



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA – UFBA**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**  
**COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RICARDO TEIXEIRA ALMEIDA CEZAR**

**ESTIMATIVA INICIAL DE CUSTOS ATRAVÉS DE  
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, PROGRAMAÇÃO VISUAL  
POR ALGORITMO E BIM**

Salvador  
2017

**RICARDO TEIXEIRA ALMEIDA CEZAR**

**ESTIMATIVA INICIAL DE CUSTOS ATRAVÉS DE  
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, PROGRAMAÇÃO VISUAL  
POR ALGORITMO E BIM**

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira

Salvador  
2017

Dedico esse trabalho à minha família e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira, pela oportunidade oferecida para aprender novas tecnologias pouco exploradas durante o período de graduação e pela sua confiança, dedicação e orientações prestadas para a realização deste trabalho;

À minha família, base de todos meus valores, pelo apoio infinito para a realização deste trabalho;

Aos colegas e amigos que de alguma forma contribuíram para minha formação como profissional e pessoa;

Aos companheiros de trabalho pelos aprendizados e ensinamentos diários necessários para a elaboração deste trabalho;

À todos que estiveram presentes comigo me apoiando ao longo dessa jornada, buscando a compreensão dos fatos e me auxiliando a sempre fazer o justo e o correto.

“ O futuro dependerá daquilo que fazemos no presente. ”

Mahatma Ghandi

CEZAR, Ricardo Teixeira Almeida. Estimativa inicial de custos através de características geométricas, programação visual por algoritmo e BIM. 117f. il. 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

## RESUMO

Este trabalho visa a aplicação da modelagem da informação da construção (BIM) em conjunto com ferramenta de programação visual por algoritmo, para o estudo de orçamentação paramétrica de diferentes tipologias de edificações, através da geração de indicadores e parâmetros baseados nas características geométricas dos empreendimentos. Considerando a atual conjuntura econômica do país e a alta volatilidade do mercado imobiliário da construção civil, os quais exigem que os empreendimentos a serem lançados tenham maior estudo integrado e maior velocidade na obtenção e análise de dados para sua viabilidade e concepção, o BIM surge como alternativa para facilitar esse processo, relacionando os custos e as características do empreendimento. O objeto de estudo deste trabalho é analisar através de estudos de massa de edifícios residenciais na fase de concepção e viabilidade, a relação de seu custo unitário com seus parâmetros geométricos, de maneira rápida e integrada utilizando linguagem de programação visual. A partir de uma revisão bibliográfica, este trabalho estabelece os procedimentos para associar modelos de massa de edificação e suas variáveis com algoritmos, para a geração de indicadores. Em seguida, são extraídas as informações do modelo e gerados parâmetros com base nas grandezas geométricas para realizar as análises de custo para orçamentação. Posteriormente, os elementos modelados são associados com o auxílio da plataforma Dynamo para geração de *dashboard* com os parâmetros referentes as tipologias e características aplicadas. Os parâmetros e custos unitários gerados são analisados e discutidos, chegando a resultados analíticos – atrelando as características geométricas das edificações com seus padrões construtivos. Como principal resultado, verificou-se que a integração de ferramentas BIM e Dynamo pode contribuir para a análise do custo atrelado às características geométricas de uma edificação, estabelecendo uma relação direta entre os elementos da concepção de um empreendimento e seus custos diretos de construção.

**Palavras Chave:** BIM, Estudo de Massa, CUG, Orçamentação Paramétrica, Dynamo.

## LISTA DE ABREVIATURAS

AACE -	<i>American Association of Cost Engineers</i>
ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA -	<i>American Institute of Architects</i>
BIM -	<i>Building Information Modeling</i>
CAD -	<i>Computer Aided Design</i>
CIS/2 -	<i>CIMsteel Integration Version 2</i>
CUB -	Custo Unitário Básico
CUG -	Custo Unitário Geométrico
DXF -	<i>Drawing eXchange Format</i>
IFC -	<i>Industry Foundation Classes</i>
INCC -	Índice Nacional de Custo da Construção
LEED -	<i>Leadership in Energy and Enviroment Design</i>
LOD -	<i>Level of development</i>
SINDUSCON -	Sindicato da Indústria da Construção
XML -	<i>EXtensible Markup Language</i>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ciclo de vida de um produto BIM	20
Figura 02 - Níveis de Maturidade do BIM	21
Figura 03 - Graus de desenvolvimento do LOD	24
Figura 04 - Níveis do LOD	25
Figura 05 – Modelagem de famílias	28
Figura 06 - Interoperabilidade	30
Figura 07 – nD's do BIM	32
Figura 08 - BIM 3D	32
Figura 09 - BIM 4D	34
Figura 10 - BIM 5D	35
Figura 11 - Interface do Dynamo	37
Figura 12 - Elaboração de um Quarto no Dynamo	39
Figura 13 - Exportação Revit para o Excel	40
Figura 14 - Importação do Excel para o Revit	40
Figura 15 - Classificação dos custos Segundo Trajano	49
Figura 16 – Análise CUB x CUG x ORÇ.EXECUTIVO	58
Figura 17 - Fluxograma da metodologia do estudo de caso	72
Figura 18 – Planta tipo 1 em Autodesk Revit 2017	73
Figura 19 – Planta tipo 2 em Autodesk Revit 2017	74
Figura 20 – Planta tipo 3 em Autodesk Revit 2017	74
Figura 21 - Modelo 01 gerado em Autodesk Revit 2017 a partir da Planta Tipo 1	75
Figura 22 - Modelo 02 gerado em Autodesk Revit 2017 a partir da Planta Tipo 2	75
Figura 23 - Modelo 03 gerado em Autodesk Revit 2017 a partir da Planta Tipo 3	76
Figura 24 - Uso de ferramenta <i>Massing &amp; Site</i>	76
Figura 25 - Uso de ferramenta <i>In-place Mass</i>	77
Figura 26 – Uso de ferramenta <i>Create form.</i>	77
Figura 27 – Inserção de paredes externas na massa	78
Figura 28 - Inserção de pisos na massa	79
Figura 29 - Colagem de paredes internas em todos os níveis da massa	79
Figura 30 – Uso da ferramenta <i>Room</i>	80
Figura 31 - Linguagem de extração de áreas de laje	82
Figura 32 - Dados extraídos de área da laje no Excel	83

Figura 33 - Linguagem de extração de área de paredes	84
Figura 34 - Dados extraídos de área de paredes no Excel	85
Figura 35 - Linguagem de extração de área molhada	86
Figura 36 - Dados extraídos de área molhada no Excel	87
Figura 37 – <i>Dashboard</i> da planilha orçamentária no Excel	89
Figura 38 - <i>Dashboard</i> da planilha orçamentária no Excel	93
Figura 39 – Gráfico de estimativa de custo por modelo	96
Figura 40 - Gráfico de custo/m <sup>2</sup> por tipologia de planta padrão	97
Figura 41 - Gráfico de custo/m <sup>2</sup> por tipologia de planta padrão – Padrão Baixo	99
Figura 42 - Gráfico de custo/m <sup>2</sup> por tipologia de planta padrão – Padrão Médio	99
Figura 43 - Gráfico de custo/m <sup>2</sup> por tipologia de planta padrão – Padrão Alto	100
Figura 44 - Custo/m <sup>2</sup> X Quantidade de Pavimentos	101
Figura 45 - Valor global X Padrão X Quantidade de pavimentos - Planta Tipo 1	102
Figura 46 - Valor global X Padrão X Quantidade de pavimentos - Planta Tipo 2	102
Figura 47 - Valor global X Padrão X Quantidade de pavimentos - Planta Tipo 3	103
Figura 48 - Custo/m <sup>2</sup> X Parede Externa/Área Construída	104
Figura 49 - Custo/m <sup>2</sup> X Parede Interna/Área Construída	105
Figura 50 - Custo/m <sup>2</sup> X Área Molhada/Área Construída	105
Figura 51 – Comparativo de orçamentos	106

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Níveis de Modelagem do BIM	22
Quadro 02 - Nível de precisão e esforço demandado da estimativa de custo	44
Quadro 03 - Comparativo das relações do projeto e orçamento	51
Quadro 04 - Custos unitários da construção segundo o método do Custo Unitário Básico (CUB) em janeiro de 2017 no estado da Bahia	55
Quadro 05 – Índices e variáveis geométricas de projeto de arquitetura	63
Quadro 06 - Resumo da Metodologia do Trabalho	70
Quadro 07 – Resumo de Modelos desenvolvidos	81
Quadro 08 - Dados extraídos por modelo gerado	88
Quadro 09 - Resumo de funções por grandeza geométrica	90
Quadro 10 - Dados extraídos por modelo gerado	91
Quadro 11 - Custo por m <sup>2</sup> por modelo	94
Quadro 12 - Custo por m <sup>2</sup> / parâmetros por modelo	95
Quadro 13 - Resumo de orçamento de obra em Salvador.	107

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.3 DELIMITAÇÕES	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
<b>2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)</b>	18
2.1 DEFININDO O BIM	18
2.2 NÍVEIS DE MODELAGEM E MATURIDADE BIM	21
2.2.1 Níveis de maturidade BIM	21
2.2.2 Níveis de modelagem BIM.	22
2.2.3 Níveis de desenvolvimento BIM	24
2.3 MODELAGEM PARAMÉTRICA E INTEROPERABILIDADE	26
2.3.1 Modelagem paramétrica	26
2.3.2 Interoperabilidade	28
2.4 DIMENSÕES BIM	31
2.5 <i>SOFTWARE</i> DYNAMO	37
2.5.1 Linguagem de programação visual por algoritmo	37
2.5.2 Principais utilizações do Dynamo	38
2.6 ORÇAMENTAÇÃO E BIM	40
2.6.1 Modelagem 5D e orçamentação no BIM	41
2.6.2 Custos e quantitativos através do BIM	43
<b>3 ORÇAMENTAÇÃO PARAMÉTRICA</b>	47
3.1 ORÇAMENTO	47
3.1.1 Conceitos de orçamentação	49
3.2 PARAMETRIZAÇÃO.	59
3.2.1 Indicadores geométricos	59
3.2.2 Utilização de indicadores geométricos	63
3.2.3 Equação paramétrica do CUG.	65
<b>4 METODOLOGIA</b>	68
<b>5 ESTUDO DE CASO</b>	71
5.1 APRESENTAÇÃO DOS MODELOS	72
5.2 GERAÇÃO DOS MODELOS E EXTRAÇÃO DE DADOS	76
5.3 CÁLCULO DE INDICADORES E PARÂMETROS	89
5.4 CÁLCULO DE ESTIMATIVAS DE CUSTO	92
5.5 ANÁLISE DE PARÂMETROS E CUSTO GERADO.	95

<b>6 ANÁLISE E DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS</b>	108
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	110
<b>REFERÊNCIAS</b>	112

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande estoque atual de produtos no mercado e a atual conjuntura econômica do país, otimizar ao máximo os custos de um projeto sendo eles dispostos tanto em sua orçamentação quanto em sua concepção e execução se tornou algo essencial para a viabilidade de se implantar um novo empreendimento. Existe hoje uma maior exigência por parte dos clientes por qualidade, sempre atrelada a um preço de compra-venda cada vez menor. Por isso, a necessidade de se alinhar a engenharia em sua concepção de produto com novas tecnologias se torna um fator preponderante para a realização de obras viáveis nos fatores qualidade e custo.

O BIM (do inglês *Building Information Modeling*), que é a tecnologia de modelagem de informação da construção, tem se tornado uma ferramenta de trabalho cada vez mais importante para engenheiros, arquitetos e todos envolvidos nos processos da construção civil. O BIM traz consigo a ideia de se ter um protótipo digital da obra que, através de parâmetros interligados, é capaz de interpretação simples, clara e direta das informações.

Nas antigas representações dos objetos por linhas, que impunham aos profissionais a necessidade da interpretação subjetiva, a partir da parametrização e do BIM, surgem configurações interativas, que já trazem as interpretações objetivas diretamente, sempre atreladas aos significados das propriedades associadas a cada objeto. Os itens, divididos por nível de detalhes e classes possuem interpretação global, assumindo suas compatibilizações nos diversos segmentos do projeto.

Ainda no BIM, é possível se atribuir outros fatores além das três dimensões convencionais como custo e tempo, tornando-se assim uma ferramenta 5D. Através de elementos e programas de macromodelagem do BIM pode-se ainda se estudar a viabilidade econômica de cada empreendimento. O BIM certamente é uma ferramenta em que inúmeras aplicações são permitidas, podendo fornecer informações que facilitem tanto a concepção de um projeto quanto sua manutenção e sustentabilidade.

Na fase de concepção de uma obra e sua orçamentação, o fator informação para a tomada de decisões é crucial, não se ter uma gama de informações e estudos no momento das escolhas para o empreendimento pode gerar modelos custosos, de maior orçamento e conseqüentemente menor lucro, tornando inviável algo que poderia ser tangível. Diante

disto, o uso do BIM, para estudar a massa de um empreendimento, pode trazer diversos parâmetros para as tomadas de decisão, tornando-as mais precisas e viáveis.

Diante do contexto apresentado, esse trabalho visa avaliar a aplicação do BIM, em conjunto com a plataforma Dynamo para estudo dos custos das diversas tipologias de uma edificação para uma melhor concepção e análise de características desta.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Por conta do comportamento cíclico da indústria da construção civil, com períodos consideráveis de baixa absorção de imóveis no mercado ou com momentos de grandes necessidades por imóveis, existe uma exigência cada vez maior sobre preços competitivos (GONÇALVES,2011). Portanto, indiferentemente da situação que o mercado se encontra, seja em aquecimento ou recessão, uma boa definição de orçamento de um empreendimento em sua viabilidade é essencial para a formulação de um preço de venda atrativo para o cliente.

Para que haja lucro suficiente para viabilizar um empreendimento pelas incorporadoras, o lucro esperado, é preciso se ter um custo de construção muito bem definido na hora da decisão de compra do terreno. Para, a partir desta consistência, obter a menor variação de lucro possível e o menor retrabalho no momento de montagem de orçamento executivo. Conhecer bem o que cada premissa da concepção acarreta no custo de seu projeto inicial é essencial para a obtenção de um empreendimento de sucesso (GONÇALVES, 2011).

Não há dúvidas que o processo usual para custeio e parametrização dos estudos de concepção de obras é trabalhoso e sujeito a diversas variáveis que estão aquém da necessidade atual de detalhamento e previsão dos custos da incorporação na construção civil. Por tanto, então, pode-se considerar que apesar de haver diversos métodos e maneiras de se estudar a viabilidade de tipos de construção e suas características, esses processos ainda não atendem na velocidade e nível de informação que os incorporadores necessitam.

Tradicionalmente, o método utilizado para calcular o custo de construção de um empreendimento, em sua concepção, é por meio do CUB (Custo Unitário Básico) por metro quadrado de construção ou de equações parametrizadas para custos unitários de serviços. No entanto, esses processos fazem com que o estudo de massas (número e área de pavimentos, número de unidades, número e área de subsolos, área de fachada e entre

outros) do empreendimento seja realizado por meio de equações, manualmente ou por processos não tão integrados e mecanizados. Portanto, o uso de tecnologias BIM, que detalham as principais variáveis de projetos a serem consideradas, reduzem o risco quanto à estimativa de custos que incidirão no projeto e podem possibilitar uma melhor gestão e viabilização do processo em si.

Além do já referido, um ponto que eleva o grau de dificuldade dos estudos de massa de um empreendimento, nos dias de hoje, na construção civil é a dificuldade de se interpretar e extrair informações de sistemas de projetos em desenhos sem interação, ou planilhas com dados meramente descritos, e compilá-los para a geração dos resultados, sendo este um processo lento e passível de erros. Trazer à tona o uso de informações integradas e modeladas para esse âmbito pode ser um fator decisivo na concepção e maneira de se empreender na indústria da construção civil. Com a análise, por exemplo da forma da edificação, possibilitada pelo modelo computacional, torna-se mais fácil se estimar a influência desta forma sobre o custo da construção, tema de difícil análise de impacto e extrema importância, que tem sido grande motivação de pesquisa dos últimos tempos para diversos pesquisadores (MASCARÓ, 1995).

Novas metodologias e tecnologias, como as plataformas de análise macro do sistema BIM, vem sendo utilizadas para facilitar o processo estimativa de custos e viabilidade de empreendimentos, *dashboards* através de dados obtidos pelo Dynamo atrelado à plataforma de um estudo de massa em BIM, se tornam maneiras cada vez mais seguras de estimativa. A linha principal de trabalho do BIM é a modelagem de um protótipo digital da edificação, como fosse a construção da edificação no ambiente virtual. É dada inclusive a denominação edifício virtual (AYRES; SCHEER, 2007).

Baseado neste conceito, e exportação de dados da modelagem em BIM, alia o modelo tridimensional de massa a custeio do empreendimento permitindo que se tenham dados e análises mais precisas e rápidas dos empreendimentos estudados. Desse modo, pode-se ter mais assertividade na concepção do empreendimento.

## **1.2 OBJETIVOS**

Tem-se como objetivo deste trabalho, o objetivo geral descrito abaixo, possibilitado através dos objetivos específicos descritos posteriormente.

## ➤ OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) alinhado a plataforma de linguagem visual de programação para a orçamentação paramétrica de um empreendimento em sua concepção para análise das interferências das características geométricas nos custos unitários destes empreendimentos.

## ➤ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esse trabalho tem como objetivos específicos:

- Conhecer os princípios para integração e aplicações da modelagem da informação da construção;
- Aplicar a modelagem da informação da construção alinhada a geração de indicadores para orçamentação paramétrica de uma edificação, envolvendo elementos característicos de sua concepção;
- Analisar a aplicabilidade das ferramentas BIM atreladas a linguagem de programação visual para a orçamentação paramétrica de um empreendimento, elaborando recomendações para sua aplicação e análises dos parâmetros extraídos.

## 1.3 DELIMITAÇÕES

Os conceitos da modelagem em três dimensões atrelado à linguagem de programação serão aplicados a massas geradas nas ferramentas BIM onde haverá uma torre residencial. Todo o estudo de massa utilizado partirá de dados aleatórios para a geração de indicadores e será de modelagem autoral.

Dentro desse escopo, são estudados apenas os aspectos referentes aos parâmetros área de paredes externas por área construída, densidade de paredes nas lajes, padrão construtivo e densidade de área molhada. Destaca-se que esse trabalho não pretende elaborar o orçamento da obra em si, pretendendo apenas avaliar e gerar indicadores que tornem essa orçamentação mais simples e otimizem o fator custo versus lucro do empreendimento a ser estudado.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto por 7 capítulos, sendo eles a Introdução, Revisão bibliográfica sobre orçamentação paramétrica e sobre BIM, Metodologia, Estudo de Caso, Análise e Discussão dos Resultados, e Considerações Finais.

O primeiro capítulo possui caráter introdutório, com a apresentação do tema, justificativa, objetivos (Geral e Específicos) e a estrutura do trabalho aqui descrita.

No segundo e no terceiro capítulos, são apresentados os referenciais teóricos que servem de fundamentação para o desenvolvimento do estudo de caso. Neles são apresentados os conceitos fundamentais contendo diferentes opiniões de autores e estudiosos dos assuntos. O segundo capítulo traz a abordagem da tecnologia BIM em si, mostrando suas principais aplicações incluindo a utilização da programação visual por algoritmo, e sua relação com a orçamentação parametrizada. No terceiro capítulo é discutido sobre as noções relativas à orçamentação na fase da concepção de uma obra e a parametrização como fator auxiliar à orçamentação nesta etapa.

O quarto capítulo apresenta a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho, definindo os objetivos e os instrumentos para sua concretização.

O quinto capítulo traz o estudo de caso proposto neste trabalho. É aplicado o BIM juntamente com a plataforma de linguagem visual de programação para um estudo de massa de um empreendimento e posterior parametrização deste orçamento. Neste capítulo, ainda pode-se notar a abordagem dos procedimentos utilizados para realização da modelagem do estudo de massa e os dados de parametrização adotados para a confecção do orçamento.

O sexto capítulo faz referência às análises obtidas a partir do estudo de caso do capítulo anterior, contemplando as adversidades e benefícios encontrados na realização deste trabalho.

No sétimo e último capítulo, são abordadas as considerações finais, conclusões e análises obtidas através do estudo de caso.

## **2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)**

No mercado atual de desenvolvimento, existem duas tecnologias em linhas de sistemas utilizadas: a mais comumente utilizada que é o CAD (*Computer Aided Design*) baseada na modelagem do produto e o BIM (*Building Information Modeling*) como sistema baseado em parametrização. Enquanto o CAD foca no projeto em si, o BIM tem seu foco voltado para o ciclo de vida deste projeto.

Pode-se afirmar que esse processo de criação do BIM foi alavancado pela necessidade e vontade de se obter e se criar modelos tridimensionais dos processos construtivos e dos projetos de engenharia, o que, por conseguinte, veio a se transformar num protótipo digital da construção. Por isso, a ideia de se ter um edifício representado por linhas, estacada vez mais desvalorizado, dando cada vez mais força e valor para modelagem com parametrização. Através do BIM a informação é passada com qualidade e é o que ajuda a empresa a fazer mais com menos. O BIM pode ser visto como uma ferramenta de desenho inteligente, tendo através de seus parâmetros interações reais do sistema construtivo.

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) deve ser entendida como um novo paradigma de desenvolvimento de empreendimentos de construção envolvendo todas as etapas do seu ciclo de vida, desde os momentos iniciais de definição e concepção, passando pelo detalhamento e planejamento, orçamentação, construção até o uso com a manutenção e mesmo as reformas ou demolição. É um processo baseado em modelos paramétricos da edificação que visa a integração de profissionais e sistemas com interoperabilidade de dados e que fomenta o trabalho colaborativo entre as diversas especialidades envolvidas no processo como um todo (CAMPESTRINI, 2015).

### **2.1 DEFININDO O BIM**

No setor da construção civil, a necessidade de evolução é constante, seja ela nos métodos construtivos ou nas tecnologias aplicadas, ferramentas e processos envolvidos nesta indústria. O BIM surge como ferramenta para analisar e facilitar o acesso a essas inovações. É preciso que as construtoras estejam sempre avançando tecnologicamente, no passo certo, dentro das suas capacidades, mas sistematicamente evoluindo técnicas e hábitos dos seus colaboradores (CAMPESTRINI, 2015).

A tecnologia BIM surgiu como resultado de pesquisas científicas de países pioneiros em tecnologia nos anos 70, tendo em vista a necessidade de melhorar a tomada

de decisões devido à cada vez maior quantidade de informações disponíveis e as novas exigências de qualidades e especialidades que eram ponto de diferenciação no mercado desses países como segurança, certificações ambientais, sustentabilidade, conforto e outros fatores (CAMPESTRINI, 2015).

A nomenclatura BIM, foi criada pelo arquiteto Phil Bernstein, estrategista da empresa norte americana Autodesk nos anos 1990 para a realização da promoção do novo e revolucionário *software* da empresa o Revit. A real ideia para este termo era reunir num único conceito um conjunto de funcionalidades integradas fornecidas pelo *software*, como uma sacada de marketing. Com o passar dos tempos, o termo BIM tornou-se um componente de apelo comercial forte o que fez com que houvesse uma adoção quase que unanime pelas demais fornecedoras de *software* concorrentes no mercado como estratégia de divulgação de seus próprios programas com modelagem paramétrica (EASTMAN et al., 2011).

Definir o BIM como um tipo de *software*, porém, reduz muito o seu significado, que é derivado da longa tradição de pesquisas sobre a utilização do computador como suporte para a produção de edifícios (EASTMAN et al., 2011). Na indústria da manufatura, a modelagem de produtos surgiu para integrar a informação em todos os processos do ciclo de vida do produto e o seu campo específico de estudo, portanto, abrange tudo que está relacionado com qualquer atividade entre a concepção e a disposição final deste (EASTMAN et al., 2011).

O BIM abrange muitas funções indispensáveis na modelagem do ciclo de vida de um empreendimento, o que proporciona o alicerce para novas capacidades na construção e o modo como a equipe de construção lida e atua em seu processo. Segundo Eastman et al (2011), quando implementado de maneira adequada, o BIM facilita um processo de projeto da construção mais integrado o que resulta em construções de melhor qualidade com prazos reduzidos.

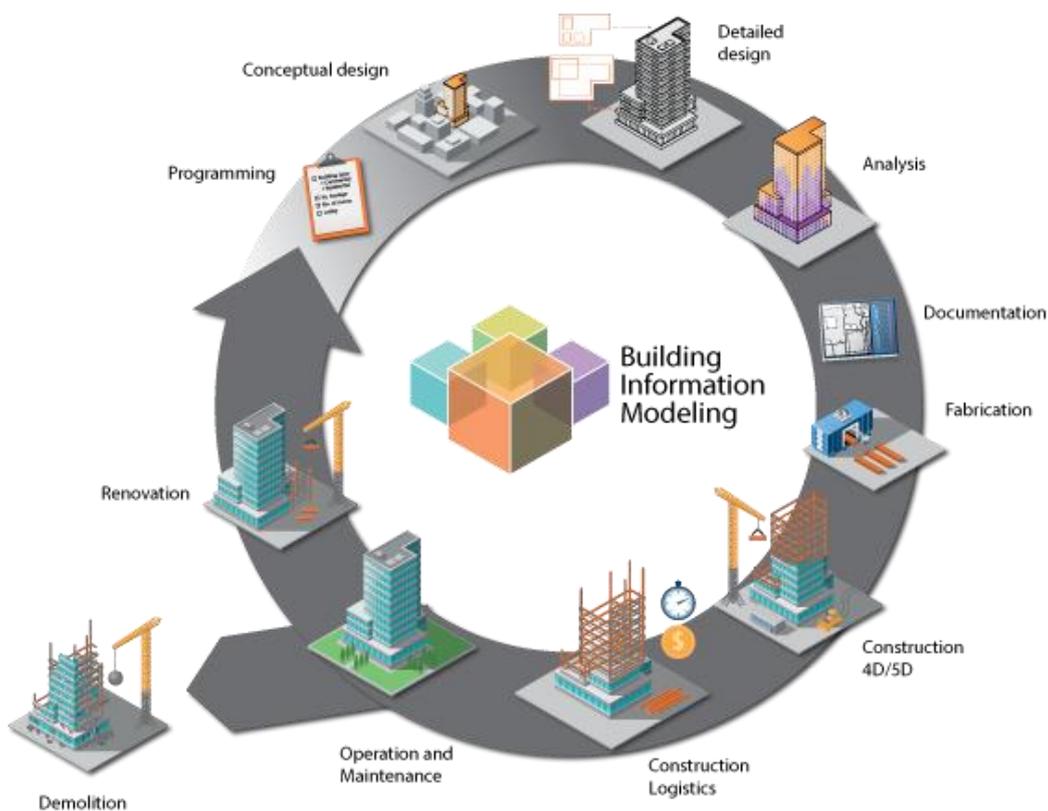
Algumas empresas já conseguem usar o modelo gerado pelo BIM para outros fins, como retirar informações de custo do empreendimento, informações através de desenhos para envio à obra, informações de métodos construtivos, dentre outros. No uso do BIM para extrair valores de custo, por exemplo, à medida que as soluções são inseridas no modelo, pode-se saber qual será o custo previsto do empreendimento naquele momento. Essas informações auxiliam na tomada de decisão da manutenção da solução inserida ou na busca de outra (CAMPESTRINI, 2015)

Visto como evolução quase que natural do processo de construção, o BIM, que possui em sua base um modelo virtual do empreendimento, abrange e pode englobar todas as etapas necessárias para a construção de um empreendimento. Dentro do BIM, pode-se acompanhar as etapas de concepção, uso, manutenção, e realizar simulações através de seu modelo paramétrico.

Como visto, várias possibilidades de uso do BIM são ampliadas mais ainda por se tratar de uma tecnologia que propicia suporte a todo o ciclo de vida de um empreendimento. O BIM permite a atuação desde os estudos de concepção e viabilidade de um empreendimento e sua orçamentação até a fase de operação, manutenção e reforma do empreendimento, sendo apenas necessário que se atualize as informações conforme real situação e modificações no período de construção da obra.

Na Figura 01 é possível se ver um esquema animado das diferentes fases do ciclo do BIM.

Figura 01 - Ciclo de vida de um produto BIM



Fonte: Aurora Arquitetura, 2015

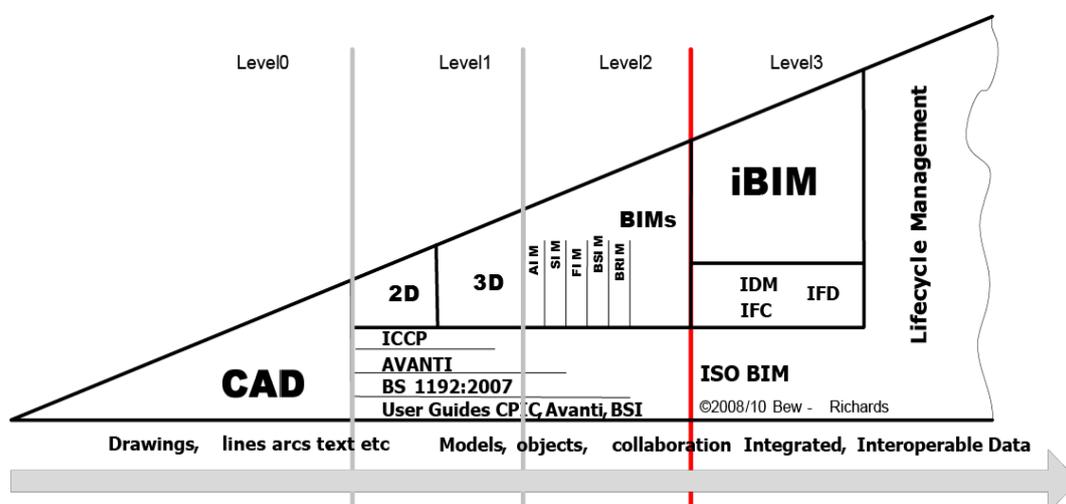
## 2.2 NÍVEIS DE MODELAGEM E MATURIDADE BIM

Dentro do BIM existem diversos níveis de maturidade das informações ali contidas, não obrigatoriamente vinculados ao BIM, além disso segundo Scheer e Ayres (2009) vários níveis de modelagem podem ser obtidos a partir do BIM, cada um com sua peculiaridade e aplicação.

### 2.2.1 Níveis de maturidade BIM

Segundo Succar (2015) existem, dentro do BIM, quatro diferentes tipos de níveis de maturidade, sendo eles divididos conforme a Figura 02:

Figura 02 – Níveis de Maturidade do BIM



Fonte: UK Government Construction Client Group (GCCG), (2011).

Estes níveis podem ser divididos conforme as seguintes consignações:

- Nível 0, composto de desenhos limitados apenas em linhas, círculos e arcos;
- Nível 1.0, é formado pela utilização de projetos em modelo 3D parametrizados ao invés do desenvolvimento de projetos em modelos em 2D corriqueiros;
- Nível 2.0, traz a ampliação do escopo do modelo de desenvolvimento dos projetos em 3D, este nível apresenta a associação de parâmetros temporais (4D), parâmetros de custos (5D) e outros níveis de informação, chegando a já apresentar traços de colaboração;
- Nível 3.0, é o nível que possibilita a troca de informações entre os profissionais de diferentes áreas de atuações dos projetos no desenvolvimento de um projeto em comum e suas compatibilizações.

Atualmente, este modelo de maturidade do BIM vem sendo amplamente utilizado no continente europeu, com maior foco de atividades no Reino Unido, tornando-se um elemento “estrutural” nas muitas etapas que envolvem a indústria da construção civil nestes países.

### 2.2.2 Níveis de modelagem BIM.

Segundo Scheer e Ayres (2009), o BIM pode ser mais facilmente compreendido e estudado se for abordado em diferentes níveis, de acordo com a sua relação com os processos da indústria da construção. A iniciativa de regulamentação da modelagem de produtos para a indústria de obras de infraestrutura nos Estados Unidos, a *National Building Modeling Information Standard* (NBIMS), por exemplo, adota um esquema de três níveis: A tecnologia BIM é entendida como um produto, como uma ferramenta e como um processo. Produto refere-se ao modelo da edificação, ou seja, uma entrega do processo de projeto baseada em padrões abertos e criada por ferramentas de informação.

Visto isso, uma abordagem do BIM muito utilizada é a de se entender o sistema como um conjunto de diferentes camadas ou níveis de estruturação da modelagem. As diferentes modelagens que compõem o BIM podem ser divididas em quatro grupos: supermodelagem, que aborda os processos envolvidos na produção; metamodelagem, que traz os padrões para troca de informações; modelagem, onde é feito o modelo propriamente dito; e, por fim, a micromodelagem que é a criação dos objetos que irão compor os modelos das edificações. No Quadro 01 é feito um resumo dessas modelagens.

Quadro 01 – Níveis de Modelagem do BIM

Etapa	Foco	Objetivo
Supermodelagem	Processos	Cooperação
Metamodelagem	Padrões	Interoperabilidade
Modelagem	Instâncias	Semântica
Micromodelagem	Objetos	Comportamento

Num pensamento ideal, as informações provindas de diferentes disciplinas de projeto deveriam fluir sem obstáculos entre a fabricação, projetos, construção, manutenção e todo o contingente de atividades inter-relacionadas que fazem parte do processo do ciclo de vida de um empreendimento da construção civil. Do BIM, tem-se um empreendimento construído primeiramente de maneira digital, antes da real execução da obra, num arranjo computacional de projeto cooperativo integrado que garante o conhecimento agregado por cada profissional do processo em uma única fonte de dados.

Desse modo, fica possível verificar e solucionar antecipadamente os conflitos entre projetos de diferentes disciplinas, o que reduz a ocorrência de erros e intensifica a qualidade do produto (EASTMAN, 2004).

Para se atingir todo potencial do BIM é necessário que se faça um estudo da natureza de todos os processos evolutivos presentes no ciclo de vida da edificação e os níveis de informação que cada processo exige. O procedimento de modelagem de informação que dá origem a modelos de alto nível de abstração os quais guiam a execução de atividades e a criação de modelos de níveis mais baixos é chamado de supermodelagem.

Segundo Scheer; Ayres (2009) metamodelagem é o processo de criação de modelos neutros, que são modelos criados possuindo interoperabilidade, e os modelos gerados a partir destes modelos neutros, da estrutura de informações definida neles são instâncias dos citados modelos. Nos dias de hoje, o modelo neutro de maior evidência são as IFC (*Industry Foundation Classes*), desenvolvidas pela *Building Smart International*, antiga IAI (EASTMAN, 1999; HOWARD e BJÖRK, 2008; IAI, 2008b).

Ainda em seu estudo Scheer; Ayres (2009) cita que modelagem é o processo de inserção dos diferentes objetos que representam elementos construtivos em um modelo do edifício. Um modelo específico é sempre uma instância de um modelo de dados interno da aplicação utilizada e, posteriormente, pode ser convertido para o formato definido pelo modelo neutro criado na metamodelagem, num processo de mapeamento de dados.

Por fim, dentre os níveis de modelagem aqui citados, resta apenas a micromodelagem que é o processo de criação de objetos, as unidades de informação que representam os diferentes elementos que constituem um projeto de edificação, incluindo as suas características e relacionamentos com outros objetos (HANNUS, 1991; EASTMAN, 1992; IBRAHIM et al., 2004). Os principais tipos de objetos são os que representam elementos construtivos, como paredes, colunas, vigas, janelas, etc., porém também existem objetos que representam espaços, zonas, mecanismos e as simbologias utilizadas nos desenhos, como cotas, indicações, níveis, entre outros (EASTMAN, 1976).

Portanto é essencial se entender o processo e os níveis de modelagem de um projeto BIM para que se possa realizar a aplicação dessa tecnologia de maneira vantajosa e com dados coerentes e coercitivos.

### 2.2.3 Níveis de desenvolvimento BIM

Qual nível de detalhamento a ser adotado em cada modelo é uma pergunta presente frequentemente entre os profissionais da indústria da construção civil que trabalham com ferramentas BIM. Esse questionamento pode ser facilmente respondido quando trata-se do nível de desenvolvimento do BIM dado pelo termo LOD, do inglês *Level of Development*.

O LOD representa a assertividade e confiabilidade das informações contempladas no modelo e é diretamente afetado pelo tempo dedicado para a construção do modelo, bem como seu tamanho e a quantidade de itens críticos contemplados. Em 2013, o LOD foi dividido pelo AIA (*American Institute of Architects*) em seis diferentes níveis de desenvolvimento de modelo, como pode ser visto na Figura 03 abaixo.

Figura 03 – Graus de desenvolvimento do LOD



Fonte: Hitechcaddservices, 2016 (<http://www.hitechcaddservices.com/bim/support/level-of-development-ent-lod/>) . Acesso em 15.nov.16

Os níveis de LOD podem ser divididos conforme vide Figura 04 e podem ser melhor explicados conforme a seguinte divisão:

LOD 100: Representa um modelo conceitual onde a massa total da construção é indicativo de área, altura, volume, localização e orientação que podem ser modelados em 3D ou representados por outros dados.

LOD 200: O modelo é representado como um sistema genérico, objeto ou montagem com quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações aproximadas. Neste nível informações não gráficas podem ser ligadas ao modelo.

LOD 300: Modelagem precisa e desenhos bem definidos onde os elementos são compostos por conjuntos específicos, quantidades precisas, tamanho, forma, localização

e orientação. Aqui também podem ser vinculadas ao modelo informações não geométricas.

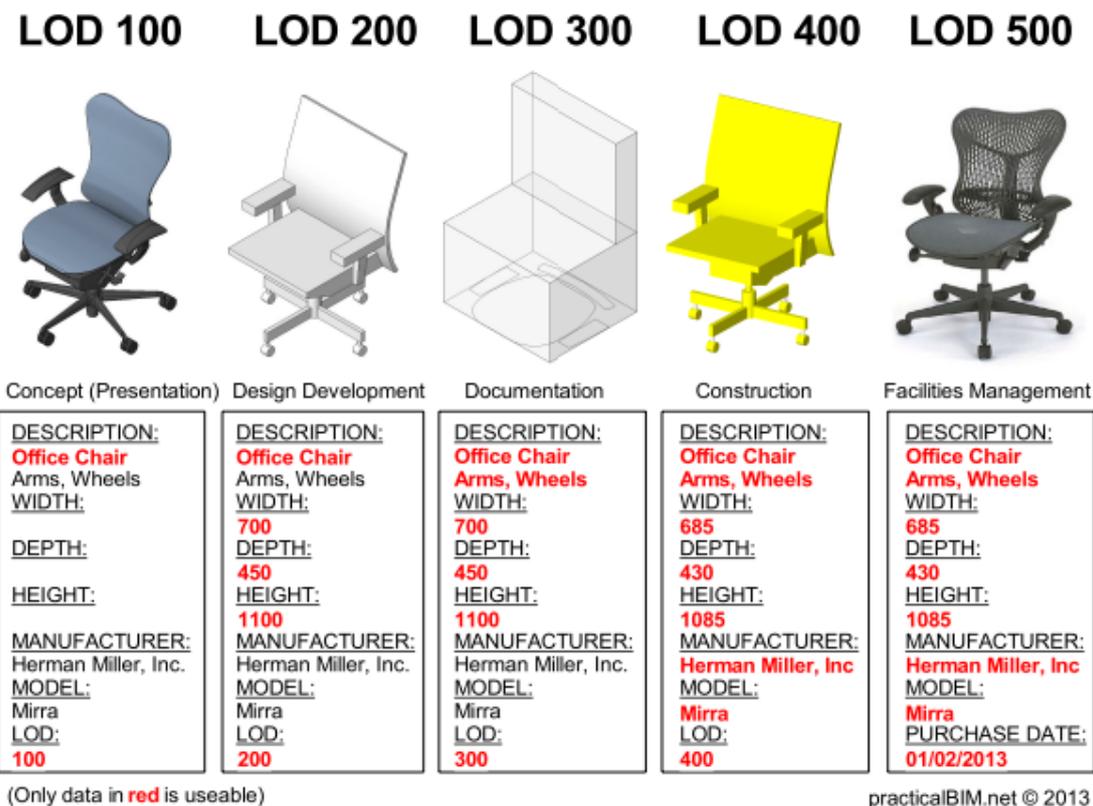
LOD 350: Inclui detalhes do modelo e de seus elementos que representam a forma de interação existente entre os elementos da edificação e os diversos sistemas adjacentes em conjunto com outros elementos gráficos e definições escritas.

LOD 400: Os elementos do modelo são modelados como um sistema bem definido, objetos ou conjuntos, com detalhamento, montagem e construção completos, além de quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações precisas. Informações não geométricas também podem ser ligadas ao modelo.

LOD 500: Elementos são modelados como conjuntos construídos para manutenção e operações. Além de obter em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação, um campo real de representação verificado, informações não geométricas também podem ser associadas aos elementos modelados.

Figura 04 – Níveis do LOD

## LEVEL of DEVELOPMENT



practicalBIM.net © 2013

Fonte: Practical BIM, 2013 (<http://docplayer.es/docs-images/27/9757617/images/4-0.png>). Acesso em 20.nov.2016

## **2.3 MODELAGEM PARAMÉTRICA E INTEROPERABILIDADE**

A modelagem paramétrica e a interoperabilidade são as duas principais tecnologias presentes no BIM e que mais o diferenciam de sistemas anteriores como os de CAD tradicionais. Por terem significativa importância para o desenvolvimento do BIM sua compreensão serve de base para o domínio da ferramenta. Por serem duas tecnologias presentes no BIM que possibilitam a interação de informações de um projeto e sua posterior análise a elas são atrelados grandes valores.

### **2.3.1 Modelagem paramétrica**

A modelagem paramétrica, baseada em objetos, foi originalmente desenvolvida por volta dos anos 80 e hoje é um dos pilares do BIM. Segundo Azevedo (2009), o BIM é uma criação paramétrica, inteligente, de modelos tridimensionais, em vez de modelos bidimensionais “não inteligentes”. A modelagem paramétrica é uma representação computacional que representa objetos constituídos por atributos fixos e variáveis, a depender de suas utilizações e propriedades, explanados por parâmetros e regras que determinam a sua geometria, propriedades e características não geométricas.

A modelagem paramétrica não representa os objetos como estáticos, ou seja, sem variação de geometria ou com propriedades estáticas. Segundo Eastman et al., (2011), os atributos das modelagens paramétricas são informações relativas às diversas características do objeto. Os parâmetros e regras permitem que objetos se atualizem automaticamente conforme os novos valores estabelecidos pelo usuário (EASTMAN et al., 2011). Através da parametrização é possível incorporar propriedades não geométricas e características, como o custo, aos objetos estudados. Segundo Andrade e Ruschel (2009), modelos de construção baseados em parâmetros permitem que sejam possíveis a extração de relatórios, verificação de inconsistências entre objetos e a incorporação de conhecimentos de projeto a partir de modelos gerados.

Para a modelagem paramétrica, tem-se como instituição de ideia básica o fato de as dimensões e outras propriedades poderem ser definidas conforme uma unidade ou um conjunto específico de parâmetros, em 2D ou 3D a depender do nível do LOD de seus objetos. Dentre os atributos utilizados para a modelagem paramétrica no BIM, pode-se definir como fixos aqueles que são definidos a partir de propriedades, como por exemplo, forma, desempenho, custos e construtibilidade. Os atributos variáveis são aqueles que podem ser definidos a partir de parâmetros e regras, o que faz com que os objetos atrelados a eles possam ser ajustados de forma automática a partir das alterações do

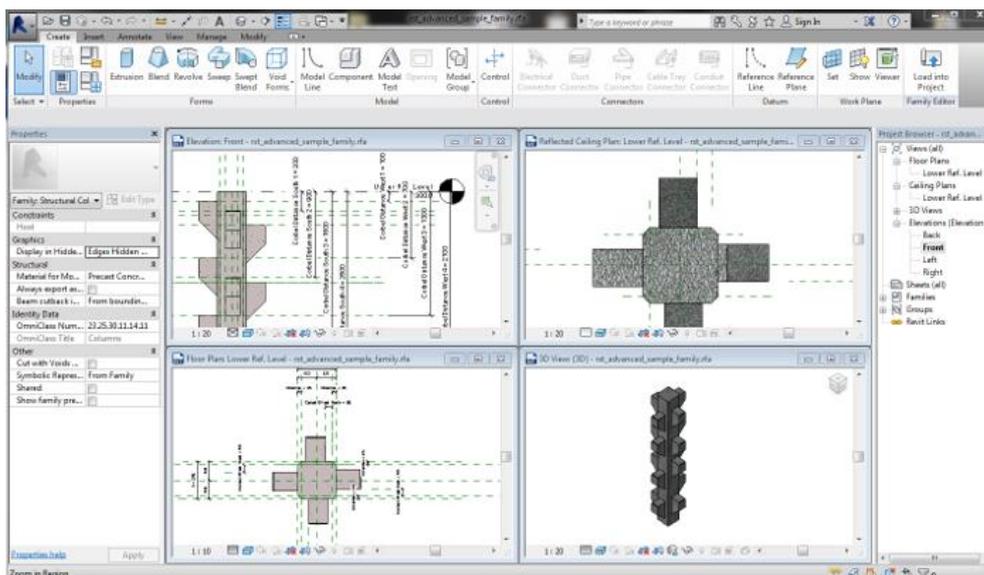
usuário em seu modelo. Segundo Eastman et al. (2011), uma classe de elementos parametrizados pode possuir diversas regras simples em sua definição, o que ele chama em seu texto de *low-level rules*, porém essas regras não são apresentadas em linguagem capaz de ser interpretada pelos usuários.

*Virtual Building, Parametric Modeling ou Model-Based Design* são nomenclaturas normalmente aderidas aos tipos de *software* que apresentam o conceito BIM e apresentam modelagem paramétrica. Esses programas tem a capacidade de construir e projetar modelos virtuais a partir de objetos paramétricos, interpretando suas regras a partir de seus códigos pré-definidos. Segundo Andrade e Ruschel (2009), a complexidade e o cuidado necessários ao se modelar um objeto básico e genérico, como por exemplo uma porta, é advinda da variedade das configurações possíveis para um grupo de objetos. O que se leva a pensar na real necessidade de suporte por meio de programas já modelados para isso.

Em suma, ainda por meio das interpretações de Andrade e Ruschel (2009), um modelo paramétrico é constituído por grupos de objetos chamados de “famílias”. “Famílias” estas que possuem em sua constituição objetos com atributos de forma, atributos complementares e inter-relações, o que faz com que seja possível a geração de grande variedade de objetos a partir de um grupo inicial a depender das diferentes instâncias, parâmetros e posições.

Seguindo o conceito citado por Andrade e Ruschel (2009), que afirma que o principal mérito de um modelo paramétrico é a possibilidade da criação de novas famílias de objetos com base na aplicação e reaplicação em diversos projetos, é possível ver que a modelagem paramétrica confere ao BIM a grande vantagem de difusão entre projetistas. As famílias criadas por um projetista não se limitam ao seu projeto, podendo ser difundidas entre projetistas e diversos projetos os quais quiserem difundir, não se restringindo as disponibilizadas pelos *softwares* padrão comercializados. A Figura 05 traz, logo abaixo, um modelo de criação de família realizado pela Actech Training Center.

Figura 05 – Modelagem de famílias



Fonte: Actech Training Center, 2015 (<http://actech.net.br/loja-actech/revit/curso-de-modelagem-de-familias-parametricas/>). Acesso em 20.nov.2016

### 2.3.2 Interoperabilidade

Conforme vem sendo dito, o BIM é composto por vários modelos específicos, por exemplo, modelos de arquitetura, de estruturas, de planejamento, de custos, que quando estão em uma única plataforma, devem se tornar um modelo integrado. E para cada tipo de modelo é necessário que haja a devida interação e operabilidade um com o outro, ou seja deve-se poder juntar cada modelo específico em um só modelo, um modelo integrado.

Portanto, define-se como a capacidade de dois ou mais sistemas trocarem entre si dados e informações entre os diversos aplicativos utilizados no processo de projeto, de forma a ser possível ser utilizada a informação absorvida de interoperabilidade. Conforme Azevedo (2009) explica, pelo fato de o BIM operar sobre uma base de dados computacionais, num modelo em que qualquer alteração vem a refletir em todos os componentes do projeto, que a sincronia permite que todos os envolvidos no projeto possam compartilhar informações por causa de parâmetros bem definidos por um conjunto de regras pré-definidas. Disso, pode-se absorver que a interoperabilidade é a capacidade de comunicação eficiente com todas as possíveis interfaces e aplicações presentes num ciclo de vida de um projeto consolidada num só modelo.

Segundo Azevedo (2009), por conta de as informações num projeto serem provenientes de diversas fontes diferentes é de importância significativa o fato de poder compartilhar de forma aberta com grande facilidade as informações necessárias, em

formatos genéricos sem haver restrições impostas por fabricantes de *software*. A interoperabilidade surge como elemento de suma importância num cenário que cada vez mais é exigido que se elimine a necessidade de replicação de dados de entrada já gerados, onde desperdiçar energia com retrabalhos é cada vez menos aceitável. De forma rápida e automatizada, a interoperabilidade possibilita o fluxo de informações para diferentes aplicativos durante o processo de execução e acompanhamento de projeto. Andrade e Ruschel (2009) mostram que um projeto requer grande troca de informações ao longo de seu ciclo de vida pelo fato de abranger muitas fases e vários participantes diferentes, e que cada especialidade normalmente requer diferentes aplicativos computacionais, o que reforça a necessidade de interoperabilidade.

Segundo Campestrini (2015), ao longo do desenvolvimento da tecnologia, surgirão diversos *softwares* BIM para análise dos diversos componentes de um projeto, como para análise de geração de resíduos, simulação de evacuação de edificações, atendimento a códigos de obra de prefeituras, à norma de desempenho, entre outros e cabe a interoperabilidade a responsabilidade de fazê-los interagir corretamente. Portanto, para Andrade e Ruschel (2009) a interoperabilidade torna-se condição obrigatória para o desenvolvimento de um projeto integrado.

Para Eastman et al. (2011), a transmissão de dados deve ser baseada em arquivos de formatos específicos pois nenhuma aplicação pode suportar sozinha todas as possíveis tarefas associadas ao projeto e a produção de um empreendimento. A interoperabilidade é baseada tradicionalmente em trocas de dados em formatos de arquivos, como por exemplo os conhecidos DXF (*Drawing eXchange Format*).

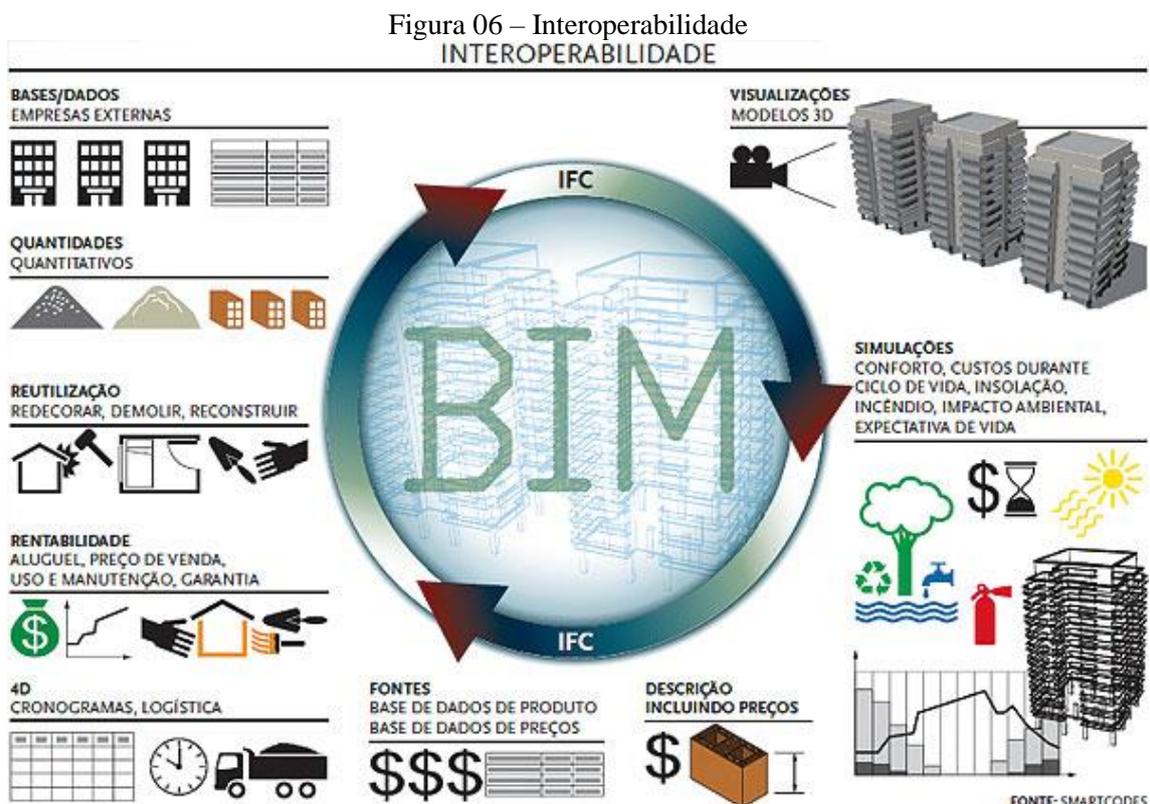
Para Scheer et al. (2009), a interoperabilidade é entendida como um mapeamento das estruturas internas de dados nas plataformas envolvidas em relação a um modelo ideal neutro, que independeria de fabricante do *software*. É necessário que a interoperabilidade aconteça de forma que o padrão para troca de dados entre os diferentes aplicativos seja feito de forma otimizada, a fim de se manter a semântica presente nos objetos e informações consistentes. Atualmente, o modelo neutro utilizado com maior frequência é o IFC (*Industry Foundation Classes*) na construção civil.

Segundo Eastman et al. (2011), os dois principais formatos de dados ou modelos de troca de dados adotados para construção civil são o *CIMsteel Integration Version 2* (CIS/2) e o *Industry Foundation Classes* (IFC). O CIS/2 é um formato desenvolvido para projetos e fabricação de estruturas em aço, ou seja, possui maior foco em estruturas de

aço. Por outro lado, o IFC, segundo a *International Alliance for Interoperability* (2008), é tido como um formato aberto, neutro e com especificações padronizadas para o *Building Information Modeling*. O IFC é um modelo de dados que pode ser utilizado no planejamento, nos projetos, na construção e no gerenciamento para um empreendimento. O IFC é o principal instrumento pelo qual é possível se estabelecer a interoperabilidade dos diferentes aplicativos disponíveis para o mercado (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Para o intercâmbio de dados entre diferentes plataformas de aplicativos são utilizados arquivos com origem em diversos modelos de formatos de troca, tendo maior ou menor interoperabilidade relacionada para cada modelo escolhido, podendo se limitar ou não apenas a trocas internas. Nos dias de hoje, conforme Eastman et al. (2011), existem quatro formas diferentes de trocas de dados entre dois aplicativos: ligação direta, formato de arquivo entre dois aplicativos de troca de proprietário, formato de arquivos de troca de domínio público e formatos baseados em XML (*eXtensible Markup Language*).

Na Figura 06 a seguir é possível se observar um pouco do processo da interoperabilidade.



Fonte: Interoperabilidade (REVISTA AU, Julho/2011)

## 2.4 DIMENSÕES BIM

Um modelo em BIM pode apresentar um leque de diversas dimensões além das usuais dimensões de trabalho constituintes de duas ou três dimensões, 2D e 3D, que a construção civil é historicamente acostumada a trabalhar. O BIM oferece em sua proposta a essência de um modelo tridimensional atrelado a outras dimensões complementares como custo ou tempo, chamadas popularmente de modelagens “nD”, consideradas por Aouad et al. (2003) como extensões do modelo 3D. As nomenclaturas 2D e 3D tem por si só entendimento natural, visto que são meramente associadas a sua representação geométrica tradicional de eixos coordenados. Para a elaboração dos nD’s são incorporadas diversas interfaces de informação nos modelos tridimensionais gerando o que se chama de dimensões complementares.

Para o entendimento do conceito de 3D basta apenas uma analogia simples e direta, já que está associado ao entendimento das dimensões físicas do modelo. Porém, Aouad et al. (2003) identificou que a partir da quarta dimensão, a compreensão dos modelos nD vai se tornando cada vez mais abstrata, fora do padrão de coordenadas e dimensões físicas. Por isso, o modelo nD é definido como a extensão do modelo de informação da construção que abrange e incorpora os diversos aspectos múltiplos referentes às informações pertinentes de um ciclo de vida de um empreendimento.

Ainda sobre as dimensões nD, foram definidas as ferramentas para modelagem nD como uma série de interfaces multidisciplinares com aplicações diversas para a análise e o projeto de um empreendimento em construção, possuindo interoperabilidade de dados padronizados. As dimensões mais comumente adicionadas para integrar um estudo em BIM são o tempo, custo, construtibilidade, acessibilidade, sustentabilidade, acústica, iluminação, requisitos térmicos e *facilities* (gerenciamento do ciclo de vida do bem). Um padrão mais utilizado para os nD’s pode ser visto abaixo:

- 2D – Estado plano;
- 3D – Tridimensional;
- 4D – Tempo (planejamento);
- 5D – Custo (orçamento)
- 6D – Sustentabilidade
- 7D – *Facilities* (manutenção / gestão)

Figura 07 – nD's do BIM

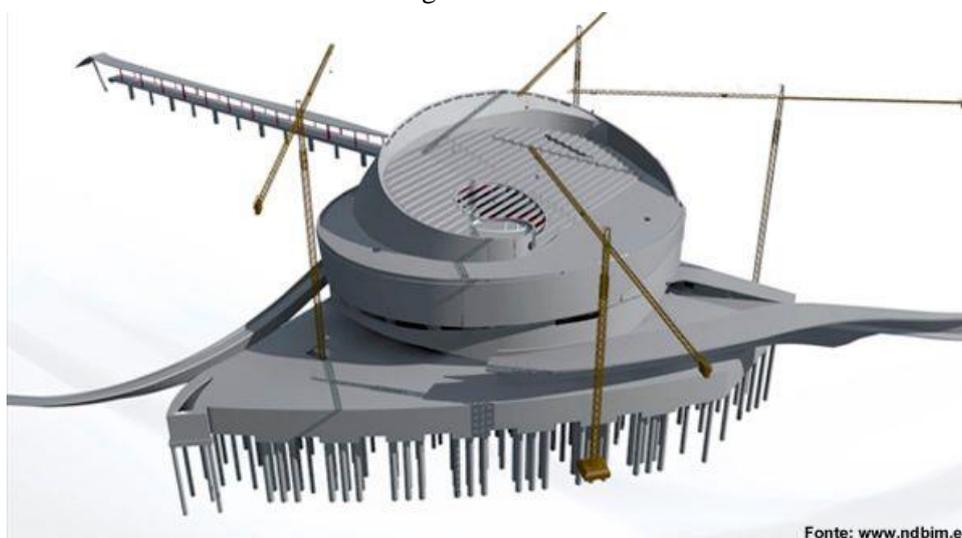


Fonte: BIMPANZEE, 2016 (<http://www.bimpanzee.com/bim-3d-4d--5d--6d---7d.html>). Acesso em 17.nov.16

### ➤ MODELO 3D

Quando se cria um modelo possuidor de interoperabilidade para um empreendimento está se criando um modelo em 3D. Ao se utilizar um modelo em três dimensões virtual inconsistências normalmente não perceptíveis em modelos 2D são facilmente identificadas e eliminadas. Segundo Dang; Tarar (2012) o modelo tridimensional contém todas as relações espaciais, informações geográficas e geométricas da construção. De forma quase que usual, a modelagem em 3D possibilita que se encontrem as incompatibilidades em momentos anteriores à construção, sanando possíveis problemas e retrabalhos frequentes nessa etapa.

Figura 08 – BIM 3D



Fonte: Mattos (2014) (<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>). Acesso em 17 nov. 2016

Num modelo 3D, conforme afirmações de Dang; Tarar (2012) diferentes disciplinas podem ser compatibilizadas através de modelos com interoperabilidade, para a verificação de conflitos e troca de informações. Com essa transposição, é possível se obter resultados com menor custo e prazos reduzidos para um mesmo empreendimento, pois esse processo estaria evitando possíveis retrabalhos e incompatibilidades.

Por ser um facilitador de decisões antecipadas e solucionador de incompatibilidades ainda no período de concepção e projetos de uma obra, o BIM, segundo Eastman et al. (2011), se torna a base para uma evolução do conceito da industrialização da construção, trazendo métodos construtivos pré-fabricados, que vem cada vez mais sendo utilizados, para a concorrência com os procedimentos manuais tradicionalmente aplicados.

Uma das grandes vantagens do BIM 3D é o que se chama de sistema *clash detection* (detecção de conflitos), isto é, a identificação de inconsistências entre os diversos projetos, como uma porta fora de lugar ou um tubo que colide com um pilar (MATTOS, 2014).

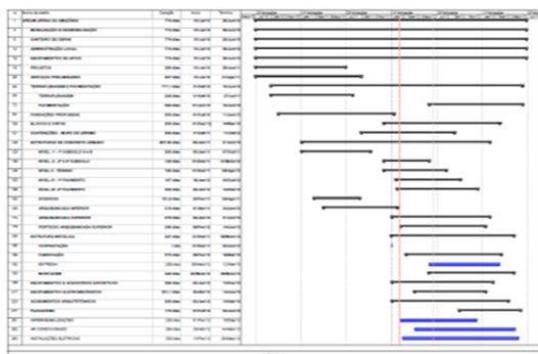
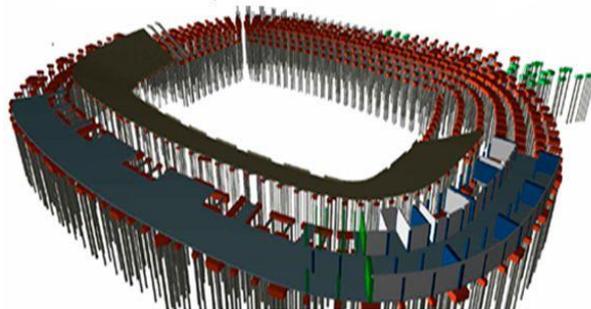
#### ➤ MODELO 4D

Para Mattos (2014) o modelo 4D é onde os elementos gráficos da edificação podem ser atrelados ao cronograma da obra. Para Silveira et al. (2006) no modelo 4D são associados os objetos existentes na construção eletrônica às atividades do planejamento. Diante disto, é possível notar que os modelos 4D podem evidenciar as verificações de logística de obra, cronogramas de execução de serviços, programações e evoluções da obra com o tempo, permitindo analisar as disposições de espaço de canteiro e outros fatores pertinentes da relação espaço *versus* tempo ao longo da construção.

Conforme citação de Eastman et al. (2011) a modelagem 4D permite que, ao assistir evolução da obra, membros do empreendimento possam tomar decisões mais assertivas baseadas em certezas maiores. No BIM 4D, podem ser vinculadas informações específicas do planejamento, como o caminho crítico da obra por exemplo.

Figura 09 – BIM 4D

Date: Dec 14, 2011



Fonte: Andrade Gutierrez

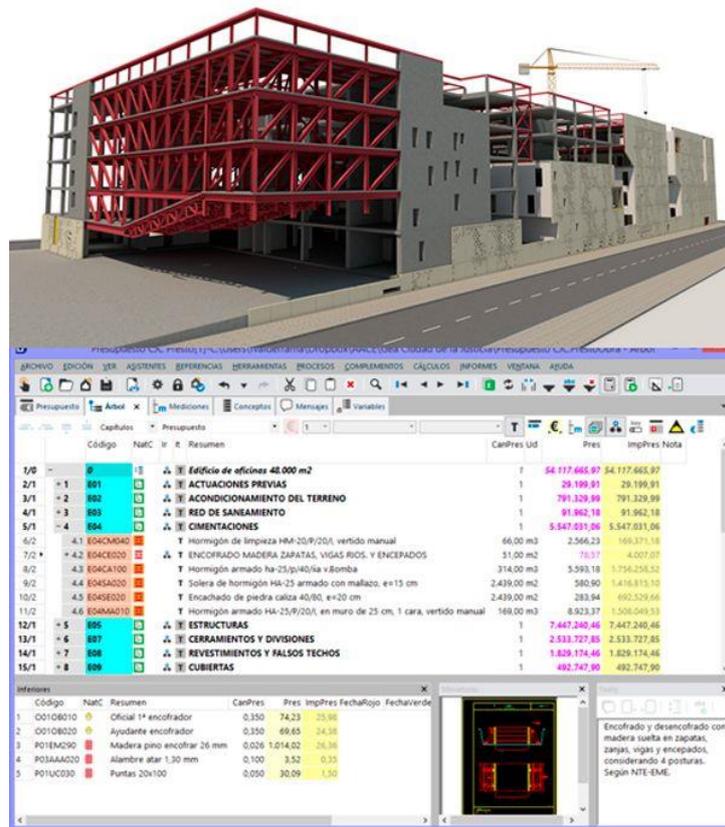
Fonte: Mattos (2014) (<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>). Acesso em 17.nov.16

#### ➤ MODELO 5D

No BIM 5D agrega-se a dimensão do custo ao modelo tridimensional (MATTOS, 2014). Nos modelos em 5D é possível se integrar o orçamento do projeto a ser estudado com o modelo em 3D da construção, tendo assim a possibilidade de previsão e controle do custo (previsto *versus* realizado) do empreendimento em suas diversas fases de construção. Para a obtenção de resultados satisfatórios e desejáveis do modelo com o BIM 5D é necessário que se tenha o orçamento de cada fase da obra elaborado no mesmo nível de detalhes do modelo. Por fazer parte de uma interface BIM, os resultados encontrados a partir do modelo são tão confiáveis quanto a assertividade das informações inseridas nele.

A partir de um modelo 5D é possível ser analisado e mensurado o desempenho financeiro de um empreendimento durante a sua execução. Segundo Sakamori (2015) quanto maior o nível de detalhamento do modelo mais eficiente passa a ser a estimativa de custo do empreendimento.

Figura 10 – BIM 5D



Fonte: [www.presto.es](http://www.presto.es)

Fonte: Mattos (2014) (<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>). Acesso em 17.nov.16

### ➤ MODELO 6D

No modelo 6D é feita a análise e a adição de sustentabilidade ao modelo tridimensional. Neste modelo é feita principalmente a análise de consumo de energia agregado ao empreendimento, a faixa de sustentabilidade e faixa do LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) que o empreendimento ocupa. A utilização do BIM 6D pode resultar em estimativas mais precisas e completas ainda na fase de projetos do empreendimento. Além disso, permite que haja a mensuração e a verificação durante a construção, o melhoramento de processos para o recolhimento de lições aprendidas em instalações de alto desempenho. O BIM 6D permite uma simulação no modelo que guia para uma redução geral de consumo de energia no empreendimento. Nesta etapa, realizam-se simulações para maior economia de energia e certificados *Green Buildings* (TEIXEIRA, 2016).

## ➤ MODELO 7D

Muitos autores desconhecem a existência de uma sétima dimensão e atribuem ao que se considera aqui como 7D a nomenclatura de 6D. Segundo Dórea (2014), o modelo em 7D, que é considerado como 6D em seu texto, traz inúmeras oportunidades de utilização ao BIM pois institui como outra dimensão a inclusão da *facilities management*, ou seja, o gerenciamento do ciclo de vida do bem em questão. Ainda reforça em seu texto que com essa aplicação, pode-se controlar a garantia dos equipamentos, planos de manutenção, dados de fabricantes e fornecedores, custos de operação e até mesmo fotos.

Para Araújo et al. (2011), um modelo em BIM permite que sejam inseridas quaisquer informações relativas aos componentes de construção. Então, se inserido dados referentes a vida útil e manutenção de cada elemento da construção, empreendimento ou edificação, tem-se formulado outra dimensão, o modelo de manutenção de sistemas, mais conhecido como 7D.

No BIM 7D, para cada componente podem ser incluídos prazos de execução, validade, informações adequadas de conservação, possíveis anomalias e avarias, soluções e metodologias de reparo que podem servir para o *guidance* da manutenção do empreendimento. Segundo Sampaio et al. (2011), para o projeto da manutenção, são confeccionadas tabelas que relacionam cada elemento com suas características específicas de manutenção. Permeado neste controle, fica fácil a obtenção de um panorama sobre quais patologias os elementos estudados poderão apresentar e de como trata-los no momento certo. Os dados obtidos são posteriormente adicionados, de modo paramétrico, a um modelo 3D, onde as informações relativas à manutenção dos elementos se vinculam a um protótipo no modelo BIM (ARAÚJO et al., 2011).

Ainda sobre a ótica de Araújo et al. (2011), os dados sobre a manutenção da construção passam a ser extraídos como fossem quantitativos, desse modo, os *softwares* BIM geram planilhas com as características básicas de manutenção dos componentes da edificação. Dessas planilhas, se gera um documento referente às características de manutenção de cada elemento ao longo da vida útil do projeto. Araújo et al. (2011) trazem que, com o relatório gerado, obtém-se o projeto de manutenção do empreendimento.

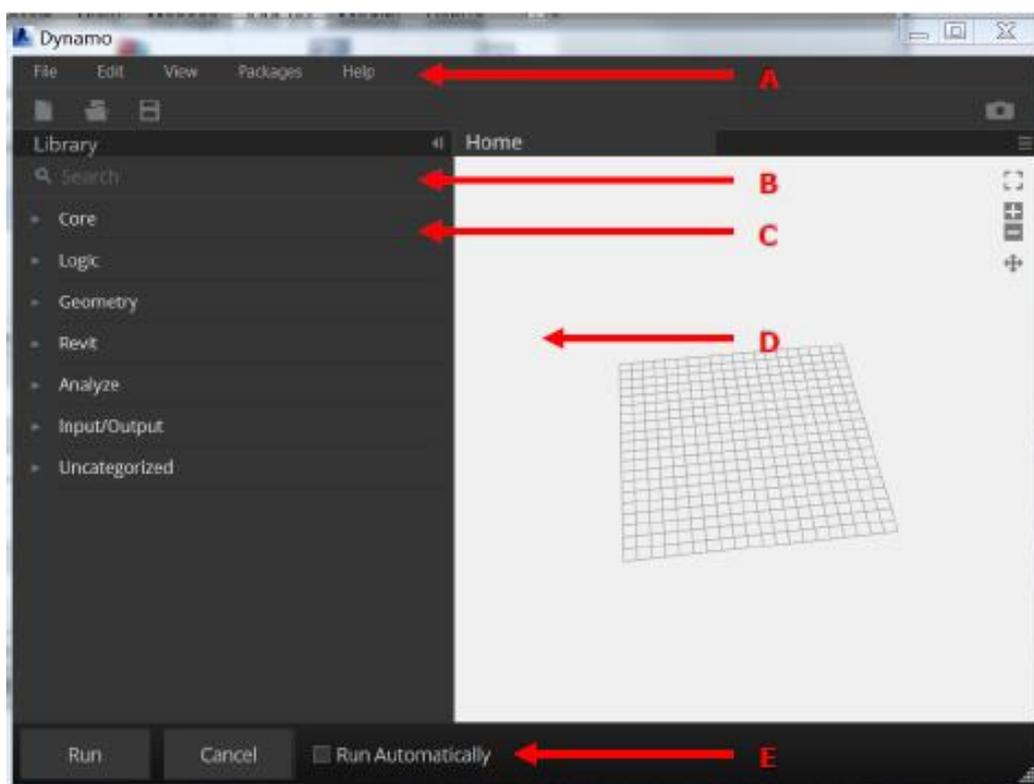
Para o melhor desempenho das plataformas em 7D e com o avanço dessa tecnologia, espera-se que cada vez mais fabricantes de materiais em geral voltados à indústria da construção civil passem a disponibilizar seus produtos nas plataformas do BIM com suas características de manutenção inseridas num modelo paramétrico,

diminuindo os trabalhos de modelagem, o que tornaria as análises nessa ferramenta mais viável.

## 2.5 SOFTWARE DYNAMO

O *Dynamo Visual Programming*, mais conhecido como Dynamo, é um *software* que tem grande utilidade como *plug-in* para as plataformas Autodesk® Revit® e Autodesk Vasari. No Dynamo é possível que os usuários utilizem recursos de exemplos *step-by-step* para automatizar a criação de elementos geométricos, usem dados externos para ajustar os parâmetros de cada família de elementos, e partilhem informações com diferentes plataformas de design. O Dynamo é o que se conhece por plataforma de *visual programming language*, ou programação de linguagem visual.

Figura 11 – Interface do Dynamo



Fonte: DYNAMO BIM (2016)

### 2.5.1 Linguagem de programação visual por algoritmo

Linguagem de programação visual por algoritmo, ou linguagem visual de programação, é um conceito que significa o uso de interfaces gráficas de usuários para construção de relações de programação. Ao invés de escrever um código partindo do zero, o projetista é capaz de montar relações entre os elementos a partir de ligações de nós pré-empacotados para geração de um algoritmo padrão. Isso significa que o projetista pode

trazer os conceitos computacionais ao seu projeto sem precisar escrever um código de programação propriamente dito.

O Dynamo é um *Add-in* de arquitetura aberta, editável no qual pode-se criar novas alternativas e códigos. Além disso, pode ser utilizado na plataforma Autodesk, Revit. O Dynamo permite que os projetistas elaborem projetos computacionais personalizados e processos de automação através de uma interface de programação visual baseada em nós. Os usuários recebem recursos para manipulação sofisticada de dados, estruturas relacionais e controle geométrico, o que não é possível usando uma interface de modelagem convencional. Além disso, o Dynamo dá ao projetista a vantagem adicional de ser capaz de alavancar fluxos de trabalho de projeto computacional dentro do contexto de um ambiente BIM.

Segundo Secerbegovic (2016), o Dynamo pode ser descrito como “*a visual way of doing complex tasks*”, ou seja, uma maneira visual de se executar tarefas difíceis. O Dynamo é capaz de dar completo acesso a programação do Revit à medida que o usuário vai se familiarizando com suas particularidades específicas de programação. Portanto, o Dynamo expõe uma nova forma de trabalho com informações geométricas atreladas ao Revit. A estrutura visual do programa permite que o projetista crie sistemas e relações únicas que expandem a maneira que o BIM pode ser usado na geração de informações.

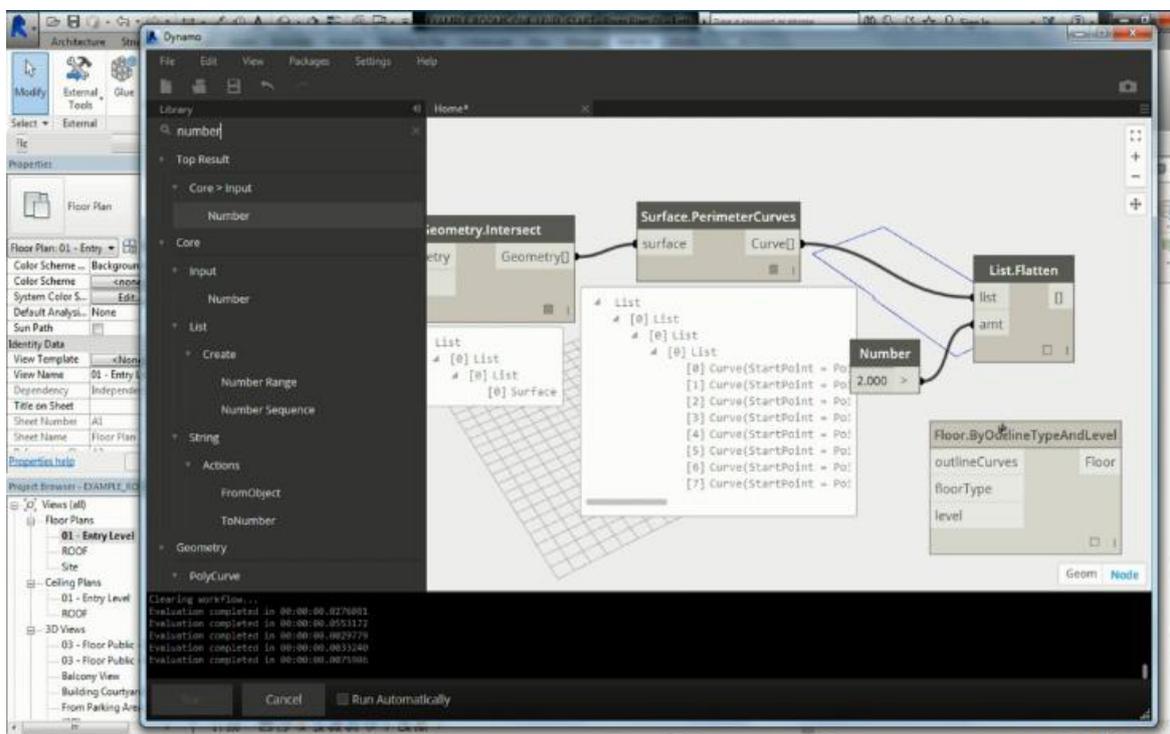
### **2.5.2 Principais utilizações do Dynamo**

O Dynamo é uma ferramenta que em seu conceito permite um leque muito abrangente de aplicações. Dentre as principais aplicações que o Dynamo pode propiciar, pode-se listar a elaboração de estruturas no Revit através da linguagem de programação e a extração de dados de um modelo para plataformas externas, como duas de suas principais atribuições. No *site* oficial do *software* diversas aplicações são apresentadas para os mais variados perfis de profissionais que utilizam a ferramenta, apresentando possibilidades desde utilização como forma de impressora até a exportação de dados como *dashboard* para o *software* Excel da Microsoft.

Segundo Sgambelluri (2014), gerar geometrias como a de um quarto, por exemplo, no Dynamo é bastante simples e rápido, o que mostra como através de parâmetros na rede lógica estabelecida é possível se obter elementos de forma rápida e eficaz utilizando esta plataforma. Portanto, com o Dynamo, é possível se criar de maneira racional e programatizada, massas, estruturas, famílias e entre outros elementos no Revit

apenas definindo alguns parâmetros na rede visual de “quadros” do programa. Na Figura 12 pode-se observar uma etapa deste processo onde é elaborado um modelo de quarto.

Figura 12 – Elaboração de um Quarto no Dynamo



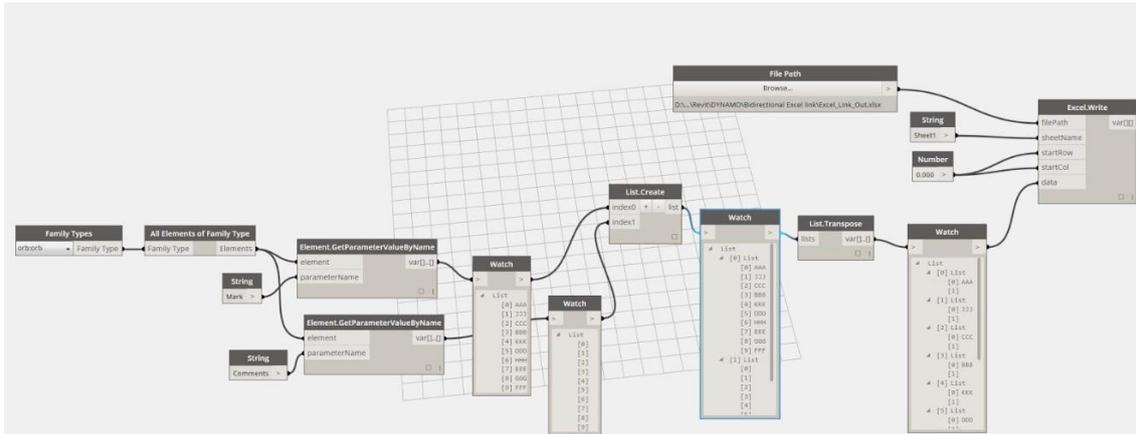
Fonte: Sgambelluri, 2014

A partir do Dynamo, é possível gerar dados em plataformas externas, como por exemplo no *software* Excel, as diversas informações geradas no Revit podem ser por ele extraídas para a geração de planilhas em *dashboards*. Com isso, é possível criar indicadores, quantitativos e base de dados variáveis através das informações extraídas dos fluxos gerados da programação do *software* de forma automatizada.

Através de uma simples mudança nos dados da rede do Dynamo, são absorvidas as mudanças nas tabelas, o que gera uma base de dados vinculada em tempo real. As possibilidades práticas desse exemplo prontamente adaptável são infinitas e a sutileza de direcionar elementos específicos e até parâmetros específicos dentro desses elementos é muito mais palatável do que a aplicação engessada de algumas ferramentas (GRIMM, 2014).

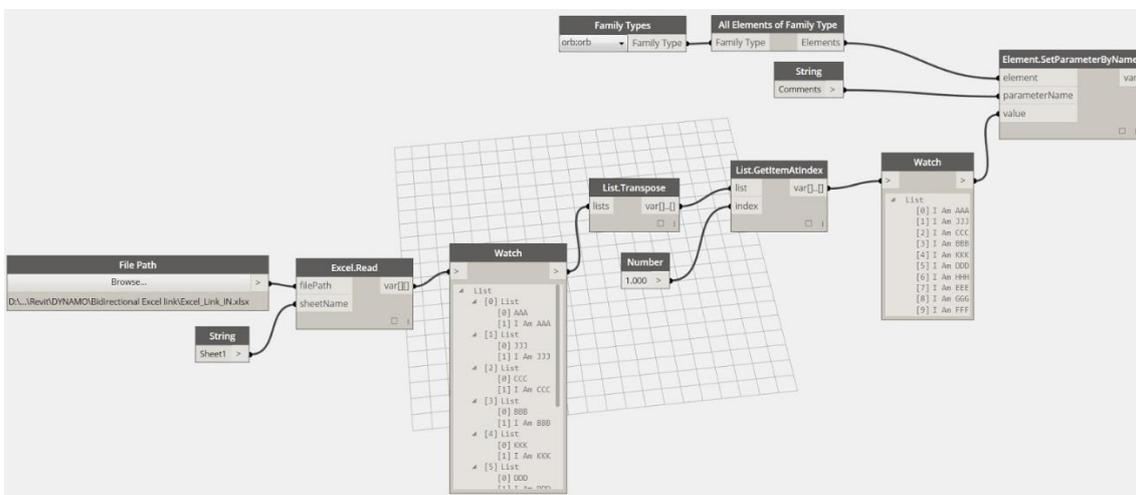
Nas Figuras 13 e 14 pode-se ver fluxo para extração de dados do Revit para o Excel e do Excel para o Revit, respectivamente, utilizando a plataforma Dynamo.

Figura 13 – Exportação Revit para o Excel



Fonte: Grimm, 2014

Figura 14 – Importação do Excel para o Revit



Fonte: Grimm, 2014

Diante das diversas aplicações que o Dynamo pode ter, fica a critério do projetista e do nível de detalhe que ele quer chegar o quão vantajoso esse plug-in pode se tornar. Segundo Snyder apud (GRIMM, 2014) existe uma tendência cada vez maior de as pessoas entregarem definições por meio de *add-ins* de plataformas de programação gráfica ao invés de entregar definições apenas por programas executáveis.

## 2.6 ORÇAMENTAÇÃO E BIM

Dentro de todas as possíveis utilizações do BIM, destacam-se a sua capacidade de gerar quantitativos e de vincular custos ao projeto no decorrer do processo concepção e construção de um empreendimento. A nomenclatura utilizada para a adição do escopo “custos” ao BIM é dada como o BIM 5D. Por conta do fato de conseguir extrair dados de quantitativos e custos para plataformas externas, através dos *softwares* dessa tecnologia, como por exemplo o Revit ou o Dynamo, é possível se atingir um bom nível de

informações para orçamentação de um empreendimento, dependendo sempre do nível de detalhes que terá a massa gerada no BIM a ser estudada.

Durante um processo de projeto diversos tipos de estimativas de custo podem ser desenvolvidos. Estas estimativas de custos vão de valores aproximados quando no início de projeto até os mais precisos, após a finalização do projeto. Eastman et al. (2011) consideram indesejável esperar até o final da elaboração de um projeto para se desenvolver uma estimativa de custos.

### **2.6.1 Modelagem 5D e orçamentação no BIM**

Durante a fase inicial de um projeto, as únicas quantidades disponíveis para estimativas, como por exemplo estudos de massa, são aquelas associadas área e volume, tipos de espaços, perímetros, comprimentos e outras dimensões não tão detalhadas, muitas vezes adequadas às estimativas de custos paramétricas. Em um projeto onde são utilizadas somente ferramentas tradicionais de projeto, e onde a cada nova fase é agregado um conjunto novo de informações, pode se tornar difícil coordenar e alinhar todas as informações disponíveis advindas dos projetos. Por isso, ao obter-se está dificuldade, falhas podem ocorrer no processo, o que pode ocasionar na ocorrência de falhas maiores ainda principalmente nas fases de orçamentação e de planejamento do empreendimento.

Todas as ferramentas BIM fornecem recursos para extração de quantitativos e componentes, quantidades de material, área e volume dos espaços. Estes recursos também incluem ferramentas para exportação de dados quantitativos em uma planilha ou uma base de dados externa (EASTMAN et al., 2011).

Obter com precisão os dados de custo necessários no projeto de um empreendimento sem ter posterior extrapolação orçamentária na fase de execução de um projeto é o principal objetivo de uma estimativa de custos. Para Witicovski (2011), o BIM proporciona uma quantificação automática e precisa de um projeto de construção. Segundo Eastman et al. (2011), todas as ferramentas BIM fornecem capacidades para extração de componentes variados, áreas e volumes dos espaços, quantidades de materiais e além disso relatá-los em vários cronogramas. Unindo o pensamento de Witicovski (2011) ao de Eastman et al. (2011), pode-se aferir que estas características do BIM proporcionam uma redução da variabilidade de custos quando comparado com a orçamentação. Além disso, pode trazer, por exemplo, o estudo de outras soluções que

atendam melhor os custos definidos no levantamento preliminar de custos ou até no âmbito de escopo de um projeto.

Para Azevedo (2009), a principal vantagem da modelagem em 5 dimensões (modelagem + tempo + custos) para os construtores é o aumento da precisão durante a etapa da construção de um empreendimento, onde há menor desperdício de tempo, insumos, e uma redução da quantidade de alterações durante a execução da obra. Para Staub-French et al. (2007), um modelo 5D só pode ser construído a partir de um modelo prévio de 4D, pois o componente tempo é um item essencial para que se faça o levantamento correto dos custos de um empreendimento. A modelagem 5D é baseada na extração de quantitativos, bem como o seu uso para o cálculo das estimativas de custo e taxas de produção ao longo das etapas de um ciclo de vida de uma obra. Através das informações obtidas por meio de um modelo 5D é possível que existam controles mais bem executados quanto aos parâmetros de custos, como, por exemplo, o controle de quais elementos já tiveram custo calculado, de quais elementos precisam de maior atenção orçamentária e o controle de quais áreas de construção contribuem mais para o custo total do empreendimento.

A modelagem 5D permite que se tenha uma estimativa de custos muito mais precisa ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. Qualquer análise quantitativa pode ser pareada diretamente com a descrição dos materiais utilizados durante a elaboração do projeto, podendo assim gerar estimativas de custos e quantitativos de materiais para providenciar uma base de dados simples e integrada nas análises visuais e quantitativas (SAKAMORI, 2015). Portanto, o uso da ferramenta 5D pode propiciar uma integridade dinâmica entre as estimativas de custo, cronograma, controle de projetos e contabilidade.

Os projetistas e orçamentistas devem coordenar métodos para padronizar os componentes de construção e os atributos associados com os componentes para um levantamento de quantitativos. As estimativas de custo obtidas a partir do modelo de construção a partir do rigor e nível de detalhe já modelado se tornam mais precisas (EASTMAN et al., 2011).

O enfoque da modelagem 5D são os custos. Portanto é necessário traçar um paralelo entre a estimativa de custo e orçamento, que junto ao quantitativo fornecido pelas ferramentas BIM possibilita atingir melhor precisão e economia em orçamentos e cronogramas físicos financeiros (GOUVÊA et al., 2013).

## 2.6.2 Custos e quantitativos através do BIM

Na construção civil, uma aferição correta de quantitativos acoplada a uma boa análise de custos de cada elemento presente desde a concepção de uma obra é um fator relevante para o sucesso do empreendimento a ser implantado. Com o BIM é possível se ter maior assertividade nos quesitos de quantitativos e suas relações com o custo, envolvendo menor trabalho braçal, o que reduz gradativamente a quantidade de erros que um projeto pode ter nesse quesito.

O orçamento de uma obra pode ser definido como uma estimativa ou previsão expressa em termos quantitativos físicos ou monetários visando auxiliar o gerenciamento e a tomada de decisões, seja para a empresa como um todo ou apenas para uma obra específica. Os quantitativos físicos referem-se à: quantidades de materiais de escritório, materiais de construção, horas de mão-de-obra, horas de equipamentos, por exemplo. Já os quantitativos monetários referem-se à: receitas, despesas, recebimentos, custos e desembolsos (PIETER, VAART,2004).

Para Matipa (2008), a importância do levantamento de quantitativos dos serviços do projeto fornece o ponto de partida para a avaliação global do papel da gestão de custos dentro de uma equipe de projetos. Orçamentistas consideram que o uso da tecnologia BIM facilitou o extenso trabalho de quantificar e visualizar rapidamente, identificar e avaliar as condições e prover mais tempo para otimizar os preços com os subcontratados e fornecedores (EASTMAN et al., 2008). Para Alder (2006), o levantamento de quantitativos pode ser realizado tanto manualmente quanto eletronicamente, dependendo da preferência e das ferramentas disponíveis pelo orçamentista. Os métodos tradicionais de se realizar um levantamento incluem a medição e todos os elementos de um edifício, utilizando-se da escala. Este método pode ser bastante tedioso, especialmente a transferências de medições para um arquivo, devendo estas serem verificadas cuidadosamente para garantir a exatidão (ALDER, 2006).

Ainda é comum, nos dias de hoje, que levantamentos sejam feitos a partir de medidas referenciadas por métodos manuais, contagem de objetos e cálculo de áreas e volumes. Como esse processo manual, apesar de não estar errada e servir de base para a aplicação do processo digital, é feita de forma cansativa e repetitiva, e por seres humanos, ela se torna uma metodologia que fatidicamente acomete diversos erros, despendimento de tempo e retrabalhos numa orçamentação. Para Eastman et al. (2011), os modelos BIM

possuem objetos que podem facilmente ser contatos e com áreas e volumes calculados de forma instantânea.

A vantagem da utilização do BIM é que desde o início da fase de projeto todos os componentes do modelo são inter-relacionados. Todos os dados paramétricos são relacionados com todos os elementos no projeto o que auxilia os projetistas a criarem projetos mais completos (ALDER, 2006).

Com o projeto desenvolvido, é possível extrair detalhes espaciais e quantidades de materiais diretamente do modelo em questão. Toda ferramenta BIM tem a capacidade de extrair o número de componentes, quantidade de materiais, áreas e volumes espaciais e informar vários cronogramas sobre um empreendimento. Estas quantidades são mais adequadas para produzir um levantamento preliminar de custo (EASTMAN et al., 2008).

A incorporação imobiliária tem como característica a necessidade de cada vez mais ter as informações de quantidades e custos atreladas em cada fase de um empreendimento o mais rápido e dinâmico possível. Por isso, um dos usos do BIM mais procurados pelos incorporadores é a extração de quantitativos dos modelos para a geração de estimativas de orçamentos em diferentes fases de obra. Os processos de contagem de componentes e extração de áreas e volumes são infinitamente mais rápidos e precisos quando feitos por meio de uma plataforma em BIM. Santos (2011) salienta em seu estudo que é importante notar que os componentes BIM normalmente não armazenam preços, nem composições ou serviços. Por isso, tais dados devem ser obtidos de bancos de dados externos de aplicativos dedicados à orçamentação, que podem receber entrada de quantitativos extraídos do modelo em BIM.

Para Bedrick (2005) com o uso do BIM é possível que se estabeleça com precisão uma estimativa de custo de um projeto arquitetônico, advinda diretamente do modelo em questão. Contanto com a exportação da informação utilizada no BIM, um banco de dados de custos pode produzir uma precisa estimativa de custo, de maneira mais veloz que o método tradicional. Segundo Eastman et al. (2011), utilizando *softwares* que realizam leitura de dados geométricos e não geométricos, é possível, a partir da quantificação de um projeto modelado em BIM, que a haja a geração automática de uma estimativa de custo, de detalhes dos desenhos e de relatórios acerca do projeto. Portanto, a partir do resultado da quantificação feita através do *software* atrelado a um banco de dados com informações das composições de custos de cada atividade é gerado uma estimativa de custos do projeto. Diante disto, permite-se que a equipe de construção se concentre

somente nas informações e tomadas de decisões do projeto, sem ter que despender maior tempo em outros assuntos.

Os projetistas e orçamentistas devem coordenar métodos para padronizar os componentes de construção e os atributos ligados aos componentes para o levantamento de quantitativos. As estimativas de custos obtidas a partir do modelo de construção se tornam mais precisas a partir o rigor e nível de detalhe já modelado (EASTMAN et al., 2011). As aplicações do BIM, nos dias de hoje, já permitem que sejam efetuadas listagens por elementos, por parâmetros e por quantidades em um projeto. Com isso, é possível que sejam extraídas as quantidades de forma automatizada do modelo. Por conta da interoperabilidade do BIM, as quantidades podem ainda ser aproveitadas por outras aplicações como para executar operações de orçamentação, planejamento e gestão da construção.

A AACE (*American Association of Cost Engineers*) em seu quinquagésimo quarto encontro anual (*54th Annual Meeting*), apresentou uma classificação para algumas características dos estágios de desenvolvimento de modelo associados com a metodologia para levantamento de custos, com precisão estimada e necessidade de esforço para execução do processo de cada estimativa. No Quadro 02 é possível observar tais apontamentos (SAKAMORI, 2015).

Quadro 02 – Nível de precisão e esforço demandado da estimativa de custo

Característica Primária		Característica Secundária			
Classe da Estimativa	Nível de desenvolvimento do projeto	Metodologia do levantamento de custos	Metodologia	Nível de precisão estimada (a)	Esforço demandado (b)
Classe 5	0% a 2%	Viabilidade	Análoga ou paramétrica	+ 200 a - 90%	0,005%
Classe 4	1% a 15%	Estudo Conceitual ou Viabilidade	Principalmente paramétrica	+ 120 a - 60%	0,001 a 0,002%
Classe 3	10% a 40%	Orçamento autorizado ou Controle	Variado, mas principalmente paramétrico	+ 60 a - 30%	0,015 a 0,05%
Classe 2	30% a 70%	Controle ou Orçamento / Proposta	Principalmente por pacotes de trabalho e análise de proposta de fornecedor	+ 30 a - 15%	0,025 a 0,1%
Classe 1	50% a 100%	Verificação da estimativa ou Orçamento / Proposta	Por pacotes de trabalho	+ 10 a - 5%	0,05% a 0,5%

(a) Representa a faixa que varia entre os valores do orçamento, do maior valor ao menor valor

(b) Representa o custo da execução do levantamento do custo em relação ao valor do empreendimento

Fonte: SAKAMORI, 2015 adaptado de (AL-MASHTA, 2010)

Produzir estimativas exige a capacidade não somente de contar blocos cerâmicos, portas, janelas, acessórios hidrossanitários, mas também a visualização destes elementos. Com a utilização do modelo BIM, há uma produção de dados concretos nas fases iniciais do processo de projeto. Várias versões destes documentos podem existir e o acesso às últimas versões é de suma importância. O intercâmbio de dados digitais sobre um projeto de construção pode substituir a base de processos impressos e pode aumentar a velocidade e a eficiência da comunicação, assim como melhorar a gestão dos custos da concepção à conclusão, também conhecida como gestão total de custos. O objetivo, no entanto, é integrar todos os dados multidisciplinares gerados pela obra para otimizar a sua utilização (MATIPA, 2008). Assim, os orçamentistas compreendem e visualizam exatamente o que está para ser quantificado na análise tais cenários (ALDER, 2006).

Para Alder (2006) muitos atributos que podem ajudar na estimativa e na quantificação utilizando-se da ferramenta BIM, dentre eles pode-se citar:

- Visualização e compreensão do escopo do projeto – visão tridimensional.
- Atributos dimensionais a partir de objetos sem quaisquer problemas de escala errada - exibir os itens a serem quantificados.
- Como um modelo é criado, a lista de materiais ou lista parametricamente tornam-se disponíveis e são ligadas aos objetos no modelo. Estas listas podem ser modificadas para mostrar os parâmetros dos objetos no modelo, tais como as quantidades e dimensões atualizadas automaticamente.
- É possível isolar os objetos na visão tridimensional para verificar a correta quantificação o orçamento é desenvolvido com detalhe significativo (detalhadas pelo sistema).
- É possível fornecer um entendimento de onde está a variância e a importância.
- As comparações com os dados iniciais são possíveis.
- A estrutura de custos é disponível para as partes fundamentais para avaliação das áreas onde são possíveis grandes melhorias.

### 3 ORÇAMENTAÇÃO PARAMÉTRICA

#### 3.1 ORÇAMENTO

Para avaliar a viabilidade de um empreendimento, é necessário estimar seu custo. Esta estimativa é realizada por meio da elaboração de um orçamento (ANDRADE, SOUZA, 2002). Para Limmer (2012), um orçamento pode ser definido como a determinação dos gastos necessários para a realização de um projeto, sempre levando em conta um plano de execução previamente estabelecido, e a tradução destes gastos em termos quantitativos para a satisfação dos seguintes objetivos:

- Constituir-se em documento contratual, servindo de base para o faturamento da empresa executora do projeto, empreendimento ou obra, e para resolver dúvidas ou omissões quanto a pagamentos;
- Definir o custo de execução de cada atividade ou serviço;
- Servir como referência na análise dos rendimentos obtidos dos recursos empregados na execução do projeto;
- Fornecer, como instrumento de controle da execução do projeto, informações para o desenvolvimento de coeficientes técnicos confiáveis visando ao aperfeiçoamento da capacidade técnica e da competitividade da empresa executora do projeto no mercado.

Pode-se conceituar orçamento como instrumento de planejamento e de controle vinculado aos planos de produção e investimento, que tem a finalidade de otimizar o rendimento dos recursos físicos e monetários à disposição da empresa (ZDANOWICZ, 1984). Ainda segundo Limmer (1997), a preparação de um orçamento é imprescindível para um bom planejamento, pois é com base nele que é construído o sucesso de qualquer empreendimento de construção predial. Para Coelho (2006), somente após a conclusão do orçamento pode-se determinar a viabilidade técnico-econômica do empreendimento, o cronograma físico-financeiro da obra, o cronograma detalhado do empreendimento e os relatórios para acompanhamento físico-financeiro da obra.

Na visão tradicional, Gonzalez (2008), afirma que um orçamento é uma previsão do custo ou do preço de uma obra e já que o custo total da obra é o valor correspondente ao somatório de todos os gastos necessários para a sua execução e o preço é igual ao custo agregado da margem de lucro atribuída, chegar-se-ia a seguinte equação:  $C+L=P$ . No entanto, mercado da construção civil, existe uma livre concorrência dada pela grande quantidade de participantes e ramos que dele surgem e podem surgir, o que faz com que

o preço seja dado pelo mercado, e seu orçamento, portanto, deve se adequar a este. Portanto, é necessário que as empresas visem gerenciar seus custos para a obtenção de lucros, o que leva a seguinte equação:  $P-C=L$ .

É importante ressaltar que todo e qualquer empreendimento, tendo em vista um mercado cada vez mais competitivo e um consumidor bastante exigente, requer um estudo de viabilidade econômica, um orçamento detalhado e um rigoroso acompanhamento físico-financeiro da obra (KNOLSEISEN, 2003).

Para Mattos (2006), um grande número de variáveis influencia no custo de um empreendimento, e por isso, a técnica orçamentária envolve a identificação, descrição, quantificação, análise e valoração de um grande número de itens, o que requer, portanto, muita atenção e habilidade técnica do orçamentista. Segundo Mattos (2006), o orçamento pode se confundir com orçamentação, que é o processo de determinação do orçamento, pois este é um produto da orçamentação. Muitos estudos devem ser feitos para que se minimizem ao máximo as lacunas e considerações inapropriadas num orçamento, uma vez que o orçamento é elaborado antes da construção do produto.

Para que um orçamento seja realizado, o orçamentista precisa considerar todos os detalhes que possam ter influência em custos durante a execução de uma obra de construção civil (LOSSO, 1995). Em geral, um orçamento é determinado somando-se os custos diretos (mão de obra e materiais), aos custos indiretos (equipes de supervisão e apoio, despesas gerais do canteiro de obras, taxas, equipamentos, etc) e adicionando-se impostos e lucro para se chegar ao preço de venda (MATTOS, 2006).

Para Knolseisen (2003), o orçamento se inicia com a interpretação minuciosa de todos os projetos arquitetônicos, estrutural, fundação, elétrico, hidráulico e todas as especificações e memoriais para, em seguida, passar à definição da estrutura analítica do projeto (EAP). O orçamento se caracteriza como instrumento de ação, com o objetivo principal de orientar o processo de tomada de decisões econômicas de uma empresa (ZDANOWICS, 1984).

Um dos maiores problemas na execução de um orçamento é a visualização incorreta das informações contidas em um projeto. Uma vez que um projeto é representado de uma série de desenhos, o conteúdo desses documentos pode não ser claro para todos os que o utilizam. Se não estiverem totalmente visualizados, compreendidos e comunicados, há grande chance de não serem corretamente representados no orçamento, criando problemas durante a construção (KYMMEL, 2008).

Portanto, um orçamento bem feito é essencial tanto para sua viabilidade quanto para um bom planejamento de obra atrelado a sua execução. O orçamento em seus diferentes níveis pode ser utilizado para diferentes fins, tendo sua devida importância a depender do nível de seu detalhe.

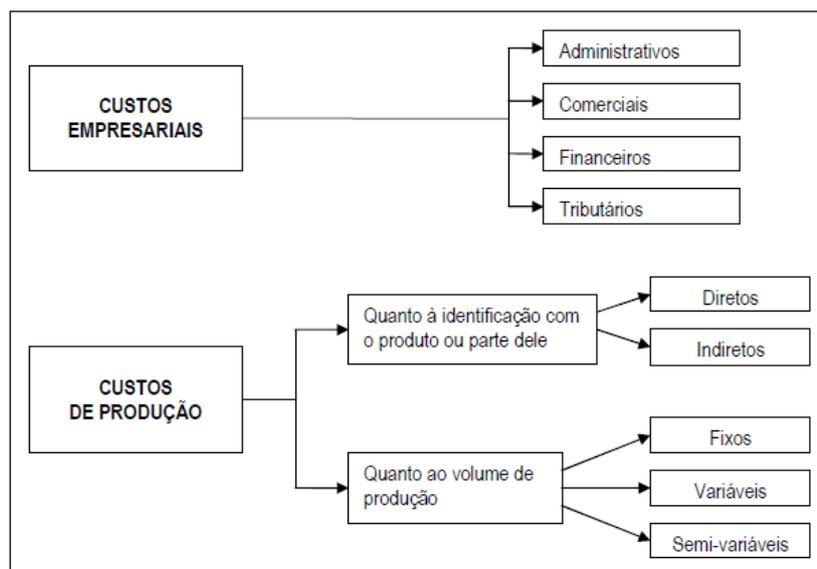
### 3.1.1 Conceitos de orçamentação

#### 3.1.1.1 Custo, despesa e gasto

Para Dias (2002), a palavra “custo”, que muitas vezes se confunde com as palavras “despesa” e “gasto”, é definida da seguinte forma: “A palavra “custo” é o termo genérico utilizado para referir-se a qualquer gasto, seja ou não monetário, aplicado na produção de um bem ou serviço. Pode-se definir também custo como sendo um esforço econômico despendido na consecução de um produto”.

De forma ampla, os custos podem ser divididos em dois grandes grupos, segundo Trajano: Custos Empresariais e Custos de Produção (apud DIAS, 2002). Os custos empresariais dizem respeito à administração central da organização, e geralmente independem do volume de produção. Já os custos de produção são aqueles relacionados com a fabricação do produto, incluindo todos os recursos necessários à sua produção (DIAS, 2002). Para Trajano, a classificação geral dos custos, pode ser demonstrada conforme Figura 15:

Figura 15 - Classificação dos custos Segundo Trajano.



Fonte: Trajano apud DIAS (2002)

Na construção civil, os custos, usualmente, podem ser classificados quanto à identificação do produto, podendo estes custos serem identificados como diretos ou indiretos.

Os custos diretos são aqueles que podem ser identificados ou relacionados com o produto em execução podendo ser apropriados diretamente. Exemplos: materiais diretos e mão de obra direta (MARTINS, 1995).

Os custos indiretos são aqueles que não se relacionam diretamente com um produto ou parte dele, ou que não convém que sejam inseridos diretamente, por razões econômicas ou dificuldades práticas de apropriação. Desse modo, devem ser apropriados separadamente e incluídos aos produtos através de rateio (MARTINS, 1995).

Para Martins (1995), pode-se diferenciar despesa e custo pelo fato de que os custos são todos os gastos realizados com o produto até que estejam prontos, e partir daí, tornam-se despesas. Receita representa a entrada de elementos sob a forma de dinheiro ou bens a receber, normalmente resultante da venda de bens ou serviços. Na linguagem da contabilidade de custos, despesa é o sacrifício e o esforço da empresa para obter uma receita. Por outro lado, gasto é o sacrifício que a entidade arca para a obtenção de um bem ou serviço. O gasto se concretiza quando os serviços ou bens adquiridos são prestados ou passam a ser de propriedade da empresa (MARTINS, 1995).

### **3.1.1.2 Tipos e fases da orçamentação**

Segundo Xavier (2008), os atributos ou qualidade de um orçamento traduzem a sua capacidade de retratar a realidade de um projeto. Elencar as especificações de uma determinada obra ainda na fase de orçamento é o nível de precisão que o orçamento deve conter, pois quanto maior e mais apurada for a sua elaboração, menor será a sua margem de erro.

Verificando que os orçamentos são realizados antecipadamente às obras, deve-se buscar sempre um orçamento mais próximo da realidade, sendo que o ideal de cem por cento de acerto é intangível antes da construção (SCHEER; AYRES, 2009). Portanto, o nível de precisão e de detalhe de um orçamento está diretamente ligado ao estágio de desenvolvimento do projeto. Quanto maior o nível de detalhamento do projeto maior será a precisão exigida de um orçamento.

Marchiori (2009), em seu trabalho traz as diferentes etapas do projeto e os objetivos do orçamento. Para Marchiori (2009), nas etapas iniciais, o orçamento deverá possibilitar a análise da viabilidade do empreendimento. No entanto, nas fases mais

próximas à construção é necessário conhecer as metas de custo para um determinado período ou para um determinado produto de construção (KERN, 2005).

De acordo com Andrade (1996) e Araújo (2003), existem diversos tipos de orçamento de produto utilizados na construção civil e dentre eles pode-se destacar os seguintes tipos de orçamento:

- a) Convencional: é feito a partir de composições de custo, dividindo os serviços em partes e orçando por unidade de serviço.
- b) Executivo: este tipo de orçamento preocupa-se com todos os detalhes de como a obra será executada, modelando os custos de acordo com a forma que eles ocorrem na obra ao longo do tempo.
- c) Paramétrico: é um orçamento aproximado, utilizado em estudos de viabilidade ou consulta rápidas de clientes. Está baseado na determinação de constantes de consumo dos insumos por unidade de serviço.
- d) Método pelas características geométricas: baseia-se na análise de custos por elementos de construção de edifícios do mesmo tipo e com alguma semelhança relativa do elemento analisado no edifício de estudo.
- e) Processo de correlação: o custo é correlacionado com uma ou mais variáveis de mensuração, podendo ser uma correlação simples (produtos semelhantes) ou uma correlação múltipla (o projeto é decomposto em partes ou itens).

Utilizando a adaptação realizada por Sakamori (2015) do estudo de Ávila et al. (2003) com a classificação desenvolvida por Andrade (1996), pode-se fazer, a partir do Quadro 03, a verificação do nível de precisão de cada tipo de orçamento.

Quadro 03 - Comparativo das relações do projeto e orçamento.

<b>Orçamento</b>	<b>Margem de erro*</b>	<b>Elemento técnicos necessários</b>
Paramétrico	20a 15%	Anteprojeto ou projeto indicativo Preços unitários de serviços de referências Especificações genéricas Índices físicos e financeiros de obras semelhantes
Convencional	15% a 5%	Projeto executivo Projetos complementares Especificações dos serviços e materiais Preços de insumos de acordo com a escala de serviços
Executivo	5% a 1%	Todos os elementos necessários ao orçamento detalhado mais o planejamento da obra
* o erro diminui conforme o nível de detalhamento dos elementos técnicos		

Fonte: Adaptado por Sakamori (2015) (AVILA et al., 2003).

Os projetos de construção exigem estimativas precisas para cada etapa do processo. Comparando o orçamento executivo e o orçamento convencional a diferença está no uso do planejamento para a definição dos custos. Ao se executar um orçamento executivo, parte-se de uma programação prévia, com a análise de todo o processo construtivo para se chegar a uma estimativa de custo detalhada. Nesta última abordagem, o custo dos materiais é proporcional à quantidade produzida, enquanto os custos de mão de obra e equipamentos são proporcionais ao tempo (GELDERMAN et al., 2005).

Como visto anteriormente, a aplicação do BIM no projeto colaborativo pode contribuir tanto para aprimorar o processo de obtenção das quantificações dos elementos desenhados a partir da modelagem 4D, quanto o levantamento de custos e prazos para a execução (FLORIO, 2007).

### **3.1.1.3 Estudo de viabilidade**

O estudo de viabilidade é a primeira etapa de um processo de incorporação e de concepção de um empreendimento. Nesta etapa são referidas as atividades que envolvem a idealização do produto em si, onde são definidos os critérios do negócio, sendo eles a viabilidade financeira, tipo de produto, mercado a atingir, entre outros, e o programa de áreas e necessidades da edificação no momento anterior a compra do terreno.

O estudo de massa é uma grande ferramenta ao estudo de viabilidade de um empreendimento. Esse estudo geralmente é dado por uma tabela de áreas com as informações básicas do empreendimento (número e área dos pavimentos, número de unidades, número e área de subsolos), podendo ainda ser modelado em ferramenta BIM para melhor avaliação do empreendimento.

Segundo Gonçalves (2011), quando aliando um estudo de massa a um programa do que se pensa em construir no empreendimento, reunindo a definição de grandes áreas, número de andares, programa do produto (número de vagas, número de dormitórios, número de suítes, etc.), localização e dimensões do terreno, topografia, entre outros, já se possui informações suficientes para a elaboração de um acurado custo de construção e seu fluxo de desembolso até a finalização da obra. Sendo esse fluxo de receitas e dos custos compatíveis com os retornos esperados pelo incorporador é comprado o terreno e passa-se para outra fase do estudo do empreendimento, caso outras variáveis não financeiras, como estratégicas também sejam atendidas.

Segundo Stillman (2002), a fase de concepção do produto tem grande impacto no custo, devido ao fato de serem nela estabelecidas as bases conceituais do projeto e da estratégia de construção.

#### **3.1.1.4 Estimativa de custos**

No setor de construção civil, o orçamento detalhado se apresenta como o método de estimativa com resultados de maior precisão, se realizado havendo a disponibilidade de todos os projetos e especificações definitivos para a construção do empreendimento.

Orçamentos detalhados diversas vezes têm sua utilização limitada dentro do processo de construção, principalmente nos estágios iniciais de trabalho, onde a análise do custo determinará a viabilidade do empreendimento e posterior caracterização do mesmo (HEINECK et al., 2010)

O processo orçamentário busca a determinação dos gastos para realização de um projeto, em função de um plano já estabelecido. As estimativas de custos são definidas como uma forma de apresentar os custos de execução do projeto. Porém não implicam necessariamente na elaboração de um orçamento em si (LIMA, 2000).

Segundo Lima et al. (2016), o orçamento por estimativas é um instrumento que proporciona o conhecimento dos custos do projeto com rapidez, de modo a atender as necessidades dos investidores, pois almejam o conhecimento prévio do valor do custo do projeto. Portanto, a finalidade da estimativa de custos é conhecer o custo de construção, levando em consideração apenas os dados técnicos de que o empreendimento dispõe, tendo o objetivo de se obter os resultados em tempo deveras inferior em comparação com o prazo que seria expandido em um orçamento detalhado.

Segundo Assumpção (1996), as decisões iniciais sobre tipo, tamanho, forma e nível geral de qualidade da construção possuem uma influência muito significativa na determinação do custo da obra tendo em si decisões que afetam o custo total de maneira mais efetivas do que decisões posteriores detalhadas em projetos. Diante disto, é notória a importância da utilização informações para a utilização das técnicas paramétricas, nas etapas iniciais do processo de construção do empreendimento em estudo.

Toda estimativa orçamentária é afetada de erro, que será tanto menor quanto melhor for a qualidade da informação disponível na ocasião da sua elaboração (LIMMER, 1997). Segundo Heineck et al. (2010), através da fragmentação do custo total do empreendimento em parcelas menores, por meio da utilização de direcionadores de custo

específicos para cada uma das parcelas, é possível se obter uma redução do erro da estimativa.

Considerada como um método que utiliza relações sob a forma de algoritmos matemáticos ou lógicos para se obter uma estimativa de custos, as relações paramétricas de custo, podem variar desde simples regras informais até funções matemáticas complexas provindas da análise estatística de dados (KURTZ, 2003).

Desta forma, o ideal é a determinação de um conjunto de relações paramétricas direcionadas para diferentes parcelas do custo, formando a estrutura que se pode denominar de modelo paramétrico de custo (ASSUMPÇÃO, 1996).

De acordo com Kurtz (2003), a utilização de estimativas paramétricas de custos é comum na construção civil. No entanto, são utilizados modelos simplificados, baseados em uma característica ou aspecto da edificação, buscando estabelecer custos gerais únicos determinados por essa característica. Porém, há a possibilidade de desenvolvimento de um modelo paramétrico a partir de estruturas mais complexas, o qual relacione diferentes direcionadores de custos, para a promoção uma análise mais detalhada dos custos de um empreendimento.

Segundo Heineck et al. (2010), a base da metodologia de estimativa paramétrica são as relações paramétricas de custo onde se estabelece a existência de uma ligação entre o custo e uma determinada característica técnica do produto ou serviço (parâmetro), que é expressa por uma equação matemática.

A metodologia paramétrica é a única forma de se efetuar uma estimativa de custo quando não se dispões de informações detalhadas do projeto, sendo geralmente utilizada na fase inicial dos projetos (DEPARTMENT OF DEFENSE, 1999).

### **3.1.1.5 CUB**

O CUB (Custo Unitário Básico) é uma forma aproximada de orçamento, a qual geralmente é usada na fase de estudo de viabilidade de um empreendimento ou quando se está realizando o seu planejamento preliminar, para se obter o custo da obra através do produto das áreas de construção por custos unitários por m<sup>2</sup>. De acordo com Mattos (2006), a utilização do Custo Unitário Básico não impede as construtoras de criarem outros índices baseados nos custos de obras anteriores, apesar de ser o parâmetro mais utilizado quando se trata de obras de edificações.

O CUB foi criado através da Lei Federal 4.591, de 16 de dezembro de 1964. Por conta do artigo 53 a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e o Banco Nacional de Habitação estabeleceram uma norma que padroniza o cálculo do custo unitário da construção, passando a considerar alguns fatores como o padrão do empreendimento e o número de pavimentos da edificação.

O método do Custo Unitário Básico (CUB) prevê 19 tipologias de empreendimentos e é o método mais utilizado para a Incorporação imobiliária, sendo os seus custos unitários divulgados mensalmente pelo Sindicato da Construção Civil (Sinduscon) de cada Estado. Segundo a ABNT (2006), o conceito de Custo Unitário Básico é dado como o custo por metro quadrado de construção de projeto-padrão considerado, calculado de acordo com a metodologia estabelecida pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil.

Segundo Mattos (2006), o CUB traz o custo da construção, por m<sup>2</sup>, de cada um dos padrões de imóvel estabelecidos. Porém, em sua abordagem, não faz algumas considerações de custos tais quais os custos com fundações, rebaixamentos do lençol freático, instalações de ar condicionado, recreações urbanísticas, impostos, projetos, entre outros.

Quadro 04 - Custos unitários da construção segundo o método do Custo Unitário Básico (CUB) em janeiro de 2017 no estado da Bahia.

Tipologia		Sigla	Área real	Área equivalente	Custo/m <sup>2</sup> padrão		
					Baixo	Nomal	Alto
Residencial	Residência Unifamiliar	R1-B	58,64	51,94	1.410,31		
		R1-N	106,44	99,47		1.664,81	
		R1-A	224,82	210,44			1.978,24
	Residência Unifamiliar popular	RP1Q	39,56	39,56	1.329,61		
	Projeto de interesse social	PIS	991,45	978,09	890,09		
	Prédio popular	PP-B	1.415,07	927,08	1.198,80		
		PP-N	2.590,35	1.840,45		1.575,31	
	Residência multifamiliar 8 pavimentos	R8-B	2.801,64	1.885,51	1.133,99		
		R8-N	5.998,73	4.135,22		1.322,99	
		R8-A	5.917,79	4.644,79			1.574,89
Residência multifamiliar 16 pavimentos	R16-N	10.562,07	8.224,50		1.270,58		
	R16-A	10.461,85	8.371,40			1.657,93	
Comercial	Salas e lojas 8 pavimentos	CSL-8	5.942,94	3.921,55		1.311,33	1.415,42
	Salas e lojas 16 pavimentos	CSL-16	9.140,57	5.734,46		1.735,35	1.873,08
	Andar livre 8 pavimentos	CAL-8	5.290,62	3.096,09		1.513,95	1.602,67
	Galpão industrial	G1	1.000,00			710,38	

Fonte: Adaptado de Lima (2013) e baseado em SINDUSCON-BA (2017)

A ABNT (2006) traz a especificação do padrão de acabamento dos projetos residenciais, comerciais, galpões industriais e residências, como de baixo, de médio ou de alto padrão. Para cada tipo de projeto-padrão existe uma planilha que especifica os tipos de acabamentos considerados nele. O Quadro 04 apresenta os custos unitários da construção do método CUB.

Outro recurso utilizado para tornar o custo unitário mais preciso é o processo de equivalência de área, além da composição de custos por tipologia. Numa edificação de mesma tipologia podem existir ambientes com custos não congruentes, devido à grande diversidade de complexidades construtivas ou padrões de acabamento. Por isso, quando este custo é diferente do custo unitário básico da construção adotado como referência, sendo, a depender do caso, maior ou menor que a área real correspondente se utiliza a área equivalente, que é uma área virtual cujo custo de construção é equivalente ao custo da respectiva área real. Portanto, o método do CUB utiliza-se desse recurso disponibilizando os seguintes coeficiente médios, a serem aplicados como produto à área real na obtenção da área equivalente para cada segmento da edificação:

- a) garagem (subsolo): 0,50 a 0,75;
- b) área privativa (unidade autônoma padrão): 1,00;
- c) área privativa salas com acabamento: 1,00;
- d) área privativa salas sem acabamento: 0,75 a 0,90;
- e) área de loja sem acabamento: 0,40 a 0,60;
- f) varandas: 0,75 a 1,00;
- g) terraços ou áreas descobertas sobre lajes: 0,30 a 0,60;
- h) estacionamento sobre terreno: 0,05 a 0,10;
- i) área de projeção do terreno sem benfeitoria: 0,00;
- j) área de serviço – residência unifamiliar padrão baixo (aberta): 0,50;
- k) barrilete: 0,50 a 0,75;
- l) caixa d'água: 0,50 a 0,75;
- m) casa de máquinas: 0,50 a 0,75; e
- n) piscinas, quintais, etc.: 0,50 a 0,75.

Apesar de a composição de custos do CUB abranger diferentes tipologias de edificações e a equivalência de áreas ainda se trata de uma estimativa de custos perigosa pois não leva em consideração os aspectos geométricos influentes no custo de uma edificação.

### **3.1.1.6 CUG**

O Custo Unitário Geométrico (CUG) é uma modelagem desenvolvida por Lima (2013) em sua Dissertação de Mestrado da UFRJ, que teve como base para seu modelo piloto os projetos e orçamentos do CUB. Para Lima (2013), o CUG se destina especificamente para a estimativa de custos na fase inicial do desenvolvimento de produtos imobiliários.

De acordo com Lima (2013), as diferenças na forma arquitetônica, na altura e no número de paredes internas dos edifícios, por exemplo, fazem com que existam diferentes proporções entre a área de construção e as áreas de outras superfícies, como de paredes, de pisos, de coberturas, de contenções, entre outros. A partir destas diferenças cria-se uma implicação direta na alteração do custo por área de construção.

Mesmo na fase inicial da obra é possível verificar proporções de forma, altura e compartimentação interna de um empreendimento já definido, embora ainda exista toda dificuldade gerada pela falta de detalhamentos de projetos. Para se facilitar o entendimento destes parâmetros essas variações podem ser divididas, segundo Lima et al. (2016), em dois grupos: planos horizontais (lajes, revestimento de piso, forro etc.) e planos verticais (revestimento de parede, compartimentação, esquadrias etc.).

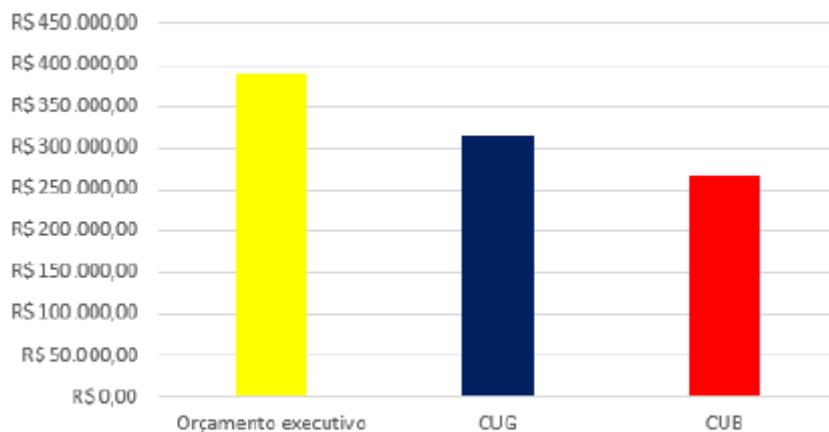
De acordo com Mascaró (2010) em seu estudo, existe proporção direta entre os planos horizontais e a área construída, o que equivale a apenas 25% do custo do projeto, já os planos verticais representam 45% do custo, e não apresentam nenhuma relação com a área construída por se relacionar diretamente apenas com a altura e o perímetro da edificação.

Para a utilização do método comparativo com maior facilidade nos estudos preliminares do projeto Lima (2013) desenvolveu uma calculadora baseada em equações paramétricas a fim de obter os resultados estimados de orçamento.

Para o cálculo dessa estimativa, é necessária a obtenção de alguns dados, como por exemplo, área total construída, padrão de construção do projeto, área molhada, área privativa, e área de parede externa e parede interna. Mesclando os estudos de Lima (2013)

e Lima et al. (2016), é possível inferir que o CUG é o parâmetro que mais se aproximou do orçamento executivo analisado, onde teve uma de 9% a 23%, já o CUB apresentou uma variação de 31% a 45% ambos em relação ao custo executivo. Como pode ser visto na Figura 16, extraída do estudo de Lima et al. (2016).

Figura 16 – Análise CUB x CUG x ORÇ.EXECUTIVO



Fonte: LIMA et al. (2016)

Apesar de ser um método de estimativa mais abrangente, o CUG foi elaborado com base no CUB e, por isso, traz consigo a não inclusão em sua composição de alguns itens que já não estavam presentes nas considerações deste parâmetro, como por exemplo: playgrounds, fundações, elevadores, equipamentos e instalações, despesas indiretas, impostos e outros.

Portanto, para se obter uma estimativa de custo que traga uma viabilidade econômica bem realizada, é necessário que, após a análise orçamentária paramétrica, sejam incorporados ao orçamento os itens não inclusos nestes parâmetros para que se possa reduzir ainda mais a margem de erro em relação ao custo executado. Além disso, o CUG foi desenvolvido e criado em paralelo à NBR 15575, atual Norma de Desempenho e por isso, não agrega em seu custo os critérios de durabilidade e desempenho exigidos por norma, necessitando também se fazer essa adaptação.

É de importância fundamental o desenvolvimento de pesquisas nesta área de planejamento e gestão da construção civil com o intuito de diminuir custos e incertezas. O desenvolvimento do CUG foi um salto para a área da estimativa de custos, porém ainda há necessidade de criar novos parâmetros ainda mais precisos que reduzam ainda mais os erros nele encontrados. (LIMA et al., 2016)

### 3.1.1.7 INCC

O INCC significa Índice Nacional de Custo da Construção, e foi elaborado pela Fundação Getúlio Vargas com a função de apurar a evolução dos custos das construções habitacionais no mercado da Construção Civil. Normalmente, este índice serve para a correção de contratos de compra de materiais ou de serviços prestados enquanto a obra está em execução.

Segundo a própria FGV (Fundação Getúlio Vargas), o INCC deve ser calculado conforme as seguintes fórmulas:

$$\text{Valor atual} = \Delta INCC \times \text{Valor a ser reajustado}$$

$$\Delta INCC = \frac{INCC (\text{Mês atual} - 1)}{INCC (\text{Mês a ser reajustado} - 1)}$$

Como um índice que sofre reajustes com o tempo o valor do INCC é mensalmente atualizado e disponibilizado pela própria fundação em seu *site*. É um fator de reajuste comumente utilizado e possui grande acurácia nos resultados, se aplicado corretamente.

## 3.2 PARAMETRIZAÇÃO.

### 3.2.1 Indicadores geométricos

Mesmo em edifícios de mesma tipologia e de mesmo padrão de acabamento, os custos de metro quadrado podem apresentar grandes diferenças, por conta das características geométricas presentes em cada tipo de projeto. Podem existir diferenças na forma, na altura ou na compartimentação das edificações, que são responsáveis pela existência de diferentes proporções entre a área de superfície de piso e as áreas de outras superfícies, como as de paredes e de coberturas, o que novamente implica em custos diferenciados por área de construção.

Cada decisão tomada pelo arquiteto ou pelo engenheiro em seu projeto significa uma opção para solucionar um dos vários aspectos diferentes da obra (MASCARÓ, 2010). Portanto a maneira como se dispõe o empreendimento influi diretamente no seu custo. Por isso, Mascaró (2010) propõe três leis que explicam a dinâmica entre geometria e custo: a lei do tamanho, lei da forma e lei da altura.

Destas definições é possível se aferir diversos indicadores, gerados a partir das características do empreendimento e sua disposição. Trazendo à tona vários estudos de otimização de formas de edificações para reduzir ao máximo os custos como a iniciativa

de Tuhus-Dubrow e Krarti (2010), que realizaram investigações em diferentes formas geométricas de construção para uma análise de otimização, na qual consideravam superfície externa, paredes, cobertura, tipos de fundação, nível de insolação, áreas e ventilação. Dessa pesquisa, pode-se obter indicadores que mostravam que construções cujas formas são retangulares e trapezoidais apresentam melhores desempenhos (menores custos no ciclo de vida), em cinco diferentes climas.

### **3.2.1.1 Lei do tamanho**

Segundo Mascaró (2010), a lei do tamanho diz que o aumento (ou redução) nas áreas construídas em  $x\%$  levarão a aumentos (ou redução) de  $x/2\%$  nos custos (ou ainda menos). Essa lei se baseia na análise do custo dos componentes de um edifício, apropriando estes custos em 4 grupos, Mascaró (2010) pode concluir que os planos horizontais representam 25% do custo total de um edifício, deixando 45% para os planos verticais, 25% para instalações e 5% para o canteiro de obras.

A análise desta lei dá-se por um conceito bastante simples, entre a superfície e o perímetro de uma forma retangular.

### **3.2.1.2 Lei da forma**

A lei da forma traz uma análise sobre o grau de compacidade de uma edificação. Pode ser definida por Mascaró (2010) como: Na medida que as formas perdem compacidade, sejam porque se alongam ou porque se quebram com múltiplas arestas, seus custos aumentarão, seguindo uma curva que se inicia suavemente, mas que cresce cada vez com mais intensidade. (MASCARÓ, 2010)

Enquanto na Lei do Tamanho tem-se a afirmativa que os planos verticais assumem 45% do custo total de uma edificação, porém pode-se ver que esta participação no montante do custo do projeto é uma média que varia conforme as seguintes diretrizes dispostas por Lima (2013):

- A forma do edifício e de seus compartimentos determina a quantidade de paredes por  $m^2$  construído, influenciando no custo por  $m^2$  da edificação;
- O nível de compartimentação da edificação determina a quantidade de paredes por  $m^2$  construído, influenciando no custo por  $m^2$  da edificação;
- Os materiais, componentes e sistemas construtivos empregados na construção determinam o custo por  $m^2$  de parede, influenciando no custo por  $m^2$  da edificação.

Diante do exposto, a Lei da Forma é pautada no primeiro dentre os pontos levantados acima, ou seja, traz a variação do custo de um edifício em função de sua forma. Por conta da importante participação dos planos verticais no custo total de um edifício, essa variação está fortemente relacionada à variação da quantidade de paredes por metro quadrado construído e na relação entre o perímetro e a área da edificação.

Deste modo, pode-se aferir o índice de compacidade que tem como objetivo medir e avaliar a relação entre as paredes do perímetro do edifício e sua superfície. Podendo ser definido como a relação percentual que existe entre o perímetro de um círculo de área igual à do projeto em análise e o perímetro das paredes exteriores do projeto, a ser expresso pela fórmula:

$$Ic = \frac{Pc}{Pp \times 100}$$

Onde:

Ic= índice de compacidade

Pc= perímetro de um círculo de área igual a área do projeto

Pp= perímetro das paredes exteriores do projeto

Esse índice, no entanto, avalia a relação entre perímetro e área sem levar em consideração as dificuldades construtivas de superfícies curvas e arestas, não levando em consideração suas influências nos custos (LIMA, 2013). Conforme afirma Mascaró (2010), cada aresta equivale a 0,5m de perímetro e um plano curvo custa, em média, 50% a mais que seu equivalente reto. Portanto, a partir dessas premissas levantadas por Lima (2013) e Mascaró (2010) define-se, então, o índice econômico de compacidade, expresso pela fórmula:

$$I_{EC} = \frac{Pc}{P_{EP} \times 100}$$

$$P_{EP} = P_{PR} + 1,5 \times P_{PC} + \frac{nA}{2}$$

Onde:

Iec= índice econômico de compacidade

Pc= perímetro de um círculo de área igual a área do projeto

Pep= perímetro econômico do projeto

Ppr= perímetro das paredes exteriores retas do projeto

Ppc= perímetro das paredes exteriores curvas do projeto

na = número de arestas no perímetro da fachada

Considerando o índice econômico de compacidade, o círculo deixa então de ser a forma mais econômica, já que, apesar de ser a mais compacta, tem o perímetro todo em formato curvo. Pode-se concluir que o custo de construção por metro quadrado diminui na medida em que o índice econômico de compacidade aumenta atingindo um valor mínimo quando o IEC é igual a 84,38, correspondente a forma quadrada. (LIMA, 2013)

Para avaliar a relação da forma do edifício com seu custo, o índice de compacidade volumétrico gera uma comparação entre superfície exterior da edificação e a superfície de uma semiesfera hipotética. Nessa avaliação faz se levar em conta a altura dos pés direitos e a forma da cobertura da edificação. Assim como as paredes externas têm sua área variável conforme a forma do edifício, as paredes internas também têm sua área variável em função da forma dos compartimentos internos existentes. (LIMA, 2013)

Circulações alongadas, como corredores por exemplo, utilizam muito mais paredes que uma circulação quadrada de mesma área. Dessa forma, a lei da forma se aplica tanto para a forma do edifício quanto para a forma dos compartimentos internos. (LIMA, 2013)

### **3.2.1.3 Lei da altura**

Não existe uma frase definida por Mascaró (2010) que resuma essa Lei, em seu estudo ele apresenta uma série de informações sobre a influência da variação da altura de um edifício em relação ao seu custo, se remetendo em momentos ao índice de compacidade já explanado. Para Mascaró (2010), um edifício tem seu perímetro crescente para um aumento do número de pavimentos numa mesma área total. Portanto, também será crescente o custo de construção por m<sup>2</sup> para um índice de compacidade decrescente.

Com base nas afirmações de Mascaró (2010), diversos elementos ou fatores trazem variações no custo de construção com relação à altura dos edifícios, podendo haver aumento ou não de custo quando se aumenta a altura.

### 3.2.2 Utilização de indicadores geométricos

As leis aqui expostas, definidas por Mascaró (2010), mostram como a relação entre as características geométricas influenciam no custo de um empreendimento com um entendimento relativamente simples e direto. Não obstante, diversos autores em diversos locais do país dedicaram-se ao estudo na busca de indicadores e índices que elucidassem a relação da forma numérica através do estudo de amostras de edifícios em diferentes cidades do Brasil.

O Quadro 05 traz alguns dos índices e as variáveis geométricas de um projeto de arquitetura identificados pelos autores e sua descrição.

Quadro 05 – Índices e variáveis geométricas de projeto de arquitetura (1 de 2).

Índice ou variável	Autor (es)	Fórmula	Legenda	Significado
Índice de aproveitamento das áreas de uso comum em relação às áreas privativas da edificação (IACP)	Ramos Neto (2002)	$IACP = \frac{\Delta Et}{\Delta Pt}$	$\Delta Et$ : área real total do edifício; $\Delta Pt$ : área privativa total do edifício	A área de uso comum deve ser projetada na medida certa: nem menor, desrespeitando os limites de conforto e segurança dos usuários, nem maior, aumentando desnecessariamente os custos de construção e dificultando as vendas.
Índice de aproveitamento da área de uso comum no pavimento tipo (IACT)	Ramos Neto (2002)	$IACT = \frac{ACT}{N_{apto}}$	ACT: área de uso comum no pavimento-tipo; N <sub>apto</sub> : no de apartamentos no pavimento tipo	Sendo o pavimento-tipo repetido no edifício, o desperdício de área em um deles se repete em todos os demais, sendo importante a análise da área de uso comum.
Índice de aproveitamento da área de uso comum nos pavimentos de garagem (IACG)	Ramos Neto (2002)	$IACG = \frac{AG}{N_{vagas}}$	AG: área real dos pavimentos de garagem; N <sub>vagas</sub> : no de vagas nos pavimentos de garagem.	Usualmente, a garagem requer muita área de uso comum. Logo, o aproveitamento racional da área destinada à garagem é fundamental para o controle do custo de construção.
Índice de compactidade da forma geométrica do pavimento tipo (IC)	Rosso (1978); Ramos Neto (2002); Mascaró (2002, 2010)	$IC = 2 \frac{\sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_{pt}} \cdot 100$	A <sub>p</sub> : área da projeção do pavimento tipo; P <sub>pt</sub> : perímetro do pavimento tipo	A relação entre as paredes que envolvem o edifício e sua superfície é avaliada por meio do IC, definido como a relação percentual entre o perímetro de um círculo de igual área do projeto e o perímetro das paredes exteriores do projeto.
Densidade de paredes (d)	Oliveira et al (1995); Brandão (2006)	$d = \frac{A_{parede}}{A_{laje}}$	A <sub>parede</sub> : área das paredes apoiadas sobre uma laje tipo; A <sub>laje</sub> : área da laje	É uma variável definida como a divisão da área das paredes apoiadas sobre uma laje-tipo pela área desta laje, ou seja, a área de projeção das paredes
Número de segmentos de parede (NS)	Brouwn e Steadman (1991)			Segmento de parede de alvenaria ou outro tipo de vedação é o trecho entre junções subsequentes triplas ou duplas

Quadro 05 – Índices e variáveis geométricas de projeto de arquitetura (2 de 2).

Índice ou variável	Autor (es)	Fórmula	Legenda	Significado
Número de junções duplas (NJD)	Brandão (2006)			O encontro entre duas ou mais paredes forma uma junção
Índice de espaciosidade - plano horizontal (IE)	Coelho (1994); Martins (1999, 2002)	$IE = \frac{ke}{m} \cdot \frac{AU}{AU^{1/2}}$ Com $ke = AU^{-1/6} \cdot AA^{1/6}$	AU: área útil do arranjo físico, em metros quadrados; $ke/m$ : fator de conversão AA: área útil do projeto alvo, em metros quadrados; m: fator métrico	A espaciosidade é definida pela quantidade de espaço disponível para o uso, estando ligada diretamente à dimensão humana e ao fim a que se destina: ocupação – mobiliário – ou utilização – serviços e circulação.
Índice de configuração – plano vertical (ICI)	Martins (1999)	$Ici = \frac{PP}{AU^{1/2}}$	PP: parede ou perímetro; AU: área útil do arranjo físico	O ICI expressa a capacidade de captar a presença de variáveis geométricas e proceder a quantificação dos atributos qualificadores do plano vertical.
Índice de qualificação da configuração interna (IKI)	Martins (2002)	$IKI = CO + CA - CN$ $= \frac{CK}{2 \cdot AU^{1/2}}$	CO: perímetro dos ambientes internos (agi); CA: perímetro ampliado dos agi; CN: perímetro não mobilável dos agi; CK: perímetro qualificador interno; AU: área útil do arranjo físico	Este índice representa o valor de qualificação da configuração interna, o qual demarca e qualifica a parte interior da habitação (ambientes geométricos internos) formada pelo perímetro das figuras que compõem o arranjo físico.
Índice de qualificação da configuração externa (IKE)	Coelho (1994); Martins (2002)	$IKE = \frac{CE}{2 \cdot AU^{1/2}}$	CE: comprimento do perímetro em contato com o meio exterior; AU: área útil do arranjo físico.	Esse índice estabelece a ligação entre os espaços interiores e o ambiente exterior, relevando a necessidade da coerência de ambos
Índice de qualificação da configuração espacial (IQ)	Martins (2002)	$IQ = IE = IKI + IKE$	IE: índice de espaciosidade do arranjo físico; IKI: índice de qualificação da configuração interna; IEX: índice de exteriorização.	Se o projeto avaliado apresentar um valor do índice de qualificação da configuração espacial maior que o do projeto alvo, significa que ele apresenta uma condição de qualificação superior à adotada pelo alvo.
Índice de qualidade geométrica (IQG)	Martins (2002)	$IQG = \frac{IQ}{IQAA}$	IQ: índice de qualificação do arranjo físico avaliado; IQaa: índice de qualificação do arranjo físico do projeto alvo.	Computado em relação ao projeto alvo, é representativo da qualidade requerida. O confronto desse valor com um valor representando a qualidade requerida determina que a insuficiência dessas variáveis comparativamente ao alvo adotado representa uma perda em relação à utilização do produto.
Área nominal (AN)	Martins (2002)	$AN = AA \cdot (IQG)^3 + \varepsilon$	AA: área útil do projeto alvo; IQG: índice de qualidade geométrica da configuração espacial; $\varepsilon$ : erro aleatório.	É uma variável representativa do custo da solução adotada, a qual expressa a área útil do arranjo físico, computadas as perdas definidas em área.
Índice de qualidade nominal (IQN)		$IQN = \frac{AN}{AU}$	AN: área nominal do arranjo físico; AU: área útil do arranjo físico.	O índice de qualidade nominal é a relação proporcional entre a área nominal e a área útil, representando um índice de qualificação da solução avaliada.

Fonte: Adaptado de (MORAES et al., 2016)

Apesar de muito úteis para a análise da eficiência de um projeto esses indicadores são de difícil utilização pelos projetistas como por exemplo no auxílio à tomada de decisão durante a elaboração de um projeto. (LIMA, 2013).

### 3.2.3 Equação paramétrica do CUG.

Como para se alcançar o objetivo deste trabalho é preciso relacionar características geométricas de um modelo tridimensional ao seu custo unitário, faz-se necessário associar a estas grandezas uma equação que possa realizar de modo satisfatório a ligação entre os parâmetros extraídos e o custo da edificação. Dentre as equações paramétricas existentes, optou-se pela escolha da equação paramétrica elaborada por Lima (2013), que tem como base o CUG e segue as seguintes premissas:

- A variável dependente adotada é o custo do metro quadrado de área construída, que, multiplicado pela área construída, informa o custo total previsto para a execução daquele projeto.
- As variáveis independentes são as características geométricas que explicam o custo de execução de cada projeto e o custo de execução do projeto em desenvolvimento.

Para as variáveis independentes tem-se as seguintes variáveis quantitativas e dicotômicas dependentes dos indicadores retirados do projeto a ter seu custo unitário estimado:

- Variáveis quantitativas:
  - ❖ Área de paredes externas (fachada + contenção) / área construída;
  - ❖ Área de paredes internas / área construída,
  - ❖ Área de projeção da edificação / área construída;
  - ❖ Área de piso molhado / área construída.
- Variáveis dicotômicas (representantes do padrão construtivo):
  - ❖ Padrão Alto
  - ❖ Padrão Baixo
  - ❖ Padrão Médio

A equação de Lima (2013) foi regredida não linearmente a partir dos projetos padrão do CUB gerando um modelo capaz de estimar um custo de m<sup>2</sup> unitário levando em consideração as geometrias do projeto. Tendo forma inicial a função linear a seguir:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_6X_6$$

Onde:

Y = Custo estimado do metro quadrado construído do projeto (em escala original)

$X_i$  = Cada uma das variáveis independentes representantes das características geométricas do projeto (em escala original ou transformada)

X1 – variável quantitativa: área de paredes externas / área construída

X2 – variável quantitativa: área de paredes internas / área construída

X3 – variável quantitativa: área molhada / área construída

X4 – variável quantitativa: área de projeção da edificação / área construída

X5 – variável dicotômica: padrão construtivo alto (sim/não)

X6 – variável dicotômica: padrão construtivo baixo (sim/não)

$B_i$  = Coeficiente que representam os parâmetros populacionais.

Diante de análises matemáticas Lima (2013) chegou na equação com os parâmetros ideais para a obtenção de resultados mais seguros sendo essa equação definida por:

$$Y = 481,60837 \times e^{0,97266795 \times X1} \times e^{0,13635413 \times X2} \times e^{-0,003251045 \times 1/X3} \times e^{0,99294145 \times X7}$$

Por questões de ajuste as variáveis X5 e X6 foram transformadas na variável X7 tendo como os valores -0,45827492 para o padrão baixo, 0,00 para o padrão normal e 0,16240504 para o padrão alto. A variável X4 foi eliminada por apresentar valor muito inferior à quantidade mínima recomendada pela norma NBR 14653-2 (ABNT, 2011) no campo de amostragem de Lima (2013) e por isso foi optado por excluí-la da equação.

Lima (2013) justifica a escolha por esta equação diante de todas as outras encontradas por ela apresentar coeficiente de determinação ajustado obtido de 0,913293, ou seja de 91,32 % da variação da variável dependente é explicada pelo modelo, sendo os restantes 8,68% atribuídos a outras variáveis menos significativas, a erros de medida, com contribuições negativas ou positivas para o custo.

Desta equação pode-se ainda inferir que o custo é estimado por uma constante (481,60837) sendo ela afetada por quatro fatores distintos, ou seja, mantidas as características, o padrão médio custa 57,62% superior ao baixo, já o padrão alto custa

17,49% superior ao médio. Trazendo noções bastante reais aos resultados obtidos pela equação.

Embora apresente uma boa solução de estimativa, por ser uma equação que relaciona os modelos do CUB com seus aspectos geométricos, não traz informações como custos indiretos, fundações e entre outros itens que não estão presentes nas composições do CUB.

Como a equação acima apresentada se baseia em valores do CUB do ano de 2013 ainda se faz necessário se aplicar um fator de correção decorrente das diversas alterações e atualizações das composições que compõem o custo unitário básico.

## 4 METODOLOGIA

No capítulo em questão, é apresentada a metodologia utilizada para a confecção deste Trabalho de Conclusão de Curso. Para isso, segue o Quadro 06 que guia e resume os objetivos almejados, as atividades a serem executadas, a metodologia adotada, fontes dos dados e ferramentas que foram usados para o seu alcance.

Após a análise do Quadro 06, serão detalhadas as metodologias utilizadas para a base do estudo de caso.

Diante do exposto, com base no Quadro 06 e nos objetivos descritos neste trabalho, uma lista de referências bibliográficas foi elaborada, a partir de pesquisas em bibliotecas, artigos científicos e publicações de teses na internet e revistas.

Após a obtenção de tais fontes, foi feita uma busca por informações que poderiam estar contidas nos materiais de estudo que seriam aproveitáveis para o referencial literário e embasamento teórico de fundamentação do estudo de caso.

Para atingir o primeiro objetivo específico, foram buscadas definições que pudessem não só auxiliar a aplicação da tecnologia BIM, através do *software* Revit, da Autodesk, ou a aplicação do *software* Dynamo, num estudo de massa, mas também foram pesquisadas áreas que facilitassem o entendimento do processo como orçamentação e a sua relação com as características geométricas de um empreendimento. Além disso, foram elaboradas revisões bibliográficas a fim de se ter as definições de orçamentação e BIM, seus métodos de elaboração, práticas, programações no caso do BIM, opiniões de outros autores sobre o as técnicas utilizadas atualmente e exemplos de utilização.

Para se alcançar o segundo objetivo específico, foi realizado um estudo de caso baseado no referencial teórico e características geométricas dos modelos desenvolvidos, através de um estudo de massas realizado na plataforma Revit em conjunto com o *software* Dynamo para a extração dos parâmetros necessários para a equação. Para isso, definidas as diferentes tipologias e características dos empreendimentos modelados, foram realizadas a geração de indicadores a partir das características extraídas destes pelo Dynamo e a aplicação da equação paramétrica de Lima (2013) para a obtenção do custo unitário por metro quadrado das obras e sua estimativa de custo total para a fase de concepção inicial.

Para atingir o último objetivo específico, foram avaliadas as características específicas de cada modelo e desenvolvidas as relações: área de paredes externas por área

construída, densidade de paredes nas lajes, padrão construtivo e densidade de área molhada. Desses parâmetros, foram gerados indicadores de custo por tipo de obra para avaliação da influência de cada fator nos resultados obtidos. Após simulações, foi feita a análise crítica dos dados e valores encontrados, e foi posta em discussão a viabilidade da utilização das tecnologias aplicadas neste trabalho para a orçamentação paramétrica de um empreendimento em sua concepção como meio de otimização e ganho de retornos mais seguros para os incorporadores.

Quadro 06 – Resumo da Metodologia do Trabalho.

<b>OBJETIVO GERAL</b>	<b>Avaliar a aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) alinhado a plataforma de linguagem visual de programação para a orçamentação paramétrica de um empreendimento em sua concepção para análise das interferências das características geométricas nos custos unitários destes empreendimentos.</b>			
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>METODOLOGIA</b>			
	<b>ATIVIDADES</b>	<b>FERRAMENTAS</b>	<b>FONTES DE DADOS</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
Conhecer os princípios para integração e aplicações da modelagem da informação da construção;	Estudar e pesquisar os conceitos do BIM e linguagem de programação virtual através da bibliografia apresentada.	Livros, artigos, dissertações, teses, monografias e outras publicações.	1 -Biblioteca; 2 - Internet.	Compreensão e entendimento dos conceitos e vantagens ligados a utilização do BIM.
Aplicar a modelagem da informação da construção alinhada a geração de indicadores para orçamentação paramétrica de uma edificação, envolvendo elementos característicos de sua concepção	Gerar massa a ser estudada pelo Revit para obtenção dos parâmetros pelo Dynamo.	<i>Softwares</i> Revit e Dynamo.	1 - Biblioteca; 2 - Internet; 3- <i>Softwares</i> .	Criação da Massa em 3D.
	Gerar planilha de características extraídas do Revit pelo Dynamo a fim de ter os parâmetros necessários para comparação das massas estudadas e indicadores de sua orçamentação.	<i>Softwares</i> Revit, Dynamo e Excel. Valores agregados serviços e materiais de obras de referência.	1 - Biblioteca; 2 - Internet; 3- <i>Softwares</i> ; 4- Composições de custos unitários de obras.	Geração dos indicadores de custo e Estudo de Massa.
Analisar a aplicabilidade das ferramentas BIM atreladas a linguagem de programação visual para a orçamentação paramétrica de um empreendimento, elaborando recomendações para sua aplicação e análises dos parâmetros extraídos.	Avaliar a capacidade de geração de dados e otimização para orçamentação paramétrica através da modelagem por programação visual.	<i>Softwares</i> Dynamo e Excel.	1 - Biblioteca; 2 - Internet; 3- <i>Softwares</i> ;	Identificar os benefícios e limitações da utilização do BIM atrelado a linguagem de programação visual para geração de parâmetros para orçamentação e concepção de um empreendimento e apresentar recomendações para sua aplicação.
	Avaliar utilidade dessas ferramentas para a concepção e determinação de dados de orçamentos para construção civil.	Comparação e análise dos indicadores encontrados com referências de obras em execução.	1 - Biblioteca; 2 - Internet; 3- <i>Softwares</i> ;	

## 5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso a ser apresentado tem como objetivo fundamental estudar a aplicação da modelagem da informação da construção para a geração de indicadores com base nos elementos característicos de sua concepção, através de estudos de massa, no intuito de gerar estimativas de custos pautadas numa equação paramétrica. Além disso, visa analisar a aplicabilidade das ferramentas BIM atreladas a linguagem de programação visual como maneira de extração mais rápida dos dados necessários para a geração de indicadores e parametrização de um orçamento.

Primeiramente será feita uma apresentação dos modelos de massa utilizados para o estudo, com alguns dados básicos dos modelos e seu intuito para o estudo de caso.

Em seguida, serão extraídos dos modelos gerados no Revit as informações necessárias para a geração dos parâmetros e indicadores a serem usados para a estimativa de custos, a partir da plataforma Dynamo para o Microsoft Excel. Com os dados extraídos para o Excel, serão calculados os indicadores dos modelos para associação com os parâmetros da equação do *dashboard* gerado. Nesta etapa, os quantitativos necessários serão extraídos diretamente da programação do Dynamo já sendo exportados automaticamente pela plataforma para o Excel.

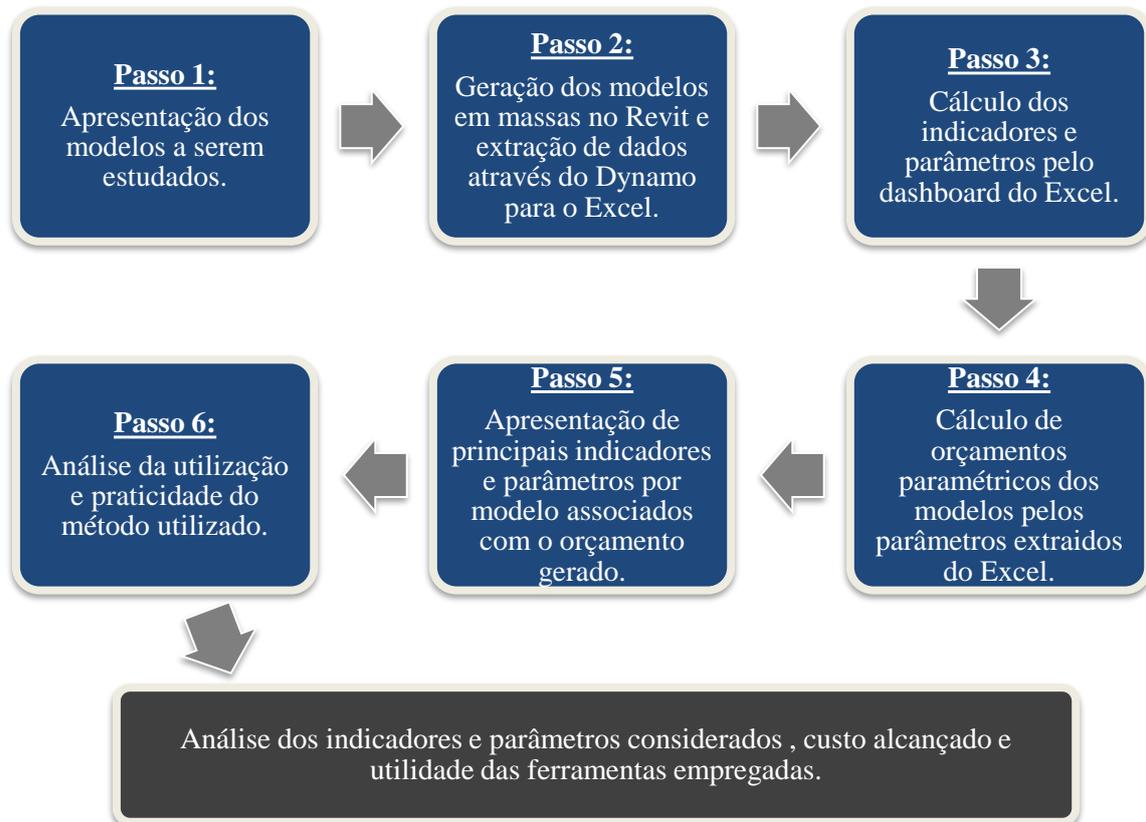
Com o cálculo dos indicadores de cada modelo, será calculado o orçamento paramétrico de cada obra, a partir das características geométricas de cada tipologia e equação paramétrica do referencial teórico corrigida seguindo variação dos valores do INCC do período de utilização para o período atual. Além disso, será elaborada uma tabela com os principais indicadores e suas associações ao orçamento total de cada modelo.

Após o cálculo dos custos, será feita a análise dos dados obtidos relacionando cada indicador e seu fator relevante nos custos, levando em consideração capacidade de otimização e praticidade deste método de orçamentação para a fase de viabilidade de um empreendimento.

Finalmente, será analisada a utilidade dessas ferramentas para a concepção e determinação de dados de orçamentos para construção civil através dos resultados obtidos neste trabalho.

Para ilustrar o que foi descrito acima, a Figura 17 resume a metodologia do estudo de caso para entendimento mais preciso.

Figura 17: Fluxograma da metodologia do estudo de caso.



## 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

Neste estudo de caso, foram exploradas três plantas tipo diferentes em que, a partir delas, foram gerados diferentes modelos de massa, variando a quantidade de pavimentos do edifício, área construída e o seu padrão construtivo a fim de obter-se parâmetros e indicadores para as finalidades deste trabalho. Para a modelagem dos empreendimentos, tomou-se como base o nível de desenvolvimento LOD 100, por se tratar de um estudo em fase de concepção e viabilidade e o nível de modelagem como simples e puramente “modelagem” por tratar de modelos 3D. Além disso, foram considerados o nível de maturidade para cada modelo, como nível 2.0.

Dentre as diferentes plantas abordadas, deu-se a preferência em se estudar as seguintes formas: uma planta com o formato em H, usualmente utilizado por arquitetos e engenheiros nas idealizações de empreendimentos, uma planta com o formato retangular em forma de T, a qual também é de bastante utilização pelos incorporadores e uma planta com elementos curvilíneos em suas arestas, com a finalidade de se abranger a maioria das tipologias de edificações.

Ainda no quesito de idealização dos modelos, foi decidido estudar cada um destes formatos em três diferentes alturas, com oito, dezesseis e trinta e três pavimentos tipo, a fim de se inferir as alterações conforme variam-se as alturas dos empreendimentos. Por fim, foram variados os padrões construtivos de cada modelo para obtenção de melhor acurácia das informações.

Para introduzir as três plantas tipo aqui mencionadas, elas foram denominadas de planta 1, planta 2 e planta 3, respectivamente. A planta 1 pode ser visualizada através da Figura 18 e apresenta as seguintes características básicas: Formato retangular em T, área por pavimento 631m<sup>2</sup>, 02 apartamentos por andar de 03 quartos e uma dependência.

A planta 2 pode ser visualizada através da Figura 19 e apresenta as seguintes características básicas: Formato retangular em H, área por pavimento 800m<sup>2</sup>, 04 apartamentos por andar de 02 quartos e uma dependência.

A planta 3 pode ser visualizada através da Figura 20 e apresenta as seguintes características básicas: Formato retangular apresentando arestas curvilíneas, área por pavimento 338,60 m<sup>2</sup>, 01 apartamento por andar de 04 quartos e uma dependência.

Figura 18: Planta Tipo 1 em Autodesk Revit 2017.

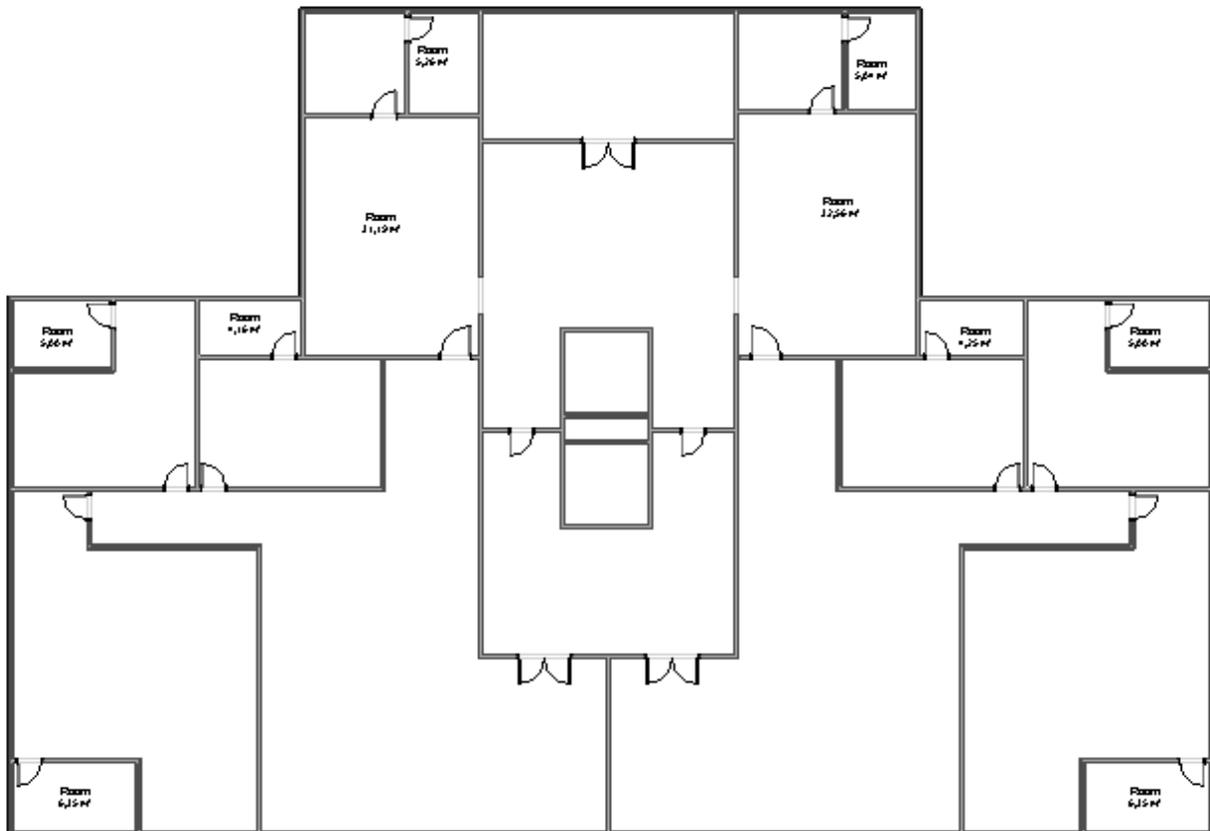


Figura 19: Planta Tipo 2 em Autodesk Revit 2017.

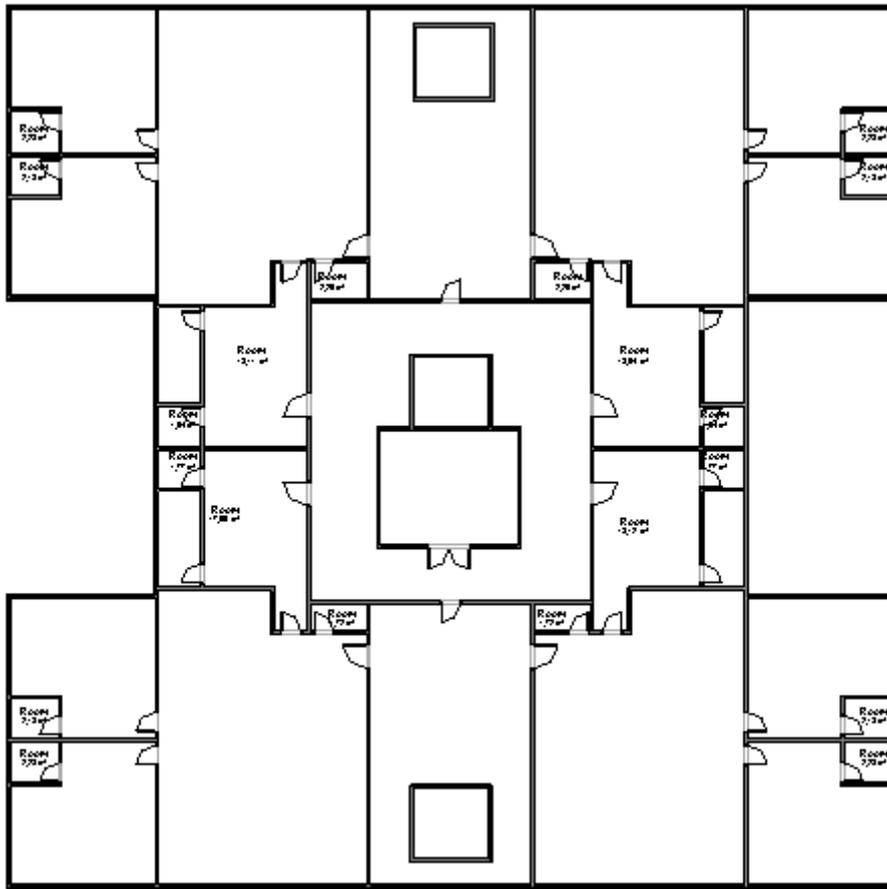
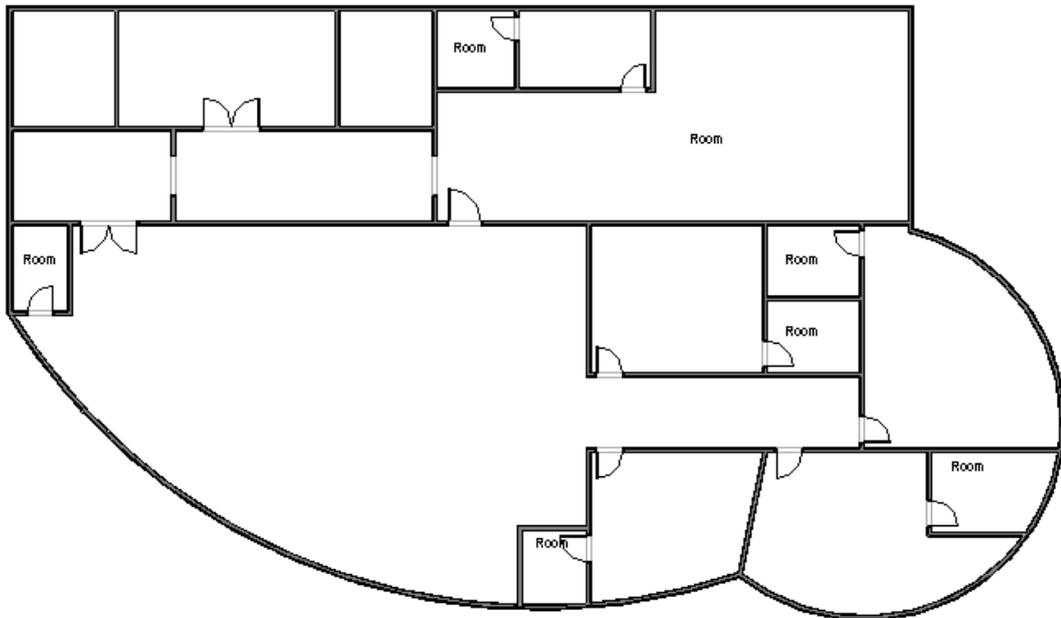


Figura 20: Planta Tipo 3 em Autodesk Revit 2017.



Como dito anteriormente, através destas plantas base foram gerados os modelos tendo como sua ideia de concepção as massas representadas pelas Figuras 21, 22 e 23, que representam o modelo 01, modelo 02 e modelo 03, respectivamente.

Figura 21: Modelo 01 gerado em Autodesk Revit 2017 a partir da Planta Tipo 1.

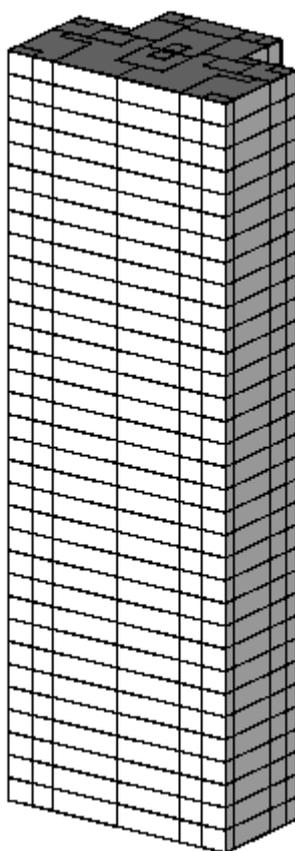


Figura 22: Modelo 02 gerado em Autodesk Revit 2017 a partir da Planta Tipo 2.

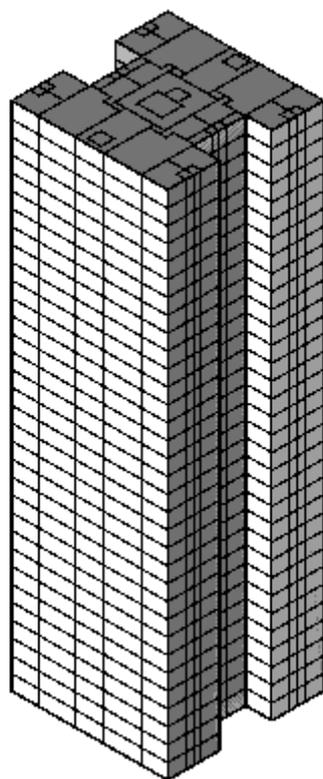
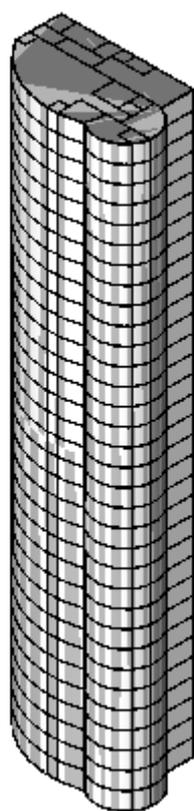


Figura 23: Modelo 03 gerado em Autodesk Revit 2017 a partir da Planta Tipo 3.



## 5.2 GERAÇÃO DOS MODELOS E EXTRAÇÃO DE DADOS

O objetivo principal deste estudo é analisar e avaliar a aplicabilidade da plataforma Autodesk Dynamo para a extração de dados de um modelo de massa desenvolvido no BIM, para que através das informações obtidas dessa extração possam ser gerados parâmetros geométricos para uma orçamentação paramétrica, na fase de estimativa de custos, num estudo de viabilidade de um empreendimento. Para isto, foram modelados na plataforma Autodesk Revit 2017, os modelos apresentados no tópico anterior através da ferramenta de criação de modelo de massas chamada “*Massing & Site*” através do comando “*In-place Mass*” para modelar e gerar forma da massa a ser estudada de forma livre.

Figura 24: Uso de ferramenta *Massing & Site*.

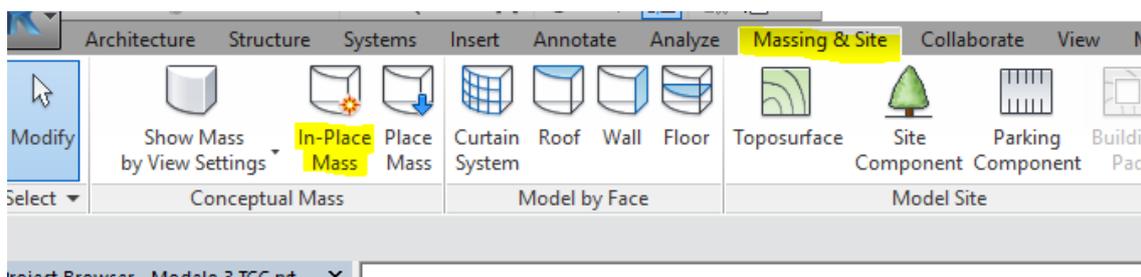
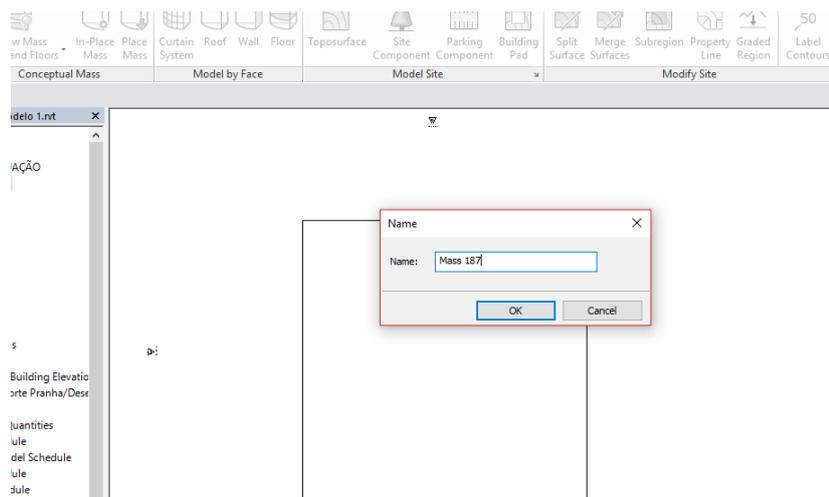
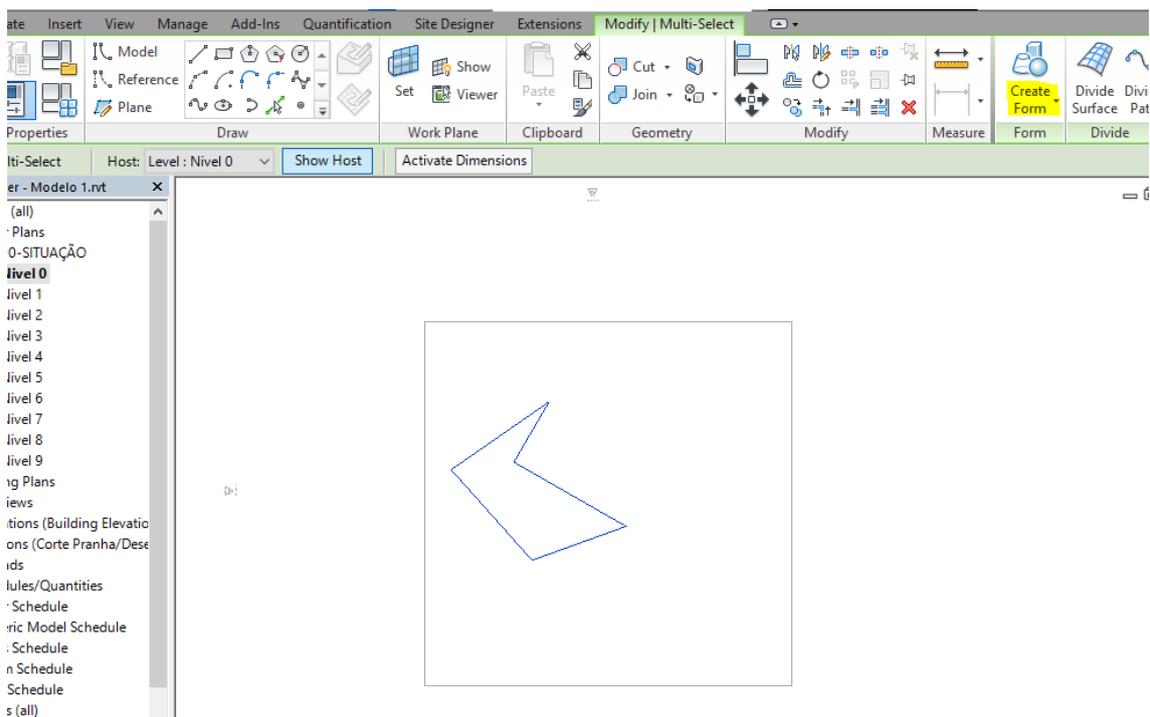


Figura 25: Uso de ferramenta *In-place Mass*.



Nesta etapa, através de linhas e arcos são geradas as formas dos modelos citados no tópico anterior e depois é feita a extrusão da massa pelo comando “*Create form*” selecionando a opção “*Solid form*”.

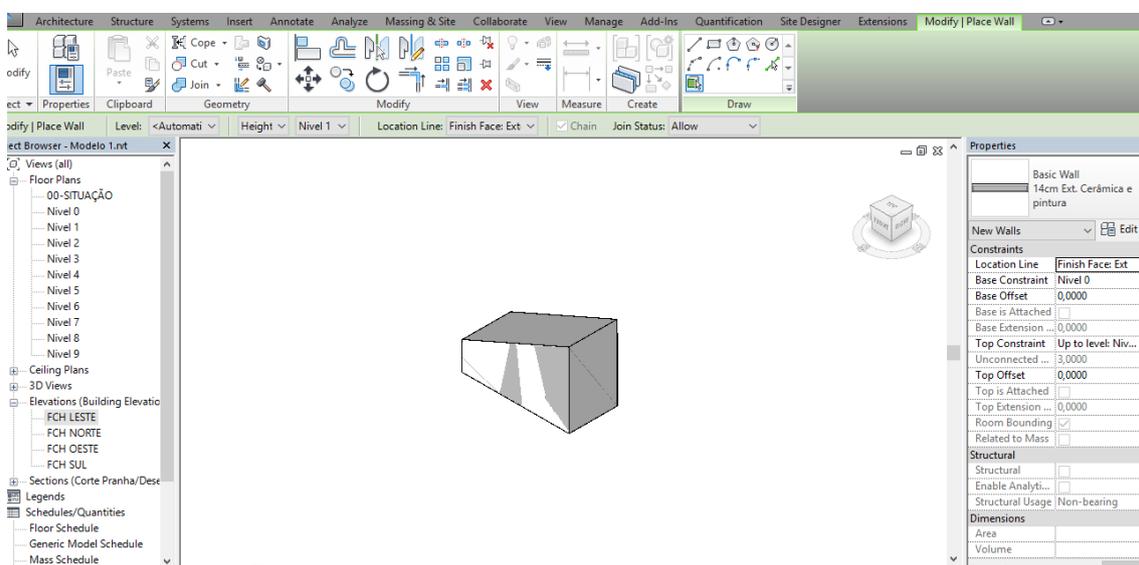
Figura 26: Uso de ferramenta *Create form*.



Após gerada a massa em 3D, ela pode ser esticada ou retraída em todas as direções definindo formato, altura e área da massa gerada, neste caso foi optado pelas três formas citadas no tópico anterior.

Partindo do ponto da massa gerada é necessário agora para cada modelo se fazer a geração das paredes da massa, pisos e telhados a fim de que se possa através dela extrair os dados necessários para a efetivação deste estudo de caso. Para a rápida inserção de pisos, telhados e paredes externas das massas, ainda na ferramenta “*Massing & Site*” existem as funções “*Roof*”, “*Wall*” e “*Floor*”, selecionando a função “*Wall*” basta clicar nos panos de parede desejados da massa que automaticamente são geradas as paredes externas da massa do nível inferior de base dela ao seu topo, para os modelos descritos aqui, a tipologia escolhida para as paredes externas foi “*Basic Wall 14cm Ext. Cerâmica e pintura*” com a única finalidade de se diferenciar as paredes externas das internas durante a extração dos dados.

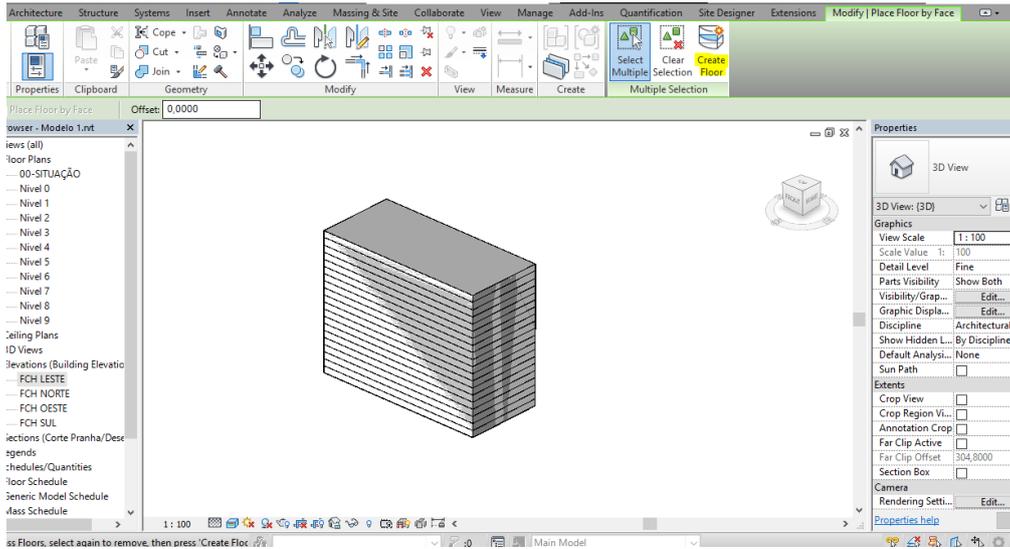
Figura 27: Inserção de paredes externas na massa.



Ainda na massa deve-se ir em propriedades, na função dimensão e selecionar os níveis em que se quer poder adicionar pisos, após isso pode-se utilizar a função “*Floor*”. Escolhendo agora a função “*Floor*”, deve-se selecionar nos níveis que se deseja a criação de pisos na massa, após feita a seleção dos níveis desejados basta clicar na função “*Create Floor*” para que automaticamente sejam gerados os pisos delimitados pelas arestas da massa.

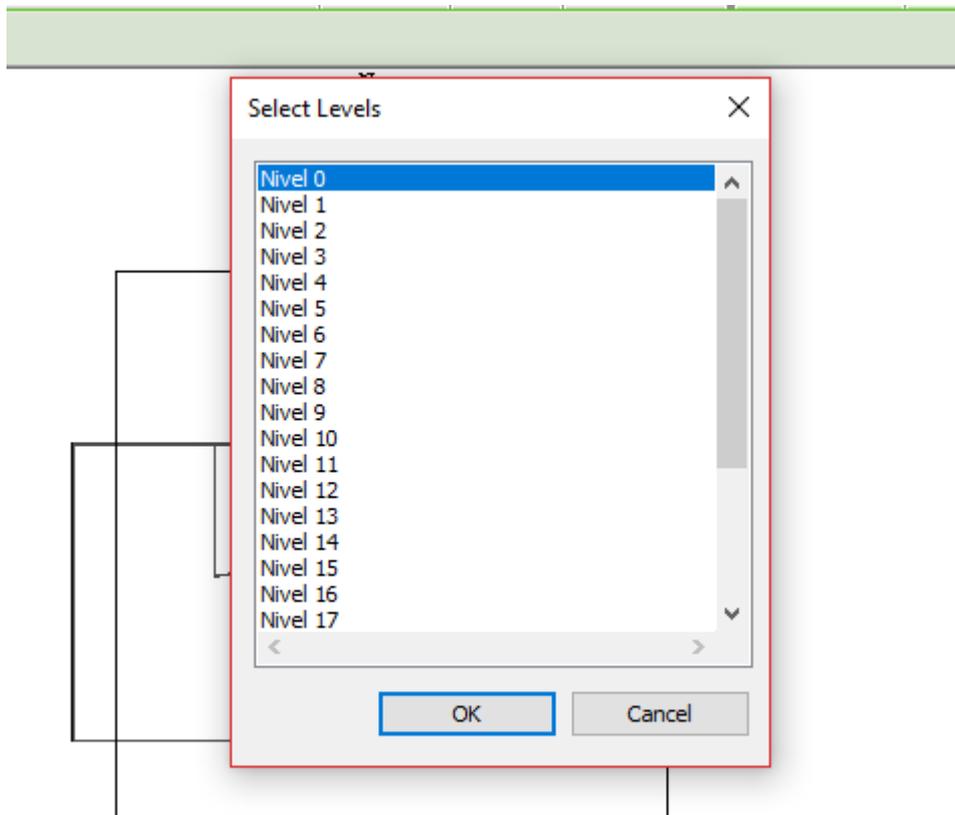
Para a criação das paredes internas da massa, é utilizada na ferramenta “*Architecture*” o comando “*Wall*” e são desenhadas livremente as paredes internas do modelo conforme plantas mencionadas no tópico anterior. Para os modelos aqui descritos, a tipologia escolhida para as paredes internas foi “*Basic Wall 12cm Int. Pintura*” com a única finalidade de se diferenciar as paredes externas das internas durante a extração dos dados.

Figura 28: Inserção de pisos na massa.



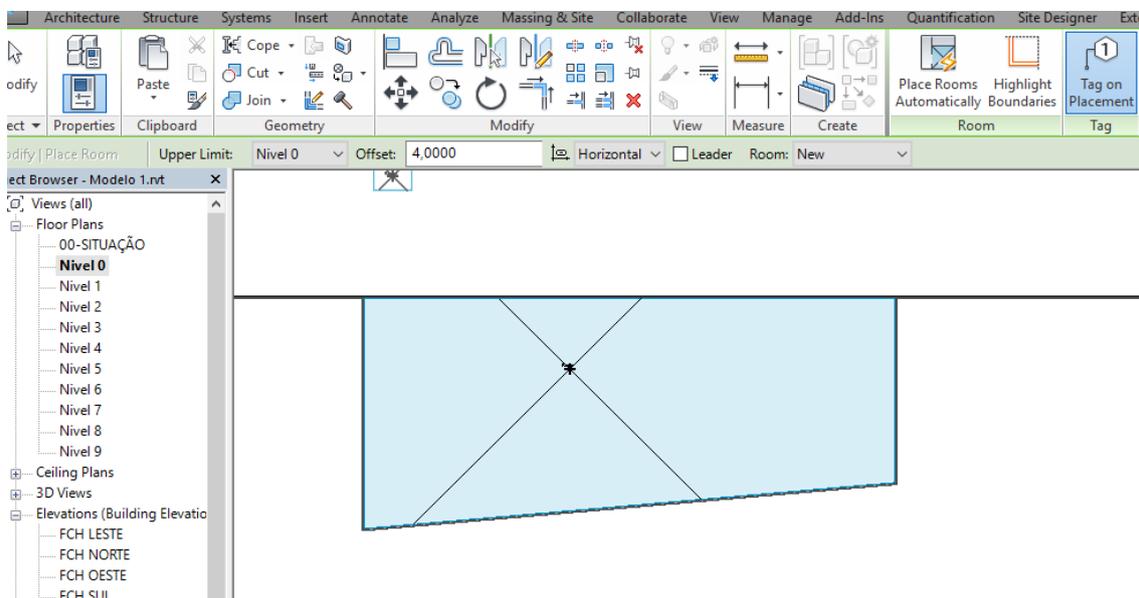
Após a criação da distribuição de paredes internas da massa é utilizada a ferramenta “*Modify*” na função “*Copy to clipboard*”, dessa forma a partir da seleção de todas as paredes internas é possível replica-las para todos os níveis desejados da massa através da colagem na função “*Aligned to Selected Levels*”.

Figura 29: Colagem de paredes internas em todos os níveis da massa.



Como passo final na geração dos modelos, é utilizada a ferramenta “Room” para delimitar as áreas molhadas de cada modelo para que se possa fazer a extração destes dados de forma mais simplificada.

Figura 30: Uso da ferramenta *Room*.



Diante do procedimento citado nos parágrafos anteriores e premissas dispostas no item 5.1, foram gerados os 27 modelos dispostos no Quadro 07, que traz um resumo das características de cada massa gerada.

Gerados os modelos, parte-se então para a extração dos dados necessários para a criação dos parâmetros através da plataforma Dynamo associada às massas geradas no Revit. Primeiramente, é necessário criar a linguagem básica de extração de informações dos modelos desenvolvidos através do campo de visualização gráfico do *software*.

Para a geração dos parâmetros a partir das massas criadas foi necessário se desenvolver uma linguagem para a extração de áreas de paredes por tipologia de parede, uma linguagem para a extração de área de pisos por nível e uma linguagem para extração de áreas molhadas por nível. Através dessas linguagens, as informações necessárias foram extraídas diretamente para uma planilha no Microsoft Excel e seus dados foram utilizados por funções do programa que permitiram o cálculo dos parâmetros.

Quadro 07: Resumo de Modelos desenvolvidos.

Resumo de Modelos desenvolvidos				
Nº	Nome	Planta Base	Número de pavimentos	Padrão Construtivo
1	Modelo 1.0	Planta 01	33	Alto
2	Modelo 1.1	Planta 01	33	Médio
3	Modelo 1.2	Planta 01	33	Baixo
4	Modelo 1.3	Planta 01	16	Alto
5	Modelo 1.4	Planta 01	16	Médio
6	Modelo 1.5	Planta 01	16	Baixo
7	Modelo 1.6	Planta 01	8	Alto
8	Modelo 1.7	Planta 01	8	Médio
9	Modelo 1.8	Planta 01	8	Baixo
10	Modelo 2.0	Planta 02	33	Alto
11	Modelo 2.1	Planta 02	33	Médio
12	Modelo 2.2	Planta 02	33	Baixo
13	Modelo 2.3	Planta 02	16	Alto
14	Modelo 2.4	Planta 02	16	Médio
15	Modelo 2.5	Planta 02	16	Baixo
16	Modelo 2.6	Planta 02	8	Alto
17	Modelo 2.7	Planta 02	8	Médio
18	Modelo 2.8	Planta 02	8	Baixo
19	Modelo 3.0	Planta 03	33	Alto
20	Modelo 3.1	Planta 03	33	Médio
21	Modelo 3.2	Planta 03	33	Baixo
22	Modelo 3.3	Planta 03	16	Alto
23	Modelo 3.4	Planta 03	16	Médio
24	Modelo 3.5	Planta 03	16	Baixo
25	Modelo 3.6	Planta 03	8	Alto
26	Modelo 3.7	Planta 03	8	Médio
27	Modelo 3.8	Planta 03	8	Baixo

Para a criação da linguagem de extração das informações de área de lajes é utilizada a linha de programação expressa na Figura 31. São utilizadas as funções “*Categories*” selecionada na opção “*Mass - Mass Floor*”, “*Code Block*” filtrado por “*Level*” e “*Floor Area*”, “*Element.GetparameterValueByName*” fazendo o link entre a categoria e o código de bloqueio, e a função “*Excel.WriteToFile*” ajustada para salvar informações extraídas na aba “área da laje” na planilha “Extração Dynamo”, caso não existam nem a aba e nem a planilha mencionadas o próprio Dynamo se encarrega de sua criação. Deixando a função “*Boolean*” no modo “*True*” o Dynamo reescreve por cima dos dados anteriores os dados da extração mais recente, tornando a extração de dados do modelo o mais segura possível.

Figura 31: Linguagem de extração de áreas de laje.

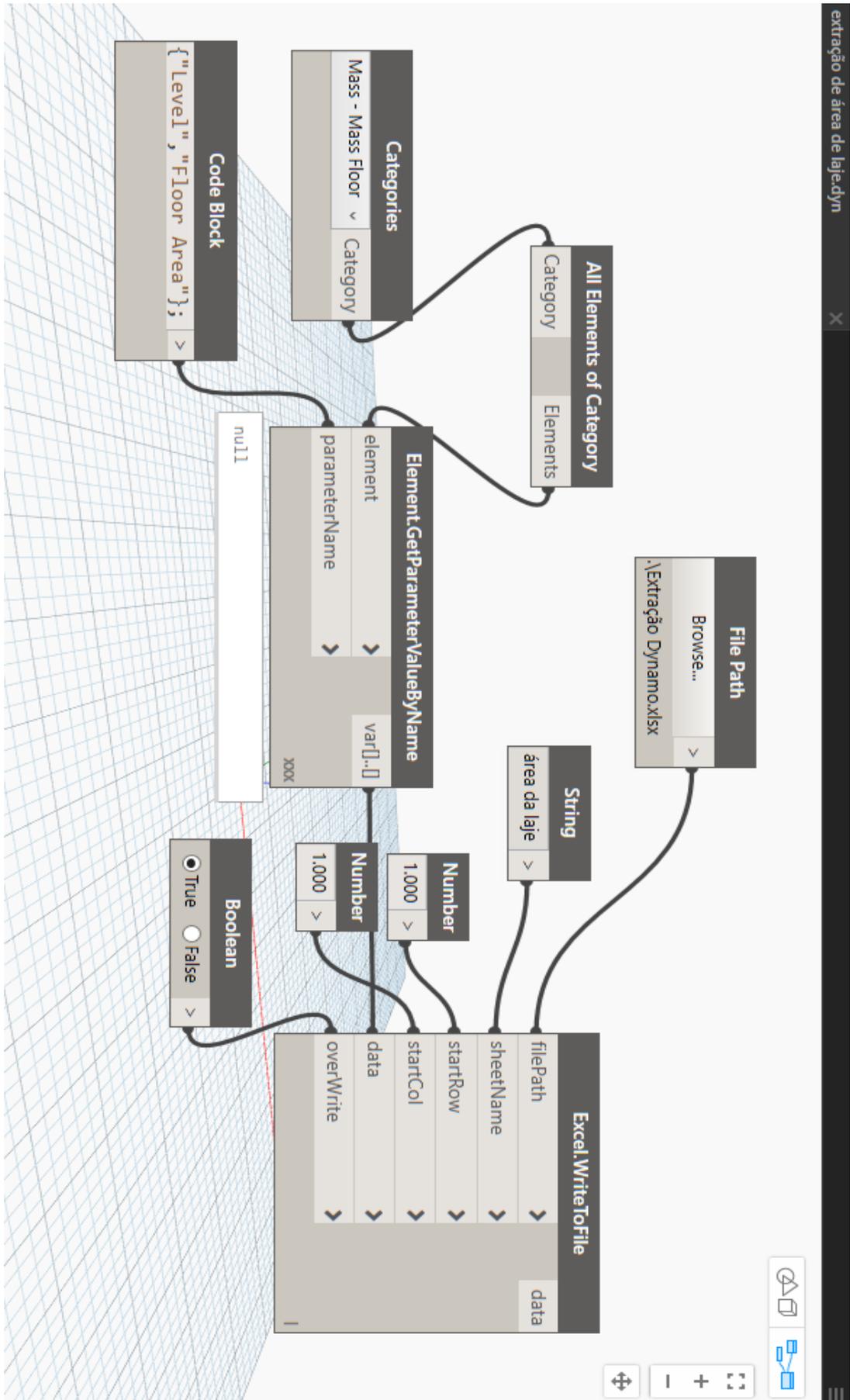


Figura 32: Dados extraídos de área da laje no Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2		Nível 0	338,5955											
3		Nível 1	338,5955											
4		Nível 2	338,5955											
5		Nível 3	338,5955											
6		Nível 4	338,5955											
7		Nível 5	338,5955											
8		Nível 6	338,5955											
9		Nível 7	338,5955											
10		Nível 8	338,5955											
11		Nível 9	338,5955											
12		Nível 10	338,5955											
13		Nível 11	338,5955											
14		Nível 12	338,5955											
15		Nível 13	338,5955											
16		Nível 14	338,5955											
17		Nível 15	338,5955											
18		Nível 16	338,5955											
19		Nível 17	338,5955											
20		Nível 18	338,5955											
21		Nível 19	338,5955											

Já na criação da linguagem de extração dos dados de área por tipologia de paredes é utilizada a linha de programação expressa na Figura 33. São utilizadas as funções “*Categories*” selecionada na opção “*Walls*”, “*Code Block*” filtrado por “*Area*”, “*Lenght*” e “*Type*”, “*Element.GetparameterValueByName*” fazendo o link entre a categoria e o código de bloqueio, e a função “*Excel.WriteToFile*” ajustada para salvar informações extraídas na aba “*Paredes*” na planilha “*Extração Dynamo*”, novamente, caso não existam nem a aba e nem a planilha mencionadas o próprio Dynamo se encarrega de sua criação. Deixando a função “*Boolean*” no modo “*True*” o Dynamo reescreve por cima dos dados anteriores os dados da extração mais recente, tornando a extração de dados do modelo o mais segura possível.

Figura 33: Linguagem de extração de área de paredes.

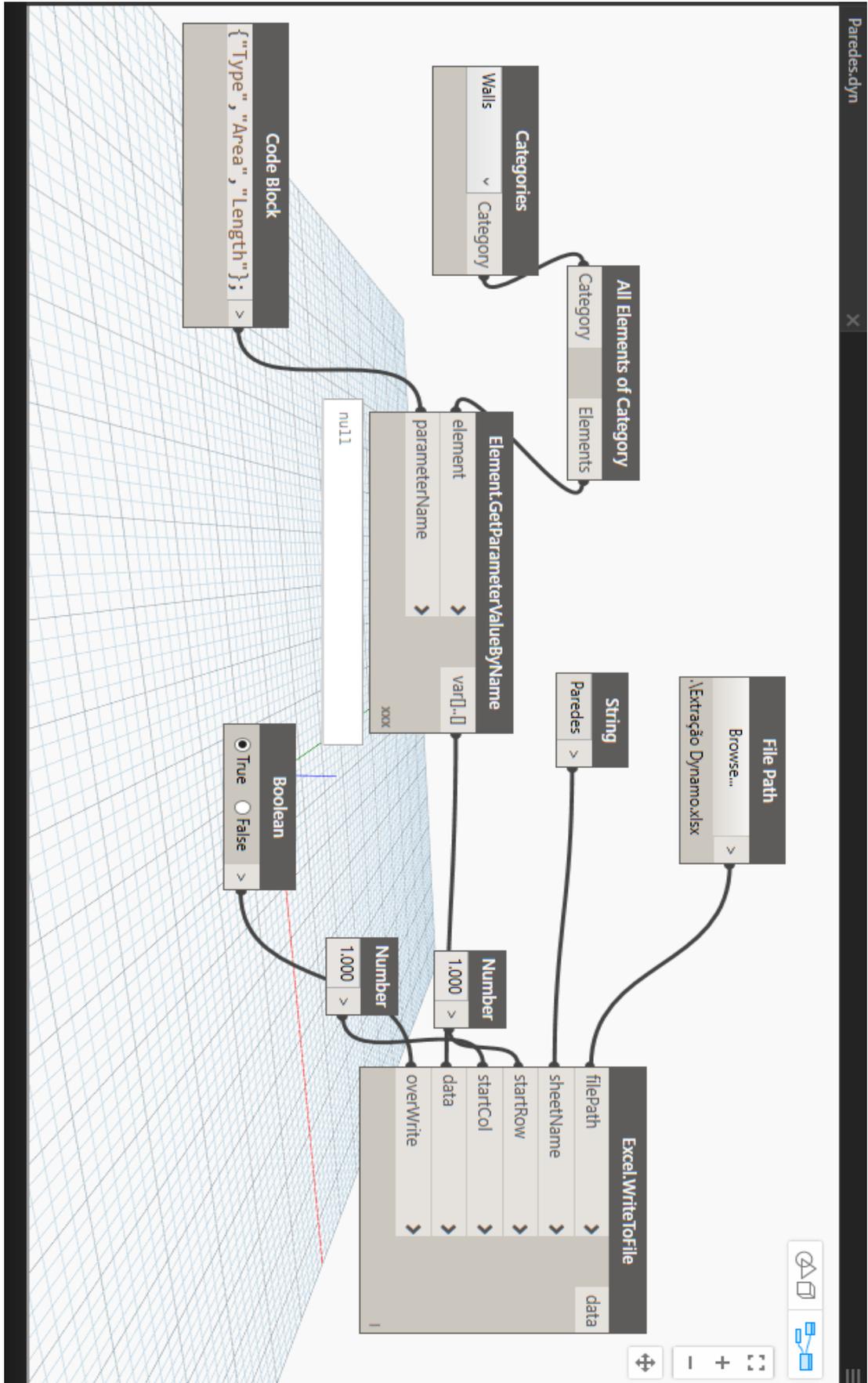


Figura 34: Dados extraídos de área de paredes no Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2		14cm Ext.	2087,018	20,83833											
3		14cm Ext.	1780,413	17,68305											
4		14cm Ext.	551,6214	5,556849											
5		14cm Ext.	2217,07	22,39465											
6		14cm Ext.	747,7743	7,643036											
7		12cm Int.	8,61	3											
8		12cm Int.	14,64	5,37											
9		12cm Int.	12,834	5,37											
10		12cm Int.	13,614	5,2											
11		12cm Int.	13,62	5,37											
12		12cm Int.	49,05795	17,02465											
13		12cm Int.	4,65	2,37											
14		12cm Int.	8,61	3											
15		12cm Int.	14,8649	5,416966											
16		12cm Int.	4,344	2,04											
17		12cm Int.	5,73	2,04											
18		12cm Int.	3	1,5											
19		12cm Int.	6,459108	2,273036											
20		12cm Int.	11,4	3,8											
21		12cm Int.	18,57	6,8											

Por fim, para a elaboração da linguagem de extração dos dados de área molhada é utilizada a linha de programação expressa na Figura 35. São utilizadas as funções “Categories” selecionada na opção “Rooms”, “Code Block” filtrado por “Area” e “Name”, “Element.GetparameterValueByName” fazendo o link entre a categoria e o código de bloqueio, e a função “Excel.WriteToFile” ajustada para salvar informações extraídas na aba “área molhada” na planilha “Extração Dynamo”, mais uma vez, caso não existam nem a aba e nem a planilha mencionadas o próprio Dynamo se encarrega de sua criação. Como sempre, deixando a função “Boolean” no modo “True” o Dynamo reescreve por cima dos dados anteriores os dados da extração mais recente, tornando a extração de dados do modelo o mais segura possível.

Para que essa linguagem tenha eficácia é necessário que em pelo menos um nível do modelo a ser estudado tenha sido utilizada a função “Room” do Revit, de modo que se possa delimitar cada espaço de área molhada, como por exemplo de banheiros, cozinhas e áreas de serviço e varandas de um apartamento. Além disso, após a extração de dados ainda é necessário multiplicar as informações obtidas pela quantidade de pavimentos, caso tenha sido atribuído na massa em apenas um nível da massa o comando “Room”.

Figura 35: Linguagem de extração de área molhada.

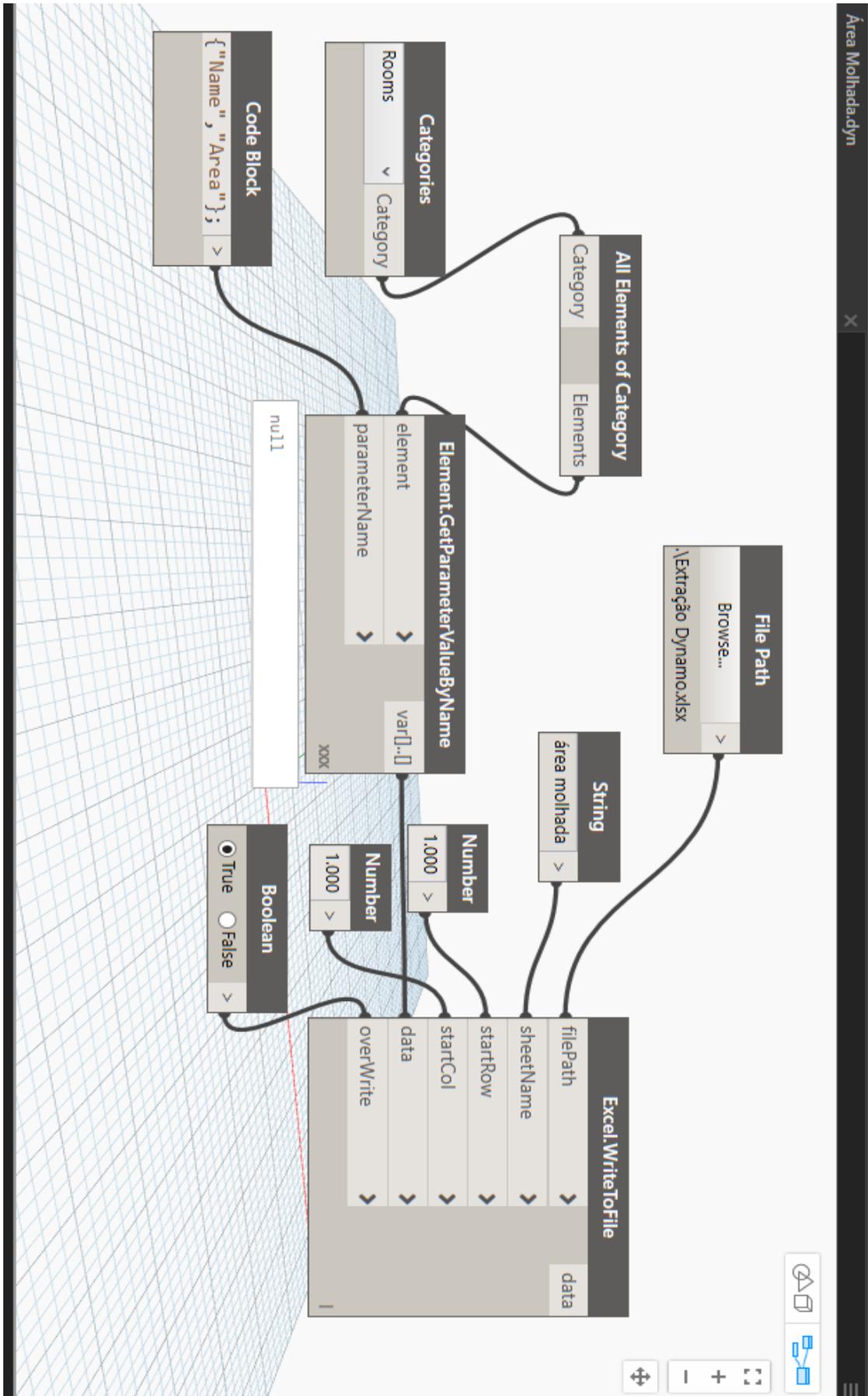


Figura 36: Dados extraídos de área molhada no Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2		Room	50,28353									
3		Room	3,6672									
4		Room	4,0584									
5		Room	4,0584									
6		Room	5,559344									
7		Room	2,930482									
8		Room	2,949659									
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												

Após a geração de todos os modelos supracitados em massa e extração de dados a partir das linguagens geradas, é possível se elaborar o Quadro 08, que traz os dados extraídos para cada modelo de massa gerado.

A partir das informações do Quadro 08, é possível gerar os indicadores e parâmetros necessários para a orçamentação paramétrica dos modelos. Através da planilha orçamentária é possível associar as grandezas extraídas e gerar um custo unitário. Analisando as informações contidas no Quadro 08 é possível notar proporcionalidade nos quantitativos extraídos dos modelos baseados numa mesma tipologia de planta, devido ao fato de se ter variado a altura dos edifícios com base no número de pavimentos.

Quadro 08: Dados extraídos por modelo gerado.

Resumo de Dados Extraídos por Modelo								
Nº	Nome	Planta Base	Número de pavimentos	Padrão Construtivo	Área construída (m <sup>2</sup> )	Área de paredes externas (m <sup>2</sup> )	Área de paredes internas (m <sup>2</sup> )	Área molhada (m <sup>2</sup> )
1	Modelo 1.0	Planta 01	33	Alto	20.823,00	11.032,56	18.221,93	3.470,24
2	Modelo 1.1	Planta 01	33	Médio	20.823,00	11.032,56	18.221,93	3.470,24
3	Modelo 1.2	Planta 01	33	Baixo	20.823,00	11.032,56	18.221,93	3.470,24
4	Modelo 1.3	Planta 01	16	Alto	10.096,00	5.349,12	8.834,87	1.682,54
5	Modelo 1.4	Planta 01	16	Médio	10.096,00	5.349,12	8.834,87	1.682,54
6	Modelo 1.5	Planta 01	16	Baixo	10.096,00	5.349,12	8.834,87	1.682,54
7	Modelo 1.6	Planta 01	8	Alto	5.048,00	2.674,56	4.417,44	841,27
8	Modelo 1.7	Planta 01	8	Médio	5.048,00	2.674,56	4.417,44	841,27
9	Modelo 1.8	Planta 01	8	Baixo	5.048,00	2.674,56	4.417,44	841,27
10	Modelo 2.0	Planta 02	33	Alto	26.400,00	13.804,56	25.472,45	3.486,83
11	Modelo 2.1	Planta 02	33	Médio	26.400,00	13.804,56	25.472,45	3.486,83
12	Modelo 2.2	Planta 02	33	Baixo	26.400,00	13.804,56	25.472,45	3.486,83
13	Modelo 2.3	Planta 02	16	Alto	12.800,00	6.693,12	12.350,28	1.690,58
14	Modelo 2.4	Planta 02	16	Médio	12.800,00	6.693,12	12.350,28	1.690,58
15	Modelo 2.5	Planta 02	16	Baixo	12.800,00	6.693,12	12.350,28	1.690,58
16	Modelo 2.6	Planta 02	8	Alto	6.400,00	3.346,56	6.175,14	845,29
17	Modelo 2.7	Planta 02	8	Médio	6.400,00	3.346,56	6.175,14	845,29
18	Modelo 2.8	Planta 02	8	Baixo	6.400,00	3.346,56	6.175,14	845,29
19	Modelo 3.0	Planta 03	33	Alto	11.173,65	7.383,90	9.704,32	2.425,73
20	Modelo 3.1	Planta 03	33	Médio	11.173,65	7.383,90	9.704,32	2.425,73
21	Modelo 3.2	Planta 03	33	Baixo	11.173,65	7.383,90	9.704,32	2.425,73
22	Modelo 3.3	Planta 03	16	Alto	5.417,53	3.580,07	4.705,13	1.176,11
23	Modelo 3.4	Planta 03	16	Médio	5.417,53	3.580,07	4.705,13	1.176,11
24	Modelo 3.5	Planta 03	16	Baixo	5.417,53	3.580,07	4.705,13	1.176,11
25	Modelo 3.6	Planta 03	8	Alto	2.708,76	1.790,04	2.352,56	588,06
26	Modelo 3.7	Planta 03	8	Médio	2.708,76	1.790,04	2.352,56	588,06
27	Modelo 3.8	Planta 03	8	Baixo	2.708,76	1.790,04	2.352,56	588,06

### 5.3 CÁLCULO DE INDICADORES E PARÂMETROS

A partir das informações extraídas dos modelos pelo Dynamo, foi possível gerar a associação dessas informações para a geração de parâmetros e indicadores de cada modelo específico. Através da planilha orçamentária desenvolvida foi possível ligar as grandezas obtidas dos modelos para o alcance desses objetivos. Como já mencionado anteriormente, os parâmetros que foram buscados para cada massa estudada se resumem a lista abaixo:

- Área de Parede externa/área construída
- Área de Parede interna/área construída
- Área molhada/área construída
- Padrão construtivo

Portanto, foi necessária a elaboração de um *dashboard* que pudesse ligar as informações extraídas pelo Dynamo e gerasse esses indicadores automaticamente para posteriormente fornecer o custo por m<sup>2</sup> de construção e o custo estimado total do empreendimento. Pode-se ver na Figura 37 ou *layout* do *dashboard* criado para este cálculo de parâmetros.

Figura 37: *Dashboard* da planilha orçamentária no Excel.

Planilha de Orçamentação Paramétrica														
ORÇAMENTO		1			DATA		INCC Atual		696,314					
REVISÃO		0			PROJETO									
Cálculo de Parâmetros							Parâmetros							
Modelo	Área construída (m <sup>2</sup> )	Área de parede externa (m <sup>2</sup> )	Área de parede interna (m <sup>2</sup> )	Área molhada (m <sup>2</sup> )	Quantidade de Pavimentos	Padrão construtivo	Modelo	Parede ext/área construída	Parede int/área construída	Área molhada/área construída	Padrão construtivo			
3	11.173,65	7.383,90	9.704,32	2.425,73	33,00	Alto	3	0,66	0,87	0,22	0,16			
Parametria						Alto								
						Médio								
						Baixo								
							Legenda							
Modelo		Custo/m <sup>2</sup>	Área construída (m <sup>2</sup> )	Resultado Paramétrico		Não preencher		Preencher						
3		R\$ 1.662,73	11.173,65	R\$ 18.578.805,64										

Da Figura 37, pode-se notar que para que sejam obtidos os parâmetros necessários para a equação que trará a estimativa de custos basta apenas preencher qual o modelo estudado, escolher o padrão construtivo desejado, o INCC atual, e já ter extraído os dados

do modelo com o Dynamo previamente. A planilha é automatizada de modo que se houver qualquer extração de dados pelo Dynamo, ela instantaneamente obtém esses dados e gera novos parâmetros e orçamento.

Para que seja possível essa associação, foram utilizadas as funções “SOMASE”, “SOMA” e “CONT.VALORES” do Excel, onde a fonte de informações é a planilha gerada pelo Dynamo nomeada de “Extração Dynamo”. As funções utilizadas para extração da área construída, área de parede interna, área de parede externa e área molhada podem ser visualizadas no Quadro 09.

Quadro 09: Resumo de funções por grandeza geométrica.

<b>FUNÇÕES PARA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS</b>	
<b>Grandeza Geométrica</b>	<b>Função</b>
Área construída	“SOMA('[Extração Dynamo.xlsx]área da laje!\$C\$2:\$C\$1000)”
Área de parede interna	"SOMASE('[Extração Dynamo.xlsx]Paredes!\$B\$2:\$B\$5000;"14cm Ext. Cerâmica e pintura";[Extração Dynamo.xlsx]Paredes!\$C\$2:\$C\$5000)”
Área de parede externa	“SOMASE('[Extração Dynamo.xlsx]Paredes!\$B\$2:\$B\$5000;"12cm Int. Pintura";[Extração Dynamo.xlsx]Paredes!\$C\$2:\$C\$5000)”
Área molhada	“SOMA('[Extração Dynamo.xlsx]área molhada!\$C\$2:\$C\$100)*F11”

Já para o cálculo dos parâmetros de padrão construtivo é utilizada a função “SE(G11="Alto";0,16240504;SE(G11="médio";0;SE(G11="baixo";-0,45827492;0)))” que tem as constantes baseadas nos valores elucidados por Lima (2013) citados no referencial teórico.

Para relacionar as grandezas extraídas com as funções acima, a planilha simplesmente faz a divisão de uma grandeza por outra, o que a faz encontrar os indicadores necessários para o cálculo da equação. Vale salientar que cada parâmetro influi de maneira diferente no valor que o custo unitário assumirá e essa influência será melhor abordada nos tópicos a frente.

Diante do exposto acima e dos dados extraídos por cada modelo, é possível se gerar um quadro resumo com todos os parâmetros calculados por modelo. O Quadro 10 traz as informações de parâmetros por modelo. Deste quadro, pode-se notar que os modelos gerados das plantas tipo 1 e plantas tipo 2 possuem indicadores de “área de parede externa / área construída” muito próximos, mesmo apresentando áreas de laje e formatos diferentes. Além disso, deve-se observar que os modelos de base planta tipo 2 e

planta tipo 3 apresentam a densidade de paredes internas extremamente parecida, mesmo tendo um mais que o dobro da área de laje que o outro e distribuição de apartamentos e quartos totalmente diferentes.

Quadro 10: Dados extraídos por modelo gerado.

<b>Resumo de Dados Extraídos por Modelo</b>					
<b>Nº</b>	<b>Nome</b>	<b>Parede ext/área construída</b>	<b>Parede int/área construída</b>	<b>Área molhada/área construída</b>	<b>Padrão construtivo</b>
1	Modelo 1.0	0,53	0,88	0,17	0,16
2	Modelo 1.1	0,53	0,88	0,17	0,00
3	Modelo 1.2	0,53	0,88	0,17	-0,46
4	Modelo 1.3	0,53	0,88	0,17	0,16
5	Modelo 1.4	0,53	0,88	0,17	0,00
6	Modelo 1.5	0,53	0,88	0,17	-0,46
7	Modelo 1.6	0,53	0,88	0,17	0,16
8	Modelo 1.7	0,53	0,88	0,17	0,00
9	Modelo 1.8	0,53	0,88	0,17	-0,46
10	Modelo 2.0	0,52	0,96	0,13	0,16
11	Modelo 2.1	0,52	0,96	0,13	0,00
12	Modelo 2.2	0,52	0,96	0,13	-0,46
13	Modelo 2.3	0,52	0,96	0,13	0,16
14	Modelo 2.4	0,52	0,96	0,13	0,00
15	Modelo 2.5	0,52	0,96	0,13	-0,46
16	Modelo 2.6	0,52	0,96	0,13	0,16
17	Modelo 2.7	0,52	0,96	0,13	0,00
18	Modelo 2.8	0,52	0,96	0,13	-0,46
19	Modelo 3.0	0,66	0,87	0,22	0,16
20	Modelo 3.1	0,66	0,87	0,22	0,00
21	Modelo 3.2	0,66	0,87	0,22	-0,46
22	Modelo 3.3	0,66	0,87	0,22	0,16
23	Modelo 3.4	0,66	0,87	0,22	0,00
24	Modelo 3.5	0,66	0,87	0,22	-0,46
25	Modelo 3.6	0,66	0,87	0,22	0,16
26	Modelo 3.7	0,66	0,87	0,22	0,00
27	Modelo 3.8	0,66	0,87	0,22	-0,46

A partir do Quadro 10 observa-se que para os modelos estudados a proporcionalidade apresentada no Quadro 08 manteve-se entre os parâmetros adquiridos, o que comprova a eficácia da planilha para a associação dos dados extraídos pelo Dynamo. Pode-se inferir também que a forma do edifício associada a distribuição de paredes do mesmo é uma das principais influências nas razões dos parâmetros.

## 5.4 CÁLCULO DE ESTIMATIVAS DE CUSTO

Com base nos parâmetros obtidos pela planilha orçamentária calculados a partir dos dados extraídos pelo Dynamo, pôde se obter uma estimativa de custos paramétrica para cada modelo estudado. Partindo da equação desenvolvida por Lima (2013) e citada no referencial teórico deste trabalho foi possível se obter o custo por m<sup>2</sup> de cada massa elaborada.

Para a aplicação da equação de Lima (2013) foi necessário se fazer um reajuste dos valores presentes na equação, por conta da grande variação de preços unitários, e pela variação do valor unitário do CUB na construção civil entre os anos de 2012 e de 2017. O índice eleito para o reajuste desta equação foi o INCC (Índice Nacional da Construção Civil) gerado pela Fundação Getúlio Vargas e que é atualizado mensalmente. Esse índice foi criado com a finalidade de apurar os reajustes dos custos das construções habitacionais. Normalmente é utilizado para a correção de valores de contratos de compras de imóveis durante a construção de uma obra, por exemplo.

Seguindo a linha do INCC, devido ao fato de a equação paramétrica ter sido desenvolvida com os dados de custos unitários do CUB de maio de 2012, faz-se necessário multiplicá-la pelo fator de variação até março de 2017. Baseado na tabela divulgada pelo Sinduscon – PR (Acesso pelo Autor em 19/03/2017), e na equação para cálculo de variação do INCC apresentada abaixo, tem-se:

$$\text{Valor atual} = \Delta INCC \times \text{Valor a ser reajustado}$$

$$\Delta INCC = \frac{INCC (\text{Mês atual} - 1)}{INCC (\text{Mês a ser reajustado} - 1)}$$

$$INCC \left( \frac{fev}{17} \right) = 696,314 \qquad INCC \left( \frac{Abr}{12} \right) = 499,791$$

$$\Delta INCC = 1,393210362$$

Portanto, é necessário que se multiplique pelo fator 1,393210362 a equação paramétrica obtida pelo referencial teórico deste trabalho para que se possa aplicá-la da melhor maneira possível e se obter o resultado mais próximo do real, tornando-a a seguinte equação:

$$Y = 670,98177 \times e^{0,97266795 \times X1} \times e^{0,13635413 \times X2} \times e^{-0,003251045 \times 1/X3} \times e^{0,99294145 \times X7}$$

Diante disto, através dos parâmetros obtidos no tópico anterior e a equação paramétrica reajustada a planilha orçamentária gera o custo por m<sup>2</sup> (Y da equação) para cada modelo. Na Figura 38 é possível ver o layout do *dashboard* onde foi gerado segundo os parâmetros extraídos de um modelo o seu custo por metro quadrado e sua estimativa de custo.

Figura 38: *Dashboard* da planilha orçamentária no Excel.

Planilha de Orçamento Paramétrica											
ORÇAMENTO		1		DATA		INCC Atual		696,314			
REVISÃO		0		PROJETO							
Cálculo de Parâmetros						Parâmetros					
Modelo	Área construída (m <sup>2</sup> )	Área de parede externa (m <sup>2</sup> )	Área de parede interna (m <sup>2</sup> )	Área molhada (m <sup>2</sup> )	Quantidade de Pavimentos	Padrão construtivo	Modelo	Parede ext/área construída	Parede int/área construída	Área molhada/área construída	Padrão construtivo
3	11.173,65	7.383,90	9.704,32	2.425,73	33,00	Alto	3	0,66	0,87	0,22	0,16
Parametria											
Modelo	Custo/m <sup>2</sup>	Área construída (m <sup>2</sup> )	Resultado Paramétrico								
3	R\$ 1.662,73	11.173,65	R\$ 18.578.805,64	Legenda							
				Não preencher		Preencher					

O Quadro 11 traz as informações de custo unitário por m<sup>2</sup> por modelo estudado e seu respectivo orçamento paramétrico, relacionando cada modelo com os parâmetros calculados e seu custo final. Nota-se pelo Quadro 11 que para os modelos em que há apenas a variação de altura como mudança de característica (exemplo Modelo 1.0 para modelo 1.3) não existe variação no custo unitário. Isso ocorre, pois, o critério variado entre eles apenas está alterando a altura do empreendimento a partir do acréscimo de área construída por conta da adição de novos andares, o que influi apenas no custo total do empreendimento. Caso fosse aumentado o pé direito de cada pavimento para se alcançar a mesma altura, haveria diferença entre custos unitários e custo total do empreendimento, pois, neste caso, o acréscimo de pé direito influencia diretamente na relação das paredes externas e internas sobre a área construída, o que variaria os coeficientes da equação.

Tratando da planilha orçamentária utilizada neste trabalho, para que se tenham os valores do custo por m<sup>2</sup> atualizados mensalmente basta se inserir o valor atual do INCC no campo em branco descrito na planilha como “INCC ATUAL”, após isso

automaticamente a planilha ajusta a equação paramétrica e obtém-se os valores mais atuais para as considerações geométricas.

Quadro 11: Custo por m<sup>2</sup> por modelo.

Resumo de custo/m <sup>2</sup> por Modelo					
Nº	Nome	Padrão Construtivo	Área construída (m <sup>2</sup> )	Custo/m <sup>2</sup>	Resultado Paramétrico
1	Modelo 1.0	Alto	20.823,00	R\$ 1.458,49	R\$ 30.370.201,33
2	Modelo 1.1	Médio	20.823,00	R\$ 1.241,28	R\$ 25.847.224,15
3	Modelo 1.2	Baixo	20.823,00	R\$ 787,50	R\$ 16.398.060,22
4	Modelo 1.3	Alto	10.096,00	R\$ 1.458,49	R\$ 14.724.946,10
5	Modelo 1.4	Médio	10.096,00	R\$ 1.241,28	R\$ 12.531.987,47
6	Modelo 1.5	Baixo	10.096,00	R\$ 787,50	R\$ 7.950.574,65
7	Modelo 1.6	Alto	5.048,00	R\$ 1.458,49	R\$ 7.362.473,05
8	Modelo 1.7	Médio	5.048,00	R\$ 1.241,28	R\$ 6.265.993,73
9	Modelo 1.8	Baixo	5.048,00	R\$ 787,50	R\$ 3.975.287,33
10	Modelo 2.0	Alto	26.400,00	R\$ 1.459,07	R\$ 38.519.556,59
11	Modelo 2.1	Médio	26.400,00	R\$ 1.241,78	R\$ 32.782.911,21
12	Modelo 2.2	Baixo	26.400,00	R\$ 787,81	R\$ 20.798.216,05
13	Modelo 2.3	Alto	12.800,00	R\$ 1.459,07	R\$ 18.676.148,65
14	Modelo 2.4	Médio	12.800,00	R\$ 1.241,78	R\$ 15.894.744,83
15	Modelo 2.5	Baixo	12.800,00	R\$ 787,81	R\$ 10.083.983,54
16	Modelo 2.6	Alto	6.400,00	R\$ 1.459,07	R\$ 9.338.074,33
17	Modelo 2.7	Médio	6.400,00	R\$ 1.241,78	R\$ 7.947.372,41
18	Modelo 2.8	Baixo	6.400,00	R\$ 787,81	R\$ 5.041.991,77
19	Modelo 3.0	Alto	11.173,65	R\$ 1.662,73	R\$ 18.578.805,64
20	Modelo 3.1	Médio	11.173,65	R\$ 1.415,11	R\$ 15.811.898,93
21	Modelo 3.2	Baixo	11.173,65	R\$ 897,78	R\$ 10.031.424,24
22	Modelo 3.3	Alto	5.417,53	R\$ 1.662,73	R\$ 9.007.905,77
23	Modelo 3.4	Médio	5.417,53	R\$ 1.415,11	R\$ 7.666.375,24
24	Modelo 3.5	Baixo	5.417,53	R\$ 897,78	R\$ 4.863.720,84
25	Modelo 3.6	Alto	2.708,76	R\$ 1.662,73	R\$ 4.503.952,88
26	Modelo 3.7	Médio	2.708,76	R\$ 1.415,11	R\$ 3.833.187,62
27	Modelo 3.8	Baixo	2.708,76	R\$ 897,78	R\$ 2.431.860,42

A partir das informações contidas no Quadro 11 e da associação com os parâmetros gerados no Quadro 10, é gerado o Quadro 12, que traz o custo por m<sup>2</sup> e cada parâmetro associado aos modelos. Através dele, é possível se inferir a influência das características geométricas e do padrão construtivo na estimativa de custos por m<sup>2</sup> de cada tipologia apresentada, seguindo essa linha, diversas análises podem ser extraídas dos resultados aqui obtidos, como pode ser visto no tópico 5.5.

Quadro 12: Custo por m<sup>2</sup>/ parâmetros por modelo

Resumo de custo/m <sup>2</sup> . Parâmetros por Modelo						
Nº	Nome	Parede ext/área construída	Parede int/área construída	Área molhada/área construída	Padrão construtivo	Custo/m <sup>2</sup>
1	Modelo 1.0	0,53	0,88	0,17	0,16	R\$ 1.458,49
2	Modelo 1.1	0,53	0,88	0,17	0,00	R\$ 1.241,28
3	Modelo 1.2	0,53	0,88	0,17	-0,46	R\$ 787,50
4	Modelo 1.3	0,53	0,88	0,17	0,16	R\$ 1.458,49
5	Modelo 1.4	0,53	0,88	0,17	0,00	R\$ 1.241,28
6	Modelo 1.5	0,53	0,88	0,17	-0,46	R\$ 787,50
7	Modelo 1.6	0,53	0,88	0,17	0,16	R\$ 1.458,49
8	Modelo 1.7	0,53	0,88	0,17	0,00	R\$ 1.241,28
9	Modelo 1.8	0,53	0,88	0,17	-0,46	R\$ 787,50
10	Modelo 2.0	0,52	0,96	0,13	0,16	R\$ 1.459,07
11	Modelo 2.1	0,52	0,96	0,13	0,00	R\$ 1.241,78
12	Modelo 2.2	0,52	0,96	0,13	-0,46	R\$ 787,81
13	Modelo 2.3	0,52	0,96	0,13	0,16	R\$ 1.459,07
14	Modelo 2.4	0,52	0,96	0,13	0,00	R\$ 1.241,78
15	Modelo 2.5	0,52	0,96	0,13	-0,46	R\$ 787,81
16	Modelo 2.6	0,52	0,96	0,13	0,16	R\$ 1.459,07
17	Modelo 2.7	0,52	0,96	0,13	0,00	R\$ 1.241,78
18	Modelo 2.8	0,52	0,96	0,13	-0,46	R\$ 787,81
19	Modelo 3.0	0,66	0,87	0,22	0,16	R\$ 1.662,73
20	Modelo 3.1	0,66	0,87	0,22	0,00	R\$ 1.415,11
21	Modelo 3.2	0,66	0,87	0,22	-0,46	R\$ 897,78
22	Modelo 3.3	0,66	0,87	0,22	0,16	R\$ 1.662,73
23	Modelo 3.4	0,66	0,87	0,22	0,00	R\$ 1.415,11
24	Modelo 3.5	0,66	0,87	0,22	-0,46	R\$ 897,78
25	Modelo 3.6	0,66	0,87	0,22	0,16	R\$ 1.662,73
26	Modelo 3.7	0,66	0,87	0,22	0,00	R\$ 1.415,11
27	Modelo 3.8	0,66	0,87	0,22	-0,46	R\$ 897,78

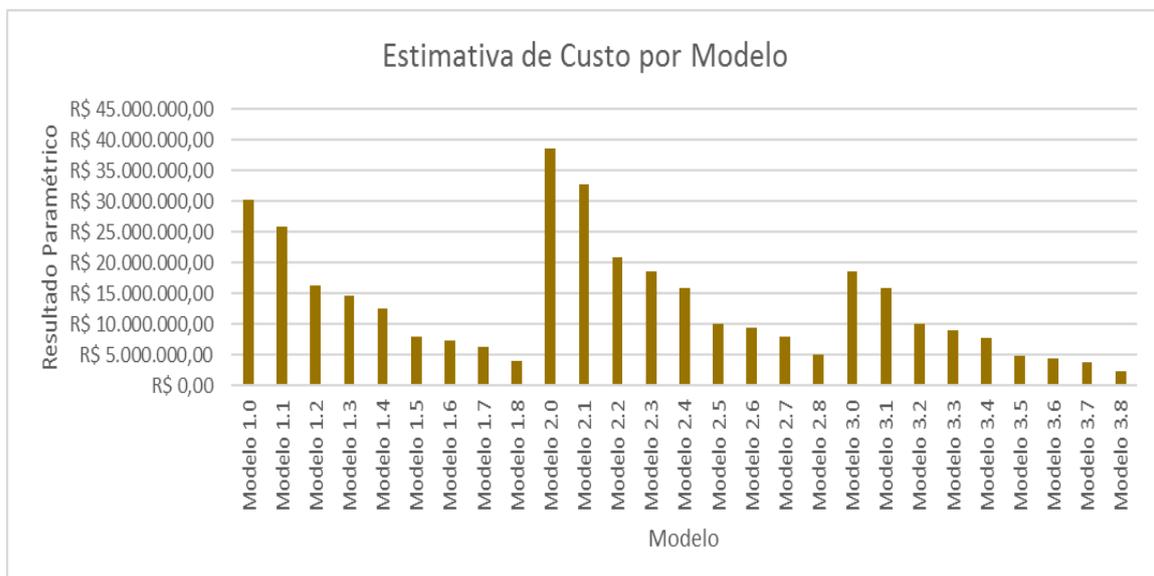
## 5.5 ANÁLISE DE PARÂMETROS E CUSTO GERADO.

Como pôde ser visto no tópico anterior deste estudo de caso, com base nas informações geradas a partir dos modelos estudados, dispostas nos quadros já explicitados nos tópicos anteriores, é possível se fazer a inferência de uma série de propriedades e análises sobre a aplicabilidade destes métodos para a estimativa de custo, por exemplo, de um empreendimento em sua fase de concepção, e sobre as relações entre as geometrias, custos e padrões construtivos utilizados para a geração dessas estimativas de custos unitários por metro quadrado construído.

Diante disto, é possível se ter a noção de como cada comportamento de cada parâmetro faz variar no custo da edificação, seja ele a tipologia da planta, o padrão construtivo, a quantidade de pavimentos do empreendimento, a sua relação de área molhada/ área construída ou a densidade de paredes ali presente. Além disso, é viável se fazer ainda a analogia de um orçamento real, desprezando as grandezas não consideradas no CUB, com um orçamento de uma tipologia similar gerada entre os modelos para avaliar a aplicabilidade do método empregado.

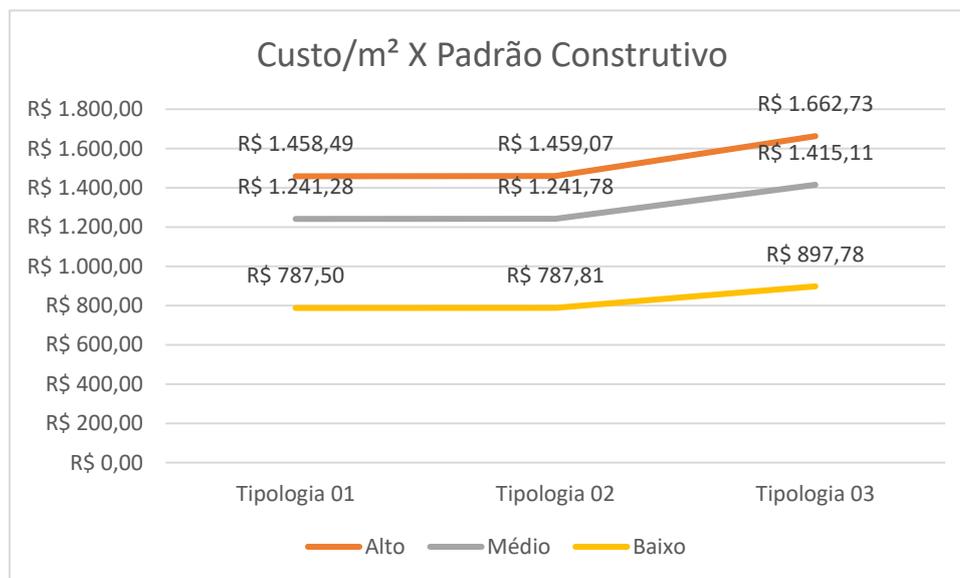
Portanto, visando avaliar a aplicabilidade e os resultados gerados pelos parâmetros extraídos dos modelos, a Figura 39 traz os resultados paramétricos extraídos dos modelos estudados nos quais se faz uma relação entre cada modelo estudado e seu orçamento agregado. Através do gráfico expresso na figura e com o auxílio dos dados já apresentados nos tópicos anteriores, é possível se inferir que a medida que se aumentam os volumes de cada tipologia de planta, ou se altera o padrão construtivo nela empregado, ou se varia a tipologia de uma planta para 03 ou 04 quartos, mexendo ou não na sua área de projeção, sempre haverá implicação no custo unitário geométrico, sendo ele diretamente ligado as propriedades geométricas e padrões construtivos empregados. Além disso, não foram encontrados valores de orçamento repetidos entre modelos, devido às variações feitas de modelo a modelo, mesmo que no critério padrão construtivo. Ainda na Figura 39, pode-se notar que há uma linearidade quando nas variações dentro de modelos baseados na mesma Planta Padrão, por exemplo, nos modelos criados a partir da tipologia 01, tem-se um acréscimo de valor de custo/m<sup>2</sup> quando aumenta-se o padrão do empreendimento e um relativo decréscimo quando se faz o contrário.

Figura 39: Gráfico de estimativa de custo por modelo



Ainda analisando os resultados expressos pela Figura 39, pode-se notar que a medida que aumentam as áreas construídas, tem-se por conseguinte maior valor global de orçamento. Tomando como exemplo os modelos 1.0 e 2.0 de características baseadas cada um em uma tipologia diferente, sendo o primeiro baseado na tipologia da planta tipo 1 (forma em T, 03 quartos e área de pavimento 631m<sup>2</sup>) e ou segundo edificado sobre a planta 2 (forma em H, 02 quartos e área de pavimento 800m<sup>2</sup>), pode-se notar pelas informações descritas no Quadro 12, que os custos unitários por m<sup>2</sup> desses dois modelos são praticamente iguais, quando os compara-se num mesmo padrão construtivo, mesmo assim tiveram valores globais diferentes devido as diferenças das áreas construídas. Porém, este fato de que os modelos gerados a partir das plantas 1 e 2 para um mesmo padrão construtivo estarem apresentando o mesmo custo unitário gera possibilidade de análise e discussão dos efeitos de cada indicador na equação utilizada e na composição deste custo. A Figura 40 traz em explícito a relação de custo unitário por m<sup>2</sup> para cada tipologia nos padrões alto, médio e baixo, e pode comprovar o citado acima.

Figura 40: Gráfico de custo/m<sup>2</sup> por tipologia de planta padrão.



Como dito anteriormente, o fato de os modelos com a tipologia 01 e tipologia 02 estarem apresentando valores de custo/m<sup>2</sup> muito próximos se deve a relação de seus indicadores que como visto no Quadro 12 apresentam valores também próximos. Os modelos com base na Planta Tipo 1 apresentaram a relação “área de parede externa / área construída” com o valor de 0,53, mostraram valores de 0,88 para o indicador de densidade de paredes internas e tiveram o parâmetro de área molhada expresso pelo fator de 0,17. Já os modelos com base na Planta Tipo 2 apresentaram a relação “área de parede externa

/ área construída” com o valor de 0,52, mostraram valores de 0,96 para o indicador de densidade de paredes internas e tiveram o parâmetro de área molhada expresso pelo fator de 0,13. Portanto, como pode-se ver o fator área molhada em combinação com a densidade de paredes internas foram os responsáveis pela equalização dos custos unitários destes dois modelos. Para os modelos de tipologia 01 o fator área molhada compensou a menor densidade de paredes e para os de tipologia 02 teve-se o contrário. É interessante ainda notar que mesmo com formas diferentes, a diferença de área dos pavimentos tipo das plantas 1 e 2 fez com que a relação paredes externas/ área construída se igualasse, fazendo com que os índices fossem praticamente os mesmos onde normalmente tipologias de formas diferentes teriam índices de fachadas também diferentes.

Ainda analisando a Figura 40, pode-se notar que os modelos baseados na tipologia 03 tiveram seus custos unitários deveras elevados em relação aos de tipologia 01 e 02, isso ocorre devido ao fato de que a relação de densidade de paredes externas e densidade de área molhada nestes modelos é muito superior aos apresentados pelos outros (0,66 para paredes externas e 0,22 para área molhada). Comparando os modelos de prefixo 1 e os de prefixo 3, pode-se notar que a relação de densidade de paredes internas é praticamente a mesma, mas, ao contrário do que ocorreu na análise anterior, os outros parâmetros não foram capazes de balancear as equações a fim de gerar um custo/m<sup>2</sup> similar. Este fato leva a considerar que o fator paredes externas sobre área construída tem relevância bastante significativa com relação aos outros, quando se fala do peso de cada parâmetro na equação.

Fazendo referência agora a Figura 39 e a associando com a Figura 40, pode-se notar que os modelos com tipologia padrão 03, mesmo apresentando os valores mais elevados de custo unitário, foram os que deram resultados com o menor valor global, quando comparado considerando mesmo padrão construtivo e quantidade de pavimentos nas tipologias diferentes. Esse fato ocorreu por conta da tipologia 03 ser a que apresenta a menor área construída, e por ela apresentar as maiores relações de área molhada e paredes de fachada teve um elevado custo/m<sup>2</sup> porém baixo valor global.

Como já explicado nos tópicos anteriores, o estudo de caso deste trabalho se baseou em três tipologias padrão para a geração dos modelos, as plantas tipo 1, 2 e 3. Cada tipologia estudada apresenta área de pavimento, número de apartamentos e número de quartos diferentes e foi estudada com relações de padrões construtivos altos, médios e baixos. A partir dos gráficos expressos pelas Figuras 41, 42 e 43, pode se observar as

principais implicações de cada tipologia no custo unitário por m<sup>2</sup> dos modelos separadamente, tendo a tipologia da Planta Tipo 3 (04 quartos, forma com arestas circulares e um apartamento por andar), como já explicado, a maior influência no custo por metro quadrado construído, apresentando os maiores valores.

Figura 41: Gráfico de custo/m<sup>2</sup> por tipologia de planta padrão – Padrão Baixo.

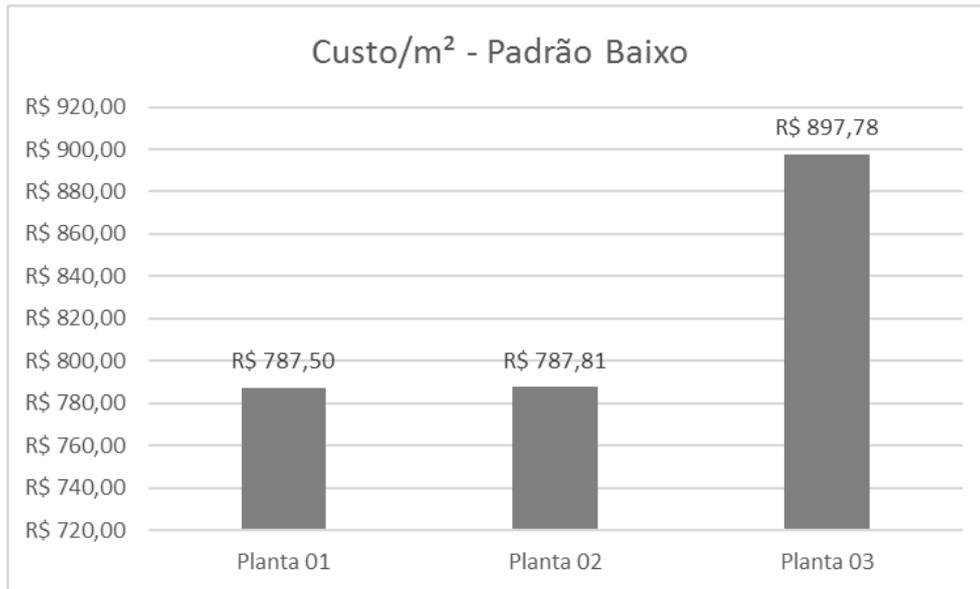


Figura 42: Gráfico de custo/m<sup>2</sup> por tipologia de planta padrão – Padrão Médio.

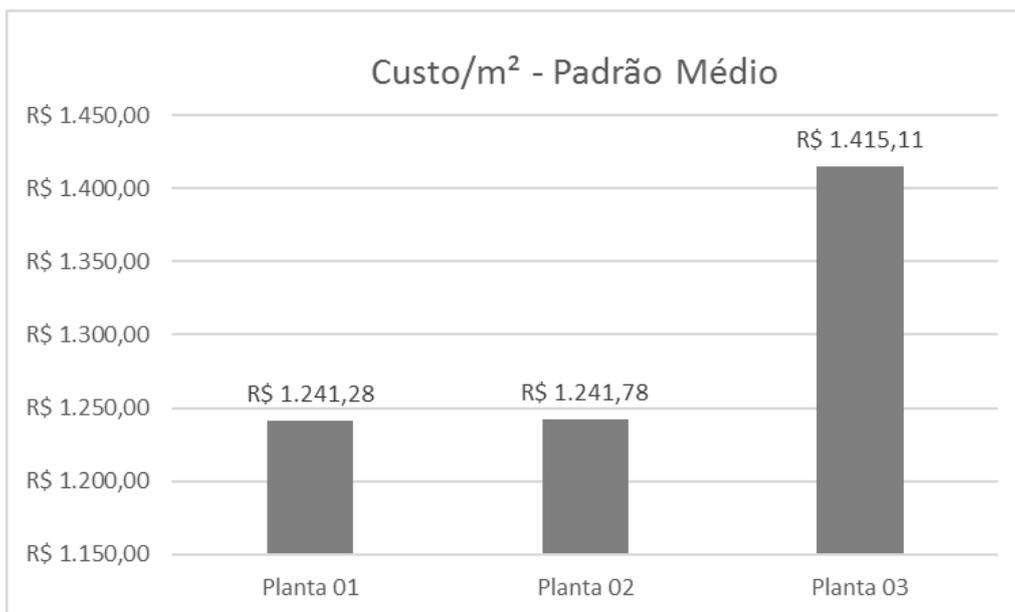
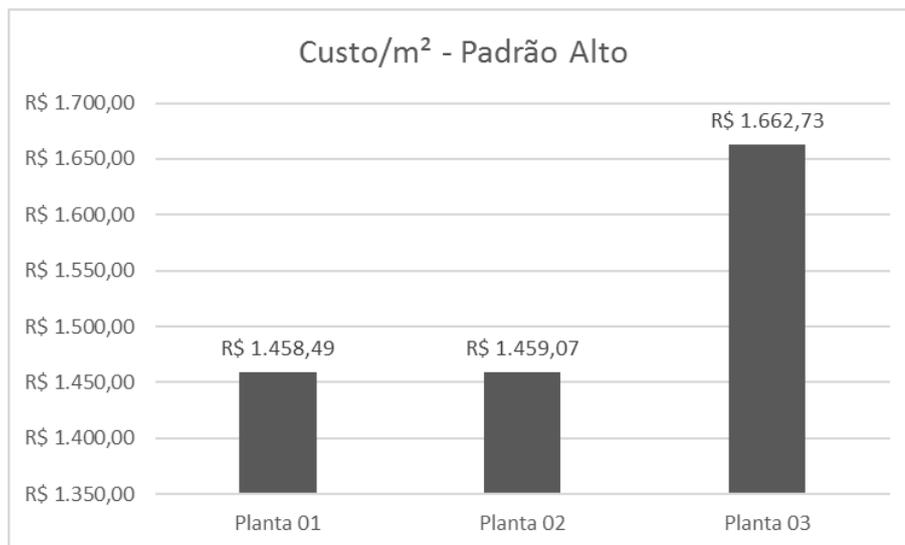


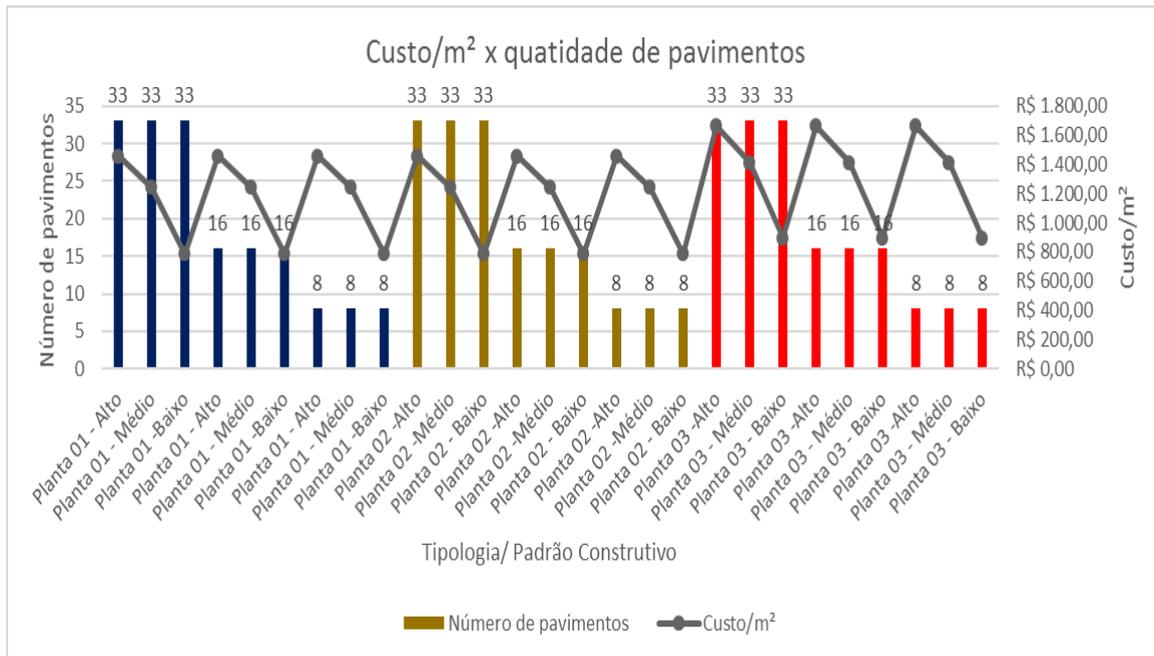
Figura 43: Gráfico de custo/m<sup>2</sup> por tipologia de planta padrão – Padrão Alto.



Outro fator que influencia no custo do m<sup>2</sup> encontrado é a altura ou quantidade de pavimentos do empreendimento, quanto maior a quantidade de pavimentos maior será a área construída e maior o valor global do orçamento do empreendimento. Conforme dados apresentados, não houve uma variação de custo unitário por quantidade de pavimentos, ao contrário do esperado, os valores encontrados se apresentaram constantes para um mesmo padrão construtivo e uma mesma tipologia de planta baixa, o que traz a conclusão que para haver variação do custo unitário por m<sup>2</sup> junto com a altura do empreendimento deve haver variação de pé direito da cada pavimento, tendo esta grandeza maior relação com a densidade de parede presente no modelo do que com a quantidade de pavimentos em si. A Figura 44 traz o gráfico de custo por m<sup>2</sup> por tipologia de planta, padrão construtivo e quantidade de pavimentos por modelo, e mostra de maneira geral as observações abordadas neste parágrafo.

Analisando as colunas em amarelo, tem-se alturas das mesmas significando a quantidade de pavimentos de cada modelo, neste caso separados pela tipologia e pelo padrão empregado, como linhas no gráfico tem-se os valores de custo unitário para cada modelo presente, se analisados separadamente é possível se confirmar o descrito no parágrafo anterior, onde para cada tipologia existe três ciclos similares de preço unitário variando apenas por conta do padrão construtivo. A título de exemplo, se observado os modelos de planta 2, de padrão médio e com alturas de 33, 16 e 8 pavimentos encontram-se os pontos da linha de custo unitários situados no mesmo plano horizontal, que podem ser visualizadas através das linhas horizontais em cinza no gráfico.

Figura 44: Custo/m<sup>2</sup> X Quantidade de Pavimentos.



As Figuras 45, 46 e 47 trazem separadamente a influência de cada padrão construtivo para cada tipologia de planta tipo apresentada. Analisando cada figura em particular pode-se, além de visualizar a interferência do padrão construtivo no custo unitário de cada tipologia, por conta da diferença de valor global total para um edifício de 8 pavimento na tipologia 01, por exemplo, entender quais efeitos a sua variação tem quando atuando em conjunto a variação da quantidade de pavimentos sobre o custo total do empreendimento. Observando gráfico por gráfico, tanto para as tipologias 01,02 e 03, nota-se que a influência de uma alteração de padrão construtivo é cada vez maior para o custo total da edificação quando maior a sua área construída. Apenas a título de exemplo, verificando na tipologia 02, tem-se uma diferença entre os custos totais de um padrão médio para um padrão alto de aproximadamente R\$ 2.000.000,00 para um empreendimento de 8 pavimentos, três milhões de reais para um de 16 pavimentos e seis milhões de reais para um de 33 pavimentos.

Quanto maior o padrão construtivo maior tende também a ser o custo por m<sup>2</sup> do empreendimento, verificando a Figura 47, para tipologia 03, para edifícios de mesma quantidade de pavimentos, 8 por exemplo, apresentam-se custos totais diferentes, sendo o maior para o de padrão alto e o menor para o de padrão baixo.

Figura 45: Valor global X Padrão X Quantidade de pavimentos - Planta Tipo 1.

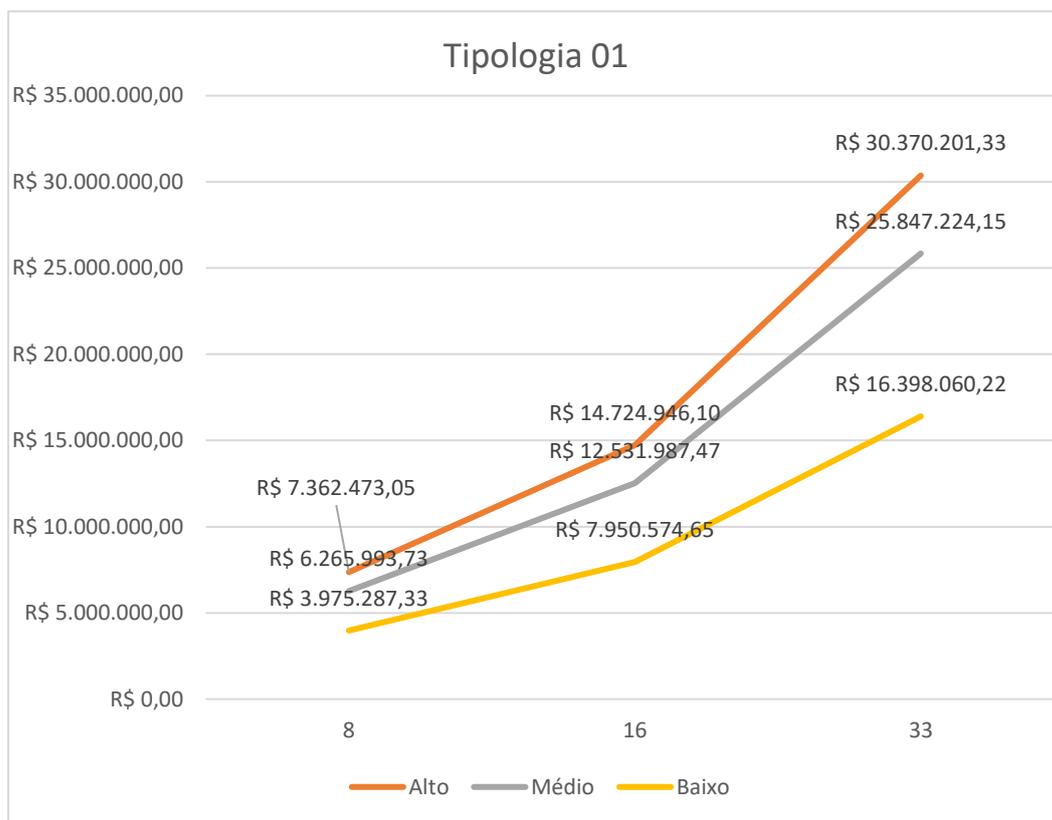


Figura 46: Valor global X Padrão X Quantidade de pavimentos - Planta Tipo 2.

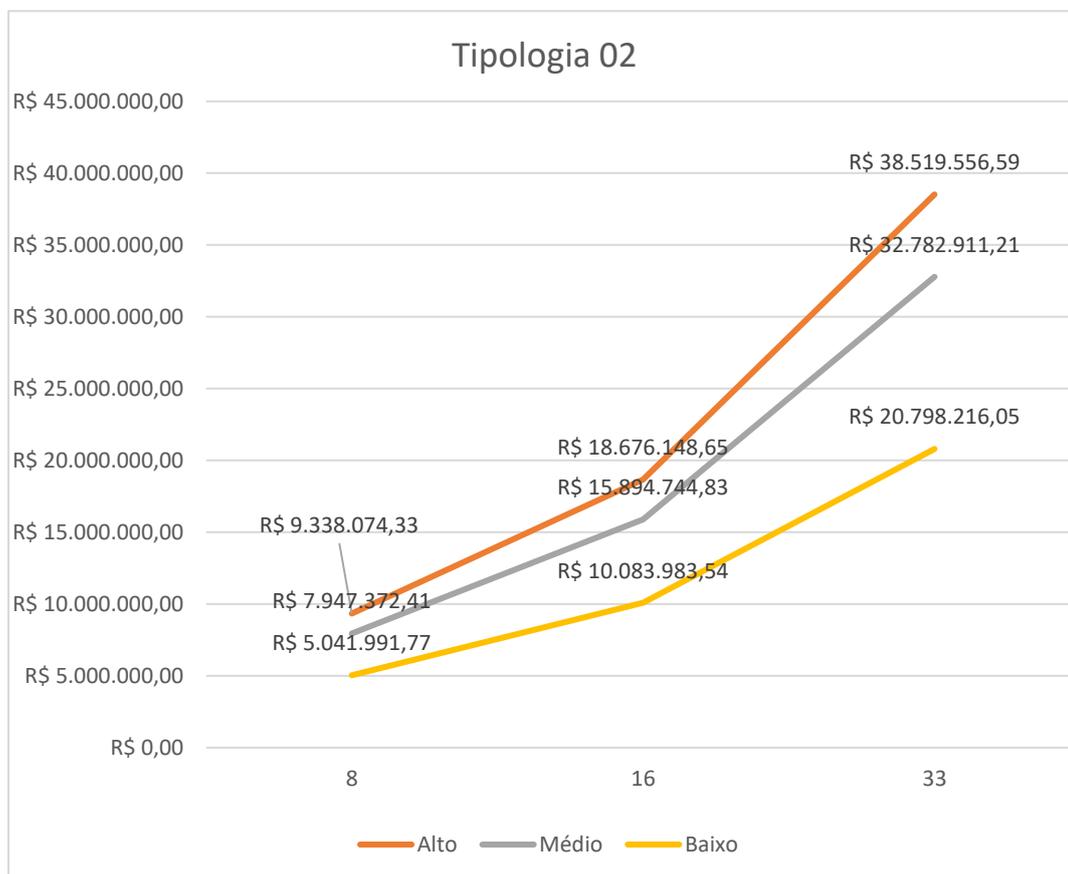
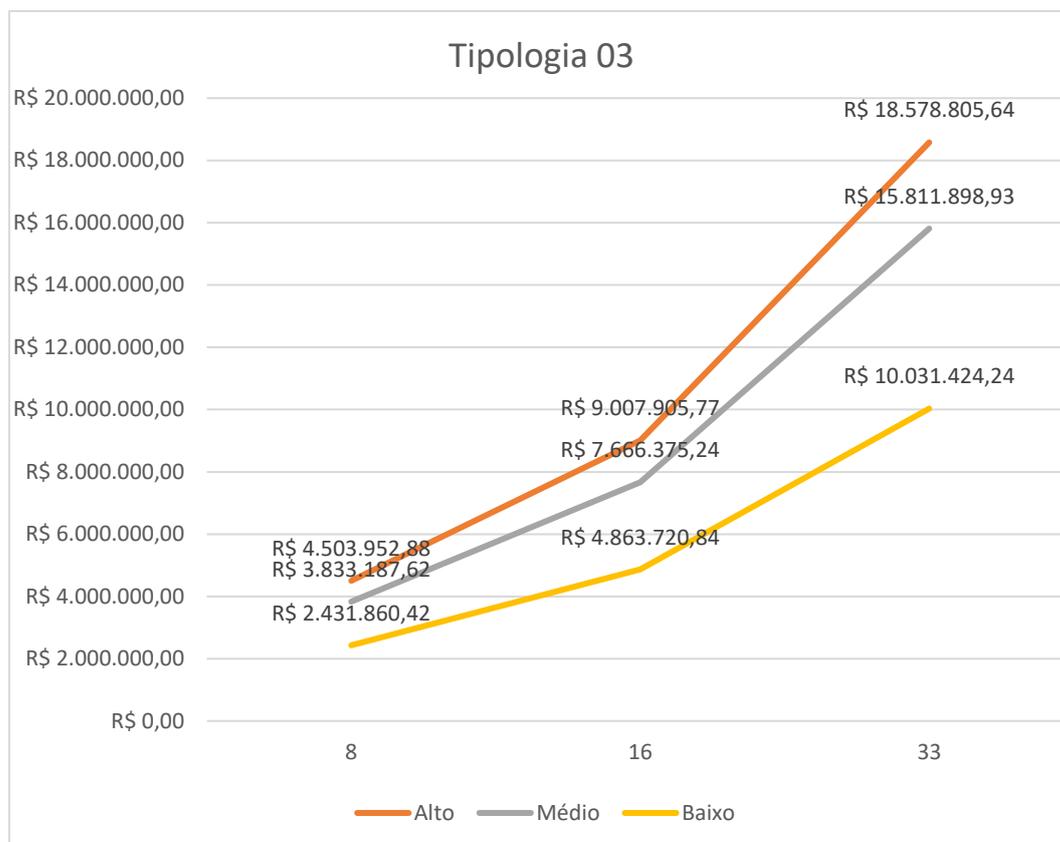


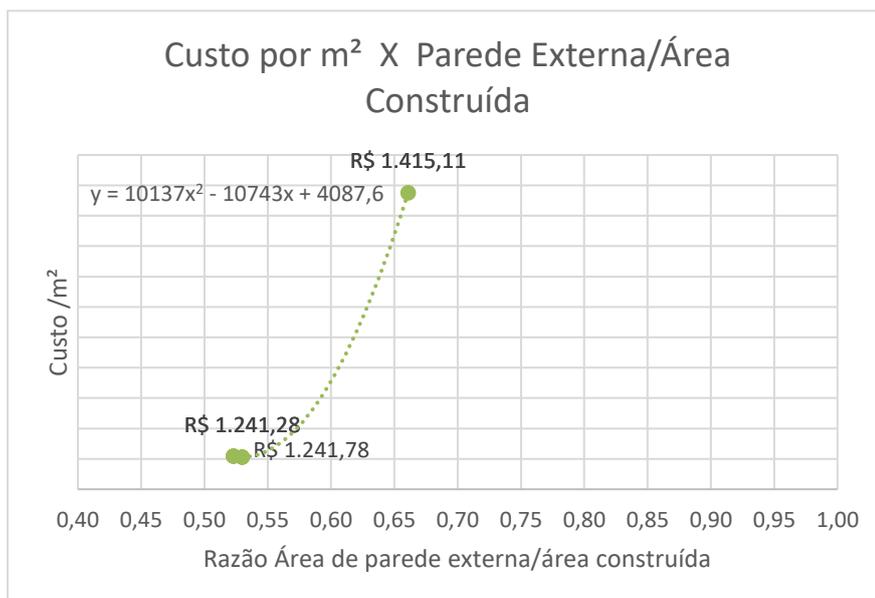
Figura 47: Valor global X Padrão X Quantidade de pavimentos - Planta Tipo 3.



Para melhor entendimento das relações aqui expostas entre parâmetros e custos unitários encontrados por modelo, é necessário se fazer a análise separada de cada indicador aplicado na equação e sua interferência direta no custo aplicado. Através do traçado de linhas de tendências, obtidas a partir dos valores extraídos para cada modelo desenvolvido, foram obtidas curvas que explicam de certa forma o comportamento de cada parâmetro geométrico na composição do custo unitário geométrico. Nas Figuras 48, 49 e 50 é possível se visualizar o comportamento de cada parâmetro e sua influência no custo.

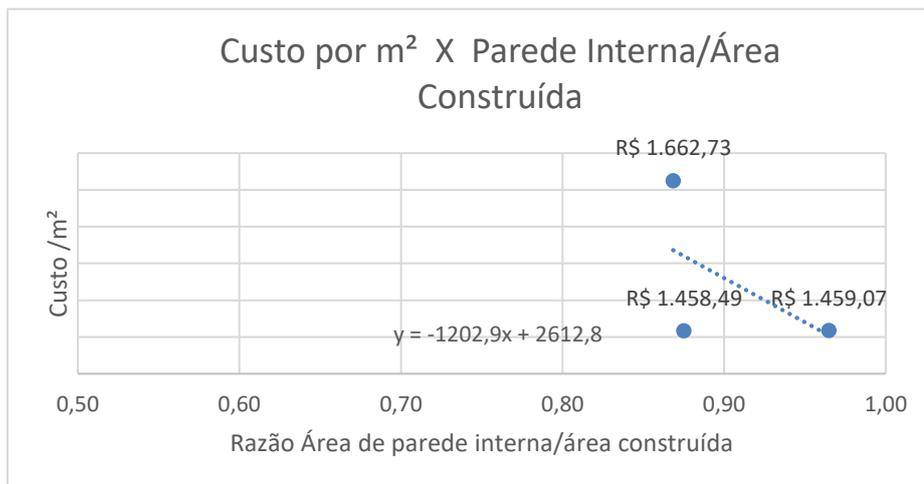
A partir dos indicadores encontrados pode-se traçar o que se chamam de linhas de tendências com as respectivas equações referentes as suas variações, por conta do número escasso de pontos para sua geração, nem sempre a linha de tendência demonstrará o efeito correto do indicador, pois com poucos elementos pode haver uma influência maior de outro parâmetro no custo que faça com que se tenha um ponto fora da curva.

Figura 48: Custo/m<sup>2</sup> X Parede Externa/Área Construída.



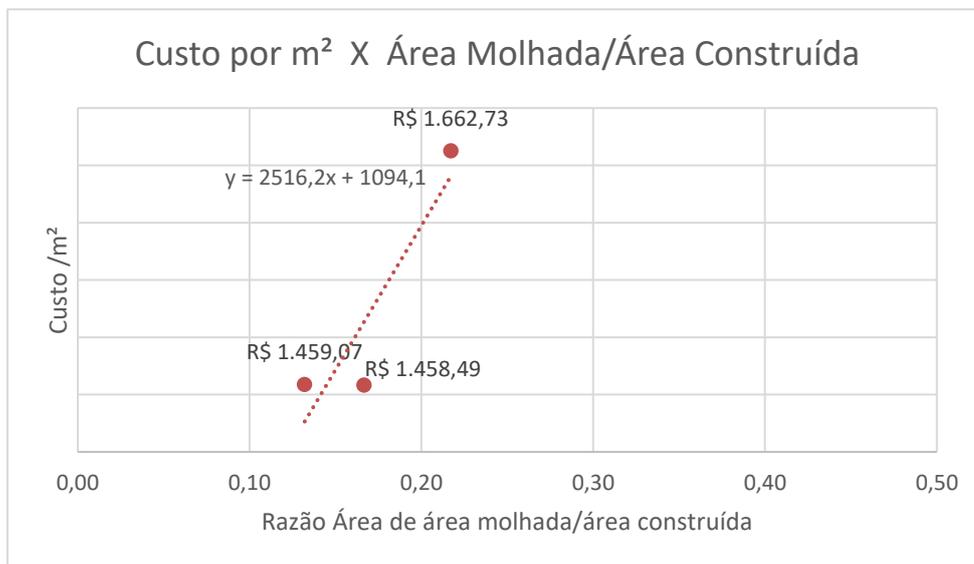
A Figura 48 mostra que quanto maior a relação área de parede externa sobre área construída maior a tendência de se ter um custo/m<sup>2</sup> superior. Na Figura 49 é possível notar a influência que a interferência de um parâmetro com valor elevado pode ter sobre outro num mesmo modelo. Apesar de ser clara a relação de quão maior a densidade de paredes internas, maior o custo por m<sup>2</sup>, ao se traçar a linha de tendência do gráfico na Figura 49 não fica tão simples essa inferência. Isso acontece por conta de um outro parâmetro associado, como por exemplo, a relação entre área molhada sobre a área construída, estar exercendo, para um devido modelo, uma influência muito mais significativa no custo unitário por metro quadrado deste, dando existência a um ponto fora da curva. Esta interferência de parâmetros faz com que mesmo que a relação entre paredes internas e área construída seja significativamente superior de um modelo para o outro, não haja uma linearidade direta na variação dos custos por m<sup>2</sup> destes modelos, pois a relação existente no parâmetro área molhada por área construída, neste caso, traz uma diferença de maneira inversa muito mais significativa ao outro parâmetro associado. Esta interferência pode ser exemplificada quando comparam-se os modelos de tipologia 01 e 03, onde existe uma relação similar de densidade de paredes internas, com valores de 0,88 e 0,87 respectivamente. Nesse caso os valores de dois parâmetros (densidade de área molhada e de paredes externas) exercem influência muito mais significativa para os modelos de planta tipo 3, dando um salto no seu custo unitário. Portanto, a linha de tendência correta seria crescente devendo-se desprezar este ponto fora da curva.

Figura 49: Custo/m<sup>2</sup> X Parede Interna/Área Construída.



Na Figura 50 pode-se notar que quanto maior a relação área molhada sobre área construída maior o custo unitário por m<sup>2</sup> do empreendimento, tendo uma relação direta com o acréscimo de custo de construção demonstrada pela linha de tendência traçada entre os pontos extraídos dos modelos.

Figura 50: Custo/m<sup>2</sup> X Área Molhada/Área Construída.

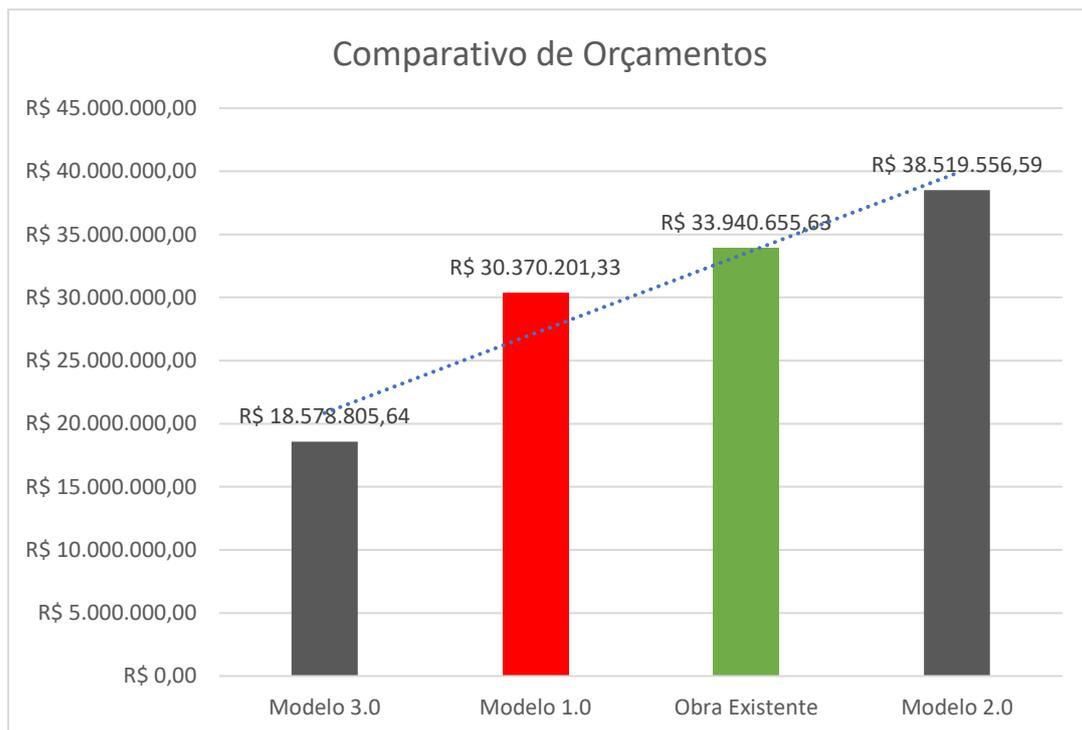


Por fim, a fim de confirmar a confiabilidade dos dados e orçamentos gerados a partir dos modelos criados neste estudo de caso e para comprovar a boa aproximação que a equação paramétrica aqui empregada traz, foi realizada uma comparação com um orçamento executivo de um empreendimento de alto padrão, ainda em fase de construção, situado no bairro de Jaguaribe na cidade de Salvador, Bahia.

Este empreendimento apenas a título de informação é constituído de duas torres, uma de 13 pavimentos tipo e três pavimentos de garagem e outra de 14 pavimentos tipo e dois pavimentos de garagem com um playground ligando as duas torres (33 pavimentos no total), com pavimentos tipo constituídos por 2 apartamentos, um de 235m<sup>2</sup> e outro de 242 m<sup>2</sup>, tendo como tipologia padrão uma planta baixa composta por 4 suítes e uma dependência.

Para melhor análise dos resultados, faz-se necessária a subtração dos valores de orçamento que não constam no preço unitário do CUB, como por exemplo, custos indiretos e de fundações presentes no valor global do empreendimento. A Figura 51 traz a relação entre os modelos 1.0, 2.0 e 3.0 (todos com 33 pavimentos) e o orçamento executivo da obra em questão. Vale salientar que o modelo 1.0 é o que mais se aproxima da tipologia do empreendimento em questão, por apresentar similar quantidade de pavimentos e formato em T, além da tipologia de 02 apartamentos por andar.

Figura 51: Comparativo de orçamentos.



Diante do exposto, analisando as colunas em vermelho e verde, pode se notar que a pequena discrepância de valores entre o modelo 1.0 e o orçamento executivo, cerca de 10%, é um fator que comprova a confiabilidade e aplicabilidade deste método apresentado para a orçamentação de um empreendimento na fase de concepção e viabilidade do produto. O Quadro 13 traz um resumo do orçamento da obra existente, visto que a planilha

orçamentária do empreendimento utilizado não pode ser divulgada por questões de privacidade.

Quadro 13: Resumo de orçamento de obra em Salvador.

<b>SERVIÇOS</b>	<b>ORÇAMENTO</b>
Serviços dentro do CUB	R\$ 33.940.655,63
Serviços fora do CUB (Paisagismo, fundações, projetos, custos indiretos...)	R\$ 20.411.529,12
Orçamento total	R\$ 54.352.184,75

## 6 ANÁLISE E DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

O estudo mostrou a aplicação da modelagem da informação da construção para a geração de indicadores com base nos elementos característicos de sua concepção, através de estudos de massa, para a geração de estimativas de custos a partir de uma equação paramétrica. Além disso, trouxe a aplicação do BIM em conjunto com a linguagem de programação visual como maneira de extração mais veloz dos dados necessários para a geração de indicadores e parametrização de um orçamento.

Além dos modelos criados, foram obtidos como produtos desse estudo as linguagens visuais de programação geradas no Dynamo para a extração de dados a partir de massas construídas no Revit e uma planilha orçamentária automática reajustável por INCC, pautada nos parâmetros geométricos extraídos deste modelo e padrão construtivo desejado. Outro resultado interessante desse estudo foi a análise dos indicadores geométricos estudados em sua influência no custo da edificação.

Foram identificados os benefícios referentes ao uso do BIM e de toda a sua gama de informações, como a recente incorporação à plataforma da linguagem visual de programação, advinda do *software* Dynamo, para a orçamentação paramétrica de um empreendimento em sua fase de viabilidade e a análise do custo unitário geométrico do mesmo. Dentre as vantagens da utilização das ferramentas BIM e Dynamo, pode-se citar a velocidade no levantamento de dados, na modelagem de massas e na extração automática de dados já ligados a plataforma em Excel. Os principais resultados obtidos deste trabalho serão abordados a seguir.

- PROCEDIMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE UM MODELO DE MASSA.

O procedimento adotado para construção de um modelo de massa foi apresentado de forma detalhada no capítulo anterior. O registro desse procedimento possibilita que o conhecimento obtido neste trabalho sirva de referência para trabalhos futuros.

- PROCEDIMENTO PARA PROGRAMAÇÃO DE LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO VISUAL PARA A EXTRAÇÃO DE DADOS DE UMA MASSA.

O procedimento escolhido para a programação de uma linguagem de programação visual no *software* Dynamo foi apresentado de forma detalhada no capítulo anterior, trazendo imagens e explicações das funções utilizadas. O registro desse procedimento

possibilita que o conhecimento obtido neste trabalho sirva de referência para trabalhos futuros, e para a utilização da planilha orçamentária também gerada neste trabalho.

- **GERAÇÃO DE PLANILHA ORÇAMENTÁRIA PARAMÉTRICA.**

Foi gerada uma planilha orçamentária pautada nas equações dispostas no referencial teórico, que através dos parâmetros extraídos pelo Dynamo possibilita a geração de orçamentos para as massas modeladas de forma automática. A planilha, que é explicada detalhadamente no capítulo anterior, serve para se obter estimativas de custo mais seguras durante a fase de viabilidade de um empreendimento, todo conhecimento aplicado e abordado na construção desta planilha pode ser utilizado em trabalhos futuros ou até em estudos de novos empreendimentos, principalmente pelo fato de que os valores da planilha são reajustáveis por INCC, por ser de fácil e simples utilização e por apresentar bases mais sólidas para estimativas de custos velozes por levar em consideração os parâmetros geométricos do empreendimento.

- **ANÁLISE DE PARÂMETROS GEOMÉTRICOS E DE PADRÃO CONSTRUTIVO COM RELAÇÃO AO CUSTO DE CONSTRUÇÃO.**

Um dos maiores desafios nas etapas de concepção e viabilidade de um empreendimento é se ter velocidade atrelada a confiabilidade, quando se trata do quesito de estimativa de custos e orçamentação.

Através das análises realizadas no capítulo anterior, acerca das relações entre os indicadores geométricos e tipologias de construção com os custos encontrados, foi possível notar e se confirmar a relação existente entre os parâmetros geométricos e os custos unitários por m<sup>2</sup> de área construída. Além disso, foi possível se provar maior confiabilidade, devido as pequenas discrepâncias apresentadas, nos métodos utilizados e equações utilizadas para a obtenção de tais valores.

A análise destes indicadores, traz consigo a possibilidade de utilização das ferramentas propostas nesse estudo, BIM e Dynamo, por conta da assertividade de suas informações. Sua utilização pode servir de base para futuros estudos, para aprimoramento destas relações e geração de novas equações, com a tendência de reduzir ao máximo os possíveis erros de estimativas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresenta uma contribuição na disseminação do uso do BIM, que apesar de ainda se apresentar de forma tímida no Brasil, vem tomando cada vez mais espaço no mercado da construção civil brasileira. Além disso, o trabalho aqui descrito, também tem a função de apresentar a tecnologia visual de programação como ferramenta de aperfeiçoamento do BIM, que ainda tem baixíssima utilização ou conhecimento de existência no país. Não obstante, o presente trabalho apresenta uma contribuição para a divulgação do método do custo unitário geométrico e da utilização de parâmetros geométricos e de padrão construtivo para a estimativa de custos nas fases de concepção e viabilidade de uma obra. O foco do estudo de caso é a ligação entre os três pilares citados acima com enfoque na análise dos resultados apresentados por essa combinação.

Esse estudo permitiu compreender melhor o processo de construção de um modelo de massa em BIM pouco detalhado, associado à construção de uma linguagem visual de programação com intuito de extração de dados para a geração de parâmetros, através dos quais foi realizada uma análise de custo unitário geométrico e geração orçamentos pautados numa equação paramétrica. Por conta de se tratar de processos que depois de elaborados se tornam automatizados, os dados, parâmetros e massas tem simples e rápida modificação, o que é de suma importância na etapa que as equações paramétricas para orçamentação e os custos unitários geométricos podem ser aplicados.

Outro ponto importante é a assertividade das informações. Por conter dados referentes a geometria dos modelos, existe maior proximidade da realidade quando comparadas as estimativas elaboradas com os métodos tradicionais, é possível se analisar também independentemente cada parâmetro a fim de se elaborar o modelo ideal para construção – por exemplo.

A ferramenta BIM vinculada a uma linguagem de programação visual e uma parametrização de dados convertidos em equação paramétrica voltada a orçamentação com base nos indicadores geométricos de uma edificação traz diversos benefícios às fases de viabilidade e concepção de um empreendimento, dentre os quais se destaca a maior velocidade e melhor confiabilidade adquirida na orçamentação inicial do empreendimento. No entanto, as ferramentas aqui descritas devem ser implantadas de forma consciente, devendo sempre haver o cuidado de estar se atualizando as bases delas e aprimorando suas linguagens, além do fato de que a equação abordada não leva em conta os itens não dispostos no CUB, e não deve substituir um bom orçamento executivo

detalhado. Portanto, ao se implantar as ferramentas paramétricas aqui descritas, deve-se levar em consideração que elas são válidas apenas nas fases de estudo e viabilização, devendo se fazer um orçamento à fundo antes da construção de qualquer empreendimento. O uso do Dynamo ainda vem sendo pouco explorado no Brasil, com ele infinitas possibilidades, tanto de modelagem, quanto de extração de dados são possíveis e consigo ele traz o desafio de inovar cada vez mais na tecnologia BIM.

Por meio deste trabalho, foi possível notar que tanto o uso da plataforma Dynamo, quanto o uso do BIM, não podem ser impostos, nem exigidos, deve-se haver um processo de amadurecimento de ideias e aprendizado, para que haja o acultramento dos profissionais da área e a familiarização com essas plataformas, para maior inserção destas nas empresas atuantes no Brasil.

Além disso, é possível se inferir que as relações entre a geometria do empreendimento e seu custo, fazem parte de um campo da construção civil que ainda há de ser bastante estudado, onde existem milhões de variáveis a serem descritas e melhor explicadas nesses âmbitos. Diante do exposto, é possível notar que existe um caminho para a evolução dos métodos de estimativas de custos em fases de concepção e viabilidade de um empreendimento, e esta jornada tende para a utilização das características geométricas em suas considerações, sabendo todos os envolvidos neste processo que mesmo assim este não é a solução de todos os problemas.

- **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

As sugestões aqui descritas para trabalhos futuros são:

- Estudar a análise dos custos geométricos a partir da geração de modelos envolvendo única e exclusivamente a plataforma Dynamo para geração das massas e extração de quantitativos.
- Desenvolver equação paramétrica a partir dos parâmetros extraídos dos modelos gerados em ferramentas BIM em associação com o Dynamo.
- Ampliar o estudo aqui realizado com maior nº de modelos e características geométricas exploradas.
- Aplicar o Dynamo para geração de modelo e extração total de seus quantitativos para a elaboração de orçamento executivo associados ao planejamento de uma obra.

## REFERÊNCIAS

- ACTECH TRAINING CENTER. **Curso de modelagem de famílias paramétricas**. 2015. Actech Training Center. Disponível em: <<http://actech.net.br/loja-actech/revit/curso-de-modelagem-de-familias-parametricas/>>. Acesso em 20.nov.2016
- AIA – THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. National Documents Committee. **DocumentE202** – Building Information Modeling Protocol Exhibit. Washington, DC, 2008.
- ALDER, M. A. **Comparing time and accuracy of building information modeling to onscreen take off for a quantity takeoff on a conceptual estimate**. Dissertação (Master of Science). School of Technology Brigham Young University. 2006.
- AL-MASHTA, S. **Integrated Cost Budgeting and Cost Estimation Model for Building Projects**. 190f. Dissertação (Master of Science), Concordia University, 2010.
- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA) and AIA California Council. **Integrated Project Delivery: A Guide**. Version 1, 2007. Disponível em <[www.aia.org/ipdg](http://www.aia.org/ipdg)>. Acessado em: 20 novembro 2016.
- ANDRADE, V. A. **Modelagem dos custos para casas de classe média**. 198f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- ANDRADE, A. C., SOUZA U. E. L. **Diferentes abordagens quanto ao orçamento de obras habitacionais: aplicação ao caso do assentamento da alvenaria**. In: *Anais... do IX Encontro Nacional de Tecnologia do Meio Ambiente Construído – Foz do Iguaçu: ENTAC*, 2002.
- ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. **BIM: Conceitos, Cenário das Pesquisas Publicadas no Brasil e Tendências**. In: *Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído (SBQP)*, 9, 2009, São Carlos. *Anais... São Carlos*: 2009.
- AOUAD, G. *et al.* **Developing a vision of nD-enabled construction**. *Salford Centre for research & innovation*, Salford, 2003.
- ARAÚJO, T. T.; HIPPERT, M. A. S.; ABDALLA, J. G. F. **Diretrizes para elaboração de Projetos de Manutenção usando a tecnologia BIM**. In: *Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios*, X., nov 2011. Rio de Janeiro. *Anais... Rio de Janeiro*, 2011
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.721: **Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios** – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSUMPCÃO, J. F. P.; FUGAZZA, A. E. C. **Execução de orçamento por módulos para obras de construção de edifícios**. Artigo sem apresentação, (1996).
- AURORA ARQUITETURA. **Ciclo BIM**. 2015. Aurora Arquitetura. Disponível em: <<http://auroraarquitetura.com/bim/>>. Acesso em: 15 out. 2016

ÁVILA, A. V.; LIBRELOTTO, L. I.; LOPES, O. C. **Orçamento de obras**. Apostila do curso de arquitetura e urbanismo. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2003.

AYRES, C.; SCHEER, S. **Diferentes Abordagens do Uso do CAD no Processo de Projeto Arquitetônico**. In: VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2007, Anais... Curitiba - PR. VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, 2007

AZEVEDO, O. J. M. **Metodologia BIM – Building Information Modeling na Direção Técnica de Obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação, Universidade do Minho, Portugal, 2009.

AZUMA, F.; SCHEER, S. **Processo de projeto, sistemas CAD e modelagem de produto para edificações** TQS News, São Paulo, p 40-43. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/tqs-news/consulta/58-artigos/737-processos-de-projeto-sistemas-cad-e-modelagem-de-produto-para-edificacoes>>. Acessado em: 24 novembro 2016.

BEDRICK, J. *BIM and Process Improvement*. **AECbytes**, out. 2005. Disponível em <<http://www.aecpe.com/BIM%20and%20Process%20Improvement.pdf> >. Acesso em 26/11/2016.

BIMPANZEE. **BIM 3d 4d 5d 6d 7d**. 2016. Bimpanzee. Disponível em: <<http://www.bimpanzee.com/bim-3d-4d--5d--6d---7d.html>>. Acesso em 17.nov.16

BRESSIANI, L., HEINECK, L. F., & ROMAN, H. R.. **Indicadores paramétricos para orçamento e avaliação da qualidade de projetos: Analisando a consistência interna de um banco de dados e das equações de regressão geradas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2010, São Paulo. **Anais**. Canela: ANTAC, 2010.

CAMPESTRINI, T. F. (Org.). **Entendendo o BIM, 2015. Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação**. 1ª Edição, Curitiba, Paraná, Brasil, 2015, 115p.

COELHO, R. S. de A. **Planejamento e controle de custos nas edificações**. São Luís: UEMA, 2006.

DANG, D.T.P.; TARAR, M. **Impact of 4D modeling on construction planning process**. 2012. Thesis (Master of Science) – *Chalmers University of Technology*, Göteborg, Sweden.

DEPARTMENT OF DEFENSE (DOD). **Parametric estimating handbook**, 2nd edition. Washington, 1999.

DIAS, Paulo R. V. **Uma metodologia de orçamentação para obras civis**. 2002. 172 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil – Produção Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

DYNAMO BIM. **Dynamo: visual programming for design**. Dynamo BIM, 2016. 56 p.

EASTMAN, C. **Building Product Models: computer environments supporting design and construction**. Boca Raton: CRC Press, 1999, 411 p, 424 p.

EASTMAN, C. M.; SACKS, R. e LEE, G. **Functional modeling in parametric CAD systems**. In: ACADIA Conference 2004, 2004, Toronto. Disponível em [http://bim.arch.gatech.edu/data/reference/Functional%20modeling%20in%20parametric%20CAD%20systems\\_GCAD2004.pdf](http://bim.arch.gatech.edu/data/reference/Functional%20modeling%20in%20parametric%20CAD%20systems_GCAD2004.pdf). Acessado em: 12.2016.

EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. e LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. Hoboken: Wiley, 2008, 490 p.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2ª ed. *Hoboken*: Wiley, 2011.

EASTMAN, C. M. General purpose building description systems. **Computer-Aided Design**, v.8, n.1, 1976, p.17-26. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00104485>. Acessado em: 11.2016.

FLORIO, W. **Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura**, In: SEMINÁRIO TIC 2007 – TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2007, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: TIC 2007, 2007. CD-ROM.

GELDERMAN, C. J.; WEELE, A. J. Purchasing Portfolio Models: A Critique and Update. **Journal of Supply Chain Management**, v. 41, n. 3, p. 19-29, 2005.

GRIMM, Tim. **Practical Dynamo: Linking Revit with Excel**. 2014. Revit Add-ons. Disponível em: < <http://revitaddons.blogspot.com.br/2014/09/practical-dynamo-linking-revit-with.html> >. Acesso em: 20 dez. 2016

GONÇALVES, Cilene Maria Marques. **Método para gestão do custo da construção no processo de projeto de edificações** / C.M.M Gonçalves. – ed.rev. – São Paulo, 2011. 182p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

GONZALEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de orçamento e planejamento de obras**. 22-22 de aug de 2008. 49 p. Notas de Aula.

GOUVÊA, L. B. de; PAULA, F. A. de; LORENZI, P. C. **Aplicação de CAD 4D/5D a partir do modelo integrado de informação para habitação unifamiliar**. 95f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Paraná, 2013.

HITECHCADD SERVICES. **Level of development lod**. 2016. Hitechcaddservices. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/bim-quem-e-quem-224333-1.aspx>>. Acesso em: 15.nov. 2016

IBRAHIM, M.; KRAWCZYK, R. e SCHIPPOREIT, G. **Two Approaches to BIM: A Comparative Study**. In: eCAADe Conference, 22, 2004, Copenhagen. 610-616. Disponível em: [http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?2004\\_610](http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works/Show?2004_610). Acessado em: 12.2016.

KERN, Andréa Parisi. **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, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

KNOLSEISEN, PATRÍCIA CECÍLIA. **Compatibilização de Orçamento com o Planejamento do Processo de Trabalho para Obras de Edificações;** Florianópolis, 2003.

KURTZ, C. E. **ÍNDICES PARAMÉTRICOS PARA SERVIÇOS DE PINTURA EXTERNA.** III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção UFSCar. São Carlos, 2003.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations.** New York: Mac Graw Hill, 2008.

LIMA, J.L. P. **Custos na Construção Civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2000.

LIMA, Flávia Schmidt de Andrade. **Custo Unitário Geométrico: Uma Proposta de Método de Estimativa de Custos na Fase Preliminar do Projeto de Edificações.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

LIMA, Marcilon F. de; NÓBREGA, Tacná C. S.; PEREIRA, Thays M.; RODRIGUES, Priscilla B. de F. **Orçamento na fase da viabilidade: comparativo dos parâmetros Custo Unitário Básico e Custo Unitário Geométrico.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais.** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

LIMMER, C. V. **Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras.** Rio de Janeiro: LTC. 1997.

LIMMER, Carl V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

LOSSO, I. R. **Utilização das Características Geométricas da Edificação na Elaboração de Estimativas Preliminares de Custos: Estudo de Caso em uma Empresa de Construção.** 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1995.

MASCARÓ, Juan. **O custo das decisões arquitetônicas no edifício hospitalar.** Brasília, Ministério da Saúde, 1995.

MASCARÓ, J. **O custo das decisões arquitetônicas.** 5a ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.

MATIPA, W. M. **Total cost management at the design stage using a building product model.** Tese (Doctored in Philosophy Engineering). Faculty of Engineering, Department of Civil ND Environmental Engineering of National University of Ireland, Cork. 2008.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas.** São Paulo: Ed. Pini, 2006

MATTOS, Aldo Dorea. **Engenharia de Custos: BIM 3D, 4D, 5D e 6D**. 2014. Blogs PINI. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/Engenharia-custos/bim-3d-4d-5d-e-6d-335300-1.aspx>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

MORAES, A. F. S.; PICCHI, F.; GRANJA, A. D. **Variáveis e índices geométricos de projeto arquitetônico relacionados ao custo de empreendimentos residenciais**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2016.

PIETER, D. D.; VAART, T. **Business conditions, shared resources and integrative practices in the supply chain**. Journal of Purchasing and Supply Management, v. 10, n. 3, 2004.

PRACTICAL BIM. **Lod**. 2013. Practical BIM. Disponível em <<http://docplayer.es/docs-images/27/9757617/images/4-0.png>>. Acesso em 20.nov.2016

REVISTA AU. **Interoperabilidade**. 2011. Revista AU. Disponível em: <<http://www.au.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/208/bim-quem-e-quem-224333-1.aspx>>. Acesso em: 15 out. 2016

SAMPAIO, A. Z., GOMES, A. M., GOMES, A. R., ROSÁRIO, D. P. **Building Maintenance Activity Supported in Virtual Interactive Models: Facades and Interior Walls**. In: XII DBMC - International Conference on Durability of Building Materials and Components, 2011, Porto, Portugal. **Anais...** Porto, 2011.

SANTOS, Eduardo Toledo; BARISON, Maria Bernardete. **Bim e universidades. Revista Construção e Mercado**. Disponível em: <http://revista.construcaomercado.com.br/negociosincorporacao-construcao/115/o-desafio-para-as-universidades-formacao-de-recursos-humanos-208417-1.asp>.

SAKAMORI, Marcelo Mino. **Modelagem 5D (BIM): processo de orçamentação com Estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil**. Curitiba, 2015. 178p. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil.

SCHEER, Sergio; AYRES FILHO, Cervantes Gonçalves. **Abordando a BIM em níveis de modelagem**. In: SBQP 2009-Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. São Carlos, 2009. **Anais...**São Carlos, novembro de 2009.

SECERBEGOVIC, Lejla. **Dynamo for Construction**. 2016. Beyond Design. Disponível em: <[http://beyonddesign.typepad.com/posts/2016/11/dynamo-for-construction.html?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+beyond-design+%28Autodesk+-+Beyond+Design%29](http://beyonddesign.typepad.com/posts/2016/11/dynamo-for-construction.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+beyond-design+%28Autodesk+-+Beyond+Design%29)>. Acesso em: 15 dez. 2016

SGAMBELLURI, Marcello. **Revit for Architects**. 2014. Autodesk University. Disponível em: < <http://au.autodesk.com/au-online/classes-on-demand/class-catalog/2014/revit-for-architects/ab6557>>. Acesso em: 17 dez. 2016

SILVEIRA, S. J.; GÓMEZ, L. A.; JUNGLES, A. E. **Metodologia para interoperabilidade entre softwares de planejamento e de visualização gráfica para o desenvolvimento do planejamento 4D**. In: ENEGEP, 26., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: 2006.

SINDUSCON-BA. **Custos Unitários Básicos**. Disponível em: <<http://www.sinduscon-ba.com.br/cub>>. Acesso em 18. Jan. 2017.

SUCCAR, B. **Effects of BIM on project lifecycle phases**. Disponível em: <<http://www.bimthinkspace.com/bim-maturity/>>. Acessado em: 21 novembro 2016.

STAUB-FRENCH, S.; KHANZODE, A. *3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned*. **ITcon**, v. 12, p. 381-407 2007. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.137.7622&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 28/11/2016.

STILLMAN, R. G.. **Project Management on Design-Build Project**. AACE International Transactions – 2002- ABI/INFORM Global.

TEIXEIRA, Juliano Domingos. **Compatibilização de projetos através da modelagem 3D com uso de software em plataforma BIM** – ed.rev – Florianópolis, 2016. 104p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Santa Catarina Centro tecnológico – CTC. Departamento de Engenharia Civil.

TUHUS-DUBROW, D.; KRARTI, M. Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. **Building and Environment**, v. 45, n. 7, p. 1574–1581, jul. 2010.

WITICOVSKI, L. C. **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)**. 200f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, 2011.

XAVIER, Ivan. **Orçamento, Planejamento e custos de obras**. São Paulo: FUPAM, 2008.

ZDANOWICZ, J. E. **Orçamento operacional: uma abordagem prática**. Porto Alegre: Sagra, 1984.