível o suficiente para modelar a macro operação de quadro, em qualquer eixo e plano, e extrair os quantitativos de comprimento em um parâmetro fixo. Contudo, é preciso investigar a possibilidade de criação de classes de objetos que representem o comportamento real das macro operações para que se possa automatizar a modelagem.

Ressalta-se, também, que a estratégia de modelagem por meio de parâmetros pode prejudicar a modelagem 4D, pois não haverá objetos para a análise de sequenciamento das macro operações. Um exemplo é a pintura dos quadros das janelas, que fica em um agrupamento de programação específica. Como não há objeto para representá-la, não será possível visualizá-la no cronograma 4D.

5.3.4 Considerações finais

A modelagem com o auxílio de parâmetros personalizados contribuiu para a automatização da extração de quantitativos das macro operações que têm suas geometrias proporcionais a alguma outra macro operação. Para tanto, foram necessárias algumas adaptações com a criação de parâmetros personalizados. Constatou-se, também, a necessidade de se criar novas classes de objetos, principalmente, para representarem as macro operações que dependem de mais de uma classe de objeto para sua modelagem. Além disso, foi necessário o desenvolvimento de uma planilha de apoio que, depois de elaborada, auxilia a automatização dos cálculos de quantitativos.

A modelagem por meio de parâmetros, entretanto, desfavorece o uso de BIM 4D por não representar todas as operações a partir de objetos. Por outro lado, mostrou-se capaz quando o objetivo for extrair quantitativos para o orçamento operacional.

A partir do Estudo Empírico 2, foram extraídas algumas diretrizes de modelagem de orçamento operacional que são apresentadas a seguir:

- definir se o objetivo da modelagem será apenas a extração de quantitativos para a elaboração do orçamento operacional ou se há intenção de modelagem 4D;
- definir uma estratégia de modelagem com base na estipulação do que será modelado (só um apartamento, um pavimento ou todos os pavimentos);
- identificar os lotes de produção para a extração de quantitativos das macro operações e criar regras para compatibilizar o que foi modelado com o respectivo lote de produção;

- identificar qual será o tipo de modelagem das macro operações (por objetos, parâmetros tipo texto, parâmetros calculados ou direto na planilha de apoio);
- identificar os tipos de parâmetros para os cálculos dos quantitativos das macro operações por classe de objetos;
- elaborar uma planilha de apoio, separando-se o local de inserção das tabelas do software e o local de cálculos e da sumarização por meio de fórmulas;

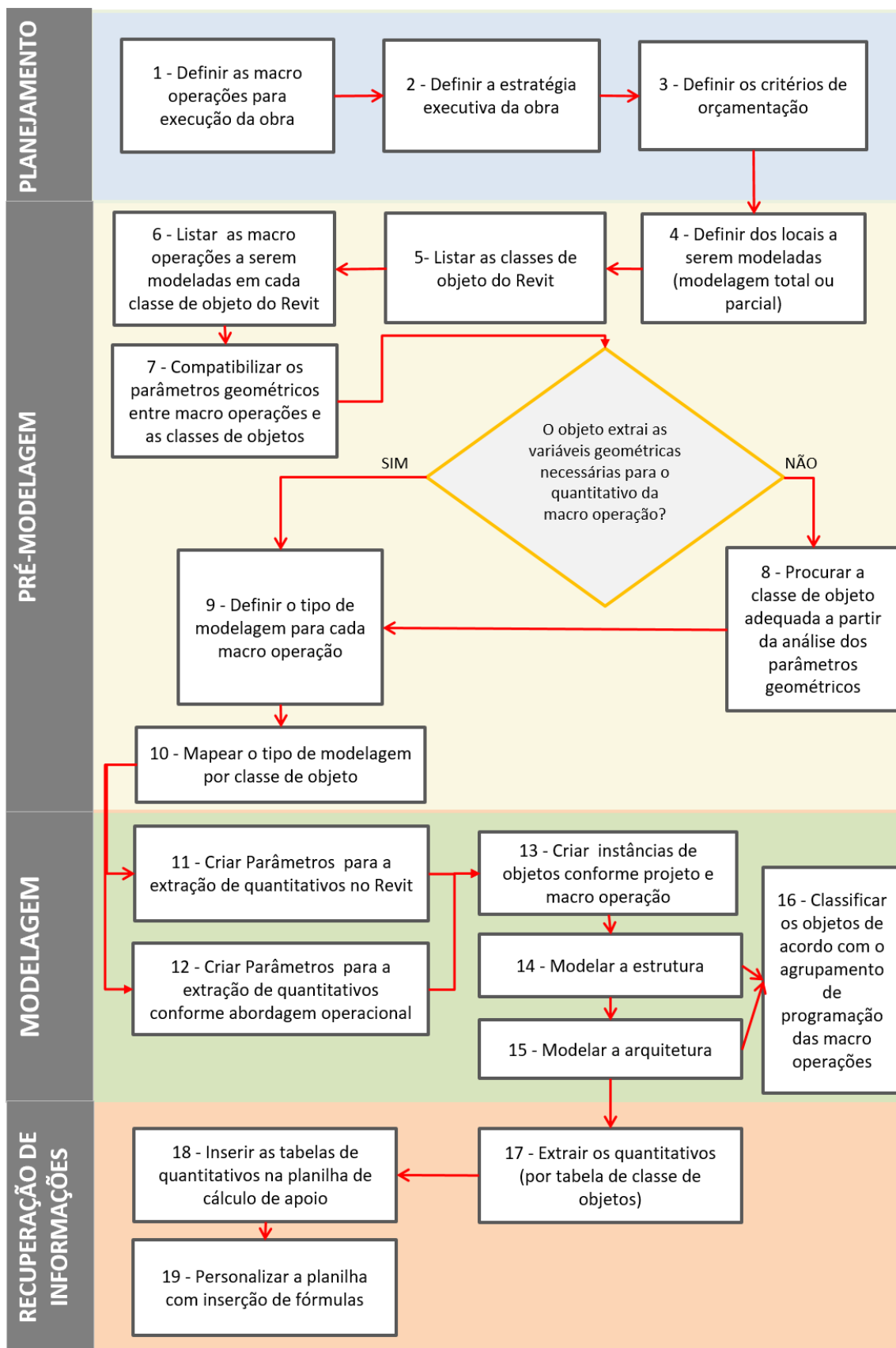
5.4 Proposta inicial do método de modelagem

O presente método de modelagem BIM para a elaboração de orçamento operacional foi desenvolvido especificamente, para uso do software REVIT®. O objetivo é o uso de BIM para a extração de quantitativos, conforme a abordagem operacional. Assim, propõe-se, por esse método, a modelagem das macro operações por meio de objetos e, preferencialmente, por meio de parâmetros personalizados, com o objetivo de otimizar tempo de modelagem e automatizar a extração de quantitativos.

O método foi estruturado em quatro etapas: (a) planejamento, (b) pré modelagem, (c) modelagem e (d) recuperação de informações.

Na etapa de planejamento, são levantadas as macro operações necessárias para a elaboração do orçamento e suas respectivas considerações de quantificação. A pré modelagem é a etapa na qual se define como as macro operações serão modeladas. A etapa de modelagem compreende a execução da modelagem. Na etapa de recuperação de informações os quantitativos são extraídos. A Figura 62 apresenta a estruturação do método. A seguir, as quatro etapas são detalhadas.

Figura 62: Estrutura inicial do método de modelagem BIM para elaboração de orçamentos operacionais.



5.4.1 Etapa 1: Planejamento

A etapa de planejamento, que é realizada à parte de BIM, divide-se em três sub etapas: (1) definição das macro operações para a execução da obra, (2) definição da estratégia executiva da obra (ou plano de ataque) e (3) definição dos critérios de quantificação de materiais e de mão de obra das macro operações.

Na sub etapa 1, é realizado um levantamento das macro operações necessárias para a execução da obra, levando-se em consideração seus aspectos operacionais. Em seguida, na sub etapa 2, a estratégia de execução da obra é definida (ou plano de ataque) assim como, a programação da obra. A última sub etapa da pré-modelagem é a identificação dos critérios de orçamentação de cada uma das macro operações. Nesta etapa, pode ser necessário realizar a distinção dos critérios de quantificação de material e de mão de obra, quando estes forem diferentes.

5.4.2 Etapa 2: Pré-modelagem

A etapa denominada pré-modelagem é a que define como cada macro operação será modelada no REVIT[®] e se a modelagem será total ou parcial. Esta etapa foi dividida em sete sub etapas: (4) definição dos locais a serem modeladas, (5) listagem das classes de objetos do REVIT[®], (6) listagem das macro operações a serem modeladas em cada classe de objetos do REVIT[®], (7) compatibilização dos parâmetros geométricos entre macro operações e classes de objetos, (8) identificação da classe de objeto adequada, a partir da análise dos parâmetros geométricos, (9) definição do tipo de modelagem para cada macro operação e (10) mapeamento do tipo de modelagem por classe de objeto.

Sub etapa 4

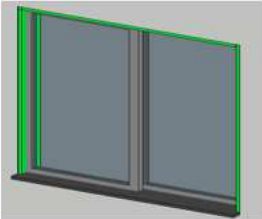
Primeiramente, na sub etapa 4, deve-se analisar se o edifício será modelado total ou parcialmente. O edifício pode ter todos os pavimentos modelados de modo completo, ou ter apenas um pavimento completo, sendo os demais modelados de forma parcial. Nos casos de modelagem parcial, para que a extração dos quantitativos seja realizada de acordo com o lote de produção é necessário fazer a correção dos quantitativos extraídos pelo software.

Sub etapa 5 e 6

Em seguida, na sub etapa 5, devem ser listadas as classes de objetos do software, para que, na sub etapa 6, se possa elaborar uma relação das macro operações que serão modeladas em cada uma das classes de objetos. Para tanto, deve-se verificar quais macro operações serão executadas no canteiro de obras, em cada uma das classes de objetos.

O Quadro 19, apresenta um exemplo do desenvolvimento da sub etapa 6.

Quadro 19 - Relação das macro operações a serem modeladas por classe de objetos do REVIT®.

OBJETOS GENÉRICOS DAS CLASSES DE OBJETOS DO REVIT	MACRO OPERAÇÕES A SEREM MODELADAS NOS OBJETOS
Classe de Objeto 1: Janela	
	Instalação de esquadrias
	Impermeabilização entre esquadria e pingadeira
	Requadro do emboço no contorno da esquadria
	Instalação de pingadeira
	Instalação de vergas e contra-vergas
 Atividade n
Classe de Objeto 2: Porta	
	Instalação de portas
	Pintura de portas
	Instalação de contra vergas
	...
	Atividade n
Classe de Objeto 3: Parede	
	Marcação de lavenaria
	Elevação de alvenaria
	Fixação de alvenaria
	Emboço
	Emassamento
	... Atividade n

Fonte: O autor

Sub etapa 7 e 8

Posteriormente, na subtapa 7, deve-se verificar se as macro operações listadas na sub etapa 6 poderão ser modeladas a partir das respectivas classes de objetos. O critério para essa definição é a análise das variáveis geométricas da classe de objeto. As variáveis geométricas referem-se ao tipo de medida requerida pela macro operação, como: volume, área, perímetro, comprimento, largura e altura. Assim, se a classe de objetos não extrair a mesma variável geométrica ou, pelo menos, variáveis pelas quais é possível calcular o quantitativo da macro operação, não será possível modelar tal macro operação a partir da classe de objeto. Nesse caso, será preciso passar para a sub etapa 8, quando será necessário redefinir uma classe de objeto adequada para essa macro operação. Se não houver nenhuma classe de objeto adequada, uma nova classe de objeto deverá ser desenvolvida.

Sub etapa 9

Identificada a classe de objeto que permita a modelagem da macro operação, deve-se escolher o tipo de modelagem em função dos tipos de extração de quantitativos. Isto significa representar a macro operação a partir de um objeto 3D ou a partir de parâmetros personalizados pelo modelador. A sub etapa 9 consiste em definir como as macro operações serão modeladas a partir de critérios de extração de quantitativos. Foram identificados quatro tipos de modelagem: (a) a partir de objetos, (b) a partir de parâmetros calculados, (c) a partir de parâmetros tipo texto e (d) a partir de cálculo direto na planilha de apoio. A seguir, são descritas algumas considerações sobre os tipos de modelagem.

Modelagem a partir de objetos

A modelagem a partir de objetos significa que a macro operação será representada por um objeto em 3D. Esse tipo de modelagem favorece a extração direta de quantitativos, quando o critério utilizado pelo software coincide com o critério de quantificação que a construtora emprega. Assim, para a escolha desse tipo de modelagem, é necessário verificar se isto é possível. Para tanto, deve-se realizar uma análise das variáveis geométricas, levando-se em consideração os seguintes passos: (a) a direção de modelagem do objeto; (b) as variáveis geométricas que o objeto extrai; e (c) os planos ou eixos a partir dos quais os quantitativos das variáveis geométricas são extraídos

A direção de modelagem do objeto refere-se ao plano vertical ou ao plano horizontal²⁵. Em alguns casos, a direção é dada por um eixo ao invés do plano, por exemplo, a classe de pilar só pode ser modelada na direção vertical, e a de vigas, em eixo horizontal. As variáveis geométricas referem-se à medida do quantitativo da macro operação, como volume, área, comprimento, largura e altura.

O plano ou eixo de extração de quantitativos diz respeito ao plano e ao eixo requeridos para a quantificação das variáveis geométricas da macro operação. Pode acontecer do objeto ser modelado no mesmo plano que a macro operação, mas a variável geométrica necessária para o quantitativo da macro operação ser extraída em um eixo que não é o requerido para a quantificação da macro operação. Isso foi observado no Estudo Empírico 1, no caso do requadro, que foi modelado na classe de objeto parede, mas os eixos de extração de quantitativos do REVIT[®] não correspondiam aos eixos requeridos para o cálculo do comprimento do requadro.

A modelagem a partir de objetos 3D pode inviabilizar o uso do modelo por falta de automação frente as modificações no projeto. Conforme observado nos estudos empíricos 1 e 2, não há classes de objetos capazes de representar o comportamento real de certas operações do orçamento. Ainda que as macro operações possam ser representadas por objetos 3D, as classes de objetos existentes no REVIT[®] não interagem entre si de modo a representar o comportamento real das macro operações. Como consequência, mediante alterações geométricas de um objeto, não há readequação automática da geometria dos demais objetos que mantêm interações executivas. Por exemplo, modelando os requadros em torno da janela e as pingadeiras por meio de objetos 3D, se a dimensão da janela for alterada, as dimensões dos objetos que representam os requadros e as pingadeiras não são ajustados automaticamente, de acordo com as novas dimensões da janela. Nestes casos, é sugerido o uso de modelagem por meio de parâmetros.

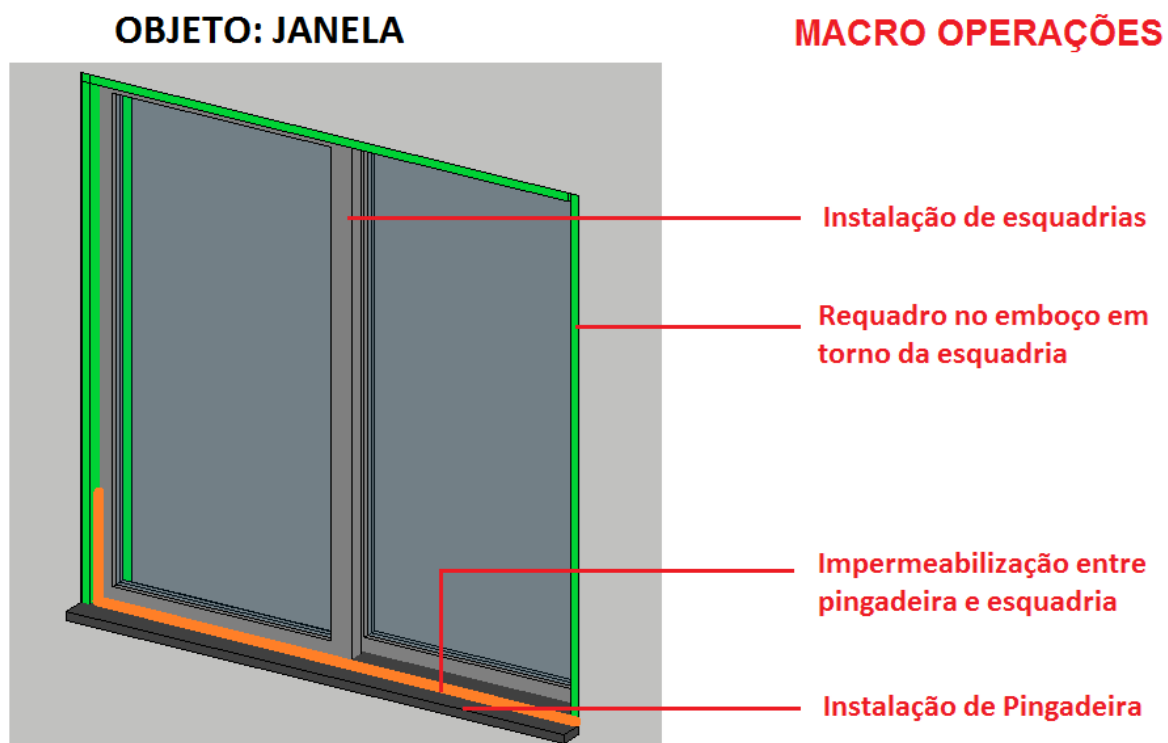
²⁵ No caso de planos inclinados, há classes de objetos específicas para tal, como, por exemplo, a classe de objetos piso que permite que seja inserido um percentual de inclinação. Neste caso, o quantitativo é extraído de acordo com os eixos ortogonais do plano, considerando-se a respectiva inclinação.

Modelagem a partir de parâmetros calculados

A modelagem a partir de parâmetros calculados é feita pela programação de fórmulas no REVIT[®] obtidas a partir de parâmetros já existentes no objeto, o que auxilia na automatização de quantitativos, pois, se um dos parâmetros que compõem a fórmula do parâmetro calculado for alterado, o cálculo é atualizado automaticamente.

Cabe ressaltar que um objeto é capaz de representar em 3D apenas uma macro operação. Contudo, é possível inserir no objeto informações capazes de extrair quantitativos de outras macro operações, por meio do uso de parâmetros, mas sem visualização 3D. Este procedimento facilita a extração automática de quantitativos, principalmente quando não há classes de objetos capazes de representar o comportamento real das macro operações. Por exemplo, a Figura 63 apresenta quatro macro operações modeladas por meio de objetos específicos para cada uma delas. Entretanto, se a dimensão da janela for alterada, os objetos que estão representando o requadro, a impermeabilização e a pingadeira não terão suas dimensões alteradas automaticamente. Um modo para se automatizar a extração dos quantitativos dessas macro operações é criar, dentro do objeto, novos parâmetros que sejam proporcionais aos parâmetros geométricos do objeto (comprimento, largura, área, entre outros). Assim, mediante alterações na dimensão do objeto, o quantitativo desses novos parâmetros é calculado automaticamente.

Figura 63: Macro operações modeladas por parâmetro no objeto janela.



Fonte: O autor

Esse tipo de modelagem deverá ser utilizado se houver algum parâmetro da macro operação em questão que seja proporcional a um parâmetro existente em uma determinada classe de objeto. No Estudo Empírico 2, por exemplo, isso foi usado para o cálculo do assentamento de pingadeira que é proporcional à largura da janela.

Para investigar a possibilidade de modelar uma macro operação por meio de parâmetros calculados, é necessário identificar os parâmetros presentes no objeto e verificar se o quantitativo da operação pode ser calculado a partir de um ou mais destes parâmetros.

Modelagem a partir de parâmetros tipo texto

O parâmetro tipo texto tem como principal objetivo inserir palavras ou frases para classificar a macro operação mediante alguma característica específica. A diferença desse parâmetro em relação aos demais é que ele infere flexibilidade para modelar macro operações que variam de acordo com as especificações de projeto. No Estudo Empírico 2, por exemplo, a cor da pintura do requadro no contorno da

janela variava de acordo com o projeto da fachada. Nesse caso, não havia como padronizar uma regra. Entretanto, deve-se tomar cuidado com a escrita, pois o texto é desenvolvido, livremente, pelo modelador, o que favorece a ocorrência de erros.

Esse tipo de parâmetro pode ser utilizado para auxiliar cálculos, como o da marcação de alvenaria, desenvolvido no Estudo Empírico 2. Além disso, o parâmetro para a inserção de informações sobre a programação da obra é do tipo texto, pois este não tem apenas uma regra.

Cálculo de quantitativo direto na planilha de cálculo de apoio

O cálculo do quantitativo de uma macro operação pode ser realizado, diretamente, na planilha de apoio, somente quando houver uma correlação permanente de uma macro operação com outra. Nesse caso, um bom exemplo é a macro operação de taliscamento: toda vez que houver a operação de emboço, necessariamente, deve ser realizada a macro operação de taliscamento.

Deve-se considerar também que a classe de objeto a partir da qual a macro operação será calculada, deverá conter parâmetros que possibilitem o respectivo cálculo do quantitativo. Em alguns casos, pode ocorrer a necessidade de criação de parâmetros tipo texto, para auxiliar na realização do cálculo de macro operações que têm os quantitativos efetuados diretamente na planilha de cálculo de apoio. No Estudo Empírico 2, o cálculo do quantitativo da marcação de alvenaria foi feito diretamente na planilha de cálculo, a partir da elevação de alvenaria, que era representada pela classe de objeto parede. Nesse caso, foi necessária a criação de parâmetros tipo texto para inserir o nome das esquadrias existentes nas paredes, pois o critério de cálculo de quantitativo da marcação de alvenaria tinha, como requisito, o desconto das larguras das portas.

O Quadro 20 mostra um resumo dos tipos de modelagem.

Quadro 20: Tipos de modelagem pelo critério de extração de quantitativos.

TIPOS	OBJETO	PARÂMETRO CALCULADO	PARÂMETRO TIPO TEXTO	CÁLCULO DIRETO NA PLANILHA
Característica	A macro operação será representada por um objeto 3D.	A macro operação é representada por parâmetro e é vista apenas na tabela de quantitativo.	A macro operação é representada por parâmetro, podendo ser vista nas propriedades do objeto e nas tabelas de quantitativos.	A macro operação só é vista na planilha de cálculo de apoio.
Possibilidade de uso	Quando o objeto contiver: mesma direção do plano de modelagem, variáveis geométricas iguais às da macro operação e cálculo de quantitativos nos mesmos eixos e planos da macro operação.	Quando houver algum parâmetro da macro operação em questão que seja proporcional à um parâmetro existente em um objeto e que haja regra de proporção entre estes.	Quando não há regras fixas de proporção de quantitativos de uma macro operação em relação à outra.	Quando houver uma correlação permanente de uma macro operação com outra.
Vantagem	Visualização 3D e possibilidade de análise 4D de todas as macro operações.	Criação de regras automáticas de extração de quantitativos.	Flexibilização da inserção de características das macro operações.	Automatização de quantitativos.
Desvantagem	Dispense tempo na modelagem e não há regras de relacionamento entre várias macro operações, podendo gerar retrabalhos no caso de modificações de projeto.	A macro operação só é visível na tabela de quantitativos.	Favorece erros de escrita e proporciona trabalho manual	A macro operação só é visível na tabela de quantitativos.


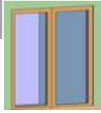
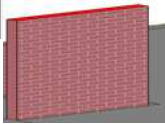
Fonte: O autor

Sub etapa 10

Na sub etapa 10, realiza-se o mapeamento dos tipos de modelagem por macro operação e por classe de objeto. A partir desse modelo, é fácil visualizar todos os parâmetros a serem criados na respectiva classe de objeto. O Quadro 21 apresenta um modelo para efetuar esse mapeamento. Sugere-se a elaboração de uma tabela, de modo que na primeira coluna, devem ser inseridas as classes de objetos e suas propriedades geométricas: (a) plano e eixo de modelagem; (b)

variáveis geométricas e (c) planos e eixos de extração de quantitativos das variáveis geométricas. Na segunda coluna devem ser inseridas as macro operações, conforme apresentadas na sub etapa 6 e, em seguida, deve-se inserir o tipo de modelagem conforme a sub etapa 9. Na coluna de parâmetros calculados, deve-se explicar como será realizado o cálculo.

Quadro 21: Mapeamento dos tipo de modelagem por classe de objetos.

OBJETOS GENÉRICOS DAS CLASSES DE OBJETOS DO REVIT	MACRO OPERAÇÕES A SEREM MODELADAS	TIPO DE MODELAGEM			
		POR OBJETO	POR PARÂMETRO CALCULADO	POR PARÂMETRO TIPO TEXTO	POR CÁLCULO DIRETO NA PLANILHA
Classe de Objeto 1: Janela					
 Plano vertical Largura - eixo X ou Z Altura - eixo Y	macro operação 1	x			
	macro operação 2		Largura x Altura		
	macro operação 3		2 x Largura		
	...				
	macro operação n				
	macro operação n				
Classe de Objeto 2: Porta					
 Plano vertical Largura - eixo X ou Z Altura - eixo Y	macro operação 1			x	
	macro operação 2				x
	macro operação 3				
	...				
	macro operação n				
	macro operação n				
Classe de Objeto 3: Parede					
 Plano vertical Área - plano YX ou YZ Comprimento - eixo X ou Z Altura - eixo Y	macro operação 1	x			
	macro operação 2	x			
	macro operação 3	x			
	...				
	macro operação n				
	macro operação n				
Classe de Objeto n : ...					
Inserir as propriedades geométricas: plano de modelagem, variáveis geométricas, eixos e planos de extração das variáveis.	macro operação 1				
	macro operação 2				
	macro operação 3				
	...				
	macro operação n				
	macro operação n				

Fonte: O autor

Dessa forma, a estratégia de modelagem das macro operações estará pronta para iniciar a etapa de modelagem das macro operações.

5.4.3 Etapa 3: Modelagem

A etapa 3 corresponde à modelagem do edifício, com as respectivas macro operações e informações que permitem que a extração de quantitativos seja apresentada de forma segregada, de acordo com a abordagem operacional. Esta etapa foi dividida em seis sub etapas: (11) criação de parâmetros para a extração de quantitativos no REVIT®; (12) criação de parâmetros para a extração de quantitativos, conforme abordagem operacional; (13) criação de instâncias de objetos, conforme macro operações; (14) modelagem da estrutura; (15) modelagem da arquitetura e (16) classificação dos objetos por lotes de produção.

A modelagem inicia-se pela sub etapa 11, que compreende a criação dos parâmetros estabelecidos anteriormente. A sub etapa 12 corresponde à criação do parâmetro para a extração dos quantitativos, conforme abordagem operacional de programação da obra. Este parâmetro é tipo texto e disponibiliza um campo para que o modelador insira o agrupamento de programação a que a macro operação pertence.

A sub etapa 13 consiste na criação das instâncias de objetos, conforme as macro operações necessárias para a execução da obra. Na sequência, inicia-se primeiramente a modelagem da estrutura a partir do REVIT® (Etapa 14) e, em seguida, a modelagem das macro operações referentes ao projeto arquitetônico (Etapa 15). Em paralelo, os objetos devem ser classificados de acordo com o lote de produção e programação (sub etapa 16). Isto é feito objeto por objeto, manualmente.

Após o término da modelagem, inicia-se a etapa de extração de quantitativos.

5.3.4 Etapa 4: Recuperação de informações

A etapa de recuperação de informações tem por objetivo extrair os quantitativos e sumará-los de acordo com a abordagem operacional.

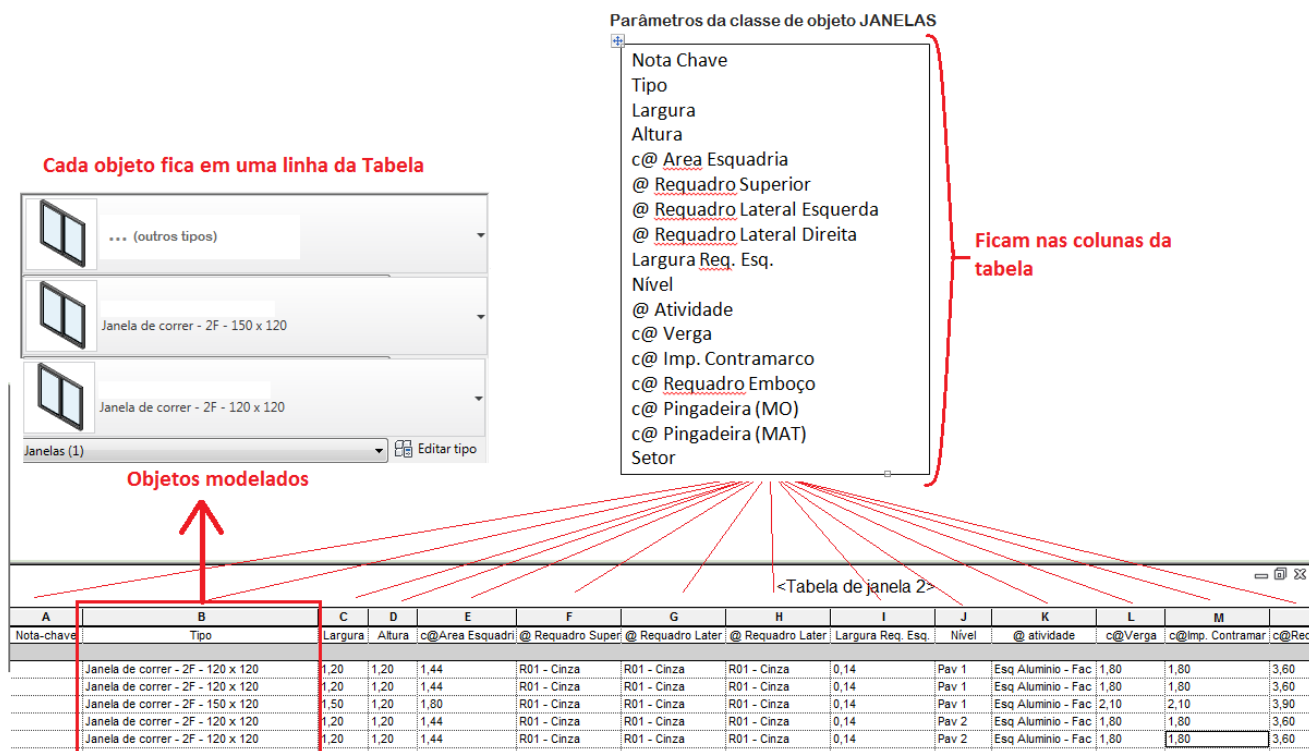
Primeiramente, deve-se solicitar para que o REVIT® extraia as tabelas de quantitativos (Etapa 17), o que é feito por classe de objetos. Em seguida, as tabelas de quantitativos do REVIT® devem ser inseridas na planilha de cálculo de apoio (Etapa 18), sendo que cada tabela deve ficar em uma aba. Isso é necessário por

que cada tabela possui campos (parâmetros) diferentes. Por último, a planilha de cálculo de apoio deverá ser personalizada (Etapa 19), o que é possível com o uso de fórmulas.

A planilha de cálculo de apoio deverá ser dividida em duas partes: um lado para a inserção das tabelas de quantitativos extraídas pelo REVIT® e outro para a tabela de cálculos personalizados. A Figura 56 apresenta um esquema da organização desta tabela.

Os parâmetros dos objetos são dispostos em colunas (campos), na tabela de quantitativos do REVIT®, conforme mostra a Figura 64. Assim, os parâmetros das tabelas de quantitativos do REVIT® devem ser ordenados de forma que não mudem mais de lugar, pois, somente assim, será possível formatar fórmulas na planilha de apoio.

Figura 64: Transposição dos parâmetros do objeto nos campos da tabela de quantitativos do REVIT®.



Fonte: O autor

5.5 Considerações finais

O capítulo cinco apresentou as diretrizes de modelagem observadas a partir do estudo exploratório e de dois estudos empíricos. Primeiramente, foram feitos:

estudos de métodos de modelagem, interoperabilidade de um modelo estrutural em IFC e testes de extração de quantitativos. A partir desses estudos, as diretrizes iniciais foram determinadas e foi realizado o Estudo Empírico 1. No primeiro estudo empírico, as macro operações foram modeladas a partir de objetos 3D. Contudo, foi observada a falta de classes de objetos capazes de suportar as informações de caráter operacional, o que implica em retrabalhos e impossibilidades de extração de quantitativos de acordo com os critérios necessários para a elaboração do orçamento operacional. A partir dessas observações e com o apoio da literatura, foram estabelecidas novas diretrizes, as quais foram testadas no Estudo Empírico 2. No segundo estudo empírico, a maior parte das macro operações foram modeladas a partir de parâmetros criados de forma personalizada pelo modelador. Esta estratégia favoreceu a extração de quantitativos de forma automática, porém perdeu-se a propriedade de visualização 3D proposta pelo BIM. Ao final do capítulo, foi feita a consolidação dos resultados e proposta a versão inicial do método de modelagem. Em seguida, será apresentada a validação do método realizada por uma profissional de BIM.

6 VALIDAÇÃO DO MÉTODO DE MODELAGEM BIM

Este capítulo apresenta os resultados da validação do método de modelagem proposto inicialmente. Primeiramente, são apresentadas as macro operações a serem modeladas e os respectivos critérios de orçamento. Logo após, é realizada a descrição da modelagem e a apresentação de uma parte da extração de quantitativos.

6.1 Planejamento

O processo executivo da fachada do Edifício 2 é quase idêntico ao da fachada do Edifício 1, pois a diferença é apenas o número de panos do emboço da fachada do Edifício 2. O Quadro 15 descreve as macro operações a serem modeladas, assim como os critérios de levantamento de cada operação.

6.2 Pré-modelagem e modelagem

Devido à pouca disponibilidade do modelador, não foram modeladas todas as macro operações necessárias para a elaboração do orçamento da fachada. Além disso, foi modelado apenas um pano do emboço da fachada.

O Quadro 22 apresenta a relação das macro operações modeladas neste estudo empírico, agrupadas por classes de objetos e classificadas por tipos de modelagem.

Quadro 22: Relação de operações por tipo de modelagem e classe de objetos

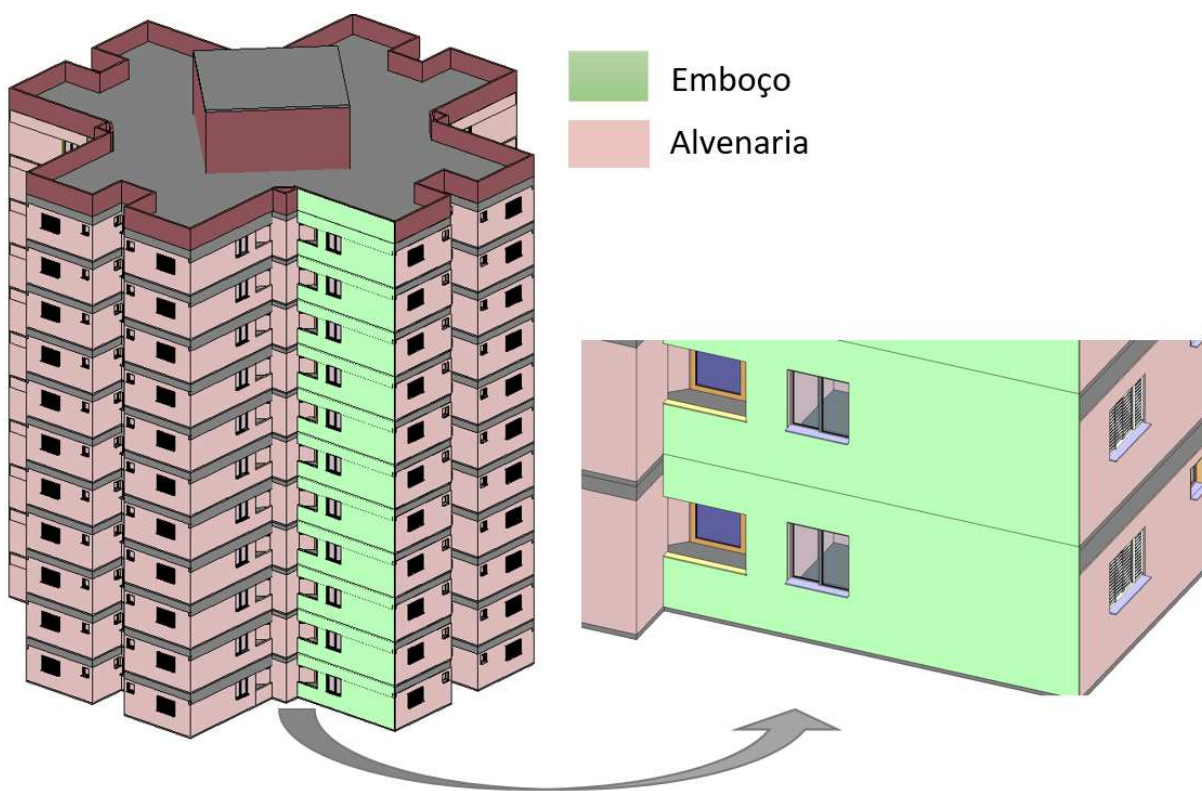
	MACRO OPERAÇÕES	TIPO DE MODELAGEM PARA EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS	
Classe de Objeto: PAREDE			
1	Elevação de alvenaria	<i>Por objeto</i>	<i>Extração realizada a partir da área da superfície do objeto 3D utilizado para representar a elevação de alvenaria (subtraído todos os vãos)</i>
2	Emboço externo com uso de balancim	<i>Por objeto</i>	<i>Extração realizada a partir da área da superfície do objeto 3D utilizado para representar o emboço com uso de balancim (subtraído todos os vãos)</i>
3	Fixação de alvenaria	Por parâmetro tipo texto	Criado um campo para escrever o tipo de fixação em cada parede. A extração ocorreu na própria tabela do REVIT®, somando o perímetro das paredes, por tipo de fixação
4	Marcação de alvenaria	Por parâmetro tipo texto	Criado um campo para inserir o nome da porta presente em cada parede
		<i>Por cálculo direto na planilha</i>	<i>Uso de fórmula que identifica a largura da porta presente em cada parede (pelo nome). Em seguida, subtrai a largura da porta do perímetro da parede</i>
5	Chapisco de fachada	Por parâmetro calculado	Criado um parâmetro que extrai a mesma área do objeto utilizado para modelar o emboço externo com uso de balancim
Classe de Objeto: JANELA			
6	Instalação de contramarco	Por parâmetro calculado	Criado um parâmetro que extrai a mesma área do objeto 3D utilizado para modelar as esquadrias
7	Impermeabilização de contramarcos das janelas	Por parâmetro calculado	Criado um parâmetro que calcula o comprimento do objeto 3D utilizado para modelar a janela, adicionado 60 cm (30 cm de cada lado da janela)
8	Execução de requadros no contorno das janelas	Por parâmetro calculado	Criado um parâmetro que calcula o perímetro do contorno da janela a partir da largura e altura do objeto 3D utilizado para modelar a janela
9	Instalação de esquadria de alumínio	<i>Por objeto</i>	<i>Extração realizada pela área da face do objeto 3D utilizado para modelar a esquadria</i>
Classe de Objeto: REQUADROS			
10	Execução de requadros	<i>Por objeto (para a mão de obra)</i>	<i>A extração foi realizada a partir do comprimento do objeto 3D utilizado para modelar o requadro</i>
		Por parâmetro calculado (para o material)	A extração foi realizada criando um parâmetro que calcula a área do requadro a partir do comprimento e largura do objeto 3D utilizado para modelar o requadro
11	Assentamento de pingadeira	<i>Por objeto (para a mão de obra)</i>	<i>A extração foi realizada a partir do comprimento do objeto 3D utilizado para modelar a pingadeira.</i>
		Por parâmetro calculado (para o material)	A extração foi realizada criando um parâmetro que calcula a área do requadro a partir do comprimento e largura do objeto 3D utilizado para modelar a pingadeira

12	Proteção de pingadeiras	Por parâmetro calculado	Criado um parâmetro que calcula a área da superfície superior da pingadeira a partir do comprimento e largura do objeto 3D utilizado para modelar a pingadeira
Operações que não foram modeladas por falta de classes de objetos			
13	Execução do prumo da fachada	Não foi modelado por falta de classes de objetos	

Fonte: O autor

A Figura 65 apresenta o modelo 3D elaborado neste estudo empírico.

Figura 65: Modelo 3D do estudo empírico 3.



Fonte: O autor

Inicialmente, para modelar a marcação, a elevação e a fixação de alvenaria, o modelador se apropriou de um recurso chamado *level*. Este recurso consiste na criação de níveis intermediários dentro de cada pavimento. Assim, foram criados três níveis intermediários em cada pavimento: (a) marcação de alvenaria, (b) elevação de alvenaria e (c) fixação de alvenaria. Com o uso deste recurso é possível conectar a parte inferior e superior de um objeto em determinados níveis, de forma que, em caso de alterações desses níveis, os objetos 3D são readequados, automaticamente, pelo REVIT®. Entretanto, o modelo ficou complexo diante do número de níveis inseridos nos pavimentos, o que aumentou o tamanho do arquivo

e acabou por prejudicar a eficiência de troca de arquivos e o manuseio do modelo. Diante desta dificuldade, apenas a elevação de alvenaria foi modelada a partir de objetos 3D. A fixação e a marcação de alvenaria foram modeladas a partir de parâmetros.

Com relação aos requadros em torno das janelas, a modelagem foi iniciada por meio de objetos 3D pertencentes à classe de objetos requadro (criada de forma customizada para a presente pesquisa). Foi observada uma dificuldade em ajustar a geometria do objeto 3D que representava os requadros, pois esta classe de objetos não permitia a inserção do objeto 3D no local exato. Assim, foi necessário fazer ajustes manuais em todos os requadros, a fim de deixá-los na posição correta. Também havia uma falha nesta classe de objetos, que não permitia que os mesmos fossem copiados para janelas idênticas localizadas em outros pavimentos. Além disso, ao inserir as janelas, houve uma interferência geométrica ente o volume da janela e do requadro. A espessura do requadro não estava prevista na largura e na altura das janelas, fazendo com que a geometria do requadro adentrasse na geometria da janela. Após o modelador experimentar essas dificuldades, decidiu utilizar a modelagem por meio de parâmetros sempre que houvesse possibilidade.

Por outro lado, o modelador observou que certos componentes, como as pingadeiras, por exemplo, que são visíveis na volumetria do edifício (ou no produto final), não deveriam ser modelados por meio de parâmetros. Embora fosse possível modelar as pingadeiras por parâmetros calculados a partir das variáveis geométricas da janela, é importante visualizar este componente como um elemento em 3D, a fim de preservar as características do produto.

6.3 Recuperação de informações

Os quantitativos das macro operações foram extraídos de acordo com a programação, a partir das tabelas fornecidas pelo REVIT®. A informação sobre o agrupamento de programação das macro operações foram inseridas manualmente, a partir de parâmetros tipo texto. O Quadro 23 apresenta a tabela de quantitativos da classe de objetos parede.

Quadro 23: Quantitativo de paredes extraído do REVIT®

TIPO	LARG.	COMP.	ALTURA	ÁREA	SETOR	FIXAÇÃO DE ALV.	ESQ.	AGRUPAMENTO DE PROGRAMAÇÃO	PAV.
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	1,154	3,060	3,530	Borda	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 1
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	1,144	3,060	3,071	Borda	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 1
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	6,31	3,060	12,862	Borda	Argamassa expansor	J2	Alvenaria	Pav 1
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	2,525	3,060	7,222	Pav Tipo	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 1
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	2,525	3,060	7,650	Pav Tipo	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 1
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	2,775	3,060	7,987	Pav Tipo	Argamassa expansor	J2	Alvenaria	Pav 1
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	1,154	3,060	3,530	Borda	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 2
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	1,144	3,060	3,071	Borda	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 2
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	6,31	3,060	12,862	Borda	Argamassa expansor	J2	Alvenaria	Pav 2
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	2,525	3,060	7,222	Pav Tipo	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 2
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	2,525	3,060	7,650	Pav Tipo	Argamassa expansor		Alvenaria	Pav 2
Elevação de alvenaria de bloco cerâmico furado 1 vez (e=14cm) - Tipo	0,140	2,775	3,060	7,987	Pav Tipo	Argamassa expansor	J2	Alvenaria	Pav 2

Fonte: O autor

6.4 Análise do estudo empírico 3

A seguir, serão analisados os resultados obtidos no Estudo Empírico 3, com o objetivo de validar e aprimorar o método de modelagem proposto inicialmente. A análise será realizada a partir de dois constructos: utilidade e facilidade.

6.4.1 Utilidade

No que tange à utilidade, foram calculados dois índices: IMM (Indicador de macro operações modeladas) e IQN (Indicador de extração de quantidade não possível). Além disso, foi analisada a possibilidade de extração de quantitativos de acordo com a abordagem operacional.

Para o cálculo do IMM, a partir do Quadro 23, foram contabilizadas quinze macro operações para serem modeladas, considerando-se que a execução de requadro e o assentamento de pingadeira tiveram o material e a mão de obra modelados de forma distinta. Das quinze macro operações necessárias para a elaboração do orçamento, catorze foram possíveis de serem modeladas. A macro operação de execução de prumo não foi modelada devido à falta de objetos que pudessem representá-la. Assim, para se obter o valor do IMM, dividiu-se catorze (nº macro operações possíveis de serem modeladas) por quinze (nº de macro operações existentes no orçamento), resultando em um índice de 0,933. O IMM representa quanto o método foi útil em relação ao número de macro operações que puderam ser modeladas. Quanto mais próximo de um, mais útil é o método. Neste caso, o valor está bem próximo de um, o que significa que o método é útil.

Em relação à capacidade de extrair quantitativos, das quinze macro operações presentes no orçamento, apenas a macro operação de execução de prumo não teve seu quantitativo extraído. Isto decorreu do fato de esta macro operação não ter sido modelada. Desse modo, o IQN resultou em 0,067. Quanto mais próximo de zero for o resultado deste indicador, mais útil foi o método no sentido de possibilitar a extração de quantitativos das operações. Assim, como o valor de IQN ficou bem próximo de zero, aponta para a utilidade do método.

Foi observado, tanto no Estudo Empírico 3 quanto nos Estudos 1 e 2, que só não foi possível modelar as macro operações caracterizadas como não sendo uma parte física atrelada ao produto final, como, por exemplo, a instalação do prumo da

fachada. Extrapolando a delimitação traçada para este trabalho, fariam parte do mesmo grupo operações como a montagem, a desmontagem e remanejamento de balancim, a fabricação de argamassa ou mesmo o transporte de materiais. Para tanto, seria necessário integrar o modelo do REVIT® com outros softwares específicos para tal, como, por exemplo o NAVISWORKS®, que confere dinâmica aos objetos 3D.

A partir do Quadro 23 é possível visualizar que a extração dos quantitativos das macro operações foi realizada de acordo com a abordagem operacional, apresentando os quantitativos por macro operação e por seus respectivos agrupamentos de programação. Isto foi obtido pela criação de um parâmetro tipo texto para inserir nos objetos o nome do agrupamento de programação na qual a macro operação está agrupada.

Desse modo, os resultados apontam para a utilidade do método, visto que foi possível modelar todas as operações necessárias para a elaboração do orçamento, com exceção de uma, assim como, a extração dos respectivos quantitativos de acordo com a abordagem operacional.

6.4.2 Facilidade

Para a avaliação da facilidade foram avaliados dois subconstructos: (a) capacidade de clareza e (b) complexidade de uso do método.

A capacidade de clareza foi avaliada mediante a ocorrência de solicitações de esclarecimento sobre o método por parte do modelador e a incidência de retrabalhos por falta de clareza do mesmo. Durante a modelagem do Estudo Empírico 3, não ocorreram dúvidas que demandassem esclarecimentos sobre o método de modelagem e nem retrabalhos de modelagem. Quatro questionamentos foram registrados, porém estes se referiam a questões executivas de obra: (a) como era realizada a execução da marcação de alvenaria e qual o tipo de bloco utilizado, (b) como era realizada a fixação de alvenaria e o tipo de material empregado (c) onde, exatamente, era realizada a impermeabilização do contramarco e (d) qual o posicionamento e as dimensões das telas de ancoragem entre alvenaria e estrutura.

Mediante os questionamentos inferidos pelo modelador, percebeu-se que havia falta de conhecimento sobre a execução das macro operações, o que dificultou a modelagem. Como alternativa para contornar a falta de experiência com

a abordagem operacional, sugeriu-se o fornecimento da descrição dos processos executivos e dos detalhes construtivos.

Em relação à complexidade de uso do método, foi relatado, pelo modelador, que o método é intuitivo e o fluxo de trabalho do método trata de uma prática que já é adotada pelos modeladores. Um fator que pode ter influenciado na falta de dúvidas sobre o uso do método proposto é que o modelador do Estudo Empírico 3 possui vasta experiência em modelagem no REVIT[®]. Entretanto, houve dificuldade em relação à modelagem das macro operações. O modelador afirmou que a modelagem das macro operações para o orçamento operacional no REVIT[®] é trabalhosa e complexa. Isto é consequência do nível de detalhe exigido pelo orçamento operacional, que, ao segregar as macro operações de acordo com a execução, estabelece grande quantidade de macro operações e alto nível de detalhe, como por exemplo, a execução de chapisco entre alvenaria e estrutura, execução de prumo, taliscamento e impermeabilização do contramarco das esquadrias.

A maior dificuldade relatada pelo modelador, com relação ao método, foi no momento de tomar decisão sobre o tipo de modelagem a ser empregado em cada uma das macro operações. Foi necessário testar mais de um tipo de modelagem até encontrar qual o tipo mais adequado para cada uma das macro operações. Desse modo, o modelador teve retrabalhos e perdeu tempo testando qual seria a melhor alternativa. No Estudo Empírico 3, o modelador iniciou a modelagem das macro operações por meio de objetos 3D e, posteriormente, percebeu que este tipo de modelagem era complexo, pois os objetos 3D não representavam o processo de execução da obra e requeriam adaptações. Logo, o modelador abandonou a modelagem feita totalmente por meio de objetos 3D e deu preferência ao uso do tipo de modelagem por parâmetro, sempre que possível.

Um ponto relevante a ser considerado é que o método de modelagem proposto, inicialmente, não restringe o tipo de modelagem a ser definido para as macro operações. Esta decisão fica a critério do modelador, pois as macro operações, assim como seus respectivos critérios de levantamento, podem variar de empresa para empresa. Além disso, deve-se considerar que cada indivíduo possui uma habilidade com o REVIT[®]. A escolha do tipo de modelagem é necessária pelo fato de o software não possuir classes de objetos capazes de representar as macro operações do orçamento operacional, assim, pode-se fazer adaptações das classes de objetos já existentes, criar novas classes, ou então, utilizar outros recursos, como

o uso de parâmetros para simplificar a modelagem e sanar a falta de classes de objetos adequadas à abordagem operacional. Se houvesse classes de objetos específicas para as macro operações do orçamento operacional, a decisão sobre o tipo de modelagem poderia até mesmo ser eliminada e, conseqüentemente, a modelagem deste tipo de orçamento seria simplificada.

A falta de classe de objetos específicos para as macro operações do orçamento operacional no REVIT[®], torna a modelagem por meio de objetos complexa e demorada. Isso ocorre porque os objetos não interagem entre si de acordo com o comportamento real das macro operações, sendo indispensável procedimentos manuais para readequações. Logo, perde-se a propriedade de automação da extração de quantitativos pela falta de interoperação entre os objetos. O REVIT[®] é bem desenvolvido para a concepção de produto, de modo global, mas não está preparado para a elaboração de orçamento operacional.

Por outro lado, foi visto que, com algumas adaptações, como a criação de parâmetros e o uso de planilha de apoio, é possível utilizar este software para a elaboração do orçamento operacional. A solução com o uso de parâmetros é uma alternativa simples, pois possibilita a elaboração desse tipo de orçamento a partir do REVIT[®], sem necessidade de conhecimento avançado por parte do modelador. No caso do modelador possuir conhecimento avançado, é possível desenvolver novas classes de objetos, de modo customizado, para atender as especificidades do orçamento operacional. O uso de softwares de modelagem por linguagem de programação visual²⁶ é uma alternativa para customizações, automatizações e adaptações de modelos com necessidade de LoD elevado, modelados no REVIT[®].

Observou-se, também, que a sequência de trabalho descrita pelo modelador seguiu a mesma dificuldade relatada nos Estudos Empíricos 1 e 2, pois, no primeiro estudo empírico, as macro operações do orçamento foram modeladas por meio de objetos 3D e, posteriormente, foi dada preferência à modelagem por meio de parâmetros, principalmente, do tipo calculado. Tal fato deixou evidente que o método, embora fácil de ser utilizado, não contribuiu para a otimização da modelagem em si, caso contrário, o modelador não teria perdido tempo passando pelas mesmas dificuldades experimentadas pelo modelador dos Estudos Empíricos

²⁶ Ferramentas baseadas em linguagem de programação visual (Visual Programming Language - VPL) permitem a codificação de regras, que, ao serem processadas, podem gerar modelos 3D. São exemplos de ferramentas: DYNAMO[®], GRASSOPHER[®] e GENERATIVE COMPONENTS[®] (MONTEIRO, 2016).

1 e 2. Desse modo, é necessário desenvolver um modo de deixar evidente que, a menos que haja classes de objetos específicas, a alternativa que resulta em otimização da modelagem para a extração de quantitativos, de acordo com a abordagem operacional, é aquela que faz uso de parâmetros. Porém, deve ser considerado que há uma diversidade de possibilidades de macro operações e seus respectivos critérios de quantificação são, muitas vezes, singulares a cada empresa. Portanto, cada caso deverá ser analisado de forma específica. A generalização ou desenvolvimento de regras e padrões de modelagem demandaria a investigação de muitos casos. Segundo o modelador do Estudo Empírico 3, a simples elaboração de uma lista de macro operações com os respectivos tipos de modelagem, serviria como uma fonte de consulta com o objetivo de auxiliar na decisão de escolha do tipo de modelagem a ser adotado para as macro operações.

O fato de a sequência de etapas não deixar dúvidas para o modelador e de não haver qualquer questionamento que demandasse esclarecimento sobre o método evidenciou que o método de modelagem BIM, para a elaboração de orçamento operacional, é fácil de ser utilizado. Porém, devido à falta de classes de objetos específicos para a abordagem operacional, a modelagem do orçamento operacional feita no REVIT[®] é trabalhosa e depende da decisão sobre o tipo de modelagem. Neste sentido, faz-se uma crítica ao método, pois este não demonstrou auxílio efetivo para a tomada de decisão sobre o tipo de modelagem. Para melhoria do método de modelagem, foram elaboradas diretrizes para auxiliar a tomada de decisão sobre o tipo de modelagem. Estas diretrizes são apresentadas a seguir.

6.5 Diretrizes para decisão de escolha do tipo de modelagem no REVIT[®]

Uma das vantagens de uso de BIM 5D é a automação do processo de extração de quantitativos. Entretanto, foi visto nesta pesquisa que não há classes de objetos desenvolvidas para representar as macro operações de um orçamento operacional, resultando em: (a) complexidade de modelagem mediante adaptações das classes de objetos existentes e (b) na falta de automação da extração de quantitativos frente às alterações de projeto. Desse modo, para que a modelagem seja eficiente, no sentido de automatizar a extração de quantitativos frente às alterações que o projeto do edifício pode sofrer ao longo de seu desenvolvimento, deve ser dada preferência aos tipos de modelagem que possibilitam a automação de

quantitativos. Foi visto que o tipo de modelagem por parâmetros calculados é uma alternativa simples para automatizar a extração de quantitativos, principalmente nos casos de modificações de projeto. Porém, outros tipos de modelagem são necessários. A seguir, serão apresentadas diretrizes para orientar a escolha do tipo de modelagem das macro operações necessárias para a elaboração do orçamento operacional em BIM.

Diretrizes para o uso de modelagem por objeto 3D

A modelagem por meio de objetos 3D é sugerida para os seguintes casos:

- Quando houver classes de objetos específicas para a macro operação em questão;
- Quando não existir classes de objetos específicas, mas tais classes forem capazes de representar a geometria da macro operação e extrair as variáveis geométricas necessárias para o cálculo de quantidade da macro operação;
- Quando o objeto 3D tiver sua geometria e, ou, posicionamento alterado de modo automático, frente às modificações de outros objetos 3D com os quais mantêm interações. Nos casos em que isso não ocorrer, não é recomendado o uso de objetos 3D. Por exemplo, se mediante a alteração da dimensão ou posicionamento de uma janela ou porta, a geometria da parede for readequada, automaticamente, recomenda-se o uso de modelagem por objetos 3D. Já no caso de uma verga não ter seu comprimento alterado de modo automático, mediante a alteração do comprimento da janela, na qual está inserida, não é prático o uso de modelagem por objeto 3D. Neste caso a readequação da geometria da verga deverá ocorrer de forma manual.
- Nos casos em que a falta de visualização de um elemento 3D comprometa o entendimento do produto final e isso for significativo para a gestão de custos ou demais áreas que estiverem integradas ao modelo. Neste caso, independentemente de existir uma classe específica ou existir automação em caso de alterações, recomenda-se a modelagem por meio de objetos.

Diretrizes para o uso de modelagem por parâmetro calculado

O uso de parâmetro calculado é feito a partir de um objeto 3D e é utilizado principalmente com o objetivo de simplificar a modelagem e automatizar a extração de quantitativos no caso de alterações de projetos. Este tipo de modelagem deve ser utilizado no seguinte caso:

- Quando as diretrizes apresentadas para a modelagem por objetos 3D não forem satisfeitas.
- Quando houver possibilidade de extrair quantitativos de uma macro operação, a partir das variáveis geométricas presentes em um objeto 3D. Por exemplo, a partir das variáveis geométricas da janela (largura e altura) é possível extrair os quantitativos de diversas macro operações como: (a) assentamento de pingadeira, (b) impermeabilização do contramarco e (c) execução do requadro no emboço em torno da esquadria. O quantitativo do assentamento de pingadeira é extraído em função do comprimento da janela. Do mesmo modo, o quantitativo da impermeabilização é proporcional a largura da janela (acrescidos 30 cm de cada lado da janela, no sentido vertical). O quantitativo do requadro em torno da esquadria é proporcional ao perímetro da esquadria.

Diretrizes para o uso de modelagem por parâmetro tipo texto

O parâmetro tipo texto deve ser utilizado quando não for possível a modelagem por objetos 3D e nem por parâmetro calculado. O parâmetro tipo texto é recomendado para as seguintes situações:

- Para classificar os objetos sem que haja uma regra possível de ser programada, automaticamente, no REVIT[®]. Por exemplo, considere que haja dois tipos de materiais aplicados na fixação da alvenaria. Nas alvenarias de borda utiliza-se argamassa com aditivo expensor. Nas paredes dos banheiros, que não são de borda, utilizam o poliuretano expandido. As demais paredes não são fixadas. Se essas condições não forem possíveis de serem programadas no REVIT[®], de forma que seja possível classificar os objetos 3D automaticamente, deve ser criado um parâmetro tipo texto para que o modelador insira tais informações no

modelo. Assim, toda vez que for preciso classificar o objeto e não houver possibilidade da inserção automática deste tipo de informação pelo software, recomenda-se utilizar parâmetros tipo texto.

- Para inserir informações complementares nos objetos 3D. Isto pode acontecer para auxiliar a extração de quantitativos a partir do critério adequado ao da construtora. Por exemplo, o critério de marcação de alvenaria da construtora utilizada nesta pesquisa era de descontar as larguras das portas do comprimento da parede. Entretanto, o REVIT® não calcula o quantitativo com o mesmo critério. Sendo assim, foi criado um parâmetro tipo texto para inserir o nome das esquadrias que existiam em cada uma das paredes, para em seguida, identificar a largura de cada uma das portas.

Diretrizes para extração de quantitativos direto na planilha de apoio

Deve-se aplicar este tipo de modelagem nos seguintes casos:

- Quando o quantitativo de uma macro operação for idêntico à outra, em todas as situações do projeto. Por exemplo, nos casos em que a área de emboço for igual à área de chapisco em qualquer situação, ou seja, em casos em que o chapisco é executado, sempre e somente, quando houver emboço. Este tipo de modelagem pode ser aplicado mesmo nos casos em que houver classes de objeto 3D possíveis de representar a macro operação, desde que a falta de visualização 3D não comprometa o entendimento do produto ou que a visualização não tenha relevância para a gestão de custos e áreas a fins.
- Quando necessitar de flexibilização, como por exemplo, nos casos em que os critérios de extração de quantitativos do software não sejam os mesmos da construtora, sendo necessário usar fórmulas na planilha de apoio para cálculo dos quantitativos.

6.6 Considerações finais

Neste capítulo foi apresentada a validação do método de modelagem proposto inicialmente. A validação foi feita por meio do estudo empírico 3 com um

modelador experiente em REVIT®. Os resultados apontaram para a utilidade e facilidade do método, sendo necessário uma melhoria com relação à escolha do tipo de modelagem. Assim, ao final do capítulo foram apresentadas diretrizes para auxiliar a tomada de decisão do tipo de modelagem a ser aplicada nas macro operações. No capítulo a seguir, será feita uma análise de âmbito geral ao tema abordado nesta pesquisa.

7 ANÁLISE E REFLEXÃO

Este capítulo apresenta uma discussão acerca dos resultados obtidos frente ao objetivo da presente pesquisa e de um contexto mais amplo do uso de BIM para elaboração do orçamento operacional no REVIT®. Primeiramente, faz-se uma discussão das dificuldades encontradas para a modelagem do orçamento operacional no REVIT®, seguido da apresentação de alternativas. Posteriormente, é feita uma reflexão sobre os casos em que há vantagens de uso do REVIT® para a gestão de custos por meio de orçamento operacional. Por último, são feitas abstrações do emprego de BIM para orçamento operacional.

A modelagem do orçamento operacional com BIM se mostrou trabalhosa ao ser realizada no software REVIT®. Isto se deve ao fato do software não possuir classes de objetos capazes de representar as macro operações de acordo com os seus respectivos comportamentos reais, acarretando assim, a falta de interação automática entre os objetos diante de alterações de projeto. Como os objetos não são inteligentes o suficiente para entender como devem se comportar mediante interações com os demais objetos, são necessárias adaptações no software para a modelagem do orçamento operacional.

Vários exemplos de falta de interação entre as macro operações foram apresentados nos estudos empíricos, a começar pela interação entre a marcação, a elevação e a fixação de alvenaria, que foram representadas por três objetos sobrepostos em três camadas. Embora o REVIT® tenha sido capaz de representar essas três macro operações por meio de objetos 3D, não havia interoperação entre elas, de modo que se a altura ou nível de uma delas fossem alteradas, as outras duas deveriam ser readequadas automaticamente. Apesar do software apresentar uma solução para este caso, com o uso do recurso *level*, este procedimento consumiu tempo e tornou o modelo complexo mediante a criação de três níveis intermediários (um para cada macro operação) em cada pavimento. Também, foi visto que, para a extração correta de quantitativos de requadros foi necessário criar uma nova classe de objetos. Entretanto, essa classe não se vinculou à parede ou às vigas. Assim, não houve representação do comportamento real dessas macro operações, de forma que se a viga ou a parede fosse alterada de lugar, o objeto que representava o requadro permanecia estático, sendo necessária realização de trabalhos manuais para tal reposicionamento. O mesmo ocorreu com os requadros

em torno das janelas. No caso das pingadeiras, foi possível representá-las com a classe de objetos criada para o requadro, entretanto, se houvesse alteração do posicionamento ou geometria da janela, seria necessário remodelar as pingadeiras.

Contudo, o software apresentou alguns recursos que permitem uma solução mais simples e automatizada que a modelagem por meio dos objetos 3D existentes. Para tanto, é possível fazer a modelagem inserindo informações por meio de parâmetros. Porém, este tipo de modelagem não permite a visualização 3D das macro operações, tendo como desvantagem, a deficiência de auxiliar o entendimento do projeto, em termos de geometria, volumetria e estética. Além disso, perde-se na elaboração de BIM 4D, pois não há como representar a macro operação diante da falta de um objeto 3D para representação física da macro operação.

Por outro lado, considerado o modelo BIM como um modelo de informação, a ferramenta REVIT[®] atende ao quesito de que todas as informações podem ser encontradas em um único local, contrapondo a apresentação fragmentada de informações de orçamento operacional elaborado a partir de planilhas e desenhos 2D. Isto é um ponto importante a ser considerado no uso de BIM para este tipo de orçamento. Foi visto no decorrer da pesquisa, que para a modelagem de orçamento operacional com o REVIT[®], ainda que as macro operações não sejam visíveis em 3D, há informações das macro operações inseridas no modelo. Desse modo, consultas e verificações são facilitadas, sendo possível identificar considerações de orçamento, tais como, critérios de cálculo e tipos de materiais aplicados na execução. Sob esta ótica, o uso do modelo BIM pode facilitar o uso do orçamento operacional para a gestão de custos.

Embora os resultados tenham mostrado que a elaboração do orçamento operacional por meio de objetos 3D no software REVIT[®] é trabalhosa, é importante considerar que a elaboração de orçamento operacional em planilhas, também é trabalhosa, com a desvantagem de que o uso das informações apresentadas em planilhas pode dificultar o uso do orçamento para a gestão de custos e favorecer retrabalhos de levantamento. A principal dificuldade de modelagem no REVIT[®] é pelo fato de ainda não existir classes de objetos disponíveis para a representação das macro operações do orçamento operacional, exigindo desse modo, adaptações. Como exemplo, é citada a modelagem das seguintes macro operações: requadros, marcação de alvenaria, fixação de alvenaria, chapisco entre estrutura e alvenaria, vergas, entre outras. Contudo, estas dificuldades podem ser superadas e a

modelagem simplificada, com a modelagem de informações realizada por parâmetros ao invés de representações por objetos 3D.

Desse modo, é importante avaliar o contexto em que a gestão de custos está inserida para tomar a decisão de usar BIM por meio de REVIT[®] para elaboração de orçamento operacional.

Assim, nos casos em que a construtora utiliza o orçamento como base efetiva para a gestão de custos, a elaboração do orçamento operacional com o uso de BIM no REVIT[®], justificaria o trabalho de modelagem frente às adaptações necessárias para tal. No caso da empresa estudada nesta pesquisa, o orçamento é utilizado como sendo a base da gestão de custos da obra, assim como, para o pedido de compra de materiais e contratação de mão de obra terceirizada. No processo de gestão de custos da respectiva construtora, o orçamentista é o responsável por monitorar se a execução está ocorrendo de acordo com o que havia sido considerado no orçamento. O engenheiro de obra limita-se a solicitar contratação de mão de obra terceirizada e compras de materiais, de acordo com o que está previsto no orçamento. Neste caso, o orçamento é consultado constantemente pela obra, pelo setor de suprimentos e pelo próprio setor de planejamento e controle. Apenas o orçamentista tem autonomia para alterar o orçamento. Como consequência deste processo, o nível de controle estabelecido pela empresa exige um elevado grau de detalhamento do orçamento a fim de retratar a execução da obra e possibilitar o uso efetivo do orçamento como base da gestão de custos.

O uso de BIM 5D, a partir de modelos desenvolvidos no REVIT[®], para contextos de uso do orçamento operacional ainda se depara com desafios de tecnologia. A LVP é uma tecnologia que pode promover o desenvolvimento de classes de objetos inteligentes o suficiente para entender o comportamento real das macro operações na obra. Contudo, este desafio não pode ser tratado de forma isolada, por uma ou outra construtora. O orçamento operacional reflete a execução da obra e o desenvolvimento de tecnologias para tal orçamento ampliaria o uso de BIM no canteiro de obras. Considerando, também, que o REVIT[®] é o software de autoria BIM mais difundido no Brasil, seria interessante buscar desenvolvimento colaborativo, por parte das empresas e profissionais, para a criação de classes de objetos capazes de representar as macro operações do orçamento operacional. Esta atitude facilitaria a modelagem deste tipo de orçamento e seria, também, um vetor

para difusão do uso do orçamento operacional. O desenvolvimento de classes de objetos envolve tempo, habilidade e custos. Ações isoladas podem ser dispendiosas, demoradas e desmotivadoras, e por isso, faz-se necessário o desenvolvimento a partir da colaboração da categoria.

Frente às reflexões apresentadas neste capítulo serão apresentadas a seguir, as conclusões do trabalho assim como as principais contribuições.

8 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões e as sugestões de pesquisas futuras no tema, para ampliar e aprofundar o conhecimento teórico e prático do uso da modelagem BIM para a elaboração de orçamentos operacionais e para a gestão de custo.

8.1 Conclusão

Neste trabalho, pretendeu-se utilizar a modelagem BIM para a elaboração de orçamentos operacionais a fim de realizar a gestão de custos. Para isso, objetivou-se a construção de um método de modelagem BIM para a elaboração de orçamento operacional, com o emprego do REVIT[®].

A pesquisa teve origem com a identificação de um problema vivenciado pelo pesquisador, frente a dificuldade de recuperar informações em orçamentos operacionais elaborados a partir de planilhas, para a realização da gestão de custos das obras. Considerando que o foco deste trabalho incide sobre um problema real e de relevância prática para a gestão de custos de obras, optou-se pela pesquisa construtiva como abordagem de pesquisa e adotou-se o estudo de caso como estratégia de pesquisa.

As principais características da pesquisa construtiva consistem na proposição e implementação de construções inovadoras para solucionar um problema de relevância prática, através da construção do conhecimento a partir da experimentação e da reflexão teórica.

O delineamento da pesquisa seguiu sete etapas: (1) identificação do problema, (2) revisão bibliográfica (3) estudo exploratório, (4) desenvolvimento, (5) elaboração do método de modelagem, (6) validação do método proposto e (7) análise e reflexão.

No estudo exploratório, foram levantadas as diretrizes iniciais para a modelagem do orçamento operacional. Nesta fase, foram identificadas três diretrizes relevantes, como: (a) a necessidade de modelar a estrutura de concreto armado no REVIT[®], mediante incompatibilidade do modelo estrutural em IFC lido pelo REVIT[®]; (b) a realização da modelagem a partir do método de camadas e (c) a realização da

modelagem com o uso de objetos 3D, visto o modo como o REVIT[®] extrai os quantitativos e o uso da visualização 3D.

Na etapa de desenvolvimento, foram realizados dois estudos empíricos. Em ambos os estudos, primeiramente, foi feita a segregação dos serviços de acordo com as operações. Em seguida, as operações foram agregadas em macro operações e então, agrupadas conforme a programação da obra. As considerações de orçamento de cada macro operação também foram estabelecidas. Assim, o orçamento foi estruturado, faltando ainda a inserção dos quantitativos das macro operações.

No primeiro estudo empírico, foi realizada a modelagem das macro operações referentes ao serviço de alvenaria, reboco e enchimento hidráulico. Todas as macro operações foram modeladas a partir de objetos 3D. Observou-se que não havia classes de objetos 3D capazes de retratar o comportamento real das macro operações. Isso não permitia atualizações automáticas da geometria e posicionamento espacial dos objetos 3D mediante a alterações de projeto. Ademais, não foi possível extrair quantitativos da execução de requadros, a partir das classes de objetos já existentes no REVIT[®]. Diante dos resultados, foi necessário desenvolver uma nova classe de objeto para representação do requadro e de outras macro operações que necessitavam de extração dos parâmetros geométricos de área e comprimento, independente dos eixos e planos (x,y,z) de modelagem. Uma nova diretriz foi estabelecida, orientando que as macro operações sem classes de objetos específicas deveriam ser inseridas no modelo por meio de outros tipos de modelagem, preferencialmente por parâmetro calculado. Para implementar e testar as novas diretrizes, foi proposto o segundo estudo empírico.

No estudo empírico 2, foi modelada a fachada de um edifício. Para tanto, foi desenvolvida uma nova classe de objeto, conforme diretrizes do primeiro estudo empírico. A maioria das macro operações foram modeladas com o uso de parâmetros calculados. Neste tipo de modelagem, o parâmetro necessário para a extração de quantitativo de uma macro operação é criado a partir de parâmetros existentes em um objeto 3D. Assim, toda vez que a geometria do objeto 3D for alterada o quantitativo da macro operação é atualizado automaticamente. Este tipo de modelagem permitiu a automação da extração de quantitativos mesmo diante de alterações de projeto. Embora a informação sobre as macro operações do orçamento estivesse presente no modelo e houvesse automação na extração dos

respectivos quantitativos, este tipo de modelagem não permitiu a visualização em 3D de tais macro operações. Outros dois tipos de modelagem foram utilizados na extração de quantitativos: parâmetro tipo e cálculo direto em planilha de apoio. Considerando os resultados, foi elaborada a proposta inicial do método de modelagem em BIM para a elaboração de orçamento operacional.

O método de modelagem inicial foi dividido em quatro fases: (a) planejamento; (b) pré-modelagem; (c) modelagem e (d) recuperação de informações. A fase de planejamento ocorre à parte do BIM, tratando-se da segregação dos serviços em macro operações e considerações de orçamento, como critérios de levantamento de quantitativos e critérios para pagamento de mão de obra. Na fase de pré-modelagem, é estabelecido o tipo de modelagem a ser empregado nas macro operações, sendo estes tipos de modelagem os seguintes: (1) por objeto 3D, (2) por parâmetro calculado, (3) por parâmetro texto e (4) com cálculo direto na planilha de apoio. Na terceira fase, o modelo é desenvolvido. A última fase, chamada de recuperação de informações, consiste na extração dos quantitativos das macro operações.

Em seguida, o método foi validado por uma engenheira voluntária, externa ao trabalho, com experiência em REVIT[®], mas sem experiência com orçamento operacional. Para tal procedimento foi desenvolvido o estudo empírico 3, por meio da modelagem da fachada de um edifício vertical. A fim de avaliar o método de modelagem a partir dos resultados da etapa de validação, foram estabelecidos dois constructos: utilidade e facilidade. Estes foram desdobrados em subconstructos e avaliados por evidências obtidas através de múltiplas fontes, ou variáveis diretamente mensuráveis. Assim, o método foi considerado útil por ser capaz de modelar todas as macro operações contidas no orçamento operacional, com exceção da macro operação de instalação de prumo na fachada. Em relação à facilidade, o método foi considerado intuitivo e fácil de ser seguido. Não houve dúvidas por parte do modelador de como seguir as etapas do método. Contudo, foi observado que a proposta inicial do método de modelagem não era capaz de auxiliar o modelador na escolha entre os quatro tipos de modelagem. As diretrizes foram descritas com pouco detalhes e sem uma hierarquia de preferência na escolha do tipo de modelagem.

Como proposta de melhoria do método, foram elaboradas nove diretrizes para orientar a definição do tipo de modelagem a ser empregado nas macro operações, descritas no capítulo 6.

Em relação aos objetivos específicos da pesquisa, esperava-se identificar as informações necessárias para a extração de quantitativos de acordo com a abordagem operacional e verificar se o REVIT[®] seria capaz de suportar tais informações.

Nos estudos realizados, foram identificados dois tipos de informações essenciais para a extração de quantitativos conforme a abordagem operacional: a modelagem das macro operações e a inserção da informação sobre a programação.

Durante as modelagens desenvolvidas nos estudos empíricos, diversas dificuldades foram encontradas, evidenciando de modo detalhado, as falhas tecnológicas que, expõem ao questionamento da efetividade de uso de BIM 5D, com o emprego do REVIT[®], no contexto da presente pesquisa. A modelagem das macro operações, realizada no REVIT[®], por meio de objetos 3D, mostrou-se trabalhosa. Foi explicitada como principal deficiência do REVIT[®] a falta de classes de objetos capazes de representar as macro operações de um orçamento operacional. As classes de objetos precisam e podem ser desenvolvidas, o que demanda conhecimento avançado de REVIT[®] e o emprego de outros softwares e recursos, como o DYNAMO[®], SDK[®], *Geometric Description Language* (GDL) do ARCHICAD e outros sistemas de programação em VBA, por exemplo. Tais habilidades ainda estão restritas a poucos profissionais no Brasil.

Apesar das dificuldades apresentadas neste trabalho, foi verificado que é possível usar o BIM, com o emprego do REVIT[®], para a elaboração do orçamento operacional. Para isso, a modelagem deve ser realizada principalmente com o uso de parâmetros calculados. Este procedimento permite usufruir os benefícios de automação do processo de extração de quantitativos, propostos pelo BIM. No entanto, a modelagem por parâmetro calculado restringe a visualização 3D das macro operações. O BIM 5D poderá ter uso de forma efetiva, conferindo todos os benefícios propostos pelo conceito, mediante o desenvolvimento de classes de objetos específicos para modelagem das macro operações do orçamento operacional. Desse modo, o uso de BIM pode vir a ser um vetor para ampliar o uso do orçamento operacional, e conseqüentemente, efetivar o uso de BIM no canteiro de obras por meio da gestão de custos.

Ressalta-se que esta pesquisa foi delimitada a um software específico (REVIT®).

P se tratar de uma pesquisa construtiva, são esperadas contribuições teóricas e práticas, relacionadas ao objetivo do presente trabalho. A contribuição teórica diz respeito ao emprego do uso de orçamento operacional como base para a realização da gestão de custos, um conceito pouco explorado tanto na prática do setor da construção civil, como academicamente, tendo em vista que no Brasil, desde Cabral (1988), não houve trabalhos específicos sobre o tema e poucas pesquisas o abordaram, tendo a maioria enfoque informativo. A presente pesquisa retomou a discussão e realizou a aplicação prática do orçamento operacional por meio de estudos de casos, de modo a problematizar os conceitos teóricos do campo. Foi possível identificar informações fundamentais para a elaboração do orçamento operacional por meio de BIM: (a) macro operações e (b) informações da programação.

Ainda, o uso de BIM foi investigado como uma alternativa por promover a elaboração e uso deste tipo de orçamento para fins de gestão de custos. O conceito BIM 5D propõe a gestão de custos a partir de um modelo BIM, com uma série de benefícios referentes à automação do processo de extração de quantitativos. No entanto, não foi localizado na literatura, o emprego de BIM 5D para o orçamento operacional. Os trabalhos que abordaram orçamentos com maiores níveis de detalhes apontaram para a falta de suporte tecnológico. Além disso, a presente pesquisa apresentou as limitações de BIM 5D com o emprego de REVIT, para a elaboração de orçamentos operacionais. Apesar de tais limitações, a pesquisa apontou alternativas para possibilitar o uso de BIM 5D para este uso.

Na perspectiva prática, considera-se que este trabalho propõe uma alternativa para elaboração de orçamento para construtoras inseridas em um contexto onde a gestão de custos é realizada com alto nível de detalhe.

8.2 Recomendações

Diante da pesquisa realizada, são sugeridos cinco pontos de investigação para trabalhos futuros:

- Investigar a possibilidade de elaboração do orçamento operacional por meio de BIM a partir de outros softwares de autoria como: ARCHICAD®, AECOSIM® e VECTORWORKS®.
- Investigar diversos tipos de processos e operações praticados pelas construtoras a fim de propor diretrizes para o desenvolvimento de classes de objetos específicos para as macro operações do orçamento operacional.
- Investigar a capacidade da tecnologia LPV promover o desenvolvimento de classes de objetos inteligentes o suficiente para refletir o comportamento real das operações da obra.
- Investigar a capacidade dos softwares BIM, específicos para orçamento, no que diz respeito à extração de quantitativos conforme a abordagem operacional, sem que haja necessidade de modelar as macro operações do orçamento operacional nos softwares BIM de autoria.
- Propor diretrizes para que os modelos BIM de arquitetura possam ser aproveitados na modelagem de orçamento operacional, sem que haja necessidade de refazer o modelo BIM para fins de gestão de custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS - AIA. **Building Information Modeling Protocol Exhibit**. Document E202. EUA. 2008. <<http://www.fm.virginia.edu/fpc/ContractAdmin/ProfSvc/BIMAIASample.pdf>>. Acesso em Junho de 2016.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS - AIA. **Project Building Information Modeling Protocol Form**. Document E202. EUA. 2013a. Disponível em: <<http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab099086.pdf>>. Acesso em Junho de 2016.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS - AIA. **Guide, Instructions and Commentary to the 2013**. AIA Digital Practice Documents. 2013b. Disponível em: <<http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aiab095711.pdf>>. Acesso em Junho de 2016.

ARAM S., EASTMAN, C., SACKS Raphael; A Knowledge-Based Framework for Quantity Takeoff and Cost Estimation in the AEC Industry Using BIM. **The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC)**. USA. 2014.

ARAUJO L. O. C.; SOUZA U. E. L. Produtividade da mão de obra na execução da alvenaria: detecção e quantificação de fatores influenciadores. **Boletim técnico da Escola Politécnica da USP**. BT/PCC/269. São Paulo, EPUSP, 2001.

ASHWORTH A.; PERERA, S. **Cost Studies of building**. 6 ed. Editora Routledge. UK. 2015.

ASHWORTH, A; SKITMORE, R. M. Accuracy in estimating. In SKITMORE, M.; MARSTON, V. **Cost Modeling**. 2 ed. Taylor & Francis e-Library. United Kingdom, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT - NBR 15965:2015**. Sistema de classificação da informação da construção. Parte 7: informação da construção. 2015

ASSOCIATED GENERAL CONTRACTORS OF AMERICA. **The Contractors Guide to BIM**. Disponível em: <www.agc.org>. Acesso em: Março de 2016.

ASSUMPÇÃO, J.F.; FUGAZZA, A. E. Execução de orçamento por módulos para obras de construção de edifícios. In **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: Modernidade e Sustentabilidade**. 2000. Salvador. Anais... Salvador. UFBA/UEBA/UEFS/ANTAC, 200.

AYRES, C. F. **Acesso integrado ao modelo do edifício**. 254f. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding Production: an essential step in production control. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE v124, n. 1, p11-17, Nova York. 1988.

BARBOSA, C., ABDOLLAHYAN, F., DIAS, P. R. V., LONGO, O. C. **Gerenciamento de custos em projetos**. Editora FGV. 3ª Ed. Rio de Janeiro. 2009

BARISON, M. B. **Ferramenta para planejamento de disciplina BIM**. Tese de doutorado da Universidade de São Paulo – USP. 2015. Disponível em: < www.uel.br/pessoal/barison/tese.html > Acesso em Junho de 2016a.

BARISON, M. B., SANTOS E. T. O papel do arquiteto em empreendimentos desenvolvidos com tecnologia BIM e as habilidades que devem ser ensinadas na universidade. **Revista Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 1, p. 103-120, 2016b.

BAZANELLI, A. C. D. R. **Uma nova abordagem do orçamento na construção civil frente à filosofia gerencial do pensamento enxuto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2003.

BAYAZIT, N. Investigating Design: A review of Forty Years of Design Research. Massachusetts Institute of Technology. **Design Issues**. Volume 20, Number 1. Winter, 2004.

BERTOLINI, R. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer to order com o uso do BIM 4D**. Dissertação de mestrado do Programa de pós graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. Porto Alegre. 2015.

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

BIMForum. **Level of Development Specification**. 2015 Disponível em: <<http://bimforum.org/lod/>>. Acesso em Junho de 2016.

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

BROOK, M. Estimating and tendering for construction work. 3 ed. **Elsevier**. Butterworth Heinemann. UK. 2004.

BUILDING SMART. IFC technology. Disponível em: < <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/ifc-technology> > Acessado em Julho de 2016

CABRAL, E. C. C. **Proposta de Metodologia de Orçamento Operacional para Obras de Edificação**. 151f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC. Florianópolis. 1988.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM Project Execution Planning Guide**, 2009. Pennsylvania: The Pennsylvania State University. 2009

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **The uses of BIM**, 2011. Pennsylvania: The Pennsylvania State University. 2011.

COSTA, J. M., SERRA, S. M. B., **Comparação de processos de levantamento de quantitativos: Tradicional e BIM**. XV Encontro Nacional do Ambiente Construído. Maceio. 2014

EASTMAN, C. **Building product models: computer environments, supporting design and construction**. CRC Press. Boca Raton, Florida. USA. 1999.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2nd edition. USA, 2011.

FARINA, H. **Desenvolvimento de objetos BIM e os desafios: Projeto integrado, Bim, Certificações e Comissionamento**. XIII Encontro Nacional de Empresas de Projetistas e Consultores da ABRAVA. 2013. Disponível em: <<http://www.abrava.com.br/down/Humberto%20Farina.pdf>> acesso em Junho de 2016.

FEITOZA, V. A. S. **A influência do sistema de gestão de produtividade no custo e prazo de execução de empreendimentos do Distrito Federal**. Dissertação de mestrado da Universidade de Brasília – UNB. Brasília, 2014.

FIRAT, C. E.; ARDITI, D.; HAMALAINEM, J.; STENSTRAND, J.; KIIRAS, J. Quantity takeoff in model based systems. In 27th CIB W78 CONFERENCE, 2010. Cairo. **Proceedings...** Cairo, CIB 2010.

FLORIO, W. **Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura**. 3º Encontro de Tecnologia e Comunicação da Construção Civil. Porto Alegre. 2007.

FORGUES, D.; IORDANOVA, I.; VALDIVESIO, F.; STAUB-FRENCH S. **Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: a Case Study**. Construction Research Congress. ASCE. 2012.

FORMOSO, C. **A knowledge Based Framework for Planning House Building Projects**. Salford. University of Salford. Tese de Doutorado. Salford- UK. 1991.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. Tese de Doutorado (Engenharia civil). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

GALVÃO, M. S.; HEINECK, L. F.; KLIEMANN, F. J. **Orçamentos operacionais e sua aplicação na gerência de construção civil**. 10º. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte, 1990

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção, mais do que simplesmente just in time**. Caxias do sul. 1ed. EDUC. 1996.

GONÇALVES, C. M.; CEOTTO, L. H. **Custo sem susto**: projetando por objetivos. um método para gestão de custo de edificações. São Paulo: O Nome da Rosa. 2014.

HALPH, D. H.; WODHEAD, R. W. **Design of construction and process operations**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1976.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M. Bridging practice and theory: a design science approach. *Decision Sciences*. v. 40, n. 1, p. 65–87, feb. 2009,

JIANG X. **Developments in Cost Estimating and Scheduling in BIM technology**. Thesis in Northeastern University. Boston. USA. 2011.

KERN, A. P. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção** – Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

KNOLSEISEN, P. C. **Compatibilização de Orçamento com o Planejamento do Processo de Trabalho para Obras de Edificações**. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 2003

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Thesis (Doctor of Philosophy) - VTT Technical Research Centre of Finland. Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.

KYMMEL, W. **BUILDING INFORMATION MODELING: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulation**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2008.

LAL, H. **Quantifying and managing disruption claims**. 1 ed. Thomas Telford. UK. 2002.

LAASONEN, M. H., HAPPIO J. BIM based manufacturing cost estimation of building products. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, ECPPM*, p. 53-59, 2010.

LAUDON, K. e LAUDON, J. P. **Sistemas de Informação gerenciais**. 7° ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

LEE, S.; KIM, k.; YU, J. BIM and ontology-based approach for building cost estimation. *Journal of Information Technology in Construction (iTcon)*. v. 41, p. 96-105. 2014.

LEUNG, K. **Utilising 3D BIM for more efficient QTO and Production of Cost Reports**. International Quantity Surveying BIM Conference. Hong Kong. 2013.

LIU, H., LU, M., HUSSEIN, M. A. Bim-based Integrated Framework for Detailed Cost Estimation and Schedule Planning of Construction Projects. *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2014.

LIU, Li; ZHU, Kai. Improving cost estimates of construction projects using phased cost factors. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 133, n. 1, p. 91-95, 2007.

LUKKA, K. *The constructive research approach*. In: Case study research in logistics. Series B1, p. 83 – 101. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003.

MA, Z.; LIU, Z. Bim-based intelligent acquisition of construction information for cost estimating of building projects. *Procedia Engineering*. v. 85. p 358-367. 2014.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão de processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 343f. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

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

MARCHESAN, P.R. **Modelo integrado de gestão de custos e controle da produção para obras civis**. 2001. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MARCHIORI, F. F. **Desenvolvimento de um método para elaboração de redes de composições de custo para orçamentação de obras de edificações**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2009.

MASTERFORMAT. http://www.masterformat.com/about/masterFormat_groups_subgroups_and_divisions/). Acesso em 26 de Maio. 2016.

MATOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**. São Paulo: Editora Pini. 2006

MELHADO, S, PINTO, A. C. **Benefícios e desafios da utilização do BIM para extração de quantitativos**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO. SIBRAGEC. São Carlos. 2015

MENDES JUNIOR, R., SCHEER, S., GARRIDO, M. C., CAMPESTRINI, T. F. **Integração da modelagem da informação da construção (BIM) com o planejamento e controle da produção**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ANTAC. Maceió-AL. 2014.

MENDONÇA, A. M. **Análise de metodologias de orçamento para obras de construção civil: orçamento convencional, orçamento operacional e orçamento por módulos**. Faculdade Arthur Thomas (FAAT). Monografia do curso de MBA em Gestão de Negócios da Construção Civil. Londrina-PR. 2006.

MONTEIRO, A. Utilização de linguagem de programação visual para elaboração de modelos BIM LOD 400. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. Bim modeling for contractors – improving model takeoffs. In 29th CIB W78 CONFERENCE, 2012. Beirut. **Proceedings...** Beirut: CIB, 2012.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff oriented BIM-based design, **Automation in Construction**, 35, pp. 238–253. 2013.

MOUFLARD, C. **Bringing 5D to the jobsite with production control**. 2013. Disponível em: < <http://vpnuc.unican.es/de/trimble-5d/,DanalInfo=www.tekla.com+5d-production-control.pdf> >. Acessado em Julho de 2016.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **National BIM Standard**. United States. Version 3. 2015.

OMNICLASS. **The OmniClass Construction Classification System**: OCCS, 2012. Disponível em: < <http://www.omniclass.org/>>. Acesso em: 26 de Maio. 2016.

PANUCHEV, I. S., SPIRO, N. P. A framework for delivery of Integrated Building Information Modeling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND DECISION MAKING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2006, Montreal. **Proceedings...**Montreal. 2006

PERALTA, A. C. **Um modelo de processo de projeto de edificação baseado em engenharia simultânea, em empresas construtoras e incorporadoras de pequenos porte**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002.

PEROTTONI, R.; OLIVEIRA, M.; LUCIANO, E.M. e FREITAS, H. Sistemas de informações: um estudo comparativo das características tradicionais às atuais. **Revista eletrônica de administração**. Porto Alegre. PPGA/EA/UFRGS, v.7, n. 3, 2001. Disponível em <http://read.adm.ufrgs.br> Acesso em Julho de 2016.

RUNDELL, R. 1-2-3 **REVIT®: BIM and Cost Estimating** – part 1. Cadalyst Magazine. 2006. Disponível em: <http://www.cadalyst.com/cad/building-design/1-2-3-revit-bim-and-cost-estimating-part-1-3350>

RODRIGUES, Gelly. A geração dos sistemas CAD. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 2, 2008

SABOL, L. **Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling**. 2008. Disponível em: http://www.dcstrategies.net/files/2_sabol_cost_estimating.pdf> . Acesso em: Julho de 2016.

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

SAKAMORI, M.M. **Modelagem 5D (BIM): processo de orçamentação com Estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2015.

SAN MARTIN, A. P. **Método de avaliação de tecnologias de edificação para a habitação de interesse social sob o ponto de vista da gestão dos processos de produção.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SANTOS, A. P. L., ANTUNES, C. E., BALBINOT, G. B. Levantamento de quantitativos de obras: comparação entre o método tradicional e experimentos em tecnologia BIM. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial.** Florianópolis-SC. v.6 n. 12, p. 134-155. 2014

SHEN Z., ISSA R. R. A. Quantitative Evaluation of the BIM-Assisted Construction Detailed Cost Estimates. **Journal of Information Technology in Construction (iTcon)** v. 15, p. 234-257. 2016.

SKOYLES, E. R. Introducing Bills of Quantities (Operational Format). Current Paper 62, **Building Research Station.** 1968

SILVA, J. C. B.; AMORIM, S. R. L. **A contribuição dos sistemas de classificação para a tecnologia BIM:** uma abordagem teórica. In: TIC – V Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, Salvador, 2011.

SLACK, N; CHAMBERS, S.; HARLAND, C; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** São Paulo. Atlas. 1997

SMITH, Peter. BIM & the 5D project cost manager. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 475-484, 2014.

SOUZA, U. E. L. **Metodologia para estudo da produtividade da mão de obra no serviço de formas para estrutura de concreto armado.** 280f. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

STAUB-FRENCH et al. A feature ontology to support construction cost estimating. **AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design**, Analysis and Manufacturing, v. 17, n. 02, p. 133-154, 2003.

SUCCAR, B. **Building Information Modeling Framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.** University of Newcastle, Australia, RMIT University, Australia, 2008.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest of Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies.** v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

WITICOVSKI, L. **Levantamento de Quantitativos em Projeto:** uma análise comparativa do fluxo de informações entre as representações em 2D e o modelo de informações da construção (BIM). Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2011.