

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: **TECNOLOGIA,
AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**

ALGORITMO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL EM UM SISTEMA BIM

LUDMILA SANTOS DE ANDRADE

**BRASÍLIA- DF
MAIO 2017**

PPG-FAU UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DOUTORADO EM ARQUITETURA E URBANISMO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TECNOLOGIA, AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE

ALGORITMO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL EM UM SISTEMA BIM

LUDMILA SANTOS DE ANDRADE

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

BRASÍLIA- DF
MAIO 2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Ludmila Santos de Andrade

Tese defendida

Prof. Dr. Neander Furtado Silva

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Francisco Leite Aviani

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília

Prof(a). Dr. Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves Alves

Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Félix Alves da Silva Júnior

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UniPlan

Brasília – DF

MAIO 2017

Agradecimentos

Cheguei a um ponto.
O final da sintaxe.
Para ultrapassá-lo subirei.
Viver na altura.
Gana de sobrevivência.
Eu não fiz o caminho sozinha.
Fiz ao andar em companhia.
Apreciarei o horizonte.
Ampliar a perspectiva.
Em altura, caminhando em circunstância.
Há continuidade.
Há esperança.
Devemos acreditar.
Devemos seguir.

Agradeço a todos por ajudarem a percorrer esses caminhos, sabendo aonde ir ou com que vai encontrar. Andando na certeza da continuidade e do compartilhamento.

Muito Obrigada por essa experiência !!

Resumo

Os sistemas BIM (Building Information Modeling) foram concebidos em outros países, dificultando a sua implementação ao cenário nacional. A problemática de nosso estudo é no sentido de informações adequadas de materiais nas unidades utilizadas pela construção civil no país. Nossa hipótese é que tal lacuna pode ser suprida com a criação de um algoritmo dentro do sistema BIM para solucionar a problemática.

No método de investigação adotado, houve um recorte restringindo a investigação ao componente construtivo parede estrutural. A Caixa Econômica Federal desde 2002, a partir do documento “Alvenaria Estrutural – Materiais, Execução da Estrutura e Controle Tecnológico” (da Diretoria de Parcerias e Apoio ao Desenvolvimento Urbano) vem largamente ampliado o uso desse sistema construtivo construções das casas populares esse tipo construtivo, em especial por possibilitar, uma redução nos custos de produção das unidades habitacionais. (SABBATINI, 2003).

Destaca, a seguir, os principais procedimentos desta tese: a) a escolha de uma família de sistema de paredes; b) a criação de camadas de informação que serão acrescentadas; c) o cálculo da proporção dos quantitativos específicos dos materiais de acordo com a Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO); e, por último, d) a geração dos quantitativos nas unidades de compra do mercado nacional.

No sentido de demonstrar que a hipótese é promissora, utilizou o *Visual Programming Dynamo* para testar o algoritmo dentro do sistema BIM escolhido, *Autodesk Revit*. Os testes da funcionalidade do algoritmo foram executados por meio de dois modelos de edificações, modelados apenas para esse fim. Desta forma, se verificou a validade da hipótese de que é possível produzir automaticamente no sistema BIM os quantitativos nas unidades utilizadas pelo mercado nacional.

Palavras-chave: Sistemas BIM; Programação Visual, Dynamo; Construção; Paredes Estruturais; Algoritmo; Quantitativos de Materiais de Construção nas Unidades Nacionais.

Abstract

The BIM (Building Information Modeling) were designed in other countries, making its implementation at the national scenario. The problem of our study is to appropriate information of materials in the units used by the construction industry in the country. Our hypothesis is that this gap can be filled with the creation of an algorithm within the BIM systems to resolve the problem.

In the method of investigation adopted, there was a clip by restricting the investigation to the constructive component structural wall. Caixa Econômica Federal since 2002, from the document "Structural masonry materials, implementation of the structure and Technological Control" (the Board of partnerships and support for Urban Development) has been largely expanded the use of this constructive system of popular houses such constructive, in particular by enabling a reduction in production costs of housing units. (SABBATINI, 2003)

Then the main procedures of this thesis: (a) the choice of a family system of walls; b) the creation of layers of information that will be added; c) the calculation of the proportion of specific quantitative limits of materials according to the table of compositions of prices for Budgets (PO); and, finally, d) the generation of quantitative limits on units of purchase of the national market.

In order to demonstrate that the hypothesis is promising, we used the Visual Programming Dynamo to test the algorithm within the system chosen BIM, Autodesk Revit. The test the functionality of the algorithm was executed by means of two models of buildings modeled for this purpose only. In this way, you can check the validity of the hypothesis that it is possible to automatically produce the system BIM the quantitative data on units used by the domestic market.

Keywords: BIM systems; Visual Programming, Dynamo; Construction; structural walls; algorithm; limits of construction materials in the National Units.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	7
1.1.1. Problema de Pesquisa.....	10
1.1.2. A Extração de Quantitativos Utilizando os Sistemas BIM	11
1.1.3. A Inconsistência entre a Extração das Informações e o Mercado	22
1.1.4. Comparação entre o sistema atual e o Proposto.....	23
1.1.5. Equívocos sobre a Comunicação integrada ao Banco de Dados.....	26
1.1.6. A Modelagem Orientada a Objetos (Object-oriented)	30
1.2. QUESTIONÁRIO	33
1.2.1. Público-Alvo.....	39
1.2.2. Estrutura Lógica do Questionário	40
1.2.3. Os Benefícios da Pesquisa.....	41
1.2.4. A Estrutura e Sequência do Questionário	42
1.2.5. Considerações Estatísticas do Questionário	45
1.3. HIPÓTESE	48
1.4. A ESTRUTURA DA TESE.....	54
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	56
2.1.1. John Napier	56
2.1.2. Joseph-Marie Jacquard	59
2.1.3. Herman Hollerith.....	60
2.1.4. IBM.....	63
2.2. PRIMEIRA GERACAO DE COMPUTADORES A VÁLVULA E RELÉ	65
2.2.1. A Válvula de Rele: Z-1.....	65
2.3. ELETRONICAMENTE DIGITAIS	68
2.3.1. ENIAC.....	68
2.3.2. EDVAC	71
2.3.3. Arquitetura de Von Neumann.....	74

2.4.	NOVOS SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA COM FOCO NA ARQUITETURA.....	77
2.4.3.	Novas Ferramentas e Novos Processos	87
2.4.4.	Projeto Paramétrico	89
2.4.5.	Primeira Geração de Ferramentas Digitais.....	97
2.4.6.	Modelagem Paramétrica Baseada em Objetos.....	100
2.4.7.	O Sistema BIM da Família Autodesk	103
2.4.8.	Os Sistemas BIM e o Banco de Dados.....	111
2.4.9.	O Sistema BIM como Ferramenta de Gestão	115
2.4.10.	A Estruturação dos Dados	118
2.4.11.	Algoritmos e Premissas	119
2.4.12.	A Utilização do Revit Autodesk	123
2.5.	A Hierarquia de Informação No Sistema BIM Autodesk Revit	124
2.5.1.	Hierarquia de Categoria	127
2.5.2.	Hierarquia das Famílias.....	132
2.5.3.	Materiais.....	138
3.	MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO	144
3.1.	PROCEDIMENTOS E APLICAÇÃO	146
3.1.1.	Adicionando a Família de Parede TCPO	157
3.1.2.	Inclusão do Material TCPO.....	162
3.1.3.	Camadas de Composição das Paredes	166
3.1.4.	Os Dados de Proporção de Materiais.....	171
3.1.5.	Definir os Materiais da Parede TCPO.....	171
3.2.	Definir as Fórmulas Matemáticas.....	173
3.3.	Algoritmo Proposto	181
4.	IMPLEMENTANDO O ALGORITMO	185
4.1.1.	Interface de Programação Gráfica no Dynamo.....	190
4.1.2.	Os Nodos.....	192
4.1.3.	A estrutura dos Nodos.....	193
4.1.4.	Gerenciamento dos Dados no Algoritmo.....	195

4.1.5.Fluxograma do Algoritmo e seu processo de desenvolvimento.....	198
4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO NO DYNAMO	204
4.3. TESTE DO APLICATIVO RESULTANTE DA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO	230
5. CONCLUSÃO	265
6. DESDOBRAMENTOS FUTUROS.....	267
7. ANEXOS	268
7.1. QUESTIONÁRIO	268
7.2. PROTOTIPO DE APLICATIVO COM O PROGRAMMING LANGUAGE	277
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	297

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ALGUMAS DAS TOPOLOGIAS E EXPRESSÕES	13
FIGURA 2 - MATERIAIS GLOBAIS	16
FIGURA 3 - EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DOS QUANTITATIVOS DO SISTEMA BIM.....	22
FIGURA 4 - ESTÁGIOS PRINCIPAIS DE UM QUESTIONÁRIO	35
FIGURA 5 - MODELO DE PAREDE NO SISTEMA BIM	49
FIGURA 6 - CAMADAS DE INFORMAÇÃO DA PAREDE.....	49
FIGURA 7 - OSSOS DE NAPIER.....	56
FIGURA 8 - LOGARITMOS POR NAPIER	58
FIGURA 9 - O TEAR AUTOMATIZADO DE JACQUARD.....	59
FIGURA 10 - O TABULADOR ELETROMECHANICO DE HOLLERITH.....	60
FIGURA 11 - HOLLERITH'S U.S. PATENT. SHOWING.....	61
FIGURA 12 - CARTÃO PERFURADO DA IBM.....	63
FIGURA 13 - O COMPUTADOR Z-1 DE ZUSE.....	66
FIGURA 14 - O PROCESSAMENTO DE DADOS NO Z1	67
FIGURA 15 - VISTA GERAL DO ENIAC	69
FIGURA 16 - DIAGRAMA ENIAC	70
FIGURA 17 - O COMPUTADOR EDVAC	72
FIGURA 18 - SISTEMA DE PROCESSAMENTO DO EDVAC	73
FIGURA 19 - O COMPUTADOR UNIVAC	76
FIGURA 20 - O FUTURO DA ARQUITETURA SEGUNDO NORMAN FOSTER.....	78
FIGURA 21 - SISTEMA SKETCHPAD DE IVAN SUTHERLAND.....	80
FIGURA 22 - VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DE COLUNAS NA ARQUITETURA RENASCENTISTA	90
FIGURA 23 - POSSIBILIDADES DA PARAMETRIZAÇÃO.....	94
FIGURA 24 - CONSTRUÇÃO DE GEOMETRIA POR SÓLIDOS.....	99
FIGURA 25 - CAD GENÉRICO VS. BIM DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS.....	101
FIGURA 26 - OS DIFERENTES ASPECTOS ATRAVÉS DE CADA VISTA DO MODELO	106
FIGURA 27 - CAMADAS DE INFORMAÇÃO NO BIM REVIT AUTODESK.....	108
FIGURA 28 - NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO.....	110
FIGURA 29 - PRÉDIO SEDE DO SEBRAE-ES	117
FIGURA 30 - HIERARQUIA DOS SISTEMAS BIM	126
FIGURA 31 - OBJECT STYLES NA CAIXA DE DIÁLOGO.....	130
FIGURA 32 - SYSTEM FAMILIES.....	134
FIGURA 33 - LOADABLE FAMILIES.....	136
FIGURA 34 - IN-PLACE FAMILY	137
FIGURA 35 - INTERFACE DO VISUAL PROGRAMMING	149

FIGURA 36 - BASIC WALL.....	152
FIGURA 37 - PAREDE DE CURTAIN WALL	152
FIGURA 38 - STACKED WALL.....	153
FIGURA 39 - PAREDE TCPO TESTE 01.....	161
FIGURA 40 - MATERIAL BROWSER E ASSETS.....	164
FIGURA 41 - CRIAÇÃO DE PARTES DAS CAMADAS PELA TCPO	166
FIGURA 42 - CRIAÇÃO DE PARTES DAS CAMADAS DE COMPOSIÇÃO DA PAREDE TCPO	170
FIGURA 43- O DYNAMO INSERIDO NA INTERFACE DO REVIT.	188
FIGURA 44 - NODOS DO DYNAMO.....	193
FIGURA 45 - OS NODOS SÃO OS GRÁFICOS DOS COMANDOS	194
FIGURA 46 - ACESSO AOS DADOS DOS COMPONENTES A PARTIR DE LISTAS	196
FIGURA 47 - NODO GETITEMATINDEX	197
FIGURA 48 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO PROPOSTO.....	198
FIGURA 49- CONJUNTO DE PROCEDIMENTOS PARA IMPLEMENTAR O ALGORITMO.....	203
FIGURA 50 - MODELAGEM DO NOVO TIPO DE PAREDE TCPO	205
FIGURA 51 - PAREDE TCPO	206
FIGURA 52 - SELEÇÃO DO NODO PARA A CRIAÇÃO DAS PARTES NA PAREDE TCPO	208
FIGURA 53 - LISTAGEM DOS PARÂMETROS DAS PAREDES.....	209
FIGURA 54 - RESGATANDO O PARÂMETRO PARA O FLUXOGRAMA.....	210
FIGURA 55 - LISTAS DAS ÁREAS DAS PAREDES	212
FIGURA 56 - REDUÇÃO DAS LISTAS DE ÁREAS A UMA ÚNICA.	214
FIGURA 57 - REDUZIR AS LISTAS A UM ÚNICO RESULTADO.....	215
FIGURA 58 - NODO DE PROPORÇÃO TCPO.....	218
FIGURA 59 - QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES.....	220
FIGURA 60 - QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES.....	223
FIGURA 61 - QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES.....	226
FIGURA 62 - QUANTITATIVOS NAS UNIDADES DE COMPRA DO MERCADO NACIONAL.....	227
FIGURA 63- BOTÃO "RUN" NO DYNAMO	229
FIGURA 64 - MODELO DA CASA LORENZO	231
FIGURA 65 - ZONEAMENTO DA CASA LORENZO.	232
FIGURA 66 - PLANTA-BAIXA CASA LORENZO	234
FIGURA 67 - DETALHE DA PLANTA-BAIXA CASA LORENZO.....	235
FIGURA 68 - CORTE TRANSVERSAL DA CASA LORENZO.....	236
FIGURA 69 - FACHADA EXTERNA CASA LORENZO	237
FIGURA 70 - ACESSO DIRETO AO DYNAMO NO REVIT.....	238
FIGURA 71 - ACESSO AO ALGORITMO LUDMILA TCPO.	239
FIGURA 72 - FLUXOGRAMA DO DYNAMO SEM OS RESULTADOS FINAIS.	240

FIGURA 73 - TESTE DO PROTÓTIPO DO APLICATIVO.....	241
FIGURA 74- LISTAGEM DOS PARÂMETROS DA PAREDE TCPO.	242
FIGURA 75 – APRESENTAÇÃO DO FLUXOGRAMA PREENCHIDO COM AS INFORMAÇÕES DA CASA LORENZO...	243
FIGURA 76 - RESULTADO DO QUANTITATIVO DE SACOS DE CIMENTO PARA COMPRA.	244
FIGURA 77 - RESULTADOS DOS QUANTITATIVOS DE COMPRA.	245
FIGURA 78 - QUANTIDADE DE SACOS DE CAL HIDRATADA.....	246
FIGURA 79 - QUANTIDADE DE COMPRA AREIA E BLOCOS DE CONCRETO NAS UNIDADES NACIONAIS.	247
FIGURA 80 -MODELO DA CASA STELLA.	248
FIGURA 81 - MODELO DA CASA STELLA.	249
FIGURA 82 - PLANTA-BAIXA DA CASA STELLA.	250
FIGURA 83 - PLANTA-BAIXA DA CASA STELLA	251
FIGURA 84 - CORTE TRANSVERSAL DA CASA STELLA.....	252
FIGURA 85 - FACHADA EXTERNA DA CASA STELLA	253
FIGURA 86 - ACESSO DIRETO DYNAMO-REVIT.....	254
FIGURA 87- ACESSO AO DYNAMO	255
FIGURA 88 - TESTE DA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO NA CASA STELLA.....	256
FIGURA 89 - CONEXÃO DIRETA DYNAMO-REVIT	257
FIGURA 90 - NODOS PREENCHIDOS DEPOIS DA EXECUÇÃO DO APLICATIVO.	258
FIGURA 91 - LISTA DOS PARÂMETROS DA PAREDE TCPO NA CASA STELLA.	259
FIGURA 92 - QUANTIDADES DE MATERIAIS DE ACORDO COM A TCPO.....	260
FIGURA 93 – CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CIMENTO.....	261
FIGURA 94 – CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CAL HIDRATADA.....	262
FIGURA 95 – CÁLCULO DA QUANTIDADE DE AREIA E BLOCOS DE CONCRETOS.	263
FIGURA 96 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO.....	279
FIGURA 97 – ACESSO A API DO REVIT.....	280
FIGURA 98 - MODELO DA CASA LORENZO.....	281
FIGURA 99 -ADIÇÃO DE REFERENCIAS	283
FIGURA 100 - REFERENCIA API	284
FIGURA 101 - CRIAÇÃO DE PARTES	285
FIGURA 102 - LINHAS DE CÓDIGO PARA A LISTAGEM DE PARÂMETROS.....	287
FIGURA 103 - LISTA DOS PARÂMETROS.....	288
FIGURA 104 - FILTRO NA LISTA.....	289
FIGURA 105 - A PROPORÇÃO TCPO.....	290
FIGURA 106 - AS UNIDADES INTEIRAS DAS MEDIDAS DE COMPRA	292
FIGURA 107 -MODELO CASA LORENZO	294
FIGURA 108 - AVISO DE SELECIONAR AS PAREDES.....	295
FIGURA 109 - TESTE	296

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TABELA RESUMO QUESTIONÁRIO	8
TABELA 2 - MODELO DE EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES NOS SISTEMAS BIM PADRÃO	23
TABELA 3 - MODELO DE EXTRAÇÃO POR QUANTITATIVOS DE COMPRA.....	24
TABELA 4- SETORES DA CONSTRUÇÃO.....	36
TABELA 5 - EXEMPLO DE PERGUNTA BASE.....	37
TABELA 6 - PERGUNTA BASE DO QUESTIONÁRIO	43
TABELA 7 - GRÁFICO DO QUESTIONÁRIO	45
TABELA 8 - TABELA PROPORCIONAL DA OPINIÃO DOS RESPONDENTES	46
TABELA 9 - CATEGORIAS DE FAMÍLIA.....	131
TABELA 10 - DUPLICAÇÃO DE MATERIAL EM UMA PAREDE BÁSICA	140
TABELA 11 - ADICIONANDO UM NOVO MATERIAL EM UMA PAREDE BÁSICA.....	140
TABELA 12 - CONSTRUÇÃO DOS HOST OBJECTS	142
TABELA 13 – CRIAÇÃO DA FAMÍLIA DE SISTEMA PAREDE DE DOMÍNIO PÚBLICO	158
TABELA 14 - PROCEDIMENTO DE DUPLICAÇÃO DA FAMÍLIA DE PAREDES EM LINGUAGEM EM ALTO NÍVEL	160
TABELA 15- ADICIONADO O NOVO NO MATERIAL BROWSER	165
TABELA 16 - ALGORITMO PARA OBTER A ESTRUTURA DE MATERIAL COMPOSTO POR CAMADA.....	168
TABELA 17 – QUANTITATIVOS DE MATERIAIS PARA ALVENARIA DE ELEVAÇÃO EM BLOCO DE CONCRETO.....	172
TABELA 18 – TABELA DOS CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA A ALVENARIA TCPO.....	173
TABELA 19 - EXEMPLO DE CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS DE MATERIAIS	174
TABELA 20 - EXEMPLO DE CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS DE QUANTITATIVOS.....	175
TABELA 21 - CÁLCULO DOS INTERVALOS NUMÉRICOS PARA OS SACOS DE CIMENTO	176
TABELA 22 - FUNÇÃO MATEMÁTICA DE ARREDONDAMENTO	178
TABELA 23 - EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA FUNÇÃO DE ARREDONDAMENTO.....	178
TABELA 24 - RESUMO DOS CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA A CONVERSÃO DOS QUANTITATIVOS DE MATERIAIS EM UNIDADES DE COMPRA.....	180
TABELA 25 - EXEMPLO DOS CÁLCULOS DE MATERIAIS PARA COMPRA NO MERCADO NACIONAL.....	181
TABELA 26 - ALGORITMO DE CÁLCULO DE QUANTITATIVOS EM UNIDADES PARA A COMPRA NO MERCADO NACIONAL.....	182
TABELA 27 – ESQUEMA DA TRANSIÇÃO DO ALGORITMO EM LINGUAGEM HUMANA PARA O DYNAMO.....	201
TABELA 28 - QUANTIDADE DOS DOS MATERIAIS.....	217
TABELA 29 - EXEMPLO DOS CÁLCULOS DE COMPRA DE MATERIAIS.....	221
TABELA 30 – EXEMPLO DOS CÁLCULOS DE COMPRA DE MATERIAIS.....	224
TABELA 31 - RESUMO DOS CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA ARREDONDAMENTO DOS QUANTITATIVOS DE MATERIAIS.....	225

LISTA DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1 – HIERARQUIA SIMPLIFICADA DE INFORMAÇÃO DAS CATEGORIAS NOS SISTEMAS BIM	128
DIAGRAMA 2- HIERARQUIA DE FAMÍLIAS NOS SISTEMAS BIM	132
DIAGRAMA 3- FLUXO DE PROCEDIMENTO DO ALGORITMO	155
DIAGRAMA 4 - FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO DO ALGORITMO	200

1. INTRODUÇÃO

O tema desta tese surgiu como resultado dos anos de estudos em computação gráfica e de uma inquietação que começou a se formar quando desempenhava minhas funções de arquiteta na fiscalização de obras públicas.

No decorrer do trabalho, pode ser observado que a problemática da adaptabilidade dos sistemas BIM ao mercado nacional, que parecia ser apenas uma pergunta particular da autora, demonstrou-se ser também extensiva a muitos arquitetos e a outros participantes da construção. A abrangência da lacuna aqui identificada foi melhor compreendida após a aplicação de um questionário que permitiu demonstrar de forma mais clara a relevância da problemática desta tese.

Vale ressaltar que, atualmente, os novos sistemas que pretendem suprir as inúmeras lacunas da construção estão voltados para os sistemas BIM (*Building Information Modeling*). Esse novo instrumento para concepção arquitetônica e construção civil enfoca no modelo único tridimensional para o gerenciamento de todo o ciclo de vida do projeto, cobrindo concepção, construção e integração dos projetos complementares.

Visto que o modelo tridimensional é uma aproximação da realidade, modelado de acordo com os componentes construtivos (como paredes, piso etc.). Como característica de um banco de dados visuais com famílias de objetos da construção, na modelagem tridimensional específica deve abranger toda a gama de informações e atributos específicos de cada componente com as informações exatas para a construção.

A “inteligência” desses sistemas reside nas especificações dos atributos, requerimentos e características parametrizáveis dos componentes em suas camadas de informação, ou seja, nos dados referentes ao desenvolvimento das informações que foram incluídos pelo usuário durante o processo de projeção do modelo. Portanto, os componentes desempenham funções específicas nos sistemas, em paralelo com a realidade da construção, onde uma parede deve ter

função distinta da de uma laje. Em um modelo, isso significa que cada componente tem um papel específico a ser desempenhado no contexto da construção.

A modelagem demanda informação sobre cada componente individual e sobre sua inter-relação com os componentes próximos, além da relação com o sistema como um todo. Por exemplo: a parede não é apenas um prisma que define o espaço, mas deve conter informações de restringência entre níveis para definir a altura (pé direito), as uniões de outras paredes para definir todo o conjunto, além das informações sobre alvenaria, reboco e chapisco.

O modelo único precisa ser realizado com um repositório de informações para a construção. O BIM tenta capturar conceitualmente a intenção do modelo de construção tridimensional, provendo as potencializadas do projeto paramétrico que permitem a geração automática de novas soluções durante o desenvolvimento do projeto interativo e a direta documentação necessária para a construção.

Acomodar a somatória de dados dentro do modelo único significa, em última análise, torná-lo um kit completo de peças e informações para a simulação da realidade de um edifício. Além dos itens estéticos e técnicos, outro ponto importante da proposta dos sistemas BIM refere-se às implicações dos quantitativos de materiais que poderiam ser idealmente avaliados e acomodados, em qualquer momento, durante o processo de projeção de todos os componentes da construção.

O BIM promove uma nova abordagem para a construção. Os responsáveis pelas tomadas de decisões durante todo o ciclo de vida do projeto devem compreender que, além do domínio de seu campo específico de conhecimento, é necessário que agreguem conhecimentos que permeiam as várias áreas que integram o Sistema BIM.

As tomadas de decisões durante o processo de projeção devem ser retroalimentadas dinamicamente: a alteração no modelo único é automaticamente disseminada em tempo real para que se transforme numa nova diretriz que alcance todos os envolvidos na elaboração do projeto, lembrando que, no modelo

aproximado da realidade, as fases de concepção e construção são definidas pelo nível de detalhe que o modelo apresenta.

No sistema BIM, as fases são contínuas, e sua evolução se dá, primordialmente, pelo nível de informação contido no modelo. Embora as características dos materiais, estruturas e comportamentos térmicos possam ganhar destaque na fase de concepção para a simulação dos ambientes, na construção as informações de materiais e estruturas são primordiais para o departamento de logística.

Cada vez mais, os arquitetos procuram métodos mais eficientes e abrangentes para levantar, modelar e parametrizar todos os tipos de informação essencial para a construção, esses dados devem estar incrustados nos componentes dos sistemas BIM.

A partir desse quadro amplo que possibilitou compreender os sistemas BIM, identificou-se a lacuna e foi proposta uma hipótese de solução do problema identificado. O objetivo dessa pesquisa se resume dessa maneira: desenvolver um algoritmo que possibilite a extração dos quantitativos de materiais para a compra de acordo com o mercado nacional. Os objetivos específicos, a) desenvolver o algoritmo que pudesse ser utilizado durante o processo de projeto, b) implementá-lo no editor de gráfico em algoritmo Dynamo, c) testar a funcionalidade do algoritmo por meio de dois testes.

Teoricamente, os sistemas BIM avançaram o contexto da arquitetura da prancheta digital aos modeladores tridimensionais específicos. Porém, a realidade da construção está longe de ser solucionada por qualquer plataforma. Visto que o processo de projeção é pautado pelo processo cognitivo do arquiteto e por suas tomadas de decisões, é fácil compreender a impossibilidade de que uma plataforma consiga suprir as exigências particulares de cada projeto e, ainda, de cada arquiteto.

Para o desenvolvimento de algumas de suas possibilidades, essa pesquisa examina o Sistema BIM como promessa, ainda em desdobramento, de um processo de modelo de informação para a construção. Portanto, por se tratar de

um sistema com várias intenções ainda em aberto, essa tese identificou uma lacuna e buscou o desenvolvimento de um algoritmo para preenchê-la. A lacuna foi assim definida: a falta da extração da informação exata dos quantitativos de compra dos materiais de acordo com as características do mercado nacional.

A hipótese estabeleceu a construção de um algoritmo que suprisse essa necessidade da realidade brasileira dentro dos sistemas BIM. Uma vez elaborado o algoritmo, esta tese demonstrou a eficiência do mesmo para a tarefa proposta, e os resultados apresentados se mostraram promissores.

O processo gerativo do algoritmo para a customização da plataforma permitiu compreender as tarefas dos sistemas BIM e como as informações são processadas em etapas por meio da sistematização da informação. Os dados são armazenados para posterior transmissão, e é possível saber em quais ações esses dados podem ser incrustados para incluir os parâmetros necessários.

O trabalho algorítmico tornou-se mais complexo em termos de compreensão da listagem dos parâmetros dos componentes, pois, desde o início, buscou-se a eficiência do algoritmo. Como se sabe, a listagem de parâmetros dos componentes dos sistemas BIM inclui atributos de comprimento, família, categoria, área e volumes, entre outras informações.

Contudo, o algoritmo proposto baseou-se nas informações automatizadas padrão para a implantação da diagramação dos cálculos matemáticos, que é o ponto central na transformação dos dados gerados.

O algoritmo proposto não é uma linguagem em um sistema fechado de regras e signos pré-definidos; ao contrário, trata-se de uma linguagem intensamente operativa que pressupõe a execução de uma tarefa imperativa, baseada nos parâmetros do componente, com a inserção de diferentes referências matemáticas cujas transformações afetam diretamente a execução da tarefa proposta.

A customização da interface é uma prática ainda em desenvolvimento, utilizada por poucos escritórios de arquitetura. A interface de aplicação que customiza os sistemas BIM, permite ao usuário, até certo grau, definir, controlar e

adicionar novas regras comportamentais baseadas em sua API (*Application Platform Interface*), ou seja por gráficos visuais (*Visual Programming Dynamo*, na família Autodesk) ou por códigos em linguagem de programação.

A customização da interface segue as duas abordagens: escrever códigos através de manipulações gráficas ou programar por linguagem de programação. A intenção é que os arquitetos escolham entre programar através de manipulações gráficas (*Visual Programming Dynamo*, na família Autodesk) ou escrever códigos diretamente (para isso, é necessário o aprendizado de uma linguagem de programação orientada a objetos).

A programação orientada graficamente (*Visual Programmig Dynamo*) tem o potencial de reforçar os talentos adicionais dos arquitetos em customizar a sua própria interface; de outro modo, poderiam ir além de ter apenas uma relação passiva com suas ferramentas digitais.

A customização e a inserção das camadas de informação são um dos cernes dos sistemas BIM, visto que um de seus grandes avanços é a integração de camadas de informação ao modelo geométrico e a possibilidade de customização da interface.

Com relação ao tema da tese, os materiais atribuídos a cada componente são um dos pontos principais dessas camadas de informação, devido à especificidade da gama de possibilidades de especificações de materiais na arquitetura.

A necessidade de uma reflexão sobre os quantitativos de construção gerou a premissa da adaptabilidade do sistema BIM ao mercado nacional. Além disso, o pressuposto desta tese é que o conhecimento exato dos quantitativos de insumos para a construção permite ao arquiteto envolver-se cada vez mais no canteiro de obras e fortalecer o pensamento de que a finalidade do projeto é a construção.

Essa nova abordagem dos quantitativos dos insumos para compra no mercado nacional não deve ser compreendida apenas como uma ferramenta de auxílio para o departamento de logística. A ideia é ir mais à frente, é a aproximação

do sistema BIM ao mercado nacional, à realidade brasileira, além de buscar a integração entre arquitetura, construção e canteiro de obras.

A sistematização da tese é apresentada em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a problemática e tece considerações preliminares sobre a abordagem. A inconsistência entre a extração padrão das informações e o mercado nacional foi inicialmente caracterizada na primeira fase de estudo da literatura sobre o tema. Logo se percebeu que as inúmeras informações nas quais os arquitetos baseiam suas tomadas de decisões devem se caracterizar pela precisão, o que resultará em qualidade da informação.

Nessa etapa, também foi elaborado um questionário para compreender a abrangência dessa problemática coletiva. Várias pessoas entrevistadas afirmaram que as informações sobre quantitativos de compra são essenciais para tomar decisões desde a concepção do projeto até a execução.

A hipótese verificada sobre a validade do algoritmo e de sua articulação no sistema BIM demonstrou sua adequação para realizar a correlação direta entre a geometria do modelo e suas unidades para compra no mercado nacional.

O segundo capítulo apresenta uma revisão da literatura, discorrendo sobre os sistemas computacionais e de representação e sua história, inclusive sistemas de documentação digital e modelagem tridimensional genérica. Em seguida, apresenta, em sentido geral, uma discussão sobre os conceitos de sistemas paramétricos, descrevendo seu contexto nas práticas arquitetônicas atuais.

O terceiro capítulo contém a apresentação detalhada do método de investigação, segundo estas etapas: duplicação de uma família de parede básica para a criação de um novo tipo de família; identificação dos parâmetros do componente; execução de uma listagem da informação para identificar quais os dados que ainda precisam ser obtidos externamente; inclusão das fórmulas matemáticas que serão utilizadas no cálculo das quantidades dos materiais e a portabilidade das informações de acordo com as medidas de compra.

O quarto capítulo implementa o algoritmo no *Visual Programming Dynamo* . e testa o protótipo de aplicativo resultante da implementação do algoritmo em duas casas, Lorenzo e Stella.

No quinto capítulo apresentamos as conclusões e os possíveis desdobramentos futuros. Para além dos limites da tese, abre-se a possibilidade de estudar outras composições de materiais, partindo-se do pressuposto de que o algoritmo se adaptará aos muitos aspectos da construção que não foram considerados na pesquisa.

1.1. PROBLEMÁTICA

A problemática encontrada não apenas se caracterizou como uma pergunta particular da autora demonstrou-se ser extensiva a muitos arquitetos e a outros participantes da construção. A partir da implementação de um questionário tal situação foi mais bem compreendida.

O objetivo do questionário era identificar a importância atribuída pelos vários agentes de uma obra à quantificação dos materiais de construção nas unidades de medidas de compra utilizadas no mercado nacional. Estruturou-se um questionário em torno da seguinte questão: Você considera importante a quantificação exata de materiais de construção nas unidades de compra utilizadas no mercado nacional? Informe sua opinião, em uma escala onde 1 significa muito pouco e 5 significa extremamente importante, em relação às seguintes atividades da arquitetura:

- Orçamentação;
- Troca de informações entre os vários setores da construção;
- Controle de projeto e sua execução;
- Planejamento e cronograma;
- Controle de fluxo no canteiro de obras;
- Estimativa do tempo de construção;
- Setor de compatibilização de projetos;

- Auxílio direto para as tomadas de decisões.

O questionário foi aplicado a agentes da construção civil: mestre-de-obras, arquitetos, engenheiros e donos de construtora. O resultado mostrou a importância do conhecimento dos quantitativos dos materiais em medidas nacionais. A tabela abaixo apresenta o resumo dos resultados da aplicação do questionário:

Tabela 1 - Tabela Resumo Questionário
Fonte: Tabela elaborada pela autora (2016)



Considerando os resultados apresentados na tabela acima, observa-se que a problemática identificada nesta tese abrange várias atividades da construção. Além disso, estabeleceu a importância do conhecimento dos quantitativos de materiais nas unidades disponíveis no mercado nacional, com consequências significativas para os vários setores da edificação.

Por outro lado, vale ressaltar que o planejamento de obras utilizando os materiais especificados nas unidades encontradas no mercado nacional contribui

para facilitar a comunicação entre os agentes da construção. Assim, essa informação pode contribuir para uma construção mais rápida, mais eficiente e de menor custo.

Segundo o relatório de prática recomendado pela *Authority for Total Cost Management AACE* (Associação Americana de Orçamentação), a determinação dos quantitativos exatos de materiais de construção deveria ser prática comum na construção.

*“O custo total de gestão de recursos em uma obra é a aplicação efetiva de profissionais e técnicos especializados para planejar e controlar os materiais, custos, rentabilidade e risco. Resumindo, é uma abordagem sistemática para gerenciamento da implementação dos materiais de construção durante todo o ciclo de vida de qualquer projeto, produto ou serviço... **O sistema de classificação das fases de detalhe do projeto (conceitual, planejamento e execução) é estimado através da aplicação do conhecimento exato dos materiais de construção a serem aplicados para a realização da obra com apoio do processo de gestão por meio das novas tecnologias**” (2011,AACE, p.1) (Grifo nosso)*

Nessa citação, a menção ao sistema de classificação das fases de detalhe do projeto é destacada, fazendo referência aos quantitativos exatos dos materiais de construção. A AACE International, que fornece as diretrizes básicas para a aplicação dos princípios gerais de como utilizar os insumos nos projetos, recomenda que a construção atual seja pautada pela exatidão dos materiais de construção.

A AACE também indica que as informações referentes aos materiais de construção devem ser produzidas junto com o projeto. Os fluxos de uso dos materiais devem seguir um cronograma exato e minucioso relativo às informações que deverão ser utilizadas para o planejamento e a construção eficiente da obra.

Outro importante difusor de novas possibilidades para o consumo consciente dos materiais no canteiro de obra é o WRAP (*The Waste and Resources Action*

Programme), que se empenha em buscar a dotação dos recursos de modo sustentável.

O WRAP trabalha com governos, empresas e comunidades para oferecer soluções práticas para melhorar a eficiência no uso de vários materiais pelas indústrias, inclusive os materiais de construção. A missão da organização é fomentar novos ferramentais que facilitem o manuseio dos materiais de construção, acelerando as tomadas de decisões para um desenvolvimento sustentável e eficiente.

A aplicação eficiente dos materiais deve seguir algumas premissas:

- repensar como utilizar e consumir produtos;
- definir o grau em que o uso das novas tecnologias pode favorecer o manuseio consciente de materiais, e
- reinventar como projetar, produzir projetos. (WARP,2015. p 25)

A partir das premissas adotadas pela WARP, pode-se observar que o consumo consciente dos materiais requer, necessariamente, a exatidão das informações. O consumo deve ser feito de forma inteligente, com o apoio de novas tecnologias, para evitar o desperdício.

1.1.1. PROBLEMA DE PESQUISA DESTA TESE

As soluções da arquitetura devem ser caracterizadas, dentre outros atributos, pela precisão, o que contribuirá para a redução dos desperdícios e respectivos custos para a construção. Desde a concepção do projeto, cada vez mais, os modeladores computacionais possuem ferramentas paramétricas que permitem análises construtivas e de custos ,dentre outras simulações para uma exata previsibilidade da realidade.

A preparação de dados é o maior desafio dessas análises de simulação da realidade arquitetônicas. Embora, algumas análises requeiram informações numéricas de atributos geométricos dos parâmetros, no caso destas provem dos dados geométricos de área e volume do componente, e esse tipo de informação apresentadas pelo sistema ainda está longe de atender as necessidades do mercado nacional.

1.1.2. A EXTRAÇÃO DE QUANTITATIVOS UTILIZANDO OS SISTEMAS BIM

O trabalho seminal publicado em 1975 por Charles M. Eastman no extinto *AIA Journal* apresentou o conceito mais antigo do que hoje denominamos sistemas BIM (*Building Information Modeling*). Seu artigo “Conceptual Design of a Building Description System (BDS)” contém uma proposta de sistema de modelagem de projeto arquitetônico que permitiria resultados mais exatos do que os fornecidos por um modelo físico ou por sua representação bidimensional. O objetivo era gerar uma grande variedade de dados necessários para projetar e construir uma edificação; a proposta do modelo tridimensional deveria conter a descrição de todos os elementos e de seus comportamentos e relações, e poderia se aproximar da solução ideal para produzir o quantitativo de todo o material específico no projeto, com as informações suficientes para a sua aquisição.

No referido artigo, Eastman (1975) apresentou um protótipo de sistema de projeto que permitia modelar qualquer edifício a partir de quatro camadas de informação:

- *Pattern Level- Topology*¹ → Referente à Geometria;
- *Expression Level – Geometry* → Referente à Geometria;
- *Template Level – Values* → Lista de Propriedades;
- *Instance Level - Spatial* → Localização.

A descrição dos componentes dentro do BDS é caracterizada por esses quatro níveis de camadas de informação - *pattern level / expression level / template level / Instance level* - que serão detalhados nos próximos parágrafos.

Os componentes do modelo são descrições de suas informações básicas de geometria, propriedades e localização no BDS. A grande diferença entre o modelo BDS e os modeladores tridimensionais de sólidos genéricos é a camada de informação de propriedades: os elementos carregam consigo sua informação de geometria, os parâmetros e os materiais que os compõem.

A relevância para a computação gráfica desse sistema BDS foi suprir a real necessidade do canteiro de obra de informações necessárias para a construção. Procedimento que os modeladores tridimensionais genéricos por padrão não alcançam. Como resultado dessa indisponibilidade, surgiu a necessidade de criar uma nova ferramenta a partir de modelo único que pudesse carregar toda a informação necessária para a construção e, durante as fases de projeto, suprir os agentes com informações, de forma dinâmica.

Preconizou-se então que não podiam existir elementos sem suas camadas de informação. Essas camadas por padrão podem ser definidas como genéricas, mas a informação sempre poderá ser customizada ao longo do processo de projeção.

¹ *Topology* - Espaço topológico. Trata-se de uma área da matemática com as propriedades do espaço que são conservados sob deformações contínuas, como alongamento e flexão, mas não podem ser rasgados ou colados. Importantes propriedades topológicas incluem conexidade e compacidade. Fonte <http://mathworld.wolfram.com/Topology.html> acessado em 06/11/2016

Basicamente, o elemento no sistema BDS é constituído de três tipos de descrições:

- A forma (topologia e geometria)
- A lista de propriedades
- Sua localização.

Como se pode ser perceber na Figura 1, os componentes desse sistema caracterizam-se pela descrição das topologias dos elementos constituintes da edificação:

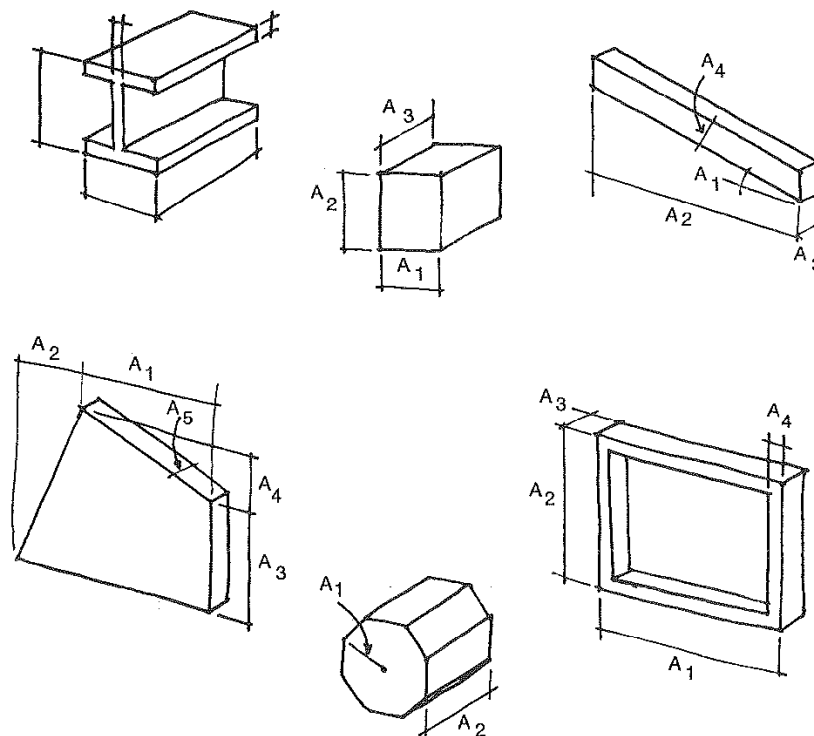


Figura 1 - Algumas das topologias e expressões
Fonte: (EASTMAN, 1975)

As formas acima utilizam apenas duas topologias, retângulo e cilindros, que podem ser entendidas como um poliedro². Pode-se observar que a representação da forma planar das faces possui bordas que contêm linhas retas. Além desses aspectos, os poliedros no BDS devem ser sólidos fechados, isto é, as faces delimitam um objeto.

*“...A forma de um elemento é definida em dois tipos de descrição: topológica e geométrica. Cabe entender que a topologia define a relação entre os vértices, bordas e faces. A topologia não se relaciona diretamente com as dimensões e deve ser entendida como uma forma especial de gráfico direcionado. A geometria é definida pelo conjunto de vértices coordenados. Eles dão dimensão e proporção para uma topologia. Juntos, fornecem uma forma completa para descrever a forma do elemento. (...) **Volume e outras propriedades de uma forma também podem ser rapidamente calculados...**” (EASTMAN, 1975, p. 48)*

A lista de propriedades descreve todos os atributos e informações não relacionados à forma dos componentes. Essa informação faz parte da forma dos atributos, das relações, associações e comportamento do componente. Portanto, não há como dissociar a forma dos atributos e das demais informações do componente construtivo.

Além das características apresentadas, o *Building Description System* (BDS) anunciava uma mudança que incluía a integração e automação do processo de concepção arquitetônica. Prometia que, a partir da definição da geometria e das propriedades do modelo, isto é, da modelagem da edificação, as informações referentes à análise quantitativa poderiam ser extraídas automaticamente.

A intenção do BDS era possibilitar uma descrição do modelo em um alto nível de detalhamento, permitindo a inserção de camadas de informações necessárias para construir a edificação. Além disto, envolvia a capacidade de simulação de análises integradas, reduzindo a incidência de erros nos projetos e trazendo também os benefícios da fabricação automatizada. A proposta de reunir todas as informações por meio da modelagem computacional em um modelo único que conteria todas as informações necessárias para a simulação ambiental e para a

² Poliedro - um sólido de três dimensões, com faces planas poligonais, bordas retas e cantos ou vértices retos. Fonte: <http://mathworld.wolfram.com/Polyhedron.html> (acessado 04/10/216)

simulação da construção é altamente relevante, pois preenche algumas necessidades referentes à informação do modelo e à extração automatizada de dados durante o ciclo de projeto.

Deve-se ressaltar que a finalidade de inserção de todas as informações no componente seria permitir a geração precisa de relatórios para realizar as análises de simulações entre todas as disciplinas. Os dados inseridos nos parâmetros dos componentes deveriam ser os dados de origem para diversas simulações e, posteriormente, para a extração das informações referentes ao modelo. No caso desta tese, incluiu-se ainda o princípio de que toda a preparação dos dados para as análises quantitativas e os relatórios para estimativas de quantidades de materiais para a sua aquisição deveriam ser automatizados (EASTMAN, 1975, p. 46).

Do ponto de vista prático, o relatório de quantitativos padronizado, exato e preciso é meramente intencional, pois a realidade de cada mercado precisa ser customizada. Além disso, cada tipologia arquitetônica reflete uma tomada de decisão com referência à extração de informação de uma maneira única. Contudo, nenhum sistema pode prever as várias possibilidades customizáveis da extração de informação do modelo.

Nos sistemas BIM, por serem um avanço com relação aos sistemas BDS, a extração da informação padrão mostra-se também deficitária. Cabe lembrar que a mais antiga conceituação de sistemas BIM afirmava que esses deveriam, dentre outras coisas, possibilitar os seguintes benefícios:

*“... Qualquer tipo de análise quantitativa pode ser acoplado diretamente à descrição do elemento... a estimativa de custos ou **quantidades de material poderia ser facilmente gerada**... Assim, BDS atuará como coordenador de projeto e analisador, fornecendo uma única base de dados integrada para análises quantitativas e visuais...” (Grifo nosso) (EASTMAN, 1975)*

Essa citação proveniente da referida proposta de Eastman ressalta as possíveis contribuições desse sistema para o projeto arquitetônico. Tal proposta vincula o modelo único ao seu banco de dados, e a inserção dos materiais nos componentes deveria permitir a geração automatizada da análise quantitativa de

materiais. Essas informações deveriam ser apresentadas em todo o processo de projeção, permitindo facilitar o processo de tomadas de decisões.

Por padrão a extração da informação dos quantitativos de materiais sempre será descrita com os quantitativos relacionando à sua geometria, isto é, a extração será baseada em m^2 , m^3 ou no volume da geometria. A intenção seminal de extrair os quantitativos de material de acordo com os quantitativos de materiais para a construção do elemento ainda estão longe de serem alcançadas.

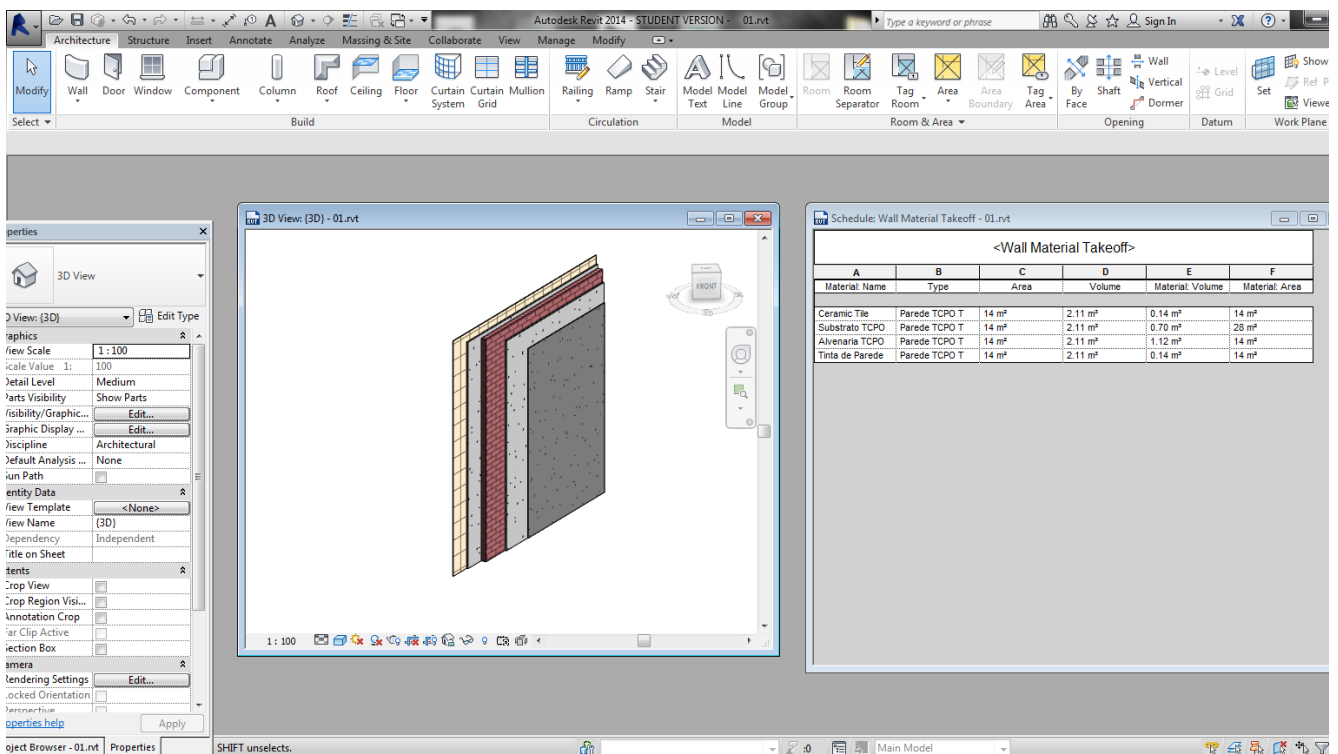


Figura 2 - Materiais Globais
Fonte – Imagem elaborada pela autora no Revit 2016.

Como se observa, os sistemas BIM padrão atuais ainda não cumpriram esta promessa plenamente: geram apenas quantidades globais dos elementos construtivos, tais como, por exemplo, 50 m^3 de viga ou pilar, ou 20 m^2 de paredes, ou 17.33 m^2 de reboco. Isso pode ser visto claramente na Figura 2.

Na figura 02, percebe-se que a extração da informação dos materiais se apresenta de modo de global, em área e volume da geometria, o qual não supre as necessidades dos clientes que buscam o mercado brasileiro de construção para comprar os materiais nas medidas disponíveis e comercializadas.

Outro obstáculo refere-se ao quantitativo estimado: a construção necessita da informação exata sobre o real consumo dos materiais que serão utilizados na edificação, e qualquer desvio na estimativa de qualquer variável pode resultar em um alto desperdício de recursos financeiros e materiais.

Tendo em vista as lacunas mencionadas, verificamos que os sistemas BIM ainda não alcançaram plenamente os objetivos apresentados na conceituação de Eastman. Os quantitativos gerados por esses sistemas deveriam proporcionar o detalhamento das composições dos materiais envolvidos na construção dos componentes do projeto (como, por exemplo, a quantidade de areia média, cimento, cal hidratada, bloco de concreto, etc.), na forma e unidade vendidos no mercado.

Conforme Eastman afirma em seu livro *BIM Handbook*, os sistemas BIM deverão associar-se a um conjunto de processos utilizados para a produção, comunicação e análise dos modelos de edificação. Eastman apresenta o conceito amplo dos sistemas BIM envolvendo vários aspectos. Dentre os mais relevantes para esta tese estão a integração automática das representações dos elementos de projeto, a vinculação de suas características gráficas e dados, e regras paramétricas. Além disso, seus elementos devem incluir informações descritivas sobre como eles se comportam (por exemplo, na análise de gastos energéticos). Por tais razões, os sistemas BIM devem conter:

“Componentes construtivos que são representados por modelos digitais inteligentes (objetos) que sabem o que são e como se comportam dentro do sistema gráfico a partir dos seus atributos gráfico, de dados e regras paramétricas.

Componentes que incluem dados que descrevem o modo como eles se comportam, conforme se faz necessário para a realização das análises ambientais e dos processos de trabalho; por exemplo, a extração dos quantitativos específicos e análise energética...” (EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 13).

Conforme essa citação, podemos afirmar que os objetos “inteligentes” são componentes digitais do projeto arquitetônico. Contêm atributos, relações e regras paramétricas programáveis. Além disso, esses componentes são essenciais nas análises, especificações e extração dos quantitativos.

Embora os sistemas BIM sejam estruturados a partir de um conjunto de famílias paramétricas pré-configuradas, podem ser considerados completos apenas para a maioria dos tipos de construção padrão. Assim, estão incompletos sob dois aspectos:

“As famílias foram construídas por suposições sobre o comportamento de projeto para que fossem pré-definidas as categorias de famílias padronizadas, e o uso-fim não seria resolver alguns casos especiais encontrados em um contexto do mundo real.

As categorias de famílias incluem os objetos mais comuns encontrados, porém omitem aqueles necessários em muitos tipos especiais de construção e tipos de edificação.” (EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 35)

Essa afirmação extraída do *BIM Handbook* de Eastman permite entender claramente que os sistemas BIM fornecem apenas as informações com padrões gerais, pois não resolvem os casos especiais de construção e de diferentes tipos de edificações, como os encontrados no mundo real.

Segundo Ramsey e Sleeper em *Architectural Graphic Standards* (2000), a base dos conjuntos de famílias nos sistemas BIM apresenta apenas as práticas padronizadas. O uso pré-definido de elementos reflete a convenção dos sistemas, enquanto a melhor prática conduz à customização, fazendo ajustes nos detalhes.

Outro exemplo que apresenta a especificação detalhada da geração de relatório por parte dos sistemas BIM pode ser extraído do artigo publicado na *Cadalyst* de 2007 por Jerry Laiserin, outro pioneiro na difusão dos sistemas BIM.

Os Sistemas BIM são um processo, as interfaces existem apenas para automatizar o processo da construção da obra. Assim, a primeira pergunta deveria

ser: queremos melhorar quais aspectos dos nossos processos existentes? Segundo Laiserin, alguns potenciais domínios para melhoria são:

“ 1. **Precisão.** *Completa comunicação correta entre os participantes da construção do projeto; por exemplo, requisitos do proprietário para o departamento de logística, projeto feedback (Visualização/simulação), a intenção de documentos de construção (Caderno de encargos) e Cadernos de Encargos para construtores/compradores;*

2. **Coerência.** *Uniformidade dentro de uma representação; por exemplo, dentro de um conjunto de desenhos ou especificações por meio de relatório;*

3. **Integração.** *A articulação entre as representações relacionadas; por exemplo, entre desenhos e especificações ou entre modelos e sequenciamento de programações para a construção;*

4. **Coordenação.** *Verificação de interferências entre disciplinas;*

5. **Sincronização.** *Atingir níveis comparáveis de detalhe e precisão ao longo do tempo; por exemplo, objetos gráficos e sua especificação (...)*. (LAISERIN, 2007, p. 46)

Laiserin apresenta algumas áreas que precisam ser mais bem desenvolvidas nos sistemas BIM, como: os requisitos de precisão completa; a comunicação entre todos os participantes para a construção do projeto; os cadernos de encargo, cujo detalhamento deve ser completo, com todos os quantitativos de materiais com informação suficientes para a sua aquisição.

A coerência entre a precisão da geometria e a geração de informação por meio de relatório é um item que delimita a necessidade dos sistemas BIM de desenvolver as potencialidades além dos formatos padrões originais, pois, como mencionado anteriormente, apresentam-se incompletos ou inadequados para a real necessidade do mercado.

Outro estudo da NAS (*National Academy of Sciences*), feito pelo *Committee on Advancing the Competitiveness and Productivity of the U.S. Construction Industry*, em 2009, identificou diversos pontos-chave no processo para melhorar os conhecimentos dos sistemas BIM, dentre os quais se ressaltam estes dois:

“1. Implantação generalizada e o uso da tecnologia e a utilização das plataformas de tecnologia Inter-operável, também conhecida como Building Information Modeling (BIM)

2. Melhor eficiência no local de trabalho através de uma interface eficaz de pessoas, processos eficazes, materiais e a informação.” (NAS, 2009, p. 01)

Todos os requisitos citados acima pelo estudo da NAS são caracterizados pela atual falta de inter-relação entre as informações, o que indica a exigência de uma grande mudança cultural dentro da indústria da construção: deve-se passar de uma cultura de fragmentação da informação para uma de comunicação correta, precisa e integrada, com o compartilhamento entre o processo de projeto e construção.

Além dessas dificuldades encontradas no uso dos sistemas BIM, as empresas que os utilizam terão de desenvolver métodos e normas para elaboração do modelo que suportem o nível de detalhe necessário para se fazer estimativas de insumos.

O estudo de Louise Sabol discute a implantação dos sistemas BIM para a redução da variabilidade das estimativas de custos, visto que a extração da informação é automática e gerada pela geometria. Outro ponto importante ressaltado pelo estudo revela que as plataformas BIM foram concebidas para evoluir dos seus formatos padrões para um customizado que atenda à necessidade de cada projeto.

Conforme a citação a seguir, essa tarefa dos escritórios deveria possibilitar a organização e o compartilhamento da informação de construção mais exata e precisa, ainda longe de serem alcançados:

*“...Empresas que empregam BIM terão que desenvolver métodos e normas para o desenvolvimento do objeto que suportem o nível de detalhamento exigido para estimativas úteis, bem como fornecer um quadro de prestação de informações consistentes para as famílias de objetos de construção do BIM para fornecer **informações precisas e automatizadas de quantificação desses componentes**” (SABOL, 2008, p. 02)*

Portanto, para que se desenvolvam os métodos e padrões com o objetivo de suportar o nível de detalhamento necessário para estimativas úteis, os arquitetos terão que estar capacitados para entender o sistema BIM como um banco de dados visuais de famílias de objetos de construção.

Por padrão o sistema BIM é configurado com uma ampla biblioteca de famílias de objetos de construção. Esses objetos por serem padrões compreendem as convenções dos projetos, ou seja as apenas as famílias mais usuais. Devido às suas características de sistemas paramétricos customizados, esses sistemas permitem ao arquiteto suprir até certo ponto a suas ansiedades. Por essa razão, o arquiteto deve possuir conhecimentos para definir sua própria biblioteca com base nos parâmetros necessários.

1.1.3. A INCONSISTÊNCIA ENTRE A EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES E O MERCADO

Ao analisar os sistemas BIM, a extração das informações do modelo é obtida a partir da geometria das camadas de informações. Por exemplo, ao modelar uma parede nos sistemas BIM, as camadas de informação que a compõem (tijolo, reboco, chapisco e revestimento) permitem que a extração da informação seja apresentada apenas com base na sua geometria, área e volume do material utilizado, como mostra a Figura 3, desconsiderando os insumos que a compõem (tijolos, cimento, areia, brita e cal) e as suas unidades de compra no mercado.

Type	Width	Material Name	Material Area	Material Volume	Count
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	48,85 m²	0,733 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	49,00 m²	0,735 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	61,12 m²	0,917 m³	2
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	64,03 m²	0,960 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	64,24 m²	0,964 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	64,28 m²	0,964 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	64,59 m²	0,969 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	68,50 m²	1,027 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	77,31 m²	1,160 m³	2
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	110,96 m²	1,664 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	112,18 m²	1,683 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	117,74 m²	1,766 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	130,44 m²	1,957 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	151,80 m²	2,277 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	285,09 m²	4,276 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	309,99 m²	4,672 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	317,95 m²	4,769 m³	1
Tijolo Furado	0,150	REBOCO	357,28 m²	5,359 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	2,16 m²	0,259 m³	2
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	4,33 m²	0,520 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	4,59 m²	0,551 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	4,85 m²	0,581 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	5,87 m²	0,705 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	6,01 m²	0,721 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	6,05 m²	0,725 m³	2
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	6,22 m²	0,747 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	6,70 m²	0,804 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	6,96 m²	0,835 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	7,36 m²	0,884 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	7,55 m²	0,906 m³	2
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	8,57 m²	1,029 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	9,18 m²	1,102 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	10,88 m²	1,306 m³	2
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	15,63 m²	1,876 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	16,35 m²	1,962 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	17,26 m²	2,071 m³	1
Tijolo Furado	0,150	TUOLO 8 FUIROS	17,30 m²	2,111 m³	1

Figura 3 - Extração automática dos quantitativos do sistema BIM
Fonte – Imagem elaborada pela autora no Revit 2016.

A leitura da Figura 3 exemplifica a realidade atual dos sistemas BIM, isto é, como é feita a extração dos dados das camadas de informações da parede. Permite entender que esses dados são apenas quantidades globais de materiais, apontando para a lacuna existente entre os quantitativos dos sistemas BIM e a comercialização de materiais no mercado nacional. Identifica-se, assim, um problema para o departamento de compras, que deve processar a informação global do componente, reinterpretá-la, computar e extrair os quantitativos para a compra dos referidos materiais. Essa dificuldade persiste até hoje, embora os sistemas BIM tivessem, desde a sua origem, o objetivo de fazer uma correlação direta entre a geometria do modelo e suas unidades para a compra no mercado.

1.1.4. COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA ATUAL E O PROPOSTO

Nosso argumento pode ser mais bem compreendido a partir de uma comparação entre a Tabela 2 (Modelo de extração das informações nos sistemas BIM atualmente) e a Tabela 3 (Modelo de extração por Quantitativos de compra), apresentadas abaixo. Toma-se como exemplo uma alvenaria estrutural em blocos de concreto portantes armados, dimensões 14 x 19 x 39 cm, assentados com argamassa; espessura das juntas 10 mm; com largura sem revestimento de 14 cm - Unidade m².

Tabela 2 - Modelo de extração das informações nos sistemas BIM padrão
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2015).

Modelo Atual:		
Quantidades Globais		
Paredes		
Tijolos Furados	m ²	66,8
Argamassa	m ²	267

A tabela acima mostra o nível de informação dos quantitativos produzidos pelos sistemas BIM. Essa informação global não auxilia efetivamente a compra dos materiais, porque os tijolos são comprados aos milhares e a argamassa depende da quantidade e tipo de areia e cimento a serem misturados para formá-la. Por isso, há a clara necessidade de extração de informações mais detalhadas, adequadas e prontas para uso.

Nesta tese, propõe-se que o sistema BIM supra esta lacuna, atendendo aos objetivos apresentados por Eastman (EASTMAN, 1975, p. 02) no seu artigo seminal. O autor pretendia, com o seu protótipo, que a edificação fosse modelada no nível de projeto executivo, da forma mais exata possível, a fim de disponibilizar toda a gama de informações necessárias para executar uma edificação.

Por essa razão, a unidade que os sistemas BIM deveriam fornecer seria a unidade de compra do mercado, conforme ilustrado na Tabela 3:

Tabela 3 - Modelo de extração por quantitativos de compra
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2015).

Modelo Proposto:			
Quantidade de Compras			
Paredes			
Execução dos componentes:	Quantidade	Unidade	Medida de Compra
Bloco de Concreto	267	Unidade	267 Unidades
Execução dos componentes:			
Argamassa de Assentamento	Quantidade	Unidade	Medida de Compra
Cimento	27,24 kg	Saco de 50 Kg	01 Saco
Cal Hidratada	37,24 kg	saco de 20 Kg	02 sacos
Areia Média ou Grossa	0,68 m ³	m ³	1 m ³

A Tabela 3 apresenta exemplos de especificação de materiais de construção com os quantitativos necessários para extração das informações dos sistemas BIM e com a especificação da quantidade de materiais a serem comprados no mercado.

Outro problema decorrente da lacuna de especificações de materiais refere-se às imprecisões devidas à disparidade entre os quantitativos fornecidos pelos sistemas BIM e as unidades dos diversos tipos de materiais que o cliente ou o administrador da obra precisam conhecer para comprá-los. Além disso, o departamento de logística de uma construtora, ao receber um projeto com os quantitativos globais, precisará de um profissional para especificar os materiais a serem comprados de acordo com a realidade do mercado.

A produção dessas informações resultará em alterações no planejamento dos quantitativos durante a concepção do projeto. Assim sendo, permitirá uma melhor tomada de decisão sobre quais fornecedores escolher e, além disso, a possibilidade de verificar a disponibilidade dos itens necessários no mercado.

Outro ponto de suma importância com referência à extração dos quantitativos dentro do sistema BIM pode ser identificado pelo entendimento das fases de detalhamento durante a projeção. Conforme define Brian Logan ao tratar do processo de projeção no livro RIBA³ *Handbook of Architectural Practice and Management*,

*“Assimilação: a acumulação e requisição da informação geral e da informação específica relacionam-se ao problema à disposição;
Estudo geral: a investigação da natureza do problema e a investigação dos meios possíveis de solução;
Desenvolvimento: o desenvolvimento e o refinamento de uma ou várias soluções;
Comunicação: a comunicação de uma ou várias soluções para a equipe interna ou externa dos projetos” (LOGAN, 1987, p. 23)*

³ RIBA = *The Royal Institute of British Architects*. O RIBA fornece os padrões, o treinamento, a sustentação e o reconhecimento para todos os arquitetos no Reino Unido e no ultramar. Colabora com o governo para melhorar a qualidade do projeto de edifícios públicos, de novas casas e de novas comunidades.

Fonte: <http://www.architecture.com/TheRIBA/AboutUs/AbouttheRIBA.aspx>

De acordo com Logan, o nível de detalhamento do projeto deverá estar associado com a fase em que o projeto se encontra. Durante a fase de projeção, todas as variáveis e condicionantes devem ser testadas para avaliar a sua real eficiência. Outro ponto fundamental é que a comunicação entre todos os participantes do projeto deve ser clara e precisa para se chegar à avaliação completa e definitiva da construção.

Portanto, as fases de detalhamento do projeto devem ser alcançadas pela equipe simultaneamente. E, conforme já dito, os sistemas BIM apresentam-se atualmente como a melhor ferramenta do mercado para suprir essa necessidade de comunicação entre os participantes do projeto.

Na teoria, o sistema BIM oferece um potencial de tecnologia transformadora devido à sua capacidade de permitir a troca de comunicação. Pelo compartilhamento das informações entre todos os participantes do projeto durante o gerenciamento do ciclo de vida - desde as primeiras tomadas de decisão na fase de concepção até o gerenciamento dos complementares durante a fase de construção.

No próximo capítulo, a discussão sobre o tema será mais abrangente, e ficará claro o quanto sofre a prática dos escritórios de arquitetura devido à falta de troca de informações entre os participantes. Infelizmente, essa realidade está longe de ser ultrapassada.

1.1.5. EQUÍVOCOS SOBRE A COMUNICAÇÃO INTEGRADA AO BANCO DE DADOS

Neste subcapítulo, faremos uma breve discussão sobre os equívocos da comunicação entre todos os participantes do projeto e os bancos de dados dos projetos integrados, numa tentativa de esclarecer e permitir o entendimento da problemática da área.

Um projeto integrado a seu banco de dados (que também é por vezes chamado de modelo de projeto para a construção de informação compartilhada) pode ser definido como uma estrutura híbrida, pois reúne as informações essenciais para a construção do projeto, essa armazenagem da informação independente do meio de armazenagem (pensamento, desenhos no papel e especificações, arquivos CAD, BIM etc.). Portanto, o meio usado para gerar tais informações e a forma como os intervenientes da construção buscam as informações não influem na estrutura do banco de dados do projeto. (SUERMANN, 1999, p.86)

Outra forma de perceber o gerenciamento de dados seria entendê-lo apenas como um método de divulgação das informações do projeto para que todos os participantes possam consultar a qualquer tempo todo o processo de concepção, construção, operação e manutenção (GANN, BLOOMFIELD, et al., 1996).

De acordo com esses autores, o conceito de um projeto integrado de dados pode ser difícil de definir precisamente. As definições acima concentram-se nos aspectos de representação dos dados e, assim, não são inteiramente precisas nem completas. Um maior conhecimento sobre o que constitui um projeto integrado de dados pode ser alcançado a partir de suas necessidades e das características do processo de projeção

Esses dados podem ser direcionados para um banco de dados único que detém todas as informações de um projeto, e essas podem ser acessadas por qualquer membro da equipe.

Entende-se que o banco de dados tanto tem o caráter de armazenagem da informação e o gerenciamento dos mesmos, como também de divulgador dessa informação. No sistema BIM o banco de dados está interligado ao projeto integrado, ou seja como repositório da informação e divulgador dos mesmo para toda a equipe das tomadas de decisões.

Portanto, da perspectiva da construção que se inicia no processo de modelagem, essa etapa inicial já deve conter todas as informações detalhadas para a construção. Desse modo, a informação atravessa todo o processo de projeção

arquitetônica e vai dinamizar os necessários processos da logística de construção, resultando na efetividade da mesma.

Nesta tese, a definição e descrição de banco de dados em projetos integrados segue a *Communications Issues in Concurrent Life-cycle design and Construction*, que sugere o mínimo de premissas para definir a estrutura do banco de dados integrados, e deveria apoiar a seguinte estrutura:

“O modelo de projeto, ou projeto integrado ao seu banco de dados, é uma definição central para a engenharia simultânea na construção e vital para facilitar uma eficaz comunicação entre os membros da equipe do projeto e entre as fases no ciclo de vida do projeto.

- *cada disciplina deve interagir de modo bidirecional com o modelo central;*
- *ferramentas interdisciplinares heterogêneas;*
- *gerenciamento de configuração;*
- *continuação da intenção lógica entre o projeto durante todas as fases do ciclo de vida ;*
- *padrões para representação de informação, intercâmbio e interoperabilidade;*
- *integração e multifacetado projeto de comunicações entre várias plataformas;*
- *melhoria da visualização do projeto e do processo de construção com base em multimídia, virtual, simulações, vídeo;*
- ***através da sua interface de customização, permitir, com facilidade, criar novas extensões a partir dos atributos para adequar necessidades individuais para o projeto e para requisitos da equipe. (ANUMBA, BARON e EVBUOMWAN, 1997, p. 212) (Grifo nosso).***

A partir dessa citação, fica claro que essas intenções, em sua maior parte, ainda se mantêm no campo das propostas e têm um longo caminho a percorrer até serem plenamente atingida. Os requisitos grifados são essenciais para o entendimento da tese: o projeto integrado ao seu banco de dados por meio da descrição dos atributos, requisitos essenciais para definir as características dos objetos devem ser também a fonte de informação para a construção compartilhada da informação ou do banco de dados integrado ao modelo. Então, os atributos que define as camadas de informação do modelo também devem ser customizados para criar novas extensões para suprir uma necessidade do usuário.

Com isso, o escopo da modelagem de dados torna-se o ponto de partida para a extensão das possibilidades do banco de dados. Entender o enorme potencial contido em cada projeto de construção, e como o banco de dados pode suprir necessidades urgentes, tornam-se questões cada vez mais relevantes no mercado arquitetônico. Por não ser uma tarefa fácil, a incorporação de novas possibilidades para o projeto integrado ao seu banco de dados ainda necessita muito desenvolvimento e entendimento por todos os participantes da equipe. (ARNOLD e TEICHOLZ, 1996, p. 44).

Sabe-se que o projeto integrado ao seu banco de dados é altamente desejável para a construção integrada para todos os participantes da tomada de decisão, porém essa premissa ainda não foi desenvolvida pelas empresas proprietárias das plataformas.

A discussão das definições do termo "projeto integrado ao seu banco de dados" ou "modelo de projeto integrado de dados" é igualmente refletida em abordagens que têm sido propostas para a valorização do modelo de projeto baseado no seu banco de dados. Algumas dessas abordagens são brevemente resumidas aqui

Modelo de banco de dados para projeto em formato neutro "*Neutral Format Project Database*" - Dados neutros requerem que plataformas transfiram a informação para um banco de dados central em um formato neutro padrão que poderá ser lido por outras plataformas. Potencialmente, essa abordagem pode facilitar a troca bidirecional de informação, mas, para que isso de fato ocorra requer-se que as plataformas tenham pré e pós processadores para produzir o formato de troca (EASTMAN e AUGENBROE, 1998, p. 112).

O ponto fraco dessa abordagem é a possibilidade de perda da exatidão dos dados. Atualmente, o padrão de arquivos neutros exigido nesta abordagem não está suficientemente desenvolvido para torná-la comercialmente viável.

Uma abordagem proprietária desenvolvida por terceiros – *proprietary approaches*. Existe uma série de desenvolvimentos de propriedade que incorporam alguns recursos customizados por parte dos usuários (FISCHER e FROESE, 2002, p. 25).

O banco de dados orientado a objetos, chamado OPIS (*Object-model-based Project Information System*), que prevê a integração de vários modelos, o modelo de produto, o modelo de processo, o modelo de recurso e o modelo de organização. Simula um ambiente virtual que poderá se aproximar da realidade do projeto com a compatibilização da construção a partir de uma conexão de um arquivo CAD/BIM usando um sistema de gerenciamento de banco de dados orientado, da Microsoft OLE/COM, com padrões de computação distribuída. Até o momento, existe apenas um sistema comercial baseado nessa abordagem, criado para Bentley por Robert Aish, denominado *Projectbank* (AISH, 2000, p. 03).

1.1.6. A MODELAGEM ORIENTADA A OBJETOS (OBJECT-ORIENTED)

A modelagem orientada a objetos está sendo utilizada em todas as áreas da informação da tecnologia e da construção. A modelagem orientada a objetos ***object-oriented modelling*** (UML, EXPRESS G) é uma abordagem para a modelagem de uma plataforma usada no início do ciclo de vida do software. Para uma linguagem de programação orientada a objeto – ***object-oriented programming languages*** - (C#, C++, Python, Java etc.) e para sistemas CAD com base no objeto – ***Object-based CAD systems*** - (Revit, ArchiCAD, MicroStation TriForma etc.).

Os objetos são intuitivos para especialistas e não especialistas em tecnologia da informação, pois não existe um procedimento formal subjacente que requeira conhecimentos especializados para utilizar as representações orientadas. Ou seja: a representação dos objetos não requer análise rigorosa para sua aplicação.

Os sistemas baseados em objetos podem ser facilmente manipulados a partir do interesse do usuário, mas, por outro lado, isso também significa que os sistemas baseados em objeto são mais suscetíveis de conter inconsistências e redundâncias.

A maioria das formulações em tecnologia da informação não provém do senso comum da ciência da computação. Em programação não é orientada a objeto, no sentido da hierarquia de informação por camadas. A dissonância ente a orientação a objeto e baseada ao objeto de fato se traduz melhor ao em objeto (nível unitário) (exemplo: parede, coluna, janela etc.) do que em simulações de uma realidade. Vale lembrar que, devido a esse equívoco, as poderosas noções de reutilização, funcionalidade e herança são mal suportadas por objetos unitários

Em modelagem orientada a objeto é reconhecido que os objetos são apenas parte de um conjunto de elementos que formam a simulação do seu ambiente. Na modelagem da realidade do ambiente , vale compreender que os objeto não estão isolados, eles fazem parte de um complexo sistema de inter-relação. Os principais problemas incluem o seguinte:

*“(....) a modelagem orientada a objeto - **object-oriented modelling** - e programação não é bem adequada para sistemas muito complexos. Isso deve ser motivo preocupante para os modeladores da indústria da construção, assim como para os modelos de construção, porque, indiscutivelmente, a demanda desse setor preza os mais complexos, exatos e integrados modelos que já foram desenvolvidos”. (AMOR e FARAJ, 2006, p. 60)*

Conforme essa citação, o entendimento sobre um dos problemas é que os sistemas baseados em objeto - *object-based systems* - são mais bem formulados em um ambiente micro controlado, pois contêm poucas construções de inter-relações entre os vários objetos existentes na simulação do ambiente que permitam um gerenciamento macro das especificações dos objetos.

Ressalte-se que os sistemas orientados a objetos - *object-oriented systems* - não são facilmente validados, como pode ser entendido a partir desta citação:

“Não é simples demonstrar que o modelo de objeto orientado é consistente e não redundante. Isso acontece devido ao formalismo subordinado; difere dos sistemas relacionais, onde, a cada etapa da semântica, é possível garantir que não existe informação duplicada ou inconsistente no modelo, e que as atualizações de modificações não causarão perdas ou equívocos no modelo atualizado”. (AMOR e FARAJ, 2006, p. 60)

Entende-se que testar, validar ou provar os sistemas orientados aos objetos é uma tarefa extremamente trabalhosa. Isso decorre da influencia de cada ação no objeto e a influencia dessa ação aos demais. ao método usado para descrever as funcionalidades de cada objeto. Por exemplo, métodos customizáveis podem ser invocados por qualquer usuário em apenas certas camadas de informação. Portanto, é muito difícil demonstrar que um objeto com muitas camadas de informação irá funcionar corretamente em todas as etapas previstas.

Como demonstrado a partir das concepções equivocadas descritas acima, é claro que o ideário do projeto integrado ao banco de dados que auxilie todos os membros do projeto durante todo o ciclo de vida da construção ainda está muito longe de ser atingido.

1.2. QUESTIONÁRIO

A partir das respostas ao questionário, percebeu que os diversos profissionais envolvidos na construção identificam também o problema de não se possuir dados exatos dos quantitativos em suas medidas para a aquisição. Essa falta de informação detalhada faz com que, em todas as fases, as obras se deparem com inconsistência que poderiam ser evitados ou contornados a partir do conhecimento dos quantitativos exatos dos insumos.

Segundo os estudos de Finke e Koseccoff (1985, p.3) definem questionário como “levantamento de dados, método para coletar informação de pessoas acerca de opiniões, ideias e planos, entre outros.

Outro importante conceito de questionário é definido por Gunther:

“O questionário deve primeiramente buscar a opinião dos participantes. Para tanto, o aspecto confidencial da entrevista deve ser frisado desde o início para que o entrevistado não se sinta testado. Portanto, em se tratando de pesquisa, não convém identificar o respondente e nem o seu local de trabalho. Geralmente, há que assegurar que a pesquisa não vise identificar indivíduos, e que itens como educação e idade servem apenas para caracterizar a amostra”. (GUNTHER, 2003, p. 02)

Nessa citação acima define a importância de considerar a opinião dos entrevistados. Uma vez que a pesquisa de opinião deve levantar as respostas claras e concisas da opinião, portanto a pesquisa não deve conter nenhum traço de subjetividade ou incomodo ao respondente.

Na presente tese a aplicação do questionário serviu apenas ao propósito de averiguar se os diversos envolvidos no dia a dia da construção também detectaram a lacuna. (A íntegra do questionário encontra-se no Anexo.)

O questionário em questão busca obter opiniões a respeito da necessidade de informações sobre os quantitativos de materiais no cotidiano das construções, perguntando, especificamente, se a informação dos quantitativos de materiais é uma informação necessária que auxiliaria os campos de atuação da construção nacional

Para formalizar a estrutura do questionário e elaborar as questões sobre a opinião dos participantes, utilizamos as referências de Hartmunt Gunther no livro *Como elaborar um questionário*, da Universidade de Brasília, e de A.N. Oppenheim no livro *Questionnaire Design, Interviewing and Attitude*.

Como o questionário da tese foi definido de maneira que as perguntas do questionário deveria coletar a opinião dos entrevistados. No contexto das ciências sociais empíricas, deve-se, entre outros quesitos, direcionar as perguntas aos integrantes da amostra que têm interesse ou conhecimento a respeito do que fazem (fizeram) e pensam (pensaram) sobre o tema do questionário. Essa aproximação dos respondentes ao questionário busca visa obter uma opinião, mas concisa sobre o tema tratado . (Kitsh,1987, p.16.)

A qualidade e a utilização dos dados de opinião foram o foco do questionário. Para este levantamento, a elaboração das perguntas foi o principal instrumento para se obter a opinião dos entrevistados apenas em itens de interesse para a tese. Portanto, o questionário em questão só será utilizado nesta tese.

Vale ressaltar que este questionário é definido como um questionário de opinião:

*“ um conjunto de perguntas sobre um determinado tópico que não testa a habilidade do respondente, mas mede sua opinião, seus interesses, aspectos de personalidade e informação biográfica”.
(Yaremko, Harari,Harrison e Lynn, 1986, p.186.)*

O interesse dos entrevistados em solucionar os problemas decorrentes da falta de informações exatas sobre os quantitativos de insumos no seu trabalho cotidiano poderia conduzir à alteração de rotinas ou de tomadas de decisão durante as etapas do projeto.

O questionário deve funcionar como um diálogo em que cada pergunta revela a opinião do tema sobre o respondente, que deve prover dados para o pesquisador validar suas hipóteses e preocupações com o tema.

Ao utilizar como ponto de partida para a definição do questionário, se utilizou o diagrama de Schuman e Kalton (1985, p.03.) sumarizadas na Figura 5. Verifica-se que os objetivo da pesquisa de um questionário deve centrar-se na relação conceito/pergunta e na relação população-alvo/amostra.

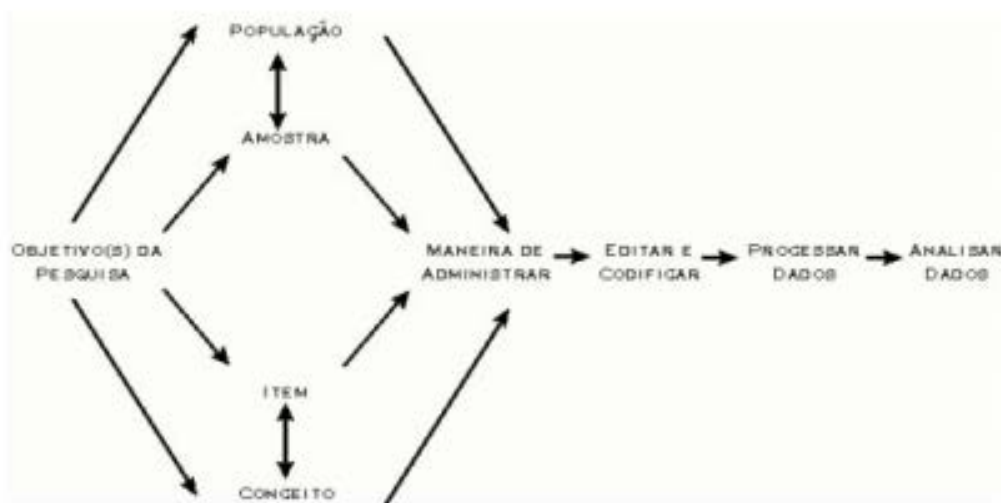


Figura 4 - Estágios principais de um questionário
Fonte - Schuman e Kalton, 1985. P. 641.

Como se vê na figura, o ponto inicial do questionário deve levar em consideração o objetivo da pesquisa, nessa tese em questão a opinião dos respondentes sobre os quantitativos de materiais. A relação conceito-item segue o entendimento de que se deve trabalhar com um campo amostral que tenha interesse pelas questões levantadas no questionário. Portanto, para a escolha dos entrevistados foi definido que o campo amostral deveria compreender pessoas atuantes na construção.

Os dois binômios item e amostra populacional devem definir as respostas a serem implementadas no questionário. Tanto o item quanto a população delimitam

o questionário para uma opiniões mais livre de condicionantes. No desenvolvimento da estrutura do questionário, os conceitos que serão abordados pelas perguntas precisam ser trabalhados paralelamente aos entrevistados. Ao determinar os itens em função dos conceitos à população, há que se levar em conta a relação população-alvo/amostra, da mesma forma que a determinação da amostra a partir de uma população-alvo exige a consideração do binômio conceito/item.

Partindo dos objetivos, formula-se as perguntas a serem respondidas por meio do questionário. As perguntas são transformadas em variáveis e indicadores, apresentadas ao respondente sob a forma de itens. Desse modo, as opiniões podem ser ordenadas de forma clara e concisa, em um aspecto que estabelecem a relação entre o objetivo da pesquisa e os conceitos pesquisados, enquanto as respostas representam o grau de conceituação que tem o respondente acerca do assunto sob investigação.

Além da identidade item/opinião, o questionário levou em consideração a setorização e a opinião dos respondentes sobre a influência da falta de informações detalhadas e sobre os quantitativos de insumo em vários setores da construção e em itens como:

Tabela 4- Setores da Construção
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016).

Setores
Orçamentação
Troca de informações entre os vários setores da construção
Planejamento e cronograma
Controle de fluxo no canteiro de obras

Estimativa do tempo de construção
Equívocos na entrega de materiais
Auxílio direto para as tomadas de decisões

Como se pode depreender da tabela, foram entrevistadas pessoas de vários setores da construção. Os itens deveriam abranger toda a gama de ações que poderiam ser abordadas de novas formas a partir da implementação do algoritmo.

Os itens do questionário caracterizam-se por perguntas diretas e resposta de opinião. Desse modo, os respondentes não se viram em posição de teste aparente, já que as respostas não sofreriam uma avaliação para testar conhecimentos.

A Tabela 5 contém o exemplo de uma pergunta do questionário.

Tabela 5 - Exemplo de Pergunta Base
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Setores	
Orçamentação	
04- Na sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos pode dificultar o planejamento do orçamento?	
()	01 - Muito pouco
()	02 - Pouco
()	03 - Razoavelmente
()	04- Bom
()	05 - Extremamente
()	00 - Não sei

Como se observa na pergunta base, as respostas por meio de escala de valores sobre uma resposta já definida ou seja: dificuldade no planejamento do orçamento, são identificadas por numerais que serão usados para o registro dos dados e as análises estatísticas.

Sumarizando, o objetivo do questionário determinou a forma do instrumento, o modo de sua aplicação por meio de conceito e itens, a população-alvo idealizada e a amostra.

Levamos em conta a seguinte interdependência entre a elaboração de um questionário e a estratégia de sua aplicação:

- O grau de complexidade dos conceitos determina o número de itens e sua forma de apresentação;
- Existe uma relação direta entre as características da população-alvo e a complexidade dos conceitos a serem investigados. A melhor abordagem na transformação dos conceitos em itens para codificar os dados para uma análise mais fidedigna;
- O tamanho da amostra influencia a forma de administrar o instrumento, em termos de entrevista *versus* questionário e em termos de tamanho. (Fink e Kosecoff 1985,p.12.).

No caso deste questionário se levou em consideração a definição de estabelecer os itens correspondes entre a população e o tema abordado. Essa abordagem é necessária para distinguir as opiniões relevantes, antes de se iniciar a proposição dos objetivos (*evento* quer dizer ideias, opiniões, planos que é se configura como a apresentação de alternativas nos itens do questionário).

*“A correspondência entre eventos, comumente, deve seguir a forma numeral, de tal maneira isomórfica que a variação entre os símbolos corresponda, de modo linear, à variação entre os eventos”
Fink e Kosecoff (1985, p.164).*

Como define Gunther (2003, p.4), o questionário deve ser direcionado pelos itens das perguntas. O objetivo da pesquisa determina a forma do instrumento via conceito e itens. De acordo com a definição do objetivo, a escolha do escopo das perguntas deve diferenciar conceitualmente os itens, com uma única finalidade: servir de base de dados para serem utilizadas em tabelas para demonstrar as opiniões coletadas.

Em um segundo momento, o objetivo do estudo determina as perguntas concretas a serem apresentadas (os itens), além de existir uma relação recíproca entre conceitos e itens.

1.2.1. PÚBLICO-ALVO

O público-alvo foi definido claramente, levando em consideração as características das pessoas que poderiam entender diretamente o acréscimo deste algoritmo nos sistemas BIM. O grupo que respondeu ao questionário foi formado por pessoas que são mestres de obras, arquitetos, engenheiros e donos de construtoras que trabalham diretamente na construção. A aplicação do questionário se deu no local de trabalho do grupo. A relevância do assunto para o respondente foi o quesito delimitador.

O tamanho da amostra da população foi definido em 21 participantes para que todos os subgrupos relevantes para o estudo estivessem adequadamente representados na amostra. Importante observar que os itens foram endereçados a pessoas na expectativa de que as questões lhes dissessem respeito, de que

tivessem conhecimento sobre o tema e clareza sobre a lacuna e sobre a hipótese da tese.

Conforme afirma Gunther (2003, p.6), o questionário apenas visa a coleta de opiniões. Por isto, as declarações foram tratadas de forma confidencial. Os resultados serão apresentados de maneira a não permitir a identificação ou individualização dos respondentes.

1.2.2. ESTRUTURA LÓGICA DO QUESTIONÁRIO

Explorando as razões que levam uma pessoa a responder a um questionário, Bingham e Moore (1984, p.33) afirmam que a estrutura do questionário deve seguir a ideia de uma conversa com um foco utilitário, ou seja, o tempo dispendido para responder tais questões deverão ser utilizadas para uma coleta de dados.

Para que essa conversa se inicie ela deve começar da mesma forma que uma interação social. Iniciando em uma saudação, na interação em si o questionário e para finalizar em uma despedida. No cumprimento (a introdução), reconhece-se o outro e estabelece-se o nível de confiança apropriado e necessário. Segue-se o a união social com o questionário na interação pergunta-resposta. Na despedida, agradece-se a participação e reafirma-se a finalidade do questionário: detectar a lacuna percebida por vários intervenientes .

Ao estabelecer a confiança, é importante capturar o interesse do respondente pelo tema abordado pelo questionário, fazendo-o perceber por que o tema é importante, especialmente para o seu dia a dia. Nada mais vantajoso para uma pesquisa de opinião do que expressar gratidão sobre as opiniões dos respondentes. Frisar como as respostas são importantes para a finalidade da pesquisa sem elas, não haveria como levantar os dados para computar os números para as análises estatísticas.

Dillman (1988,p.48.) aponta que os itens devem facilitar a busca da opinião do respondente e, por isso, deve-se reduzir o tempo e o esforço do entrevistado para responder às perguntas. Algumas medidas adequadas seriam:

1. Fazer com que a tarefa de responder o questionário pareça breve,
2. Reduzir o esforço mental requerido para responder às perguntas;
3. Eliminar a possibilidade de embaraços;
4. Eliminar qualquer implicação de subordinação.

Com isso, é possível manter elevados os níveis de interesse e de atenção do respondente.

1.2.3. OS BENEFÍCIOS DA PESQUISA

Demonstrar a importância da opinião é o modo mais eficaz de fazer com que o entrevistado responda ao questionário da forma mais próxima à sua opinião. Questionar as pessoas significa mais do que apenas obter uma resposta direta, as respostas são apenas um indício de que o problema detectado por eles também faz parte de uma situação mais ampla.

Para esta tese como já mencionado anteriormente o objetivo central da pesquisa é determinar se a lacuna encontrada pela autora também é encontrada por vários outros participantes da construção civil. Determinar as perguntas que os respondentes foram questionados servem como base para definir a delimitação do problema. Para isso, o entrevistado deve ser direcionado a respondê-las de acordo com seu entendimento, com a mais convicta opinião. Em hipótese alguma o pesquisador deve levar os respondentes a pensar que existe alguma melhor resposta para o questionário. Para ganhar a cooperação do respondente e motivá-lo a responder, a estrutura do questionário deverá seguir algumas premissas:

- Diminuir o esforço de raciocínio para responder as perguntas;
- Assegurar que os temas contidos no questionário também sejam do interesse do respondente e que esse seja tratado em um tom e de uma forma que sugiram uma “conversa com objetivo”;
- Manter o foco de interesse do respondente em todas as perguntas.

Para obter respostas mais fidedignas a opinião dos respondentes, o pesquisador deve bem elaborar a razão de cada pergunta incluída na pesquisa. Além disso, deve informar ao respondente que as respostas servirão para uma tese, ou seja, a opinião dos respondentes fará parte de um estudo acadêmico.

O princípio da estruturação do questionário deve concentra-se na intenção de com a opinião dos respondentes serão levantadas. Para isso, o questionário de buscar a resposta mais específica e sem subjetivismo dos respondentes, lembrando que a intenção principal do questionário será a busca da opinião e a resposta pessoal de cada respondente.

1.2.4. A ESTRUTURA E SEQUÊNCIA DO QUESTIONÁRIO

Para o respondente, a tarefa deve ser breve e fácil ou, pelo menos, não deve ser sentida como aborrecedora ou aversiva. Uma estrutura bem pensada contribui significativamente para reduzir o esforço físico e mental do respondente, além de assegurar que todos os temas de interesse do pesquisador sejam tratados numa ordem que sugira uma “conversa com objetivo”, mantendo-se o interesse do respondente em continuar.

Para o desenvolvimento dos itens, o questionário utilizou-se de perguntas fechadas. Essa é uma abordagem muito utilizada nos casos em que os respondentes conhecem a temática do questionário.

“ (...) o uso de perguntas fechadas mostra frequentemente mais respeito à opinião das pessoas, deixando-as classificar suas respostas como positivas, negativas ou neutras, em vez de o pesquisador fazer isso para elas”. Sommer e Sommer (1997, p.130).

Tabela 6 - Pergunta Base do Questionário
Fonte – Andrade (2016)

05- Em sua opinião, a falta de informação sobre as medidas de compra do mercado pode dificultar o planejamento do orçamento?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoavelmente
<input type="checkbox"/>	04- Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei

A tabela 6 é um exemplo de uma pergunta fechada utilizado no questionário. Como se observa, os respondentes precisam apenas escolher um entre os seis itens que melhor represente sua opinião, assim, não precisam escrever nem deduzir nada para conseguir responder à pergunta.

Para organizar as alternativas de respostas, usamos as diretrizes de Sommer (1991, p.133), que indica a Escala de Likert⁴ como a mensuração mais utilizada nas ciências sociais, especialmente em levantamento de opiniões e avaliações. As pesquisas de cunho de opinião baseia-se nessa escala, pois facilita a resposta e

⁴ A escala Likert, ou escala de Likert, é um tipo de escala de resposta psicométrica usada habitualmente em questionários, e é a mais usada em pesquisas de opinião. Ao responderem a um questionário baseado nesta escala, os perguntados especificam seu nível de concordância com uma afirmação. Seu uso foi explicado por Rensis Likert em um relatório, daí o nome atribuído. Fonte: http://www.ict.edu.mx/acervo_bibliotecologia_escalas_Escala%20de%20Likert.pdf (Acessado 10/08/2016)

também as considerações estatísticas, além de tornar mais rápida a aplicação do questionário.

A escala de Likert utilizada nesta tese é de nível ordinal e se caracteriza por permitir que o entrevistado expresse sua opinião em termos de diferentes níveis de acordo/desacordo. Pede-se ao respondente que selecione um item numa escala de, em geral, cinco alternativas, como estas:

1. Extremamente de acordo
2. Bem de acordo
3. Nem de acordo e nem em desacordo
4. Pouco em desacordo
5. Extremamente em desacordo

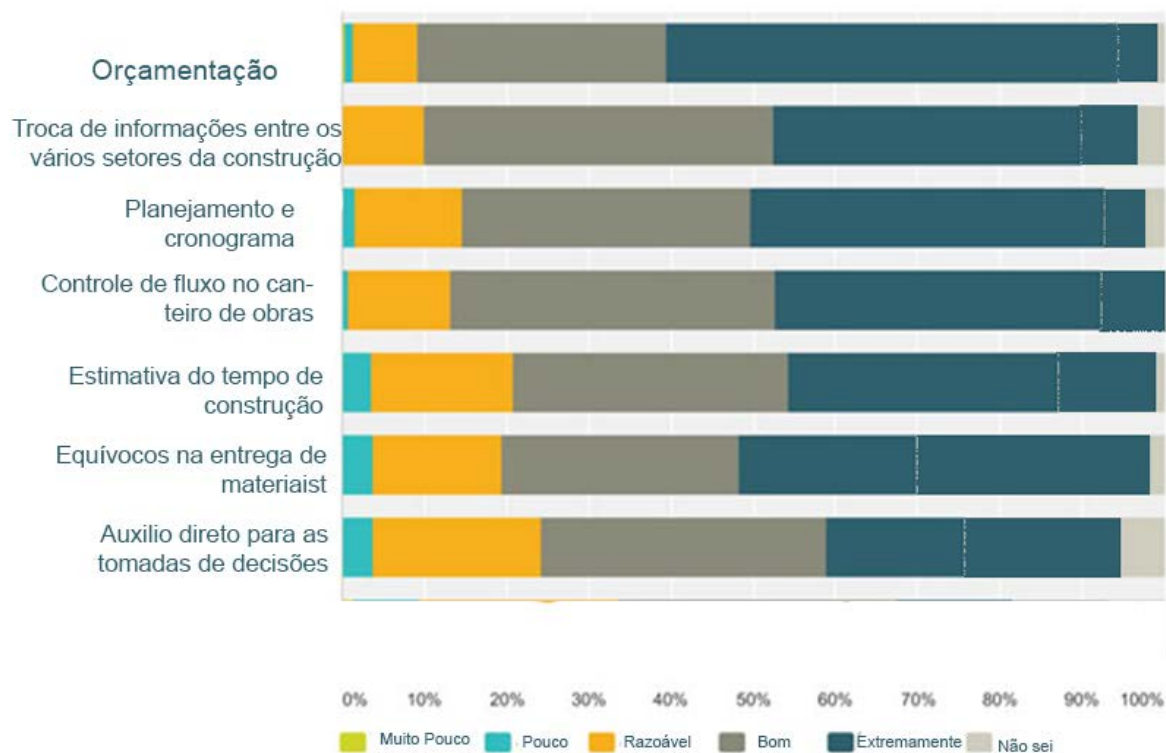
Para o levantamento necessário para esta tese, as perguntas foram organizadas em sequências de pensamento em uma mesma reação. A principal vantagem dessa abordagem é que o respondente rapidamente aprende a reagir opinativamente acerca da pergunta; em consequência, a resposta é sempre direta e reflete fielmente a opinião do respondente.

Para finalizar o questionário, o um mínimo de cortesia na despedida, um agradecimento pelo empenho e disposição em responder. O respondente deve sentir-se importante por ter sua opinião valorizada ou por falar e ser ouvido. Esses são motivos fortes para que muitas pessoas se sintam satisfeitas em ter participado de uma pesquisa.

1.2.5. CONSIDERAÇÕES ESTATÍSTICAS DO QUESTIONÁRIO

A escala de Likert e a sua mensuração pela diferenciação entre os cinco níveis da escala têm consequências importantes quanto à complexidade da análise estatística possível. Para o caso do questionário da tese, pretendeu-se demonstrar que vários participantes do processo de edificação detectaram a mesma lacuna, ou seja, a falta de informação exata sobre os quantitativos de materiais e sobre as medidas de compra do mercado na construção civil.

Tabela 7 - Gráfico do Questionário
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)



O gráfico resumo do questionário permite entender que, na opinião dos vários respondentes, essa falta de informação sobre os quantitativos exatos dos materiais para os vários setores da construção representa um problema notável e importante que as pesquisas de novas tecnologias precisam ajudar a sanar.

As respostas do questionário foram tabuladas e transformadas em percentuais de acordo com um cálculo estatístico simples de percentagem direta. Para facilitar a visualização das opiniões dos respondentes, foi criada a tabela abaixo.

Tabela 8 - Tabela proporcional da Opinião dos Respondentes
Fonte – Imagem elaborada pela autora (2016)

SETORES	Muito Pouco	Pouco	Razoável	Bom	Extremamente	Não sei
Orçamentação	4,76%	6,67	7,62	25,71%	58,00%	0,95%
	5	7	8	27	61	1
Troca de informações entre os vários setores da construção	0,95%	2,85%	8,57%	23,90%	63,81%	2,85%
	1	3	9	25	67	3
Planejamento e cronograma	0,00%	0,95%	12,38%	19,05%	67,60%	2,85%
	0	1	13	20	71	3
Controle de fluxo no canteiro de obras	2,85%	4,80%	19,00%	16,20%	57,15%	0%
	3	5	20	17	60	0
Estimativa do tempo de construção	0,00%	4,77%	6,67%	20,00%	68,50%	0,95%
	0	5	7	21	72	1
Equivocos na entrega de materiais	0,95%	1,90%	6,67%	15,23%	75,12%	1,90%
	1	2	7	16	79	2
Auxílio direto para as tomadas de decisões	2,85%	4,76%	16,19%	21,90%	54,28%	3,80%
	3	5	17	23	57	4

A tabela mostra que a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e sobre as unidades de compra dos mesmos é uma lacuna percebida por muitos que trabalham diretamente com obras.

Contudo, como demonstrado, informações dessa natureza deveriam estar automaticamente disponíveis em um sistema único de abordagem da construção, a fim de se manter a integridade da informação.

1.3. HIPÓTESE

Contribuindo para preencher a lacuna identificada, afirmamos que a criação de um algoritmo no sistema BIM para extrair quantitativos específicos de materiais para compra no mercado resultará na redução das inconsistências entre geometria e extração dos quantitativos.

A relação entre arquitetura e as plataformas computacionais tridimensionais específicas deve ser imaginada ou pensada como uma ferramenta suporte para auxiliar a tomada de decisões. Essa troca de informação deve ser integrada, holística, exata e precisa para que as decisões nelas baseadas contenham a melhor solução para o projeto.

Visto que a arquitetura suportada pelo uso da computação permite uma real amplificação nas possibilidades de coordenação, regulação e controle das informações durante as fases de projeto, o arquiteto deve buscar as informações detalhadas e precisas para que possa ampliar o ato intencional durante a fase de tomada de decisões. Tipicamente, durante suas atividades os arquitetos fornecem aos contratantes o custo estimado da construção. Contudo, a capacidade nativa dos sistemas BIM para quantificar e calcular está mudando a natureza da entrega do projeto. As estimativas de quantitativos durante as várias fases de projeto tornam-se uma importante ferramenta para prever as possíveis tomadas de decisões e os custos.

A definição das famílias de objetos para a construção pode ser acrescida de camadas de informação. Os objetos devem ser codificados em um modelo de informação para a construção de acordo com a realidade em que se inserem. As características associadas à geometria reforçam as definições dos objetos dentro do modelo. Isso pode ser mais claramente entendido a partir da Figura 6.

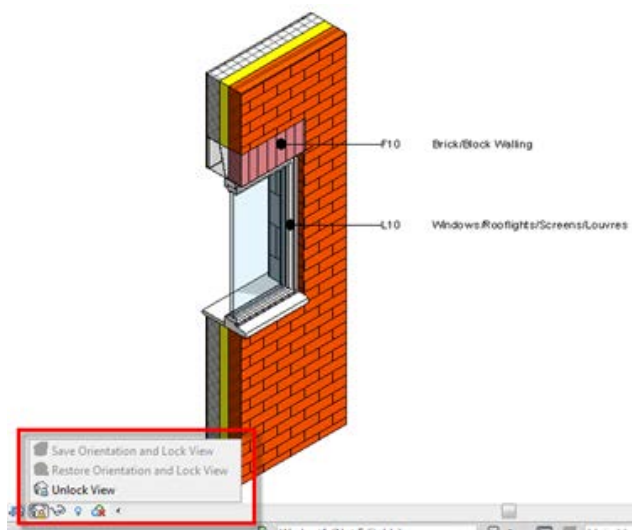


Figura 5 -Modelo de parede no sistema BIM

Fonte: <http://autodesk-revit.blogspot.com.br/2013/03/autodesk-revit-architecture-2013.html>

As camadas que compõem a parede já se encontram configuradas no modelo, tais como tijolo, chapisco e reboco, conforme mostramos, na Figura 6.

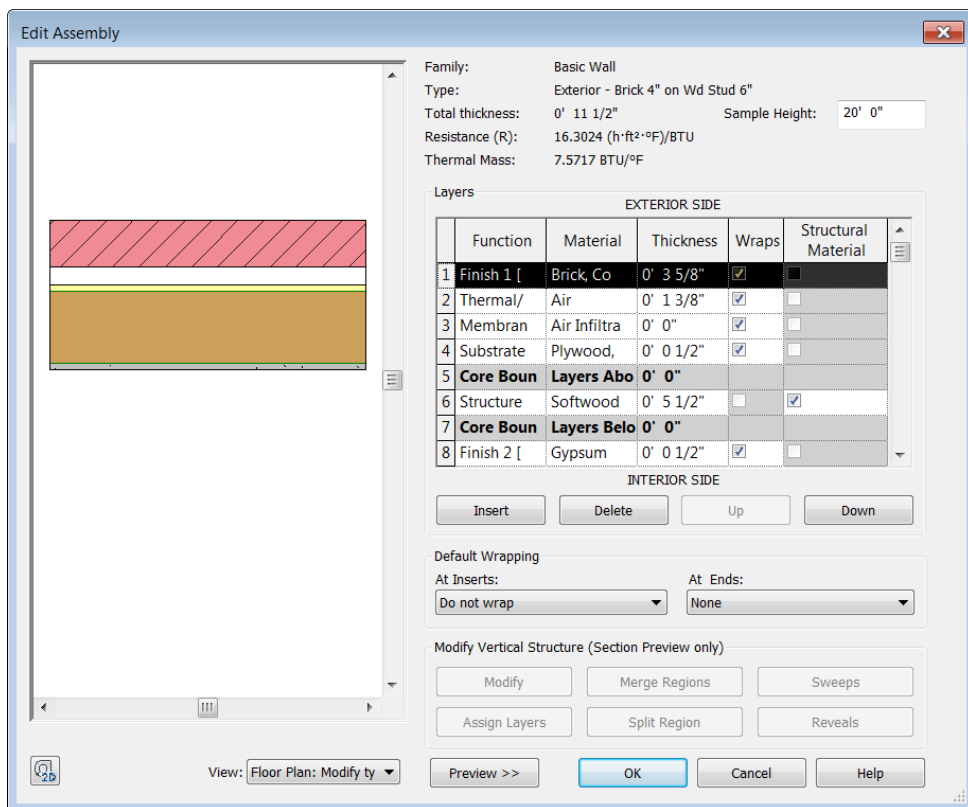


Figura 6 -Camadas de informação da parede

Fonte: <http://autodesk-revit.blogspot.com.br/2013/03/autodesk-revit-architecture-2013.html> (Acessado em 2/12/2015)

A partir dessa figura, é possível verificar que os materiais utilizados pelo sistema estão conectados às camadas que constituem as paredes. Ao especificar as camadas de materiais sincronicamente, está-se adicionando novos parâmetros para as famílias de objetos de construção da parede. Essas camadas fazem parte da geometria do elemento e serão a base para a extração dos quantitativos.

Na teoria, esses sistemas deveriam representar não apenas a geometria, mas também informações técnicas precisas da edificação, conforme as necessidades da construção. Entretanto, as informações que geram esses recursos de representação gráfica serão utilizadas como ponto de partida para o cálculo preciso dos quantitativos de materiais por meio de um novo algoritmo que os especifique para compra no mercado nacional.

Nesse contexto especificamente aplicado à área de projeto e construção, acredita que é possível criar um algoritmo para produzir quantitativos precisos de materiais dentro dos sistemas BIM, de acordo com a realidade brasileira de especificação de materiais de construção. Os resultados esperados trarão diversos benefícios, como maior controle sobre a quantidade de material a ser usado, redução de custos e do tempo de construção.

O padrão nos sistemas BIM é a emissão de listas de quantitativos que não são suficientes para a aquisição dos referidos materiais. No Brasil, as aquisições das unidades de materiais são feitas por meio de medidas tais como saco, m³, kg etc. Conforme proposto por Eastman desde o início da concepção do sistema BIM, as camadas de informações dos elementos deveriam ir além da sua representação geométrica, em vez de serem enfatizadas apenas para efeito de visualização e impressão. Assim, o modelo também deveria ser um suporte para a construção e o planejamento.

Cabe lembrar também que, por meio da utilização dos sistemas BIM, os elementos construtivos da obra podem ser definidos em níveis diferentes de coordenação. Por exemplo: quando definimos uma parede, teremos, automaticamente, os seus componentes relacionados. Os objetos podem ser definidos e controlados durante as fases de detalhamento. Assim, se o peso de um

subcomponente da parede muda, o peso da parede automaticamente será alterado e, consecutivamente, os seus quantitativos.

Ao criar e incorporar um algoritmo⁵ aos sistemas BIM, permitiremos a extração da referida informação com precisão. Portanto, é necessário inserir novos parâmetros por meio da customização para que se obtenham quantitativos precisos dos materiais constituintes dos componentes construtivos. Isso permitiria incrementar a extração da informação para que se estabeleçam novas práticas durante as fases de tomadas de decisões.

Eastman também propôs a customização desses sistemas e utilizou a noção de que a construção de uma edificação é multidisciplinar e com inúmeras possibilidades. Por essa razão, como não é possível propor uma biblioteca completa que enumerasse exaustivamente todas as alternativas de projeto, a solução encontrada foi o desenvolvimento de famílias de objetos paramétricos, permitindo ao usuário alterá-las de acordo com suas necessidades e circunstâncias (Portillo, 2013, p. 279).

É bem verdade que os sistemas BIM foram construídos para simular a realidade e estender as possibilidades de elaboração de projeto em um ambiente digital. A partir dessa perspectiva, esta plataforma apresentou-se como um amplo campo de recursos para a criação e invenção de novos métodos. Assim, de acordo com a teoria, os sistemas BIM devem ser abrangentes para, através da customização da plataforma, tornar possível englobar todas as novas fronteiras de concepção na arquitetura.

O método de trabalho dos sistemas BIM será discutido em capítulo posterior com mais detalhes. Mas, para entender um pouco mais sobre esses sistemas, é importante saber que a modelagem dos componentes construtivos é constituída por geometria e informação, que constituem seus atributos, comportamentos e inter-relações (DEMCHAK, DZAMBAZOVA e KRYGIEL, 2010, p. 153).

Entende-se que os sistemas BIM, ao possibilitar a criação adicional de ferramentas externas pelo usuário, ampliando as capacidades originais dos sistemas

⁵ Algoritmo: conjunto ordenado e finito de etapas que permitem resolver um problema.

padrão, permitem que se multipliquem suas potencialidades. A capacidade de customização de famílias por meio da inserção de algoritmos permitirá validar e verificar a proposta apresentada.

A contribuição principal desta tese será no sentido de fazer maior uso do potencial oferecido pelas inovações digitais dos sistemas BIM. Acreditamos que isso será possível por meio da elaboração de um algoritmo que processe automaticamente a quantidade precisa de quantitativos para compra no mercado, ao invés de produzir apenas as informações gerais atualmente existentes nos sistemas BIM.

Consideramos os dados para a compra no mercado como sendo uma nova capacidade para a solução de importantes problemas na arquitetura. A decisão de desenvolver esse algoritmo é válida porque permite ampliar o cômputo das informações de quantitativo pelo sistema.

O projeto elaborado por meio dos sistemas BIM nos quais se inclua o algoritmo que estamos propondo terá muitos benefícios. Por exemplo, será possível fazer a antecipação quantitativa precisa do projeto. Os serviços do projeto e a execução das obras com base nesses sistemas também evitarão os desperdícios que frequentemente ocorrem. E também haverá contribuições significativas para se obter exatidão e eficiência no processo de construção.

Outra vantagem decorrente da elaboração do novo algoritmo proposto é que ele poderá gerar informações em um modelo único dos sistemas BIM. Isso permitirá que o processo de informação seja mais específico. Além disso, permitirá uma coordenação automatizada, a atualização da geometria do projeto e a integração controlada das alterações de dados ocorridas durante o processo de projeto. Por isso, este novo algoritmo envolve significativas novas potencialidades que se estendem para além das capacidades atuais dos sistemas BIM.

A pesquisa realizada para a elaboração desta tese é necessária, conforme afirmamos anteriormente, e também original, propondo-se a preencher uma lacuna existente no mercado e na bibliografia da área. Também é uma pesquisa atual, situada numa fronteira do conhecimento para a qual convergem um método de

representação de projeto e a administração da construção. Examinamos a forma como esses instrumentos se inserem nos processos projetuais e como tais processos alteram a maneira pela qual os profissionais lidam com os diversos problemas do projeto.

Além disso, cabe ressaltar que o planejamento ineficiente da obra ocasiona atrasos na entrega de materiais, resultando em custos maiores para a conclusão do empreendimento.

1.4. A ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho de tese contém oito capítulos, além da seção de referências bibliográficas e Anexos.

O Capítulo I contém uma introdução ao tema estudado, a problemática trabalhada, a hipótese verificada, os objetivos e uma visão geral dos procedimentos metodológicos.

O Capítulo II apresenta uma revisão literária, discorrendo sobre os sistemas computacionais e de representação e sua história, incluindo sistemas de documentação digital e modelagem tridimensional genérica. Em seguida, apresenta, em sentido geral, uma discussão sobre os conceitos dos sistemas paramétricos, descrevendo seu contexto nas práticas arquitetônicas atuais.

O Capítulo III contém a apresentação detalhada do método de investigação e, de maneira sumária, seguirá estes passos:

- Cria um novo tipo de família, tarefa posterior à duplicação da família;
- Identifica quais os dados que ainda precisam ser obtidos externamente;
- Define as fórmulas matemáticas que serão utilizadas no cálculo das quantidades de cada um dos materiais componentes das paredes;
- A seguir, inclui as fórmulas matemáticas com as proporções utilizadas pela TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos;
- Propõe uma possibilidade de extrair automaticamente os quantitativos adequados;

O Capítulo IV Implementa o algoritmo no *Visual Programming Dynamo*, e realiza dois testes na casa Lorenzo e Stella do aplicativo resultante da implementação do algoritmo.

Por fim, no **Capítulo V** apresentamos as conclusões e os possíveis desdobramentos futuros. Conforme amplamente discutido, a arquitetura possibilita uma infinidade de famílias de objetos de construção. Assim, propomos como desdobramento futuro a criação de uma biblioteca dessas famílias para uso dos arquitetos.

Quanto aos Anexos, contêm a íntegra do questionário e uma discussão sobre o uso da API (*Application Platform Interface*) dos sistemas BIM. A proposta do Anexo é demonstrar, de forma resumida, que essa plataforma fará parte do dia a dia dos arquitetos num futuro próximo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. COMPUTADORES PURAMENTE MÊCANICOS

A capacidade do ser humano de realizar cálculos surgiu com a sua habilidade de se comunicar com mais precisão quando passou a ter necessidade de controlar e proteger as suas riquezas. E para que o registro as riqueza fosse de amplo entendimento de várias pessoas a capacidade de comunicação por letras e dos sistemas de numeração foram desenvolvidos como resultado direto do processo de desenvolvimento de raciocínio.

2.1.1. JOHN NAPIER

John Napier em 1612 elaborou o primeiro dispositivo mecânico de cálculo ou calculadora portátil e chamava-se ossos de Napier, conforme apresentada na Figura 5 a seguir.

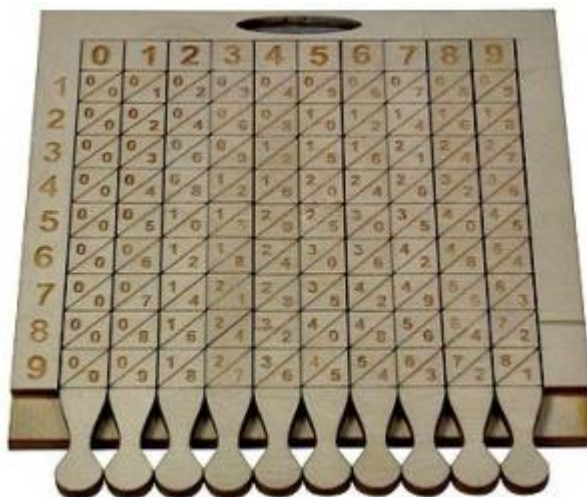


Figura 7 - Ossos de Napier
Fonte - <http://gwydir.demon.co.uk> (Acessado 10/11/2016)

A partir da ilustração da calculadora, é possível entender como as multiplicações eram feitas colocando os ossos apropriados lado a lado, e lendo os produtos resultantes. Essencialmente este dispositivo era uma tabela de multiplicar com partes móveis.

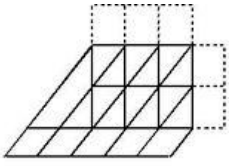
“Os Ossos de Napier são tabelas de multiplicação gravadas em bastão, que serviam para que fossem realizadas operações de multiplicação e de divisão longas, de forma automática, o que evitava a memorização da tabuada e trouxe uma grande ajuda na utilização de logaritmos. As barras de Napier, às vezes eram feitas de marfim, então elas pareciam ossos, e conduziram ao nome de Ossos de Napier (Napier’s bones). (SOUZA, GOMES e CONCILIO, 2011, p. 33-35)

Os Ossos de Napier, como mostra a tabela de logaritmos (Figura 6), foram aperfeiçoados pelo inglês William Oughtred, em 1622. Esse aperfeiçoamento deu origem à régua de cálculo. Sendo assim, os Ossos de Napier são os grandes ancestrais das calculadoras eletrônicas modernas.

A figura 6 acima mostra que os Ossos de Napier eram na verdade um conjunto de bastões usados para realizar as multiplicações por meio de adições. Cada bastão continha a tabuada de um número e a multiplicação de um número x por seu bastão correspondente era realizada consultando-se a v (x)-ésima linha do bastão correspondente ao número y .

$27 \times 51 = 1377$

	2	7		
1	0	3	5	
0	2	0	7	1
1	3	7	7	



Napier's Bones Templates

Choose the template that matches your numbers.

Trace the template into your maths book.

Write your numbers into the dotted boxes.

Multiply columns by rows.

Add up the diagonals.

(Don't forget to carry!)

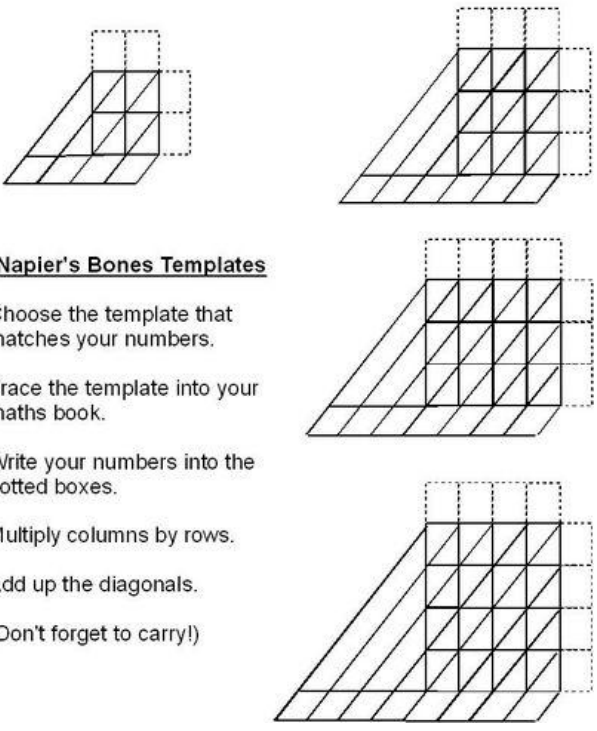


Figura 8 - Logaritmos por Napier
 Fonte: <http://www.instructables.com/> (Acessado 10/03/2016)

Por exemplo, para multiplicar o número 4 por 96431 bastava procurar no quarta linha dos bastões correspondentes aos números 9-6-4-3-1 o valor do resultado das multiplicações, deslocar a esquerda os valores encontrados de acordo com a sua opção do número (sua potencia de dez) e então somar os resultados, conforme a Figura 6. Assim soma-se o valor de $(4 \times 1 = 4) + (4 \times 3 = 12) + (4 \times 4 = 16) + (4 \times 6 = 24) + (4 \times 9 = 36) = 385724$.

2.1.2. JOSEPH-MARIE JACQUARD

Outro fato histórico que contribuiu para o desenvolvimento de dispositivos de cálculo foi a revolução Industrial. Joseph-Marie Jacquard, que em 1801, na França, concebeu uma máquina de tear automática (veja Figura 7), cujos padrões dos tecidos eram elaborados a partir dos cartões perfurados (DALAKOV,2015, p.13).



Figura 9 - O tear automatizado de Jacquard

Fonte - <http://jornalnocego.blogspot.com.br/o-tear-de-jacquard.html> (Acessado em 16/03/2016)

Joseph Marie Jacquard criou uma maneira de automatizar a máquina a vapor de tecelagem, orientando-os com uma série de furos em cartelas de papel. Os cartões continham as colunas e linhas de furos dispostos em padrões diferentes. Os ganchos nas engrenagens que passavam pelos furos dos cartões ao se movimentarem determinavam se a linha passava ou não. Se eles encontravam um

buraco, eles passam pelo furo e criavam uma rosca com a linha; se não, os ganchos eram bloqueados e não faziam nada. De fato, diferentes padrões estampados em cartões produziam têxteis de diferentes padronagens.

2.1.3. HERMAN HOLLERITH

No final do século XIX, nos Estados Unidos, o estatístico Herman Hollerith concebeu uma solução eficiente para o censo de 1890. A máquina, chamada de tabulador eletromecânico, processava automaticamente cartões perfurados, permitindo assim a contagem do número de habitantes mais rapidamente e reduzindo erros, conforme ilustrado na Figura 10.



Figura 10 - O Tabulador eletromecânico de Hollerith
Fonte: <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/h/hollerith.htm> (Acessado em 25/03/2016)

Por meio desse inventivo tabulador mecânico o processo de censo nos Estados Unidos puderam ser acompanhado de perto pelo crescimento de sua população. Os resultados do censo de 1890 foram fornecidos três anos depois do início do processo e com isso, fez-se uma economia de vários anos de trabalho

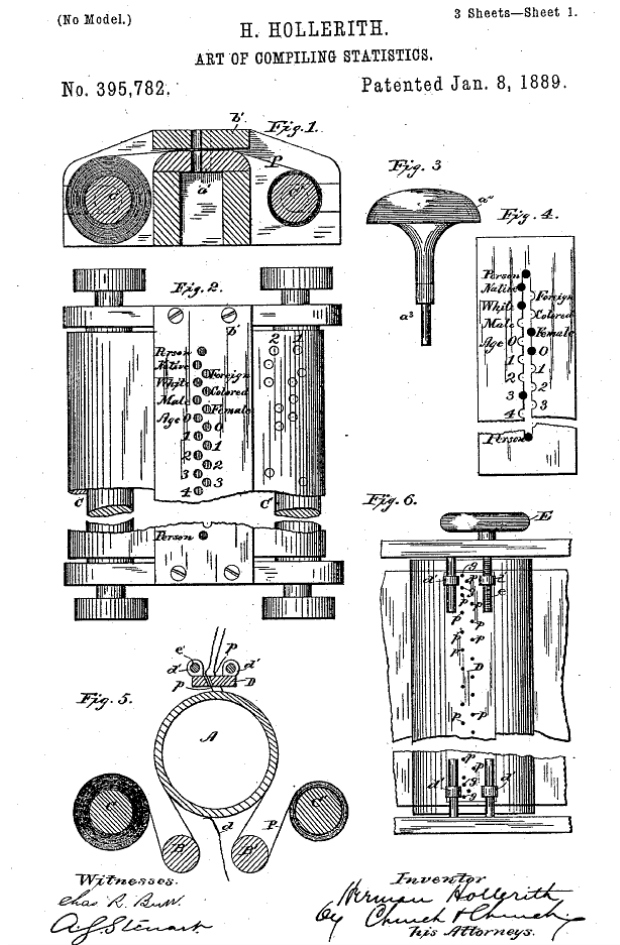


Figura 11 - Hollerith's U.S. Patent. showing
 Fonte - <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Hollerith.html> (Acessado em 03/04/2016)

Além disso, outra invenção adotada foi a facilidade da transcrição dos dados dos formulários do censo por qualquer funcionário que também podiam perfurar os cartões com os detalhes de cada cidadão. O operador da máquina, em seguida, colocava o cartão sobre uma leitora, anexada à máquina de tabulação e fechava a tampa. Um campo de pinos era movimentado para baixo através da placa. Esses

pinos que fizeram o seu caminho através dos orifícios entravam em contato com o mercúrio, completando um circuito elétrico. Esses impulsos elétricos eram transmitidos para os contadores sobre a máquina e os resultados eram registrados em um quadro de contagem. (IBM, 2015)

A partir da figura 11 é possível entender o conceito inicial de gravação dos dados estatísticos em micro-furos no papel. A leitura dos dados era feita com agulhas metálicas. Além disso, a posição dos furos nos cartões fornecia informações adicionais, como idade ou profissão do entrevistado.

Quando as agulhas passava pelo furo do cartão, fecha-se um circuito elétrico, acionando assim o sistema de contagem. Através dessas perfurações, estabeleciam-se circuitos elétricos e os dados que elas representavam podiam, então, ser computados de forma uma rápida e automaticamente (IBM, 2015, p. 66).

Em 1896, Hollerith criou a *Tabulating Machine Company* e introduziu inovações em sua descoberta. Assim, a fita de papel foi substituída por cartões, que viriam a ser o elemento básico das máquinas IBM de processamento de dados de algumas décadas atrás. Já em 1911, duas outras companhias, a *International Time Recording Co.*, de registradores mecânicos de tempo, e a *Computing Scale Co.* de instrumentos de aferição de peso, uniram-se a ela, por sugestão do negociante e banqueiro Charles R. Flint, formando-se então a *Computing Tabulating Recording Co.* – CTR (GOLDSTINE, 1993, p. 05).

Devido ao sucesso de sua máquina, Hollerith funda a companhia CTR (*Computing-Tabulating-Recording*), que em 1924, passa a se chamar *International Business Machine* e posteriormente IBM (*International Business Machines*).

2.1.4. IBM

O “cartão IBM” foi o ícone mais antigo da era da informação. Um simples cartão perfurado produzido pela IBM, medindo apenas 7-3/8 polegadas por 3-1/4 de polegada, um pedaço de papel, como pode se ver na Figura 12 . (IBM, 2015)

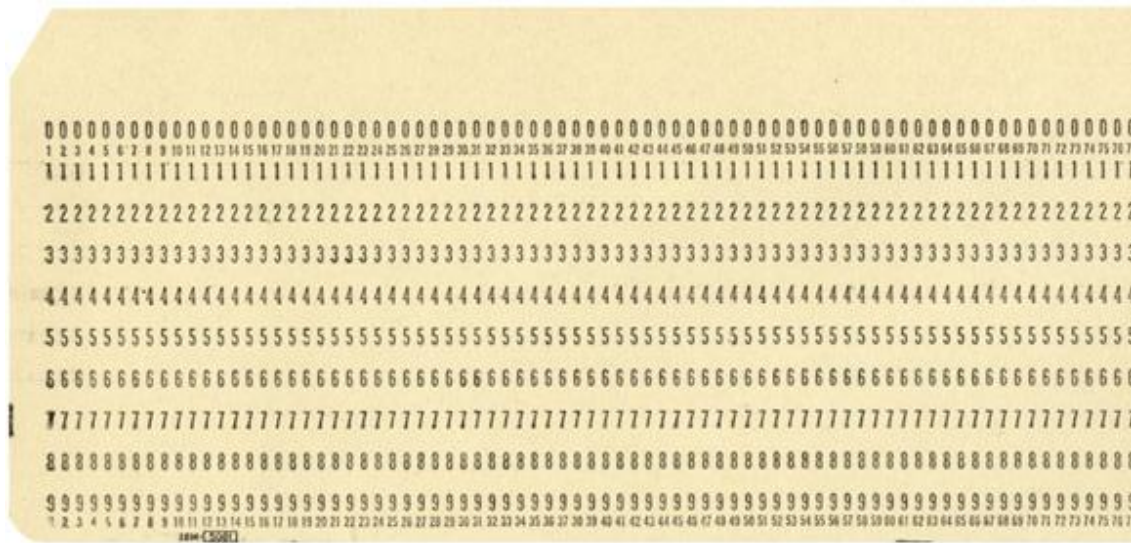


Figura 12 - Cartão Perfurado da IBM
Fonte - www-03.ibm.com (Acessado em 05/04/2015)

Mas tomadas as proporções este cartão da IBM transformou quase todo o mundo. Tornou-se, rapidamente, onipresente no mundo do processamento de dados.

Vale lembrar, conforme mencionado anteriormente, na página os cartões perfurados remontam aos finais do século XVIII e o início século XIX quando eles foram usados para programar pano de máquinas e teares. Em 1880 e 1890, Herman Hollerith usou-as com seus tabuladores - um produto central de que, mais tarde ou mais cedo, iria tornar-se IBM. (PRIESTLEY, 2011)

Depois de quase duas décadas, IBM e seus rivais continuaram redesenhando os cartões, com tamanhos diferentes e um maior número de orifícios redondos e, na grande maioria, cada um representando um pedaço de dados (bits). O primeiro

cartão IBM tinha 22 colunas e 8 punch posições; em seguida, 24 colunas e 10 posições (1904); e até o final de 1920, havia 45 colunas de furos redondos e 12 punch posições.

os clientes necessitavam cada vez mais de slots para colocar mais dados em cada cartão, porém o cartão não podia crescer para fora do trilho e não poderia ser maior. Se o IBM inventasse um novo ou um cartão maior, seria necessário substituir todo o seu equipamento e tentar vender suas máquinas. (IBM, 2015, p. 23)

Chefe da IBM na época Sr. Thomas Watson recorreu a dois de seus melhores inventores para cada um desenvolver um novo cartão, Clair D. Lake e J. Royden Peirce. Ambos tinham uma longa história de invenção tecnológicas de cartão perfurado e tinha mais patentes entre eles do que a maioria dos inventores norte-americanos do século XX.

Ele convidou cada um deles para desenvolver uma solução independentemente uma da outra. Peirce queria usar a placa existente com furos redondos, para que cada furo representasse mais de um número ou símbolo, dobrando, assim o armazenamento de dados, mas com metade do espaço que era dedicado a caracteres alfanuméricos.

Lake propôs furos menores, de forma retangular, o que seria mais fácil dos metais tabuladores computar as informações, mas também exigiria novas máquinas, mais especificamente novos socos e leitores.

Em resposta a pergunta formulada anteriormente o problema foi resolvido em 1928, a IBM apresentou uma nova versão do cartão perfurado com furos retangulares e 80 colunas. Ao longo de quase quatro décadas, foi o grande meio para armazenar, classificar e relatar os dados para serem processados através do cartão perfurado e seus equipamentos.. Criado em 1928, este cartão continha 80 colunas (quase o dobro do número do cartão antigo), 10 linhas para codificar números, Uma versão modificada do cartão, introduzido em 1930, continha 12 linhas (IBM, 2015, p. 24) .

Este novo cartão era único introduzido a partir dos anos 1930 até a década de 1950, bem aceito pelos clientes, e serviu de modelo para outros fins especiais como

produtos de hardware. No final da década de 1960, a maioria dos perfurados da IBM e máquinas de cartão já não estavam na fase de produção, embora os cartões perfurados, viveu como dominante na entrada/saída de dados dos computadores electrónicos. (GOLDSTINE, 1993, p. 60)

O cartão IBM sempre será vinculado à idade moderna da informação, servindo como o método mais usado do armazenamento de dados por quase meio século. O cartão perfurado foi uma parte essencial do desenvolvimento do processamento de dados e na geração dos computadores como conhece hoje.

2.2. PRIMEIRA GERACAO DE COMPUTADORES A VÁLVULA E RELÉ

2.2.1. A VÁLVULA DE RELE: Z-1

Konrad Zuse entre 1935 e 1938 projetou e construiu várias máquinas eletromecânicas baseadas em relés. Um relé⁶ é um dispositivo que quando a diferença de potencial da corrente elétrica passa, essa corrente fecha um contato, servindo assim como uma chave de liga e desliga do circuito.

As máquinas elaboradas por Zuse denominadas Z-1, Z-2, Z-3, e Z-4, (veja a Figura 11) utilizavam uma unidade aritmética e operavam por meio da aritmética binária e já apresentavam uma organização de memória e processamento interno bem similar aos computadores modernos.

⁶ Rele: um dispositivo eletromecânico, formado por um magneto móvel, que se deslocava unindo dois contatos metálicos.



Figura 13 - O computador Z-1 de Zuse.

Fonte: www.dma.eui.upm.es/historia_informatica/doc/maquinas/MaqZuse.htm (Acessado em 06/05/2016)

Essa máquina não possuía o conceito de programa armazenado: o programa era “calculado” por meio da fita perfurada, executando as instruções durante sua leitura. Como pode ser observado a partir da figura 13. E as instruções eram passadas através de cartão perfurado

O Z1 era uma unidade aritmética mecânica, embora sendo eletromecânica, era digital (usava o sistema de numeração de base 2). O Z1 foi o primeiro computador livremente programável em todo o mundo que utilizou lógica booleana binária⁷, e os números de ponto flutuante. As principais operações de álgebra booleana usadas foram a conjunção e, denotado \wedge , a disjunção ou, denotado \vee , e a negação não, denotado \neg . Trata-se, assim, de um formalismo para descrever relações lógicas, da mesma maneira que álgebra ordinária descreve relações numéricas. (PRIESTLEY, 2011, p. 13)

⁷ Lógica booleana : è a subárea da álgebra na qual os valores das variáveis devem ser valores verdadeiro (verdade ou falso) usualmente denotado como 1 e 0

O Z1 consistia de 6 unidades básicas: unidade de controle, unidade aritmética, Input/output, memória, seletor de memória e o leitor da fita perfurada, como pode ser visto a partir da Figura 14.

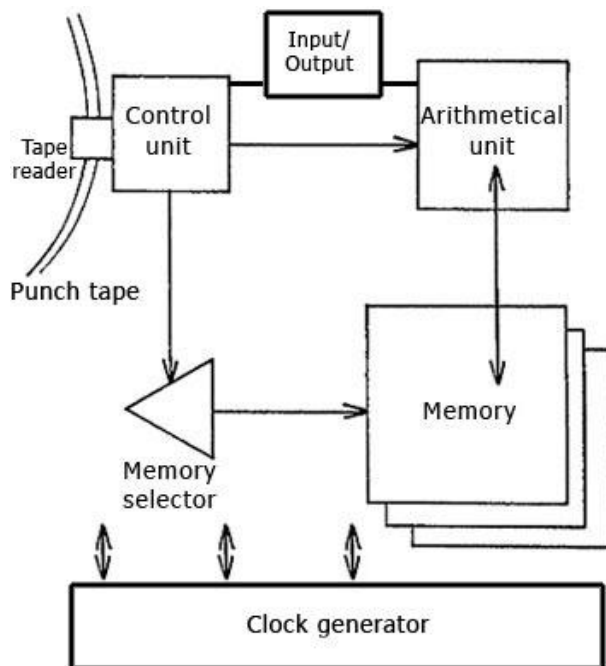


Figura 14 - O processamento de dados no Z1
Fonte - <http://history-computer.com/ModernComputer/Relays/images> (Acessado em 06/05/2016)

A partir da figura 14 percebe-se o entendimento dessa máquina. A fita perfurada e leitor de fita são lidos pela unidade de controle para processar os dados e enviar para a unidade aritmética da programação do Z1. A unidade aritmética (com dois registros de R1 e R2) era uma adder⁸, e todas as operações foram internamente reduzidas para adições ou subtrações. A memória, que constou de 64 palavras, contendo cada um 22 bits, foi formada a partir de três blocos. O primeiro bloco continha 64 palavras para expoentes e sinais (8 bits para cada palavra).

⁸ Adder: é um circuito digital que computa a adição de números processados não usadas apenas para a lógica aritmética, mas também para o incremento e diminuição de operadores.

2.3. ELETRONICAMENTE DIGITAIS

2.3.1. ENIAC

Em Agosto de 1942, Mauchly produziu um memorando de sete páginas- O uso dos dispositivos, tubo de vácuo de alta velocidade para cálculo. Neste documento, ele descreveu as potencialidades dessa máquina que poderia ser muito mais precisa do que dispositivos mecânicos até então existentes. O diferencial proposto era no grande ganho de velocidade do cálculo que poderia ser obtida a partir da substituição dos dispositivos mecânicos para os elétricos. (RANDELL, 1993, p. 112).

Para iniciar o entendimento do ENIAC a citação de David Alan Grier é válida:

“O eniac é melhor descrito como uma conjunto de adição de máquinas e outras unidades aritméticas. Que foram originalmente controlados por uma grande rede de cabos elétricos “ (GRIER, 2004, p. 02)

A partir da citação acima parece fácil entender a arquitetura do computador ENIAC. Como um conjunto de máquinas interligadas por cabos. Portanto, o processamento dos dados era executado a partir da ligação de um conjunto de máquinas.

O ENIAC pesava trinta toneladas, dentro de uma sala 10 por 15 metros. Ele tinha 30 unidades diferentes, , dispostos em forma de U, dezesseis de cada lado, e oito no meio, todos ligados por um cabo preto espesso. Ele poderia realizar 5.000 ciclos por segundo, além disso, fazer o trabalho de 50.000 pessoas que trabalhavam calculando manualmente. (veja Figura 15).

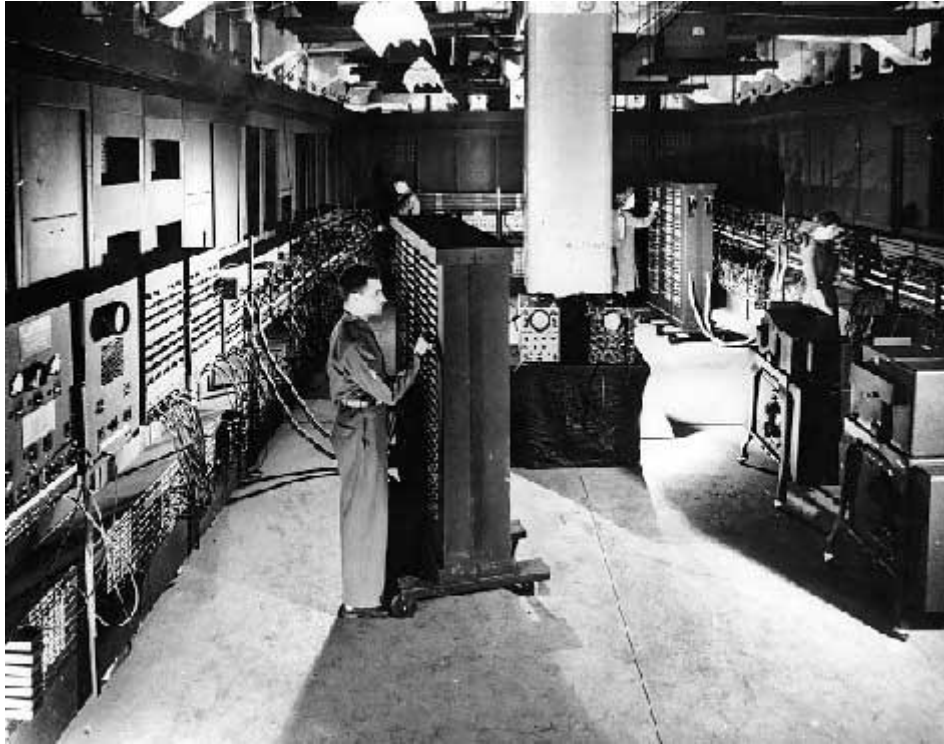


Figura 15 - Vista geral do ENIAC

Fonte - <http://history-computer.com/ModernComputer/Electronic/ENIAC.html> (Acessado em 06/05/2015)

Em trinta segundos o ENIAC poderia calcular uma única trajetória balística, algo que levaria vinte horas com uma calculadora manual ou quinze minutos com o analisador diferencial. O ENIAC requeria 174 kilowatts de energia para funcionar. O computador continha 17.468 tubos de vácuo, 1.500 relés, 500.000 juntas soldadas, 10.000 capacitores de circuitos e 70.000 resistores. A frequência de clock foi de 100 kHz. Entrada e saída de dados se dava através de um leitor IBM e do cartão perfurado. (GOLDSTINE, 1993, p. 113)

A partir da Figura 15 percebe-se que as unidades do ENIAC podem ser agrupadas em cinco categorias:

- aritmética (cálculos gerais e unidades dedicadas);
- as unidades de controle global;
- a memória;
- unidades decimais (0/1) e

- Interconectores de sincronização buses (trunks⁹).

A Figura 16 revela o diagrama da organização funcional do ENIAC. Os números são introduzidos na máquina por meio de uma unidade, chamada transmissor constante, que opera em conjunto com leitor de cartão da IBM.

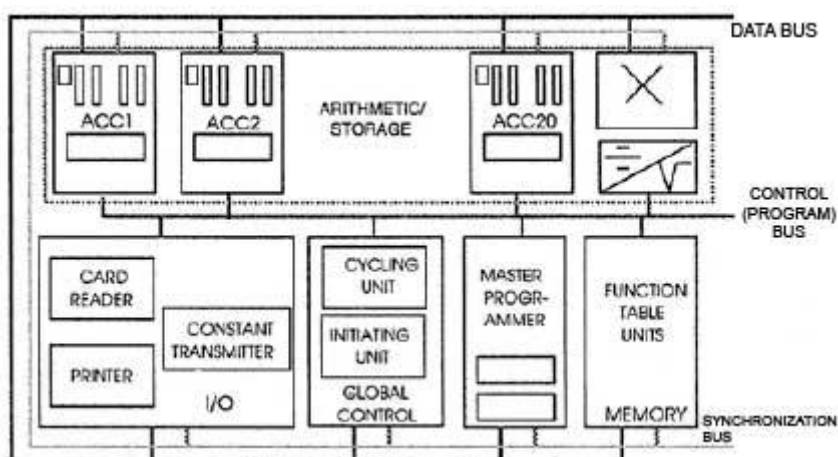


Figura 16 - Diagrama ENIAC
 Fonte - (SPIEGEL, TAU, et al., 2002, p. 128)

O leitor escaneava os cartões perfurados padrão (que comportavam até 80 dígitos e 16 indicações) e faz com que os dados dos cartões podiam ser armazenados em relés, localizado no transmissor constante.

As unidades deveriam principalmente executar as operações aritméticas sendo para isso necessário 20 acumuladores (para adição e subtração), um multiplicador e uma combinação de divisor e de raiz quadrada. (SPIEGEL, TAU, et al., 2002, p. 128)

Os fluxos de dados do ENIAC requeriam uma gama de troca de lugares dos próprios switches, assim como a transferência de seus e cabos que executavam as conexões entre as unidades. A Programação do ENIAC consiste das seguintes etapas.

⁹ Trunks digitais: São transportadas em bandejas que são empilhados em cima uns dos outros, permitindo as múltiplas conexões.

“1. Em primeiro lugar, o problema a ser resolvido precisa ser descrito por um conjunto de equações matemáticas, como a total ou equações com derivadas parciais;

2. Em seguida, as equações eram decompostas em básicas operações matemáticas que o ENIAC poderia ser capaz de executar;

3. Além disso, é preciso planejar o armazenamento dos dados nos relés numéricos. Para cada operação aritmética é necessário configurar um controle de programa e fazer as conexões entre o controle do programa decimal I/Os;

4. Por último, os programas individuais eram unidos por cabos em uma sequência de programas, portanto a conexão dos programas era realizada automaticamente executadas em série após a conclusão de um outro conjunto de programas.” (SPIEGEL, TAU, et al., 2002, p. 33)

A partir da citação acima percebe-se que a programação no ENIAC era rápida sendo possível devido às 3 funções principais de controle. O transmissor constante associado ao leitor de cartão da IBM constituía o dispositivo externo de entrada. O segundo passo, o armazenamento das informações nos relés. Por último, as unidades de controle global incluía o início das unidades de comandos que regem as operações globais do ENIAC e originam os inícios dos cálculos, fornecendo o dígito programa, assim como redefinindo os pulsos. (GOLDSTINE, 1993, p. 115)

2.3.2. EDVAC

Em 1945, nos Estados Unidos, o projeto EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Calculator*), foi um avanço tecnológico do ENIAC. Os pesquisadores Mauchly and Eckert foram os idealizadores do projeto.

A grande mudança planejada pelos pesquisadores ao avanço com relação ao ENIAC. Os projetores do EDVAC eles queriam diminuir o fato intolerável de reprogramar o computador, com tantas modificações físicas, com relação às conexões e os switches. Ressalta que a reprogramação do ENIAC levava dias.

Essa nova proposta de arquitetura de sistema seria seguida por todas as gerações de computadores posteriores. A nova proposta concebia o conceito da programação armazenada, isto é, a memória do computador armazenaria tanto as instruções a serem executadas quanto os dados a serem processados. Dessa forma, as instruções poderiam ser facilmente modificadas sem a necessidade de alterar as ligações com os cabos.

As instruções já não eram passadas ao computador por meios de fios ou válvulas: elas ficavam em um dispositivo eletrônico denominado linha de retardo. Esse dispositivo era um tubo contendo vários cristais que refletiam pulsos eletrônicos para frente e para trás muito lentamente.

Outro benefício deste conceito é que tanto as instruções quanto os dados seriam armazenados segundo uma única representação, de modo que as instruções deveriam ser executadas da mesma forma que os dados, permitindo, assim as modificações automáticas dessas instruções.



Figura 17 - O computador EDVAC
Fonte - <https://tecnologiaiesolajara.wikispaces.com/EI+EDVAC>.(Acessado em 10/05/2015)

Apesar de ser mais moderno, não diminuiu de tamanho e ocupava 100% do espaço que o ENIAC ocupava como pode se observar pela Figura 15. Porém, ele era dotado de cem vezes mais memória interna que o ENIAC - um grande salto para a época. O EDVAC foi planejado para acelerar o trabalho armazenando tanto dos programas, quanto dos dados em sua expansão de memória interna.

A ideia seria que o tubo de mercúrio por ser um pulso eletrônico poderia dinamicamente pertencer a dois estados ligado e desligado para que possa ser obter os dados posteriormente. Essas mudanças de estado, ligado/desligado para a memória era necessária porque EDVAC trabalhava de em um sistema binário, para que fosse possível a simplificação da construção das unidades aritméticas¹⁰, como pode ser melhor compreendido a partir da figura 18 , diferentemente do seu predecessor EDVAC que era construído por números decimais.

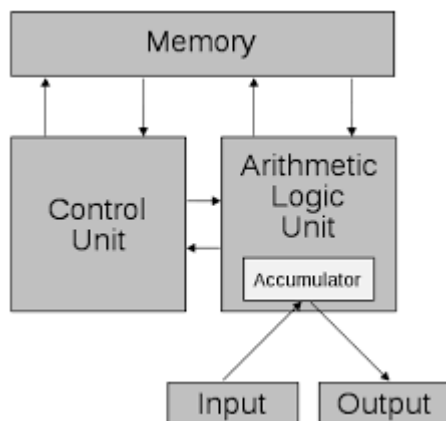


Figura 18 - Sistema de Processamento do EDVAC
Fonte: <http://www.boerner.net/jboerner/?p=1585> (Acessado em 13/05/2015)

Enquanto era consultor do projeto EDVAC na Moore School of Electrical Engineering, Von Neumann escreveu um conjunto incompleto de notas intituladas

¹⁰ Basicamente, um processador pode ser subdividido em duas grandes unidades, quais sejam: a unidade de controle e a unidade de processamento. A unidade de controle é responsável pelo gerenciamento do fluxo interno de dados através do envio de sinais de controle para a unidade de processamento. Por sua vez, a unidade de processamento é capaz de realizar, sobre os operandos de entrada, as operações requisitadas pela unidade de controle. Na unidade de processamento, encontra-se a ULA, a qual realiza operações lógicas e aritméticas sobre um ou mais operandos de entrada. <https://tecnologiaiesolajara.wikispaces.com/El+EDVAC>.(Acessado em 10/05/2015)

“Primeiros esboço de um relatório sobre EDVAC”. Esse paper descrevia uma nova abordagem para a arquitetura computacional, na qual os dados e a memória do programa eram alocados dentro do mesmo espaço da unidade lógica aritmética, enquanto o processamento ocorria em outra partição, como pode ser aprendido pela Figura 18.

Esta arquitetura de fato o pode ser encontrado nos computadores domésticos, os microcomputadores, computadores mainframe, minicomputadores e os quais usam a arquitetura de computador da memória única.

2.3.3. ARQUITETURA DE VON NEUMANN

A arquitetura de Von Neumann é apenas uma maneira de implementar a computação em computadores modernos. Von Neumann propôs, em 1945, que os computadores se organizassem entorno de uma unidade central de processamento (CPU), memória principal dispositivo de armazenagem, dispositivos de entradas e saídas e mesmo assim ser capaz de executar qualquer tipo de cálculo determinado. Adequadamente programado e controlado sem a necessidade de modificação de hardware, que ficou conhecido como a arquitetura de Von Neumann. Além disto, foi o primeiro a estabelecer o princípio da programação armazenada sendo independentes as partes físicas permanentes dos computadores.

Von Neumann contribuiu com uma completa compreensão do uso doméstico dos computadores, para isso deveriam ser organizados e construídos de maneira prática e rápida; Essas ideias, muitas vezes se referem a técnica do programa armazenado, que tornou-se fundamental, para as gerações futuras de computadores digitais de alta velocidade e foram universalmente adotada. (GOLDSTINE, 1993, p. 115)

O principal avanço foi à previsão de um tipo especial de instruções para a máquina. O controle condicional de transferência a qual permitia que a sequência do

programa pudesse ser interrompido e reiniciado em qualquer ponto. O mecanismo analítico se dá pelo armazenamento de todas as instruções dos programas conjuntamente com os dados, isto é na mesma unidade de memória, de modo que, quando necessário às instruções podem ser aritmeticamente modificadas da mesma forma como os dados.

Como resultado de tais técnicas a programação da computação tornou-se mais rápida, mais flexível e mais eficiente. Com o advento das instruções em sub-rotinas realizando o trabalho computacional muito mais eficiente. Frequentemente as sub-rotinas utilizadas não têm de ser reprogramadas para cada novo problema, mas poderia ser mantida intacta em "bibliotecas" e ser lida pela memória assim quando se tornar necessário. (RANDELL, 1993, p. 37)

Assim, muito de um determinado programa poderia ser montado a partir da biblioteca de sub-rotinas. A unidade da memória do computador se tornou o local de montagem em que as peças de um longo cálculo ficam armazenadas, trabalha em funções definidas em trechos¹¹, e montados de modo a formar os resultados finais.

O controle do computador compilava as informações de maneira que coordenava as informações para melhor todo processo global de processamento dos dados, providenciando as informações quando requeridas com confiança e eficiência. Assim que as vantagens destas técnicas ficaram claras esta prática se tornou padrão. A primeira geração de modernos computadores eletrônicos programados para aproveitar estas melhorias foi publicada em 1947.

Fisicamente, eles eram muito mais compactos do que A ENIAC: alguns eram aproximadamente do tamanho de um piano de cauda e era necessário 2.500 pequenos tubos de elétrons, muito menos que o exigido pelas máquinas mais antigas. A primeira geração de programa armazenado requeria uma constante manutenção, atingindo talvez 70% a 80% da operação desejada, e eram utilizados aproximadamente de 8 a 12 anos. Normalmente, eles foram programados

¹¹ Função definida em trechos: Em matemática, uma função definida em trecho, também conhecida como função definida por partes, é uma função cuja definição depende do valor da variável independente matematicamente, uma função valorada nos reais f de uma variável x é uma relação cuja definição é dada diferentemente sobre disjuntos conjuntos de seu domínio (conhecidos como subdomínios). Fonte: <https://math.org.co.uk/Piecewise> (Acessado em 15/05/2015)

diretamente em linguagem de máquina. Este grupo de máquinas incluíam EDVAC e o UNIVAC.

Esse desenvolvimento desencadeou, no início dos anos 50, a criação de outros computadores baseados na arquitetura de Von Neumann. Destes, o primeiro computador que obteve sucesso comercial nessa época foi o UNIVAC (*Universal Automatic Computer*) de 1951.



Figura 19 - O computador UNIVAC

Fonte - <http://www.boerner.net/jboerner/?p=13658> (Acessado em 15/05/2015)

Em vez de válvulas, o UNIVAC empregava diodos de cristal, que tornava sua velocidade superior aos seus precedentes. Além disso, foi o primeiro computador a contar com unidades de equipamentos periféricos independentes, como impressoras.

2.4. NOVOS SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA COM FOCO NA ARQUITETURA

Apresentaremos os fundamentos teóricos que alicerçaram o desenvolvimento do projeto arquitetônico assistido por computador. Nosso enfoque se limitará ao desenvolvimento de projeto assistido por computador e suas implicações.

As ferramentas moldam a maneira pela qual nós vemos o mundo, e elas moldam o formato do mundo que construímos. No projeto arquitetônico assistido por computador não é diferente. As ferramentas computacionais moldam a maneira que nós vemos e reconstruímos o ambiente construído e natural. (GROSS, MARK e GOLDSCHMIDT, 2009, p. 169)

Neste sentido Kolarevic em seu livro *Architecture in the Digital Age – Design and Manufacturing* citou a afirmação do Mitchell que corrobora Mark na citação acima. Ele afirmou que os arquitetos eram limitados a desenhar o que podiam construir e devido às limitações das matérias, e também apenas podiam construir o que as ferramentas de desenho possibilitavam desenhar. (MITCHELL apud KOLAREVIC, 2003, p. 32)

O uso dos projetos arquitetônicos auxiliados pelo computador, permite entender que as possibilidades que o campo tecnológico possibilita aos arquitetos são vastos.

Com a possibilidade dos novos terrenos que os sistemas computacionais abrem para o campo da arquitetura, pode-se observar que o ambiente tecnológico permite um espaço construído fluido, flexível e aberto, com isso novas possibilidades de experimentações podem ser desenvolvidas. (MARK et al, 2009, p. 169)

As ferramentas assistidas por computador para projetos são usadas na prática profissional de projeto e são o resultado de 40 anos de pesquisa, desenvolvimento e comercialização. Elas avançaram do gerenciamento de desenhos de linhas bidimensionais exibidas em telas vetoriais para o sofisticado tempo real de renderização de cenas com luz, materiais e a animação. (MARK et al, 2009, p. 169)

O desenvolvimento computacional aplicado a arquitetura, disponíveis no mercado depois de meados dos anos de 1980, permitiram que os arquitetos fossem além das representações vetoriais bidimensionais. Apenas podiam controlar pontos, linhas e planos. No decorrer do desenvolvimento foram desenvolvidas outras ferramentas assistidas por computador para a representação paramétrica e condicionantes de projeto. Arquitetos renomados como Foster and Partners e o grupo Arup por motivos de aprimorar os seus projetos não podiam mais se limitar ao campo cartesiano bidimensional e criaram novas possibilidades de desenho (Figura 20).

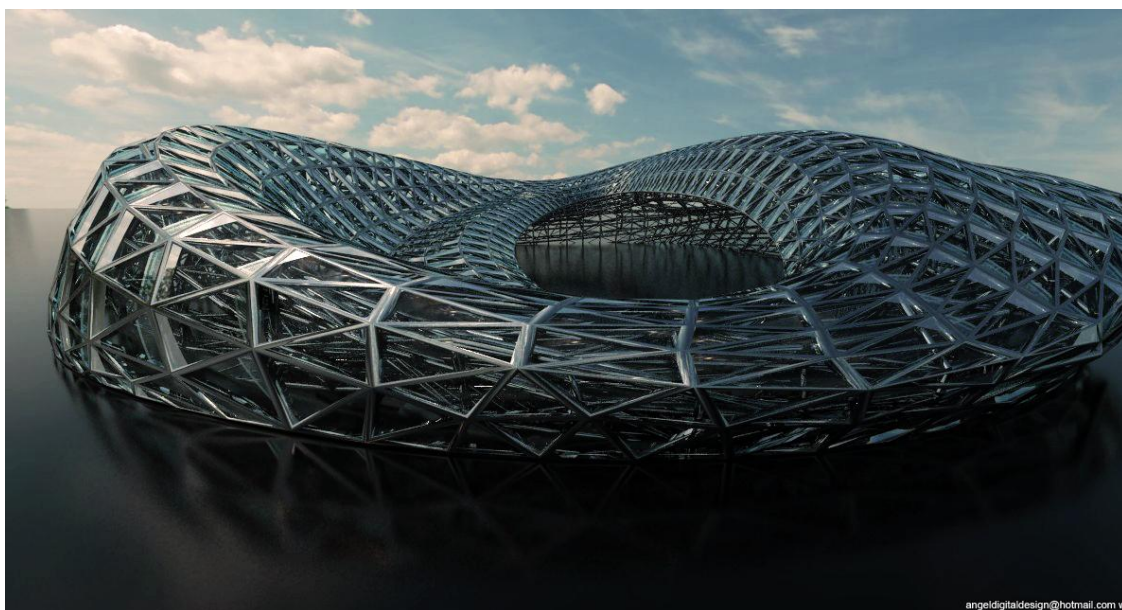


Figura 20 - O Futuro da Arquitetura segundo Norman Foster

Fonte: <http://www.cetarq.com.ar/arquitectura-segun-norman-foster> (Acessado em 18/04/2015)

O processo de adoção dos softwares paramétricos baseados em condicionantes de projetos auxiliam arquitetos a criar e gerenciar geometria. O computador era percebido como um meio que o arquiteto usava para registrar e editar formas tridimensionais.

De acordo com a citação acima se percebe que as ferramentas da nova tecnologia em muitos escritórios de arquitetura estão sendo utilizados para substituir

a prancheta. As pessoas que adotaram as novas ferramentas digitais também estão modificando a maneira que pensam e projetam a arquitetura.

Portanto, surgem novas possibilidades de experimentações com as formas. Abordagens baseadas em parâmetros e condicionantes adicionam uma camada na qual o arquiteto expressa relações e dependências entre quantidades (parâmetros) no projeto. A comercialização dessas tecnologias começou a mudar a prática arquitetônica e talvez, por conseguinte, também o pensamento arquitetônico. (MARK et al, 2009, p. 170)

Neste campo da parametrização das informações pesquisadores em projeto assistido por computador estão familiarizados com um leque de sistemas paramétricos que estão sendo ainda explorados pela comunidade acadêmica.

Sabe-se que cada mudança de postura perante as novas tecnologias, se e quando é adotada, tem um efeito profundo no pensar e praticar o projeto arquitetônico, como o projeto paramétrico tem tido nos últimos anos.

2.4.1. A PRIMEIRA GERACAO CAD POR IVAN SUTHERLAND

A primeira geração de ferramenta de representação de projeto por computador foi criada para diminuir as tarefas extenuantes do processo de projeto arquitetônico, e apresentava apenas soluções definidas previamente e prontas. A primeira linguagem de programação foi o Sketchpad desenvolvido em 1963 por Ivan Sutherland nos laboratório do MIT¹² era um sistema baseado em marcos vetoriais projetados na tela do computador. (Figura 21).

¹² Massachusetts Institute of Technology

“O processo de projeto poderia ser visto como configurando e flexibilizando os condicionantes de formas geométricas, como exemplo construindo um conjunto de objetos específicos, e permitindo o controle paramétrico sobre sua formação.” (Sutherland, 1963 apud Mark et al, 2009, p.170).

Este novo sistema permitiu a alteração das interações entre homem e máquina. O SketchPad foi o precursor no desenvolvimento da computação gráfica, para se entender a importância do programa deste ancestral sistema a sua interface do usuário até hoje é utilizada nos sistemas bidimensionais CAD genéricos. Sutherland com o seu sistema demonstrou na sua Tese de Doutorado que a computação gráfica pode ser utilizada para fins técnicos.

A Figura 21 abaixo permite entender como os usuários intervêm no sistema, a base são dados das coordenadas X e Y. Desta forma, o sistema torna-se apto processar tais informações, representá-las e projetá-las no monitor como desenhos bidimensionais.

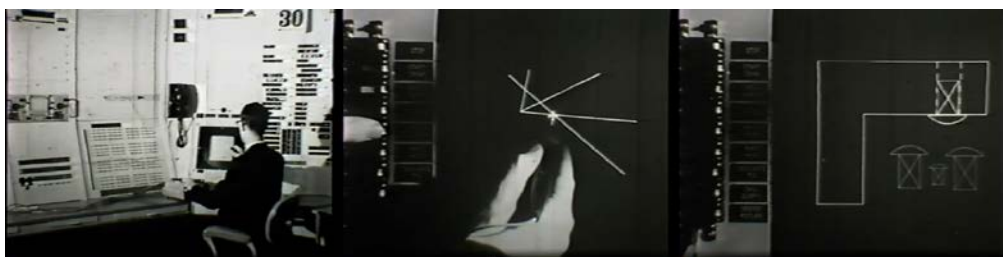


Figura 21 - Sistema SKETCHPAD de Ivan Sutherland
Fonte - http://cumincad.scix.net/data/works/att/ecaade2008_069.content.pdf (Acessado em 16/05/2015)

Os sistemas que seguiram o SketchPad sempre buscaram a facilitar os desenhos técnicos na tentativa de automatizar as tarefas do projeto e documentação, porém os condicionantes sempre foram limitantes. Estes sistemas baseados na teoria de Ivan Sutherland parecem influenciados na direção de produtos de construção geralmente reconhecidos e usuais. Os sistemas apenas permitiam a possibilidade de gerar objetos específicos e a variação dos mesmos em tipos arquitetônicos convencionais, tais como “tipos de parede”, “tipos de janelas” e

outros objetos predefinidos. Ainda, estes sistemas proveram ao arquiteto a liberdade de layout, escala e relações entre os conjuntos de componentes. (MARK et al, 2009, p. 170.)

Esta primeira abordagem para o processo de projeção possibilitou inúmeras outras novas investigações sobre as possibilidades que as ferramentas computacionais poderiam assistir ao arquiteto na concretude da sua intenção.

Décadas depois algumas ferramentas computacionais foram desenvolvidas para ajudar na automatização da montagem de edifícios virtuais das partes para o todo. Esta estratégia, contudo, representa uma limitação à arquitetura convencional, tendo por objetivo auxiliar o arquiteto, uma vez que mudanças nos componentes eram tarefas trabalhosas, como fazer as ligações e conexões entre os diferentes tipos de paredes, janelas e entre outros objetos paramétricos estabelecidos pelos sistemas.

A liberdade de desenho sempre foi valorizada pelos arquitetos. A exploração da forma, a fluência e a flexibilidade sempre esteve presente na intenção do arquiteto nos seus riscos iniciais do seu projeto. No entanto, os mesmos arquitetos condicionam as suas edificações ao transformar o croqui em plantas de representações técnicas. O estado da arte é imperfeito ao endereçar estas demandas às vezes contraditórias, por exemplo, algumas ferramentas enfatizam a geometria apenas e permitem um grande leque de explorações formais.

Contudo, as construções arquitetônicas começaram a ficar cada vez mais complexas, inúmeros sistemas complementares começaram a ter que ser compatibilizados em várias representações técnicas. Tornou-se necessário então buscar por novos sistemas que tentasse agregar todas as informações do projeto arquitetônico e seus complementares em um único sistema de desenho.

“Outros sistemas CAD mais automatizados oferecem recursos para todo o ciclo de vida útil da edificação que podem rapidamente ajudar a acelerar a montagem de objetos arquitetônicos predefinidos baseados em bibliotecas limitadas de componentes”.
(MARK et al, 2009, p. 171)

As bibliotecas ainda que limitadas permitiam aos arquitetos uma maior agilidade na representação técnica. A limitação de componentes permitiu entender que mesmo a composição destes elementos não significa um grande avanço formal da arquitetura.

Até então, não existiam sistemas computacionais que permitissem auxiliar tanto em termos de oferecer flexibilidade de exploração de formas, quanto na elaboração de um projeto mais definido que adotasse tipologias específicas de componentes construtivos .

Algumas ferramentas posteriores, comumente chamados como CAD genéricos, estão baseadas no princípio de que o espaço virtual gráfico tridimensional permite uma gama de possibilidade para a exploração da forma.

Os sistemas que oferecem recursos para automatizar a montagem de componentes construtivos, podem, por exemplo, conectar duas paredes automaticamente desde que o sistema possa antecipar algumas configurações geométricas, materiais, atributos, e relacionamentos de um componente com o outro. (MARK et al, 2009, p. 171.)

Segundo Mark na citação acima entende-se que a tendência de desenvolvimento dos sistemas computacionais parametrizados posteriores estariam os primeiros passos de retroalimentação com o usuário de acordo com os inputs do usuário Este entraria com dados e se houvesse alguma inconsistência destes dados o próprio sistema estaria apto a detectar e posteriormente consertar erros, tendo como base seu banco de dados.

2.4.2. A MODELAGEM TRIDIMENSIONAL

A tecnologia digital, em constante evolução, apresenta possibilidades cada vez mais acessíveis em termos de interatividade e custos para auxiliar nos processos de projeção arquitetônica. A necessidade então de buscar por novos sistemas genéricos de modelagem virtual tridimensional parametrizada que tentasse agregar todas as informações do projeto arquitetônico e estes ainda pudessem mesmo que de uma forma restrita ser modificados a partir da troca de alguns valores, tornou-se o próximo sistema a ser desenvolvido.

O projeto arquitetônico na interface digital aspira a ir além do convencional, e a procurar novas idéias e estratégias. O projeto em três dimensões desde o início de sua concepção possibilita encorajar o arquiteto a descobrir soluções inovadoras para as suas tomadas de decisões. (KALISPERIS, 1996, p. 24)

A utilização dos sistemas BIM nos processos de projeção propiciam maior controle e coordenação do projeto. Dessa forma, os ambientes propostos ganham novas dimensões e possibilidades formais, visuais, ambientais, construtivas, relações entre os componentes, materiais, etc., a partir da apreensão do ambiente, o que só é possível ser representado nestas interfaces virtuais. (DUARTE, 2005, p. 36)

A arquitetura digital não se restringe a imagens tridimensionais, geradas por computador de um projeto arquitetônico estático e com concepções cartesianas do espaço, mas na interação entre os seus componentes, amplificando as possibilidades de apreensão dos ambientes.

A simulação possibilita testar o projeto arquitetônico na interface digital através da exploração do movimento no tempo e espaço. (KALISPERIS, 1996, p. 23). A visualização em três dimensões permite melhor entender o espaço e a sua forma.

Os meios tecnológicos eletrônicos trazem novos questionamentos e paradigmas que vêm sendo discutidos pelos arquitetos. O pensar em “construir o

projeto” arquitetônico em ambientes de realidade virtual, tridimensional, auxiliada pelos sistemas BIM, possibilita novas investigações para a construção mais detalhadas do projeto e com materiais especificados. Isto é possível a partir das primeiras tomadas de decisões para a construção do modelo virtual. Neste contexto, as especificações devem ser claras, precisas e objetivas quando inseridas no modelo desde então integrando ao projeto.

Apenas através dos sistemas BIM isto é possível porque os objetos são construídos a partir de dados, seus comportamentos e atributos. Isto quer dizer que uma parede não é apenas um somatório de linhas, como ocorre em outros programas de modeladores de sólidos tridimensionais. Os sistemas BIM “pensam” em modelar componentes construtivos específicos com atributos e informações que podem ser extraídas a qualquer momento. (FLORIO, 2007, p. 10)

Nos sistemas BIM, a modelagem de um objeto desde o início da sua concepção, requer que todos os materiais que o constituem devam ser informados. Por exemplo, se for modelar uma parede, deverá informar desde o início que tipo de alvenaria será necessária, se terá reboco, emboco ou pintura. Caso o usuário não apresente estas informações os sistemas assumiram valores default à revelia do mesmo. Os objetos são também inteligentes. Se em uma construção o pé-direito for alterado por razões de iluminância do ambiente, a escada que interliga os pavimentos automaticamente se readequará, sem a necessidade de ajustes manuais por parte do arquiteto.

Esta nova ferramenta computacional contribui para o surgimento, no cenário da arquitetura, de uma mudança significativa da importância do papel do projeto nas em suas fases iniciais.

Além disto, há também a necessidade desde as primeiras tomadas de decisões, do conhecimento de construção civil por parte do arquiteto. Exige-se que o arquiteto volte a entender o funcionamento do canteiro de obras, porque agora ele precisa ter conhecimento de todo o espectro da mesma, de todos os seus elementos construtivos.

O argumento de que é necessário representar em três dimensões da arquitetura não é uma novidade dos tempos atuais. Há cerca de seis décadas Zevi ressaltou em 1946 (data da primeira edição de seu livro Saber Ver a Arquitetura) a necessidade de uma representação, holística da arquitetura. Destacou o caráter singular da arquitetura no campo das artes. Ressaltou a necessidade do uso da tridimensionalidade e a sua relação inclusiva e interativa com os seres humanos.

“... o caráter essencial da arquitetura – o que a distingue das outras atividades artísticas – está no fato de agir com um vocabulário tridimensional que inclui o homem... Por sua vez, a arquitetura é como uma grande escultura escavada, em cujo interior o homem penetra e caminha.” (ZEVI, 1996, p. 07)

No sentido de compreender o espaço o homem deve vivenciá-lo. Zevi acreditava que não havia outra maneira para apreender a arquitetura de forma adequada senão através da experiência de vivenciar os espaços construídos. Entretanto, os modelos tridimensionais computacionais interativos possibilitam hoje a representação não apenas das três dimensões espaciais, como também da quarta dimensão, ou seja, o sucessivo deslocamento no espaço e no tempo.

“ a mente humana descobriu que, além das três dimensões de perspectiva, existia uma quarta... Consequentemente, a realidade do objeto não se esgota nas três dimensões da perspectiva. Para possuí-la integralmente eu deveria fazer um número infinito de perspectivas dos infinitos pontos de vista. Existe, pois, outro elemento além das três dimensões tradicionais, e é precisamente o deslocamento sucessivo do ângulo visual. Assim designou-se o tempo, “quarta dimensão ”. (ZEVI, 1996, p. 17)

Zevi demonstrou que a descrição do espaço deva conter todas as informações e sensações para definir um espaço. As limitações para compreender a arquitetura devem extrapolar a representação tridimensional, o tempo elemento delimitador permite entender esta realidade que se busca.

“... Mas a arquitetura não provém de um conjunto de alturas, comprimentos e larguras dos elementos, ela provém mais precisamente do vazio, do espaço encerrado, do espaço interior em que os homens andam e vivem...” (ZEVI, 1996, p. 17)

Zevi entendeu que a representação e apreensão da arquitetura. O pensar além das medidas e proporções era justificado para a real necessidade de extrapolar o interior do espaço projetado, seus volumes e a relação entre eles, para obter uma compreensão adequada do espaço arquitetônico .

A partir do advento de novas tecnologias esse tipo de projeção tridimensional tornou-se mais largamente utilizada, busca-se romper e ao mesmo tempo redesenhar uma nova representação na arquitetura. Seu posicionamento principal é que para se desenvolver é necessário, o fim de paradigmas usados no sistema linear nos processos de projeção.

Na arte de projetar em três dimensões, o projeto de arquitetura inicia-se no volume. Os três planos permitem ao arquiteto uma completa visualização dos espaços e formas. O entendimento do espaço é sempre uma premissa básica do todo que será resolvido por etapas não-lineares. A poderosa ferramenta de visualização tridimensional do projeto permite ao arquiteto solucionar melhor todos os desafios que são impostos pelo mesmo. A chance de ocorrer algum erro é minimizada. No entanto, cabe lembrar que uma projeção tridimensional permite ao arquiteto ir além do convencional e procurar sempre novas soluções criativas para as estratégias de projeto.

“...é o espaço interior, o espaço que nos rodeia e nos inclui. O fato de o do espaço, o vazio, ser o protagonista da arquitetura é, no fundo, natural, porque a arquitetura não é apenas arte e nem só imagem da vida histórica ou da vida vivida por nós e pelos outros: é, também, e sobretudo, o ambiente, a cena onde vivemos a nossa vida.” (ZEVI, 1996, p. 17)

Sabe-se que um modelo virtual e interativo tridimensional, não é apenas um equivalente a um modelo físico, em escala. É uma modelagem em escala real (1:1).

Representa as quatro dimensões da arquitetura: largura, altura, profundidade e tempo. A modelagem computacional tridimensional permite muitas possibilidades que não podem ser proporcionadas por maquetes ou qualquer outra representação tradicional.

“ ir além do convencional e explorar o movimento tanto no tempo quanto no espaço. As técnicas de visualização tridimensionais permitem... compreender o espaço e a forma, bem como textura, contraste e cor, na medida em que se explora o movimento espacial e temporal.” (KALISPERIS, 1996, p. 22).

Kalisperis na citação acima propõe que isso é uma possibilidade de se pensar da nova arquitetura tridimensional. O arquiteto agora tem, liberdade para criar formas diferentes, sem impedimentos passados, realizar e imaginar uma nova arquitetura com novas mídias tecnológicas.

2.4.3. NOVAS FERRAMENTAS E NOVOS PROCESSOS

O uso comercial de ferramentas paramétricas computacionais em arquitetura teve início durante os anos oitenta. Elas vinham sendo utilizadas anteriormente pela indústria automobilística, naval e aeroespacial para coordenar e conectar projeto e construção. (KOLAREVIC, 2003, p. 8). O emprego dessas tecnologias nessas indústrias consistiu numa reinvenção na forma de conceber os produtos.

“A parametrização permite que o projeto seja desenvolvido e avaliado em um ambiente virtual, onde a partir do modelo virtual sejam extraídas todas as informações necessárias para a fabricação dos componentes” (KOLAREVIC, 2001, p. 08).

Um paradigma baseado da rapidez de acesso e do fluxo de informações, no compartilhamento dos sistemas paramétricos permite que a materialização dos componentes da edificação possam ser confeccionadas fora do canteiro de obras .

A experiência do processo de desenvolvimento da construção na indústria naval, automobilística e espacial contribui sobremaneira para o avanço no processo de projeção, fabricação e construção das edificações. Permitiu desenvolver novos conhecimentos no processo de projeção, análise, fabricação e montagem

“O Guggenheim de Gehry jamais seria possível sem o aço local e a indústria de embarcações navais. Um grande número de outros projetos recentes, tanto de variadas escalas e orçamentos, fizeram uso criativo da expertise naval” (KOLAREVIC, 2003, p. 10).

Navios, mais do que edifícios, são objetos de considerável complexidade técnica. No entanto, em termos de escala e uso, existem suficiente similaridades com o projeto de edificação.

“Todos os sistemas CAD geram arquivos digitais. Antigos sistemas CAD produziam desenhos para plotagem. Eles geravam arquivos que consistiam primeiramente de vetores, associados: linhas-tipo, e camadas identificáveis. à medida em que estes sistemas foram desenvolvidos, informações adicionais foram adicionadas nos mesmos para permitir blocos de dados e textos associados. Com a introdução do modelo 3D, definições avançadas e ferramentas complexas de superfície foram adicionadas.” (EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 13).

Os sistemas CAD se tornaram mais inteligentes e mais usuários querem compartilhar dados associados ao projeto resultando na mudança do foco do desenho para a informação do objeto. Um modelo de edifício produzido pela ferramenta digital pode fornecer inúmeras vistas diferentes do objeto (da informação, conjuntamente com grupo do conjunto, incluindo várias vistas tridimensionais).

“Um modelo de prédio pode ser descrito pelo conteúdo dos seus itens. (o que descreve os objeto) ou suas capacidades (que tipo de exigências de informação pode suportar). A última abordagem é preferida, porque define o que você pode fazer com o modelo, um pouco do que como a base de dados é construída que variará com cada execução”. (EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 13).

A complexidade de algumas edificações são determinadas pelas tecnologias aplicadas às mesmas. As exigências e informações dos objetos do projeto são a base para a manufatura, porém só a precisão das informações permite a articulação entre todos os componentes da edificação.

Os novos processos paramétricos digitais permitem a produção de informações sobre atributos, comportamentos e inter-relações dos seus elementos arquitetônicos. Transformando a viabilidade do projeto do edifício em uma função direta do somatório de dados. Os componentes são configurados a partir de informações sobre os mesmos e seus comportamentos.

2.4.4. PROJETO PARAMÉTRICO

A utilização do conceito de parametrização não é recente nas práticas projetuais. Há diversos e antigos exemplos do uso de parametrização em arquitetura para expressar e definir uma linguagem específica, como a proporção das colunas dóricas e jônicas dos templos gregos.

Bridges conceitua a parametrização enquanto a relação direta e proporcional entre as dimensões e proporções da geometria, de forma que devem ser baseadas nas inter-relações destas variáveis.

“As dimensões e as proporções de um poliedro polígono ou outra estrutura poderá ser fixas, ou podem ser definidas parametricamente. Ou seja, os valores das coordenadas que definem os vetores podem ser expressas não como constantes numéricas, mas como funções de uma ou mais variáveis. Assim um sistema de equações está associada com a estrutura.

As variáveis independentes no sistema são então os parâmetros do objeto. Quando valores são atribuídos aos parâmetros, uma instancia particular é especificada” (BRIDGES, 1993, p. 06).

A partir da citação acima permite compreender a parametrização como um processo contínuo de exploração de várias possibilidades de projeto. Onde o processo de projeto procura definir a solução para um determinado problema.

A arquitetura Renascentista e seus tratados estavam concentrados em investigar e expor os princípios das estruturas intelectivas, frequentemente ilustrados em diagramas de elementos da arquitetura clássica (colunas, arcos, etc). Diagramas que definiam dimensionamento de linhas não são descritos com valores fixos, mas são expressões que definem esses valores como função de uma medida variável. Os valores eram definidos por meio de uma variável como a relação entre o diâmetro de uma coluna e a sua altura, por exemplo. (BRIDGES, 1993).

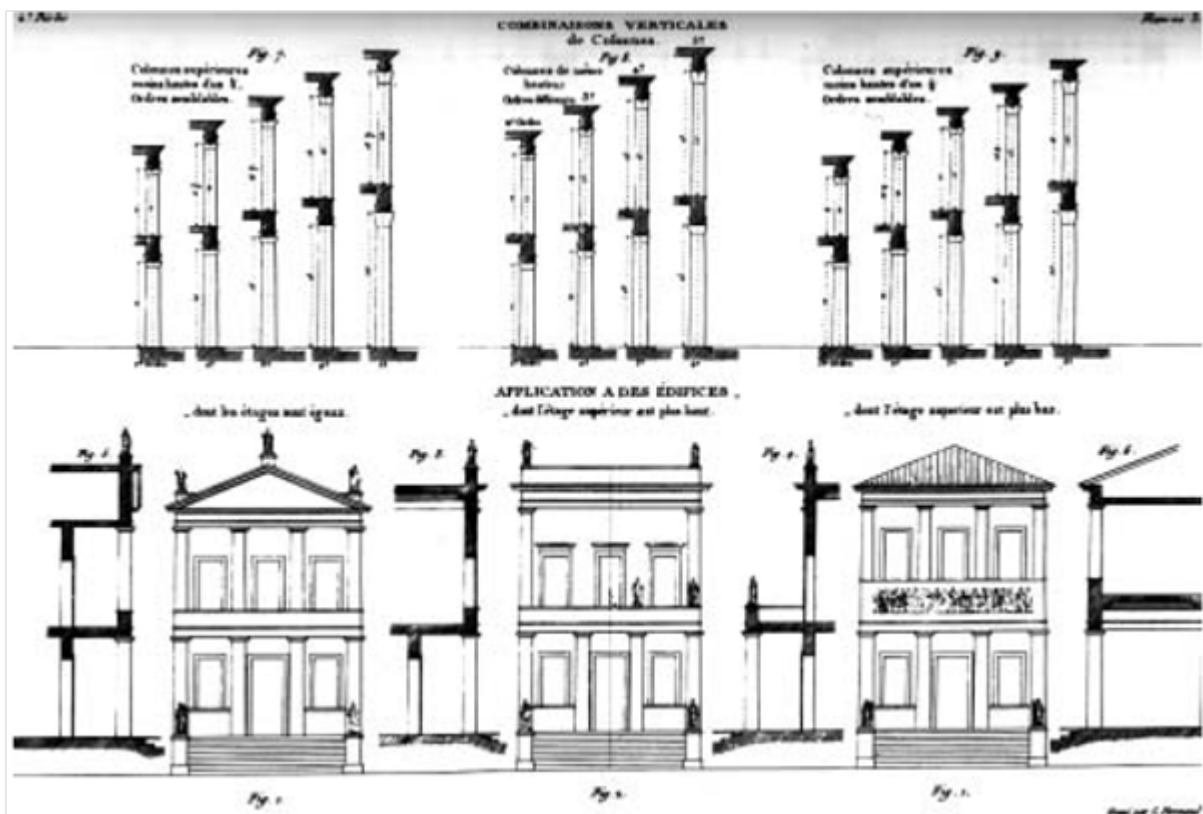


Figura 22 - Variação paramétrica de colunas na arquitetura renascentista
Fonte - Moreira (2008,p.33).

Na Figura 22, acima, é possível compreender como a parametrização é aplicada no campo da arquitetura. As colunas são parametrizadas, isso quer dizer que a cada novo valor associado aos parâmetros originais da coluna determina uma nova instância, particular e específica.

Utilizando os recursos de parametrização os arquitetos renascentistas construía edificações que apesar de possuírem proporções diferentes ainda guardavam relações entre si. Assim, o arquiteto obtinha componentes construtivos que atendiam essa relação proporcional necessária a consecução de seu objetivo final, uma definição espacial harmônica. À medida que atribuía valores à expressão paramétrica ele obtinha um componente diferente, mas estava de acordo com as especificações da arquitetura clássica. (Figura 22).

O maior tratadista de arquitetura do Renascimento, Leon Battista Alberti, no seu texto fundador de *Re AEdificatoria*, apresentou grande ênfase aos aspectos formais dos edifícios, principalmente com relação a proporção, definindo-a da forma como a entendemos hoje: “a relação das partes de uma determinada composição entre si e das partes com o conjunto”.

No Renascimento, os arquitetos faziam uso da parametrização dos elementos clássicos. As dimensões dos elementos arquitetônicos clássicos eram definidos a partir de expressões matemáticas onde para cada valor inserido na expressão havia uma solução correspondente. Dessa forma era garantido ao arquiteto o surgimento de novas soluções formais que atendessem a tipologia definida pela relação matemática (BRIDGES, 1993,p.07).

Os sistemas CAD potencializaram as vantagens oferecidas pelos sistemas paramétricos. Isto ocorreu quando possibilitaram que o arquiteto pudesse gerenciar uma grande quantidade de parâmetros, ao mesmo tempo.

“Nos sistemas CAD estas definições paramétricas podem ser codificadas como procedimento. Um exemplo simples em Pascal apresenta os parâmetros do objeto sendo usados como parâmetros de procedimento. A entrada da informação (“input”) para o procedimento é um conjunto de valores de parâmetros e a saída da informação (“output”) é a informação estruturada de dados que representa explicitamente a instancia correspondente” (BRIDGES, 1993, p. 07).

A parametrização é um método em que a arquitetura é definida através da especificação das regras de posicionamento e proporções dos seus objetos. Pascal ao defender que o conceito de parametrização possibilita definir os dados a partir dos seus componentes e das interações entre os mesmos. Desta forma, o foco para determinar a geometria no processo de projeção muda, fundamentados nos procedimentos internos que a define.

*“A introdução de objetos paramétricos permite que a exploração do projeto seja tratada como uma questão da variação paramétrica. Assim, atribuindo diferentes valores a um objeto, para permite gerar a instância correspondente e inspecionar o resultado”.
(BRIDGES, 1993, p. 07).*

A citação acima afirma, com outras palavras, que o modelo parametrizado consiste em um conjunto de variáveis com seus diferentes valores que definem uma forma geométrica. As variáveis dos elementos podem conter valores que definem a forma, e também valores que definem a posição dos mesmos em relação aos demais.

Um(a) arquiteto(a) deve ser razoável, o que permitirá justificar as decisões que toma e a sua intenção. Neste sentido, o(a) arquiteto(a) precisa definir princípios de aplicações paramétricas que irá utilizar, auxiliado pelo computador, de forma que poderá explicitar seus julgamentos e justificar suas escolhas, além de expressar seus juízos.

Desta forma, a parametrização é um conceito que vem sendo utilizado no desenvolvimento do projeto de arquitetura, partindo de parâmetros de atributos completos ou relevantes de um modelo ou objeto geométrico.

Corroborando com este conceito, Branko Kolarevic descreve o projeto paramétrico da seguinte maneira:

“No projeto paramétrico, são os parâmetros de um projeto específico que são informados, não sua forma. Através de atribuição de diferentes valores aos parâmetros, diferentes formas de objeto ou configuração dos mesmos podem ser criados. Equações podem ser usadas para descrever as relações entre os objetos, definindo assim uma geometria associativa” (KOLAREVIC, 2003, p. 17).

Resumindo a citação acima, as variáveis paramétricas definem a forma e a posição dos elementos entre si. Assim, ao se alterar a dimensão dos objetos ou posição dos mesmos, obtemos uma geometria associativa decorrente dessa modificação.

Semelhantemente a Bridges, Kolarevic afirma que o projeto paramétrico possibilita definir arquiteturas a partir de seus componentes e das interações entre os mesmos. A partir deste princípio o(a) arquiteto(a) muda o seu enfoque projetual da geometria para os dados que a define.

No livro “ BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling” Eastman define o projeto paramétrico com outras palavras, mas o conceito é o mesmo:

“No projeto paramétrico, ao invés de se projetar uma representação de um elemento construtivo como uma parede ou uma porta, o projetista define uma família de modelos ou uma classe de elementos, que é um conjunto de relações e regras para controlar os parâmetros, através das quais cada elemento informado pode ser gerado, variando de acordo com o seu contexto. Os objetos são definidos usando parâmetros envolvendo distâncias, ângulos e regras do tipo: unido a, paralelo a, distante de. Estas relações permitem que cada instância de uma classe de elementos varie de acordo com a configuração de seus próprios parâmetros e relações contextuais” (EASTMAN, TEICHOLZ, et al., 2008, p. 29).

A partir da citação acima o que se entende é que no modelo paramétrico os elementos que compõem a forma e a localização deles em relação aos demais componentes do objeto correspondem às famílias citadas por Eastman. Assim ao se alterar a dimensão dos objetos ou posição dos mesmos obtemos um resultado diferente.

O conceito de objetos paramétricos é central para entender os sistemas BIM e suas diferenciações do sistema de projeção tradicional bidimensional de objetos.

Os sistemas paramétricos diferem dos sistemas genéricos de representação e modelagem digitais, ao permitir alterar o modelo durante todo o processo de projeção simultaneamente. Permitem também gerar e testar grande quantidade de versões dentro de um ambiente controlado de projeto (Figura 21). Esses resultados são possíveis a partir da simples mudança de valores de um parâmetro específico.

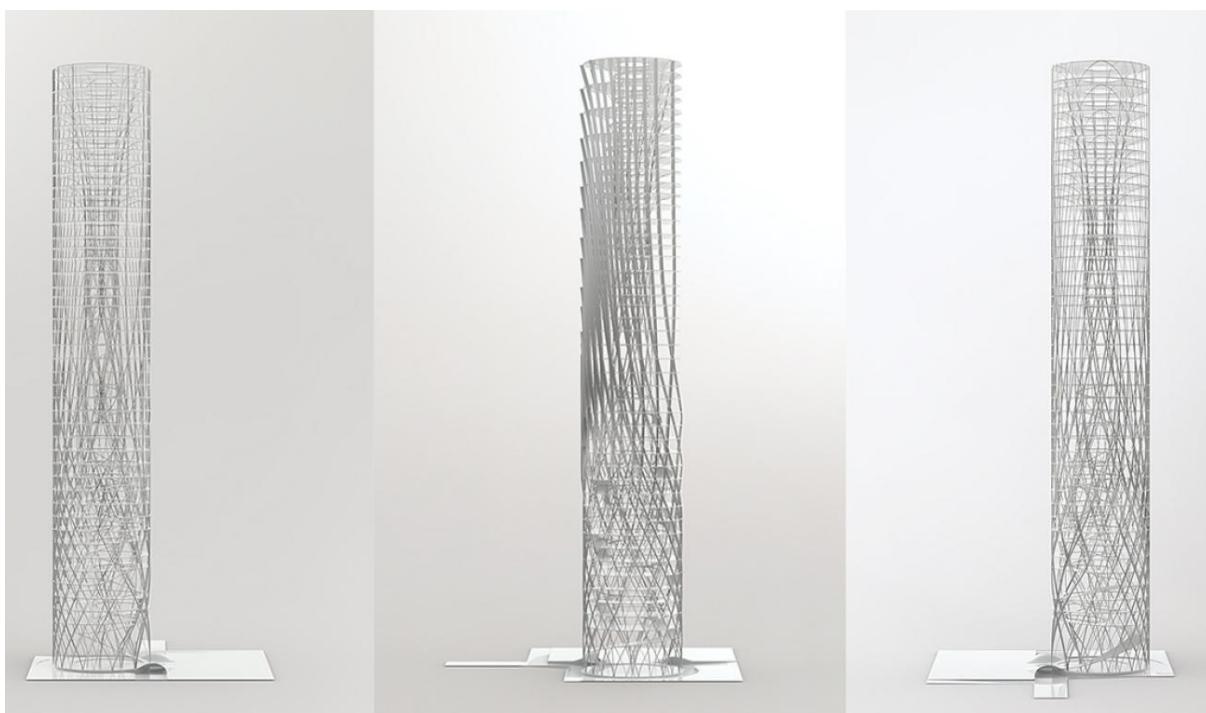


Figura 23 - Possibilidades da Parametrização
Fonte - digisapiesschool.nu/nckx23/kusntall/. Acesso em: 10/08/2015

A partir da Figura 23 é possível perceber que os sistemas CAD potencializaram as vantagens oferecidas pelos sistemas paramétricos. Ao mesmo tempo, proporcionam uma rápida visualização das diversas formas à medida que se altera as variáveis dos parâmetros.

No modelo paramétrico a forma e a geometria de montagem são automaticamente ajustadas. O recurso de parametrização oferece ao arquiteto um elevado nível de controle sobre a arquitetura projetada. As regras dos objetos

podem definir quando uma mudança particular viola a realidade dos objetos a respeito do tamanho, da manufaturabilidade, etc. (MOREIRA, 2008, p. 93).

“Consiste em definições geométricas e dados e regras associados. A geometria é integrada, não redundante, e não permite nenhuma inconsistência. Quando um objeto é modelado tridimensionalmente, sua forma não pode ser representada internamente errada, por exemplo, como ocorre nas múltiplas visualizações bidimensionais. Uma planta e uma elevação de um dado objeto devem sempre ser consistentes. As dimensões não podem ser falsificadas”. (EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 30).

A parametrização associada apesar de construir tamanhos, formas diferentes ainda guardam relações plásticas entre cada componente. Desta forma, o arquiteto pode aumentar o número de elementos construtivos que atendessem a suas necessidades de projeto. À medida que atribui valores à expressão paramétrica obtêm-se um componente diferente, mas de acordo com as especificações da arquitetura.

A abordagem paramétrica é constituída de um modelo projetual, no qual a arquitetura surge a partir da definição dos parâmetros e das inter-relações entre seus componentes. Dessa forma a alteração, inserção, ou remoção de um dos parâmetros resulta na modificação de todo o objeto arquitetônico (SILVA e AMORIM, 2010, p. 5).

Objetos paramétricos são definidos por Eastman como se segue: o projeto paramétrico se condiciona nas através da definição das relações entre os diversos elementos de um conjunto. Permite-se construir um verdadeiro complexo de objetos em interação. A parametrização ocorre a partir de um conjunto de regras onde o todo se caracteriza através das inter-relações entre as diversas partes constituintes. Os objetos têm a habilidade de ligar ou receber, transmitir ou exportar os conjuntos dos atributos, por exemplo, material estrutural, dados acústicos, etc.

O projeto paramétrico se condiciona nas variáveis através da definição das relações entre os diversos elementos de um conjunto. Permite-se construir um verdadeiro complexo de objetos em interação. A parametrização ocorre a partir de

um conjunto de regras onde o todo se caracteriza através das inter-relações entre as diversas partes constituintes. Os objetos estão vinculados às informações de ligar ou receber, transmitir ou exportar os conjuntos dos atributos, por exemplo, material estrutural, dados acústicos, etc. (MOREIRA, 2008, p. 94).

“As regras paramétricas para objetos automaticamente modificam a geometria associadas, quando introduzidas em um modelo do edifício ou quando as mudanças forem feitas nos objetos associados. Por exemplo, uma porta se encaixará automaticamente em uma parede, um interruptor de luz será localizado automaticamente no lado apropriado da porta, uma parede se redimensionará para se encontrar automaticamente com um teto ou um telhado, etc.” (EASTMAN, TEICHOLZ, et al., 2008, p. 14).

Os objetos podem ser definidos em níveis diferentes de agregação. Dessa forma, assim que nós definirmos uma parede teremos automaticamente os seus componentes relacionados. Os objetos podem ser definidos e controlados em diversos de níveis de hierarquia. Por exemplo, se o peso de um subcomponente da parede muda, o peso da parede igualmente deverá mudar. (MOREIRA, 2008, p. 95).

A difusão dessas técnicas de desenho paramétrico e a incorporação das ferramentas digitais na construção civil têm influenciado não apenas a forma como a arquitetura é produzida, como também tem se configurado numa nova abordagem. Não se trata apenas do uso de um determinado conjunto de ferramentas e técnicas. A parametrização vai além, oferece aos arquitetos uma maneira nova de se relacionar com a arquitetura. Trata-se de uma abordagem avançada.

2.4.5. PRIMEIRA GERAÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS

A tecnologia do Building Modeling baseada em sólidos tridimensionais foi desenvolvida pela primeira vez no final da década de 1970 e começos de 1980

O mais antigo documento sobre uma experiência sistemática sobre o conceito do que hoje se entende como um protótipo dos sistemas BIM, foi “Building Description System- BDS” publicado no extinto Jornal AIA por Charles “Chuck” Eastman, então professor na Universidade do Carnegie-Mellon, em 1975.

“...definição interativa de elementos... derivação de cortes, plantas isométricas ou perspectivas a partir da mesma descrição dos elementos de origem ... Qualquer mudança de arranjo deverá ser feita apenas uma vez para todos os desenhos futuros a serem atualizados. Todos os desenhos derivados do mesmo arranjo de elementos deverão ser atualizados automaticamente de forma consistente...Qualquer tipo de análise quantitativa poderá ser gerada diretamente da descrição do elemento.. Estimativas de Custos e ou quantidades de materiais podem ser extraídas facilmente do modelo... provendo uma base de dados integrado ao modelo proprietário para análises visuais e quantitativas... verificação automatizada do edifício de acordo com o código de prefeituras ou no escritório do arquiteto. Construtores de grandes projetos podem achar esta representação vantajosa para cronogramas e requisitar materiais.” (EASTMAN 1975, apud, LAISERIN, 2008, in EASTMAN, 2008, p. XI).

O BDS é uma biblioteca de várias centenas de milhares de elementos arquitetônicos, que podem ser montados e elaborados na interface do usuário resultando em um conceito completo de projeto para edificação.

Esta foi a primeira geração de ferramentas de modelagem tridimensional facetada de modelagem de objetos cilíndricos com atributos associados, que permitiam que os objetos fossem compostos por conjuntos de elementos para definir os edifícios. Esta abordagem de atributos inserida à modelagem foi um importante precursor da modelagem paramétrica moderna.

Mas vale lembrar que a forma, volume, superfícies e as propriedades dos elementos delimitam formas e não um espaço circunscrito ao modelo. O BDS não definia os espaços explicitamente. Ele era geralmente definido implicitamente, como aquilo que está entre as paredes, o chão e o teto. (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008, p. 35).

Segundo este sistema BDS desde o início os conceitos de modelagem tridimensional são simultâneos à análise integrada e à simulação dos condicionantes. As etapas de desenvolvimento são realizadas em paralelo com os conhecimentos de projeto arquitetônico, elétrico e mecânico. O conceito inicial dos sistemas BDS previa a integração entre todas as áreas de arquitetura e engenharia resultando em um alto grau de simulação e sinergia entre as disciplinas.

Esta modelagem inicial de formas poliédricas podiam ser usadas para compor uma imagem, porém não permitiam criar formas mais complexas. Em 1973, a criação fácil e edição de modelos de sólidos 3D mais orgânicos foi desenvolvido separadamente por três grupos, Ian Braid na Universidade de Cambridge, Bruce Baumgart em Stanford, e Ari Requicha e Herb Voelcker na Universidade de Rochester. Conhecido como solid modeling, esses esforços produziram a primeira geração de modelagem 3D para ferramentas de design. (EASTMAN, 1999)

Duas formas de modelagem de sólidos foram desenvolvidas e competiam pela supremacia das abordagens do *Building Modeling*. A abordagem da representação por bordas (B-rep ou *evaluated shapes*) e a abordagem da geometria construtiva dos sólidos (Constructive Solid Geometry – CSG ou *unvaluated shape*).

A representação por bordas (B-rep ou *evaluated shapes*) define as formas dos objetos usando operações de união, intersecção e subtração, denominadas como operações Booleanas. Para as operações de refino dessas formas poliédricas utilizam o chanfrar, fatiar ou mover uma cavidade dentro de uma única forma. As ferramentas booleanas e de refino das formas garantem a exatidão das bordas dos objetos para delimitar o volume. Essa abordagem para modelar objetos tridimensionais não apenas apresenta as definições das suas linhas de borda, mas as coleções de superfícies descritas por seus contornos e curvaturas gerando objetos com volume.

A representação por bordas consiste de dados que diretamente correspondentes às linhas que definem a forma. Uma vez que o limite de um sólido é a sua superfície, o que separa o interior do exterior, a sua definição é restringida a limitar os dados às bordas do sólido. Para alterações ou regeneração dos objetos serem acessíveis as definições das bordas devem definir novas superfícies.

Outra abordagem método de geometria construtiva por sólidos - *Constructive Solid Geometry* (CSG ou *evaluated shapes*). Esse enfoque permite a modelagem de um objeto complexo que é construído a partir de alguns operadores booleanos ou seja, união de conjunto, intersecção e diferença que combinam elementos mais simples para dar ao objeto a sua forma final. Assim, um sólido CSG pode ser escrito como um conjunto de equações e também pode ser considerada como uma metodologia de concepção.

Nesse método a forma final do elemento complexo é uma hierarquia ramificada de ações booleanas que determinam a forma final. O exemplo dessa representação a partir das operações ramificadas pode ser observado por meio figura 24.

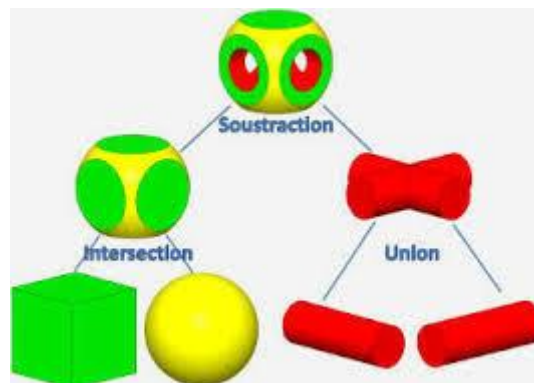


Figura 24 - Construcao de Geometria por Sólidos
Fonte - <https://www.cadinterop.com> (Acessado em 10/06/2015)

A figura 24 ilustra o conceito de *Constructive Solid Geometry* (CSG ou *evaluated shapes*) onde se percebe claramente os percursos necessários par definir a forma do objeto.

A modelagem da forma pode ser alterada, editada a qualquer tempo pelos dois enfoques. A metodologia de concepção pela hierarquia de operações ramificadas a CSG ou *unevaluated shape* possibilita a modelagem de sólidos a partir de um elemento inicial que sofrerá a ação de outras formas, essas ações podem ser de acréscimos ou subtrações desse objeto primitivo. Nessa representação fica claro o percurso utilizado foi para gerar a forma final. Dessa maneira, qualquer alteração em um dos percursos alterará também o resultado.

2.4.6. MODELAGEM PARAMÉTRICA BASEADA EM OBJETOS

A ideia central na modelagem orientada a objetos parte do pressuposto que as ferramentas digitais devem simular um ambiente tridimensional “real”. Ao invés de representar apenas a geometria das entidades, a modelagem paramétrica orientada a objetos representa também as propriedades, os comportamentos e as inter-relações das mesmas. De fato, a partir dessa premissa compreende os conceitos de simulação desses “ambientes reais” que podem enviar e receber comandos imperativos de ações e reagir a essas mensagens que recebem (SEBESTA, 2013, p. 97).

A modelagem paramétrica orientada a objetos é uma continuidade da CSG e B-rep, principalmente na década de 1980 a partir de um intenso desenvolvimento industrial, especialmente pela *Parametric Technologies Corporation* (PTC). O ponto central dessa abordagem é a criação de várias instâncias a partir de um objeto fonte, ou a partir de regras e dados que possam definir vários objetos.

O ponto chave nessa metodologia de concepção é a modelagem de uma variabilidade de objetos. As propriedades que regem e controlam os objetos devem

ser pautadas em uma hierarquia de informação e regras. A variabilidade dos objetos pode ser inter-relacionada ou ser característico de um objeto individual (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008, p. 29).

Nos sistemas CAD genéricos cada aspecto da geometria de um elemento deve ser editado por poucos parâmetros ou até manualmente pelos usuários.

Os sistemas genéricos tridimensionais representam os objetos por meio de geometrias fixas e propriedades, enquanto nos sistemas BIM os objetos são representados por meio de parâmetros e regras que determinam a geometria assim como algumas propriedades, conforme ilustra a Figura 23, abaixo. Os avanços na área da computação gráfica e de novos métodos de construção culminaram com o desenvolvimento dos sistemas de modelagem da informação da construção, os sistemas BIM.

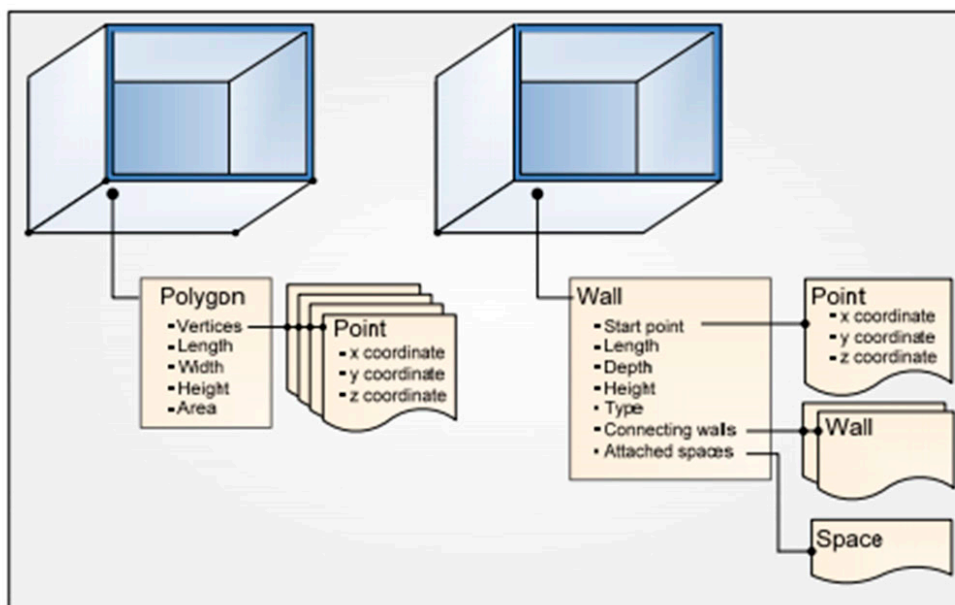


Figura 25 - CAD Genérico vs. BIM descrição dos elementos
Fonte: SABOL, 2008, p. 06.

Como se pode inferir a partir da imagem acima nos sistemas BIM os componentes do edifício são objetos digitais codificados que descrevem e representam atributos, propriedades, comportamentos e inter-relações. Ao contrário

do que representam os sistemas CAD genéricos que contem apenas informações sobre a geometria e atributos não geométricos.

Nos sistemas BIM, ao invés de modelar uma instancia ou elementos da edificação como uma parede ou porta, o arquiteto parte do princípio de definição de famílias ou classes de elementos, que contem um conjunto de inter-relações e regras para controlar os parâmetros em que cada instancia poderá ser modelada, porém as inúmeras variações de larguras e alturas que dependem de alguns parâmetros pré-definidos (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008, p. 29).

Destacamos, também, que a modelagem paramétrica baseada em objetos permite que as regras também possam ser definidas a partir das necessidades do arquiteto, gerando um projeto que pode ser incrementado de informações a partir do detalhamento das mesmas, como as suas regras, e a verificação da implementação delas. (FERREIRA e LEITAO, 2015, p. 03)

A atualização de novas informações pelos parâmetros do objeto a todo o momento do desenvolvimento do projeto permite uma vasta possibilidade de evolução no processo de projeto.

“Portanto, as aplicação concreta de um objeto arquitetônico paramétrico são definidas usando parâmetros que delimitam distâncias, ângulos e regras como **unida a, paralela a e distante de**. Estas relações permitem que cada instância de uma classe de elemento possa variar de acordo com as suas próprias definições de parâmetros e relações contextuais.” (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008, p. 29).

A premissa de atributos e inter-relações como pode ser observada por meio da citação acima permite a utilização desses sistemas pelo arquiteto para construir um modelo virtual da edificação que conterà as informações sobre os atributos, comportamentos e inter-relações dos seus elementos arquitetônicos.

Devido ao uso do conceito de parametrização uma das consequências seria a de que parâmetros e regras permitem que os objetos possam ser atualizados

dinamicamente de acordo com o controle do usuário ou a partir de mudanças das inter-relações entre os parâmetros de várias instâncias.

2.4.7. OS SISTEMAS BIM DA FAMÍLIA AUTODESK

Os sistemas BIM surgiram em resposta a uma necessidade latente da construção civil. Estes são a nova geração de ferramentas CAD inteligentes orientada para objeto. Por meio deles inicia-se uma nova era para os profissionais que atuam na área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Esta abordagem visa à competitividade e melhoria contínua no processo de desenvolvimento do produto.

As representações nos antigos sistemas CAD, não possibilitavam a criação de um avançado banco de dados de informações adicionais, nem a extração de informação do modelo. As transferências de informações entre os membros da equipe, de obras cada vez mais complexas, se tornaram cada vez mais dispendiosas e passíveis de erros e inconsistências.

“ cada vez mais os sistemas CAD se tornaram inteligentes e mais usuários necessitavam trocar as informações associadas do modelo a partir de um projeto, o foco então mudou, dos desenhos e representações de imagens tridimensionais para os dados e informações deles mesmos”. (EASTMAN, TEICHOLZ, et al., 2008, p. 12).

Conceitualmente a partir da citação acima, os sistemas BIM são modeladores paramétricos específicos baseados em objeto que fornecem um conjunto pré-determinado de sistemas de famílias, cada uma contendo atributos, comportamentos predeterminados. (EASTMAN, PAUL, et al., 2008, p. 34)

Os sistemas BIM permitem a construção de um modelo virtual do edifício preciso antes de sua construção. A partir desta premissa os sistemas BIM prometem

revolucionar a construção civil. A criação do modelo tridimensional que reúne todas as disciplinas de projeto de um edifício e seus complementares, permite que seja possível desde o início da sua implementação a detecção antecipada de incompatibilidades.

“A tecnologia de modelagem tridimensional no BIM é associada a um conjunto de processos para a produção, a comunicação e análise de modelos de edificações (...)

*Os **componentes do edifício** são representados através de representações digitais inteligentes. “Os objetos “sabem” o que são, e podem ser associados com computação gráfica e atribuição de dados dos componentes, e regras paramétricas”.*

*Os **componentes incluem dados** que descrevem como eles se comportam, conforme necessário para análises e processos de trabalho, por exemplo, visualização, especificação, e análise de energia” (EASTMAN, TEICHOLZ, et al., 2008, p. 13).*

A forma da projeção nos sistemas BIM é diferenciada porque ao incluir um componente do edifício ele não é somente uma representação visual do que ele aparenta ser. Na verdade, ao inserir informações no modelo, as mesmas são inseridas no banco de dados do modelo. Assim é possível extrair informações do modelo a qualquer momento para enviá-las a outro software ou apenas extrair os dados para elaboração do quantitativo.

Dados e informações constituem a base dos sistemas BIM. Para entendê-lo é necessário compreender o modelo único digital da edificação, é mais que uma representação em três dimensões. Nos sistemas BIM o objeto é um somatório de componentes que podem ser descritos pelos seus atributos e comportamentos, resultando assim no tipo de informação que se poderá extrair do modelo. (FLORIO, 2007, p. 10).

Portanto, uma família de objetos nos sistemas BIM permite a criação de inúmeras instancias (aplicação concreta de um objeto arquitetônico paramétrico] de objetos com formas que são dependentes dos seus parâmetros nas inter-relações com os outros objetos.

Contudo, os sistemas BIM requerem dos seus usuários habilidades e conhecimentos no domínio específico de suas áreas para que os objetos modelados mostrem comportamento inteligente, implementando uma prática que vai além do desenho técnico. Dessa forma, os sistemas BIM inovam ao oferecer ao arquiteto todas as informações de projeto e seus complementares em um modelo único antes da execução.

O grande incremento dos sistemas BIM (Graphisoft Archicad, Autodesk Revit ou Bentley Architecture) é possibilitar ao usuário a implementação de famílias de sistemas. Estas famílias contêm vários tipos pré-estabelecidos de elementos básicos de construção como paredes, lajes, forros e escadas para serem utilizados na modelagem do objeto. Essas famílias pré-configuradas permitem ao usuário inicial dar início ao modelo na interface do usuário sem perder um vasto tempo para definir vários parâmetros do objeto.

Além disto, um dos objetivos dos sistemas de família é permitir a possibilidade de alteração a partir de uma simples duplicação para a sua edição. Outra vantagem desse sistema é que há um amplo conjunto de famílias padrão que podem ser facilmente customizadas e incorporadas para definir novos comportamentos nas instâncias.

A edificação é uma reunião de instâncias, ou seja, a individualidade dos objetos em si e sua localização no projeto, ressalta que este conceito abrange as plataformas Graphisoft Archicad, Autodesk Revit ou Bentley Architecture. A modelagem da edificação é definida pelo arquiteto com o controle paramétrico dimensional dos dados. Ao definir restrições de modelagem como grids, níveis de pisos, coberturas ou outros planos de referência global para definir as instâncias, o(a) arquiteto(a) faz uso dos parâmetros de inter-relação para modelar as instâncias das famílias. Conjuntamente, as instâncias dos objetos são definidos parametricamente, e posteriormente inseridos na modelagem da edificação, definindo, assim, a instância do edifício. (EASTMAN, PAUL, *et al.*, 2008).

No sentido de entender melhor essas informações de como a modelagem paramétrica se comporta nos sistemas BIM, partiremos do princípio de uma estrutura da família de paredes.

Uma explicação, esta tese implementou o algoritmo na plataforma Revit para avaliar apenas a funcionalidade do algoritmo. Como será discutido em maior detalhes na próxima seção, o algoritmo também pode ser implementado em vários sistemas como o Revit Architecture, Revit MEP, Revit Engineering; Infrastructure Design Suite, NavisWorks, Structural Analysis for Revit em todos os outros programas gráficos da família Autodesk. Além também de ser interoperável com o Rhinoceros/Grasshopper.

Os sistemas *Building Information Modeling* (BIM) constituem mais do que um modelo para a visualização do espaço projetado. Produzem modelos digitais compostos por banco de dados que permitem agregar informações para diversas finalidades, além de um aumento de produtividade e racionalização do processo. Esses sistemas são atualmente comumente conhecidos como Modelagem da Informação da Construção ou Modelo paramétrico da Construção Virtual. (SUERMANN, 2009, p. 86).

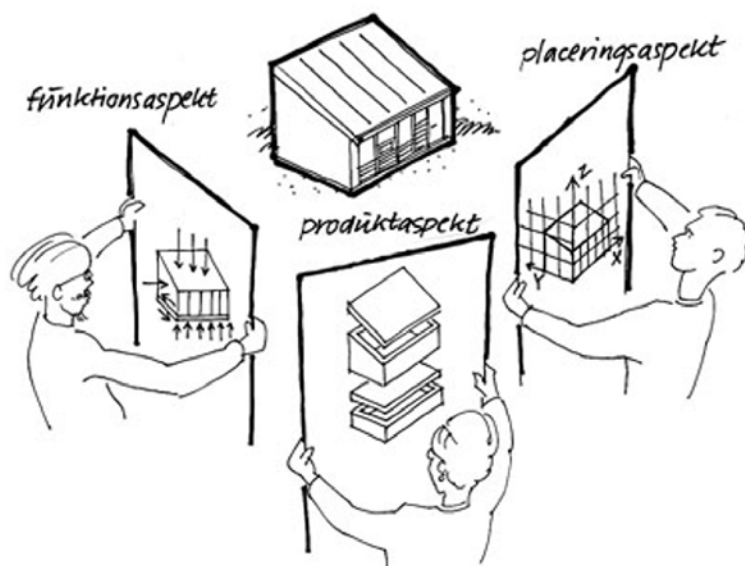


Figura 26 - Os diferentes aspectos através de cada vista do modelo
Fonte - <http://www.detdigitalebyggeri.dk/content/view/169/494/1/6> (Acessado em 10/06/2016)

A Figura 26 tenta ilustrar este conceito de modelo único do BIM, também possibilita a definição de dados e atributos. A partir dele é possível extrair as informações necessárias para uma dada finalidade, representação ou quantitativos.

Esta ideia de objetos divididos em categorias, ou tipo, ou famílias é a forma de se pensar em projetar nos sistemas BIM. O arquiteto ao modelar nos sistemas BIM deve ter sempre em mente que as informações inseridas na interface do usuário serão geridas para várias finalidades como simulações ambientais ou de sinistro e, além disso, para a troca de informação entre os vários participantes da construção. Estas serão usadas para a visualização dos componentes na área de trabalho, ou para o entendimento da espacialidade tridimensional ou para a extração de dados, etc.

O conceito de sistema de famílias para as paredes é consequência desta família que já vem disponível dentro da plataforma para posterior geração de inúmeros tipos a partir de uma família já existente. Comumente, as paredes sempre estão associadas com a sua geometria vertical, porém assim como em todos os modeladores de objetos genéricos ela pode ser rotacionada, angulada de várias maneiras possíveis a partir da necessidade de projeto, incluindo paredes curvas e horizontais.

A geometria de uma parede também define o seu volume. As bordas que definem esse limite também definem suas faces, que devido aos seus parâmetros que podem ser definidos por limitadores tais como “conectada a um nível” ou por inserção de dados diretos.

A espessura como pode ser entendido a partir da figura Figura 25 é definida pelas camadas de informação a partir do core. Levando em consideração o sistema construtivo nacional o core seria a alvenaria e as camadas adjacentes argamassa, reboco e revestimento.

Layers					
EXTERIOR SIDE					
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material
1	Finish 1 [4]	Masonry - Bri	90' 0"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Thermal/Air L	Misc. Air Laye	750' 0"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Membrane La	Wood - Sheat	0' 0"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Substrate [2]	Wood - Glue-	18' 0"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Core Boundary	Layers Above	0' 0"		
6	Structure [1]	Metal - Stud	150' 0"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Core Boundary	Layers Below	0' 0"		
8	Membrane La	Vapor / Moist	0' 0"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Finish 2 [5]	Fabric	12' 0"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 27 - Camadas de informação no BIM Revit Autodesk
 Fonte: knowledge.autodesk.com (Acessado em 16/06/2015)

As elevações das paredes comumente estão associadas os planos de trabalho, como os níveis de pavimento, ou a uma laje, ou pela inserção de dados direta pela dissociação dela o nenhum plano de trabalho. Resumindo, uma parede está associada a todas as instâncias do objeto que se vincula a ele, assim como os vários espaços o delimita.

A redução de desperdício de materiais e tempo se materializa devido a não existência de fases estanques no processo de projeto, utilizado pelos sistemas BIM que trabalham com uma única representação para todo o processo. Neste sistema há uma série de informações detalhadas de cada objeto antes de chegar ao canteiro de obras, esse detalhamento das informações é possível devido as tomadas de decisões que são decididas pela toda equipe de construção.

Portanto, com o uso dos sistemas BIM não é necessário definir os ambientes pela planta baixa e depois a localização de janelas e portas, o projeto é definido tridimensionalmente, holisticamente, ou seja, do tridimensional onde se detecta mais facilmente qualquer interferência entre os complementares.

Outro conceito importante nos sistemas BIM é o de escalabilidade, ou seja, todas as informações necessárias a execução do projeto estão sempre presentes no modelo único. No entanto, os sistemas proporcionam diferentes níveis de detalhamento na visualização do modelo dependendo das necessidades momentâneas do arquiteto, cliente e construtor. Por exemplo, o modelo mostrará as esquadrias de forma simplificada se visualizado em escala 1:100. Por outro lado,

mostrará todos os detalhes dos caixilhos das esquadrias se visualizado em escala 1:50. Em ambos os casos todas essas informações estavam presentes na base de dados.

Outro conceito relevante no sistema BIM está aplicado ao seu nível de desenvolvimento – LOD (Level Of Development). A Viscosoftware que é uma companhia que desenvolve plataformas de custos de construção percebeu as vantagens de extrair os custos diretamente a partir de um modelo BIM, mas também diagnosticou que essa tarefa não é simples.

Como se define o quão exato, ou a que tempo os elementos de modelo se encontram a nível de detalhe com todas as informações necessárias para a equipe, resumindo esses objetos possuem as informações necessárias para uma extração mais precisa.

O nível de desenvolvimento (LOD) é uma escala de referência que dota os profissionais da indústria de construção para especificar e articular com um elevado nível de clareza as informações e mais detalhadas dos modelos no BIM, durante os vários estágios no processo de concepção e construção. As especificações básicas do LOD foi desenvolvido pela AIA para a AIA G202-2013 *Building Information Modeling Protocol Form*¹³.

AIA Contract Document G202-2013, *Building Information Modeling Protocol Form faz parte de uma série de documentos de pratica digital* que a AIA publicou em junho de 2013 (MADRID, 2013, p. 115).

Desta forma o escalonamento de qualidade de desenvolvimento segue algumas etapas definidas pelos padrões de desenvolvimento do objeto:

LOD 100 – é o desenho de conjunto dos traços iniciais, uma visão geral do modelo, basicamente instruirá o modelo pelo seu volume, orientação e área.

LOD 200 - Contêm uma visão geral com informações aproximadas de tamanho, forma, localização e orientação. Lembrando, que são medidas aproximadas, não definitivas.

¹³ AIA - O Instituto Americano de Arquitetos atualiza esse documento anualmente. Fonte : www.aia.org/digitaldocs. (Acessado em 08/05/2017)

LOD 300 – Contêm informação e geometria precisa, faltando apenas de detalhes construtivos, porém ainda não completo.

LOD 400 – Contem detalhes necessários para a fabricação ou construção e seu nível de medição é exato.

LOD 500 - representa o objeto como deverá ser construído, com as condições conforme a obra (AIA, 2013).

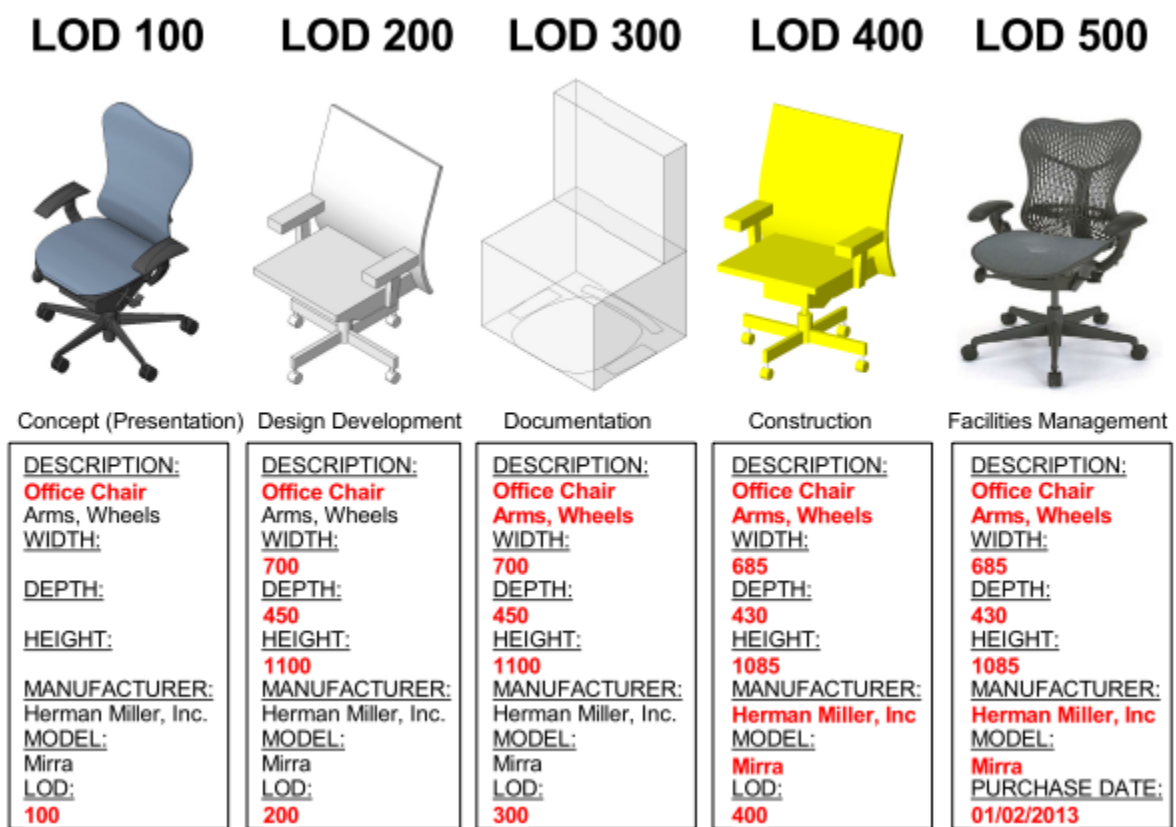


Figura 28 -Nível de Desenvolvimento
 Fonte – practicalBIM (Acessado em 08/05/2016)

Como pode se observar pela imagem acima os dados em vermelho de acordo com cada nível de desenvolvimento podem ser editados.

A qualidade da informação é uma forma de compreender o nível de desenvolvimento e veracidade da informação existente dentro do objeto. Entre os

participantes do projeto deve existir escalas de menor e maior desenvolvimento que definem essas diferenças entre a exatidão da informação.

Outro ponto importante, que se deve compreender que o nível de desenvolvimento em nenhum caso se refere a totalidade do projeto e também não há a vinculação com a fase de desenvolvimento da construção, portanto estes níveis são aplicados a cada elemento do modelo.

Para definir que o projeto tenha chegado a um determinado nível LOD é necessário que todos os elementos estejam no mesmo nível. Então, o mais comum é demonstrar a intenção de certo objeto ao um nível de desenvolvimento e que o projeto tenha alcançado a um certo grau de desenvolvimento (LOD).

2.4.8. OS SISTEMAS BIM E O BANCO DE DADOS

Os princípios no sistema BIM se denotam no sentido que todo elemento é um objeto. O princípio geral que rege os objetos e conseqüentemente o banco de dados nos sistemas BIM:

- Métodos dos objetos: ações que os objetos realizam ou como se comportam perante os outros objetos, como ele é associado a uma parede, ter inter-relações com os níveis das vias;
- Propriedades dos objetos: caracterizada pelas camadas de informações, parâmetros de família, dimensão, geometria e outros atributos.

Assim como o banco de dados reporta as informações de cada objeto, é essencial entender as particularidades das informações relacionadas entre os sistemas BIM e seu banco de dados.

A intenção dos sistemas BIM que o banco de dados seja habilitado para que a informação possa ser facilmente acessada, consultada, analisada e atualizada durante a resolução do projeto arquitetônico. Contudo, como foi discutido em capítulos anteriores essa promessa ainda não foi cumprida.

Com isso, o banco de dados deve conter, conceitualmente, todas as informações essenciais para a simulação da realidade do modelo . Contudo, até hoje essa abordagem não se encontra implementada em nenhum sistema comercial.

Nesse sistema toda a geometria do modelo é essencialmente a representação do seu banco de dados que contem as várias camadas de informações de cada elemento dentro projeto.

As informações no banco de dados são altamente estruturadas, por isso o usuário tem uma grande liberdade em manipular e reorganizar essas informações a partir da sua necessidade tanto de representação quanto de demanda para análise ou simulação. Essa lógica faz com que seja fácil identificar os elementos, controlar a visibilidade e os aspectos de representação bidimensionais e gerar relatórios ou análises com base nas informações do banco de dados. (DEMCHAK, DZAMBAZOVA e KRYGIEL, 2010, p. 53).

Vale lembrar, que um modelo extremamente detalhado com várias camadas de informações também significa análises mais exatas e auxilia em uma solução ótima para a resolução de intenção de projeto ou problemas. Como já foi conceituado sobre os níveis de detalhamento do objeto (LOD) em seção anterior aqui apenas ressaltamos que este nível se apresenta como uma escala definindo até que ponto o elemento está desenvolvido, em termos de sua geometria e informações relacionadas. Em outras palavras, até que ponto o nível de confiabilidade que os membros da equipe de projeto podem esperar dos dados do objeto.

Portanto, o diferencial com os outros modeladores tridimensionais genéricos para os sistemas BIM é a estruturação, por camadas de informação, do seu banco de dados, que, além de conter a geometria dos componentes construtivos em três dimensões, armazena seus atributos, comportamentos e inter-relações e, portanto,

transmite muito mais informações para a construção do que os sistemas CAD tradicionais genéricos.

A concepção da estrutura, em camadas de informação, do banco de dados para armazenar e recuperar as informações, grande parte das instruções para interpretação das mesmas passou a residir no modelo de dados (seu esquema de organização) e não mais nos programas que iriam acessá-los.

Essa liberdade era essencial para o desenvolvimento de estruturas genéricas capazes de armazenar vários tipos de produtos, ou várias instâncias de um tipo de produto, mantendo o significado da informação e permitindo o acesso por meio de diferentes aplicações durante as fases de desenvolvimento do produto. O potencial da aplicação de bancos de dados na atividade de projeto, cuja natureza implica justamente na transmissão de informações entre aplicações e diferentes disciplinas ainda não tem sido completamente explorado. (EASTMAN e KUTAY, 1989, p. 336)

Os sistemas BIM contém modelos paramétricos dos elementos construtivos de uma edificação e permitem o desenvolvimento de alterações dinâmicas na geometria do modelo, que são atualizadas automaticamente em todos os desenhos associados, bem como nas tabelas de orçamento e especificações.

“A base de um sistema BIM é o banco de dados que, além de exibir a geometria dos elementos construtivos em três dimensões, armazena seus atributos e, portanto, transmite mais informação de que nos modelos CAD tradicionais. Além disso, como os elementos são paramétricos, é possível alterá-los e obter atualizações instantâneas em todo o projeto. Esse processo estimula a experimentação, diminui conflitos entre os elementos construtivos, facilita revisões e aumenta a produtividade”. (FLÓRIO, 2005)

Segundo Flório o conceito de banco de dados nos sistemas BIM é o que realmente os definem. Desse modo, o modelo único tridimensional não representa apenas a sua geometria, pois vai além, uma vez que são informações necessárias que definem os atributos, comportamentos e inter-relações dos seus elementos arquitetônicos.

Ainda segundo Flório os processos paramétricos são caracterizados pelo seu potencial para derivar de um mesmo modelo muitas variações para uma determinada questão projetual. Dessa forma, o arquiteto pode, através do uso de um sistema de banco de dados, gerar e visualizar diversas variações volumétricas do mesmo projeto.

Os sistemas BIM contêm um banco de dados que não apenas proporciona as informações geométricas dos elementos, seus atributos, comportamentos, inter-relações, como também é uma maneira muito mais eficiente de armazenar e recuperar os dados. Ao definir por hierarquia como uma estrutura de informação de dados que será usada. No sentido de acessar os dados e modificá-los é necessário que o banco de dados possua um conjunto de métodos para controlar quantidades consideráveis de informação.

Como as potencialidades do banco de dados ainda estão sendo exploradas, novas possibilidades emergem, a experimentação permite vários aprendizados. Desse modo ele desempenha um importante papel no desenvolvimento de novas tecnologias resultantes do processo de geração de soluções arquitetônicas.

Segundo (AMOR e FARAJ, 2011, p. 39) conceito de bancos de dados no sistema BIM ainda estão sendo melhor formulados para trabalhar no aspecto micro controlado, ou seja apenas na plataforma que o modelo está sendo concebido, ou dentro da mesma família de plataformas. As trocas de informações entre vários sistemas ainda a não são adequados para os sistemas muito complexos dos sistemas BIM.

O Formato neutro de dados apresentado pelo banco de dados que teria o potencial para facilitar o intercâmbio multilateral da informação também se encontra de maneira incipiente. Porque, requer que todos os aplicativos tenham pré e pós-processadores para efetuar a transferência de informações. Atualmente, essa abordagem neutra dos bancos de dados não são desenvolvidas a ponto de se tornarem uma medida comercialmente viável (EASTMANN e AUGENBROE, 2008, p. 193)

2.4.9. OS SISTEMAS BIM COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DOS QUANTITATIVOS

Em 2004, o National Institute of Standards and Technology (NIST) publicou um relatório indicando que por motivos de inconsistências e na gestão de dados ocorre prejuízo para a indústria da construção civil de aproximadamente \$15.8 bilhões de dólares em um ano, ou a aproximadamente de 3-4% do orçamento da indústria total (NIST, 2004,p.02).

Desde a publicação deste relatório, muitos elegeram o Building Information Modeling (BIM), como a ferramenta tecnológica de gestão da informação, capaz de resolver este problema. (*National BIM Standard*, 2007, p.07).

No caso nacional uma pesquisa única e, por enquanto, a melhor amostragem das perdas nos canteiros do país acerca do Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras¹⁴. Liderada pelo pesquisador Vahan Agopyan, vice-diretor da Escola Politécnica da USP ao lado dos professores Ubiraci Espinelli Lemes de Souza, José Carlos Paliari e Artemária Coêlho constatou que hoje já se sabe que as perdas de materiais - que viram entulho ou ficam incorporados à obra - chegam a 8%, como pode ser observado que esse valor de desperdícios ainda é muito alto no cenário brasileiro.(PINI,2001)

A manipulação de informação coordenada dos sistemas BIM é a premissa básica para a troca de informação exata para colaboração das equipes em diferentes etapas do ciclo de projeto o que facilita introduzir, extrair e atualizar a informação no modelo único dos sistemas BIM.

Por ser um sistema de banco de dados singular o uso do sistema BIM beneficia a eficiência e diminui os custos da construção. Permite identificar as inconsistências, omissões, obstáculos potenciais da construção e seus impactos no

¹⁴ Os resultados dessa pesquisa, assim como a metodologia a que deu origem, estão disponíveis na internet www.pcc.usp.br/pesquisa/perdas. Fonte: (PINI, 2001) Acessado em 06/05/2017 <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/53/artigo285202-1.aspx>

início da fase de projeção e ainda aperfeiçoa as opções automáticas dos extrativos de informação dos quantitativos e a sua programação.

Os processos de modelagem dos sistemas BIM por ser um repositório de informação permite que a extração da informação seja coordenada com o modelo . Desta forma, a informação extraída sempre estará atual e consistente, portanto diminui os erros de extração de quantitativos e o tempo necessário para a extração da informação. (BRUCKER et al, p.126).

Os custos de um projeto elaborado nos sistemas BIM são consideravelmente reduzidos em relação aqueles produzidos em outras plataformas, com repercussão direta no custo típico de um projeto e também reduz significativamente os custos de construção. Em grandes modelos de construção isto poderia facilmente adicionar milhões dos dólares de economia para construção. (TAKASH, 2007, p. 21).

De acordo com um relatório elaborado pela consultoria Ernest Young, as empresas brasileiras mais produtivas em 2014 apontaram o uso de ferramentas BIM como um dos motivos do sucesso e uma grande alavanca de produtividade. Um dos casos premiados do uso do BIM no Brasil se destaca a sede do Sebrae no Espírito Santo.

Neste projeto desde o seu início utilizou-se a tecnologia BIM, ArchiCAD. O projeto para o Sebrae-ES está em uma posição privilegiada na enseada do suá em Vitória, capital do Estado. Devido à sua localização, impôs desde a fase de concepção um importante desafio de apresentar uma arquitetura com qualidade e executável, que resultou em um projeto eficiente, pois não houve retrabalhos e por isso se tornou mais econômico.

Segundo Carlos Calmón, sócio-fundador da MCA Arquitetura, a utilização do BIM neste projeto foi essencial para elaborar o projeto desde a concepção, projeto executivo e compatibilização com as demais disciplinas.



Figura 29 - Prédio sede do SEBRAE-ES
Fonte - <http://techne.pini.com.br/> (acessado em 06/05/2017)

A gestão de dados só foi possível devido às potencialidades desse sistema que permite de uma maneira mais confiável o uso de ferramentas digitais para simular várias intenções antes de chegar ao canteiro de obras. Os benefícios das tecnologias aplicadas à gestão de informação desta edificação de fato moldaram a obra.

Há, portanto, o entendimento que os sistemas BM vieram para facilitar a maneira de apresentar a informação para a construção que por anos pareciam estar estagnados. Os aspectos da gestão de dados que é traduzido para a troca de informações durante as tomadas de decisão antes da construção é o ponto central dessa abordagem.

2.4.10. A ESTRUTURAÇÃO DOS DADOS

Algoritmo é a descrição das etapas para solucionar um dado problema. Assim, a estrutura do fluxograma do dado e o algoritmo estão intimamente relacionados. Os dados percorrem um sentido definido pelo fluxograma, esse trajeto permite processar as informações para obter o resultado esperado.

A estrutura de dados deve ser estabelecida de uma maneira precisa, porque define e organiza como uma determinada informação será processada para alcançar o objetivo.

Um dado simples pode tomar a forma de números, textos ou símbolos. Um dado estruturado deve definir um conjunto homogêneo de elementos iguais, bem como os grupos ou classes de elementos diferentes. É fundamental encontrar um fluxograma, em termos de etapas de dados, para a estruturação da informação, de tal maneira que os algoritmos possam operar a partir deles com eficiência, isto é, utilizando “menor tempo com o menor uso de memória” (HERMUND, 2009)

Entre os tipos mais usuais de estruturas de dados se encontram os vetores, as listas e as árvores.

As árvores são organizadas de maneira a estabelecer os dados de acordo com o conceito matemático de grafos, isto é, compostos de nodos e das ligações correspondentes.

Os vetores constituem o conjunto de elementos que se organizam de acordo com uma quantidade de dados fixos e fechados. São utilizados normalmente para representar grandezas físicas como a velocidade, peso e etc.

Nas listas a estrutura de dados é sequencial e aberta. Isto significa que a lista pode ser sempre adicionada de um novo dado.

2.4.11. ALGORITMOS E PREMISAS

Elaborar um algoritmo é uma desafiante atividade intelectual que fornece uma rica fonte de observação, e um domínio para testar as etapas, ou diagramas, que solucionará o problema. (KANT, 1985, p. 1036)

A elaboração do algoritmo por passos é baseada na linguagem humana. Para se atingir ao objetivo proposto pelo algoritmo se faz necessário o fluxograma de atividades de sequenciamento em lógica formal pela utilização de premissas que tendem a replicar ou automatizar o processo generativo do algoritmo em outras possíveis abordagens. A adoção da linguagem humana facilita a compreensão das etapas de execução de uma atividade e posteriormente auxilia a validação dos resultados obtidos pelo modelo de algoritmo.

As etapas para elaborar um algoritmo devem ocorrer após a definição do problema a ser resolvido pelo mesmo. Devem-se extrair todas as informações a respeito desse problema (seu alcance e a possibilidade de replicação), relacioná-las com o conhecimento atual que se tem do mesmo, buscando informações em outras fontes, para sua posterior resolução. Isto consiste em descrever claramente as etapas para obter a solução esperada.

“A elaboração do algoritmo compreende o processo para especificar um diagrama ou fluxograma de sequencias lógicas, em uma linguagem de alto nível, a linguagem humana, de uma técnica viável computacionalmente para alcançar uma determinada solução”
(KANT, 1985, p. 1361)

Como se pode entender a partir da citação acima o processo de criação da elaboração de algoritmo combina originalidade pela especificação de fluxograma de sequencias lógicas. O processo lógico para solucionar um problema por meio de conhecimento específico dos princípios de algoritmo e o conhecimento pertinente sobre o assunto que algoritmo tentará resolver (por exemplo: geometria, teoria dos grafos, física)

Quando se elabora algoritmos, o repertório inclui: descoberta e raciocínio visual¹⁵, além das técnicas de solução do problema aplicadas a cada disciplina. (KANT, 1985).

Na matemática, as condições incontestáveis capazes de servir de base aos desenvolvimentos de novas teorias são chamados de axiomas. Esses funcionam como bases na investigação de novas ideias, representam os sustentáculos das experiências que precisam ser demonstradas de forma lógica e consistente. Desse modo, os novos dados são deduzidas logicamente dessas afirmações mais simples.

Grande parte da geometria conhecida se deve a vários matemáticos da antiguidade, tais como Pitágoras, Arquimedes, Euclides, Thales de Mileto, Hipócrates, etc. Euclides¹⁶, por exemplo, definiu como postulados afirmações que, por sua simplicidade, seriam aceitas por qualquer pessoa de bom senso¹⁷ e que eram, em um certo sentido, de fácil entendimento para todos.

O algoritmo é o cômputo de informação de uma maneira particular, uma nova maneira de resolver um problema. Os procedimentos sistemáticos e estruturados destinam-se à resolução de problemas. Pode-se definir um algoritmo como sendo uma sequencia finita de ações ou (regras) destinadas a cumprir um objetivo.

Segundo Terzids (2009, p.17) o algoritmo é uma articulação de tarefas para a solução de um problema conhecido, ou também pode ser caracterizado por uma pesquisa de variabilidades de possíveis soluções randômica para um problema

¹⁵ Raciocínio visual é o processo de manipular uma imagem mental de um objeto, a fim de o resultado esperado. Em arquitetura ou simplesmente desenho não existe solução certa ou errada, mas satisfatória ou não. O raciocínio visual é uma ferramenta largamente utilizada na criação, com uma combinação de ação, instrumentos, objetos e procedimentos, bem como palavras. Fonte - <http://www.folhadirigida.com.br/.../Raciocinio-Visual> (Acessado em 03/06/2015).

¹⁶ É atribuído ao matemático grego Euclides o fato de ter reunido em um compêndio todo o conhecimento sobre matemática da antiguidade. O total de 13 livros constitui a obra Os Elementos e tornou-se uma das mais importantes no mundo, referência fundamental por séculos nos cálculos de álgebra, teoria dos números e principalmente geometria. Nesse volume, Euclides apresenta também cinco axiomas essenciais, sendo o último deles causador de inúmeras discórdias. As controvérsias entre os matemáticos duraram séculos e resultaram numa verdadeira obsessão em demonstrar a não veracidade desse quinto axioma. Essas disputas teóricas e conceituais fizeram surgir muitas descobertas importantes e, entre elas, novas teorias paralelas, resultando assim em geometrias não euclidianas, representáveis pela computação gráfica. (DALAKOV, 2015, p. 12)

¹⁷ Para maiores detalhes, consultar CARMO, Manfredo P. Geometrias Não-Euclidianas. Matemática Universitária, n. 6, dez. 1987, p. 25-48. Disponível em <http://matematicauniversitaria.ime.usp.br/Conteudo/n06/n06_Artigo02.pdf>. (Acesso 15/02/2014)

conhecido parcialmente. Ao abordar o algoritmo por essas duas abordagens o processo de configuração do algoritmo serve como uma codificação do problema através de uma série de etapas finitas, coerentes e com logicas racionais para a solucionar um dado problema.

A finitude da sequencia é fundamental para se chegar a um resultado satisfatório em relação a resolução do problema em questão. Os algoritmos devem satisfazer as seguintes condições:

- Serem finitos, isto é, terem seu início e final garantidos;
- Serem bem definidos: cada passo deve ser estipulado com precisão, evitando ambiguidade;
- Possuírem dados de entrada;
- Fornecerem uma informação de saída como solução;
- Serem efetivos, de forma que uma pessoa possa implementá-los manualmente sem utilizar uma máquina, isto é, ser capaz de executar o algoritmo, de modo exato e sem ajuda. (KANT, 1985, p. 1010).

A partir da citação acima, entre os vários tipos de processos cognitivos e comunicativos manifestados pelo sujeito, a máquina recebe o input dos dados por meio de digitação, captura, varredura, etc. O output será decorrente de um processamento: sob a interface há o resultado computado pelo algoritmo das informações. Além disso, o fator tempo também se torna decisivo no processo de aperfeiçoar essa interação: as coisas devem ser desdobradas sem atraso de resposta e, portanto, ocorrerem em “tempo real” (GIANNETTI, 2006, p. 82).

A ação deve ocorrer imediatamente a reação, para sinalizar que o sistema está funcionando e não haver dúvidas da execução das instruções. A percepção das operações é a de que as etapas acontecem e se pode observá-las acontecendo, sendo que o(a) autor(a) tem domínio sobre a situação e compreende as reações. Pela interface é que se tem acesso ao espaço virtual, ao espaço capaz de gerar

entidades informacionais para prover as inúmeras características calculadas para a arquitetura digital.

Além de apresentar a solução do problema que se propõe resolver, o algoritmo deve ser eficiente em relação a sua propositura. Isto ocorre para que a eficiência no seu cômputo esteja diretamente relacionada com o bom uso dos recursos físicos disponíveis. Para avaliar a sua eficácia, eles devem minimizar o consumo de tempo e de memória. Neste sentido, os problemas a serem resolvidos pelos algoritmos podem ser classificados como problemas “decidíveis” e “indecidíveis”. Dentro da primeira classificação, no entanto, verificamos que alguns problemas, além de serem decidíveis também são tratáveis. Enquanto outros podem ser inabordáveis pela quantidade de variáveis envolvidas, que extrapolaria os limites dos recursos disponíveis (tempo e memória). Nesse último caso os problemas são apontados como intratáveis.

É necessário tratar essa lógica formal, que a princípio são incompatíveis entre si, cujo conjunto de meios estejam interagindo e perfeitamente dispostos, sendo lógicos, numa sucessão de estados e mudanças com conectividade entre eles. Dessa forma, o algoritmo ocupa uma posição mediadora capaz de prestar-se na relação homem-máquina, a funcionalidade como elemento de transferência entre as informações da necessidade humana com aquela constituída por sistema simbólico, traduzida de forma legível em significação verbal e visual. (LÉVY, 1999, p.15).

O algoritmo funciona como um meio capaz de realizar um trânsito de intenção entre dois universos distintos (sendo um deles mental) das regras físicas e lógicas (SANTAELLA, 2000, p. 41) para a gráfica da escrita humana. Presta-se às várias conexões mentais e gráficas da resolução de problemas em condições gerais que sejam capazes de traduzir as etapas necessárias para resolução de uma atividade.

Sem a organização do algoritmo não seria possível realizar uma série de operações simples, para manipular entidades elementares do pensamento humano, cujas naturezas das sequências lógicas (compostas por assertivas, pressupostos e instruções) gerando expressões praticamente fáceis de serem compreendidas e manipuladas.

2.4.12. A UTILIZACAO DO REVIT AUTODESK

Ressalta que a tese focou os trabalhos nas famílias de pacote BIM da Autodesk. Essa abordagem se deu por inúmeros motivos, principalmente por compreender que as informações disponibilizadas pela companhia são gratuitas (quando se iniciou a pesquisa, em 2012, era a única plataforma gratuita para a versão acadêmica) , portanto de fácil acesso. Além disso, nessa família as plataformas API (*Application Programming Interface*), Visual Programming e a Programming linguagem sempre foram acessíveis a todo o público de forma gratuita.

Além disso, até o presente momento apenas essa companhia está desenvolvendo o editor de algoritmo em gráfico visual o Dynamo que como será discutida em capítulos posteriores, auxilia a criação de novas rotinas para a customização dos sistemas BIM. Outro item, a programação visual se estende não apenas as aplicações utilizadas nessa tese mas em várias outras dos sistemas BIM Autodesk.

Outro ponto importante, por se tratar de uma tese acadêmica, a mesma deve sempre abranger um maior público possível. Por tanto, o recorte de usar apenas aplicações inteiramente grátis e de fácil acesso permite a todos os outros pesquisadores replicar os procedimentos. Conforme dito, para a validação da hipótese, a implementação e teste do algoritmo não foi gasto nenhuma soma. Por ser a única família de pacotes BIM que na integralidade permite acesso a todas as interfaces e a API de maneira gratuita e simples, determinamos o recorte na família de pacote BIM da Autodesk.

Com relação as informações do Software Development Kits (SDK'S) que são acessíveis a todo o público pela Autodesk, na família Graphisoft ArchiCAD e Bentley é necessário fazer parte da equipe de desenvolvedores cadastrados para ter ingresso a API de cada interface. (ArchiCAD ; Bentley, 2017).

Percebe-se que essa imposição, de ser parte da equipe de desenvolvedores para ter acesso ao conjunto de informações necessárias para o

desenvolvimento de novas rotinas, desestimula parte dos usuários que tentam ter um primeiro contato com as API's .

Portanto, essa tese incentiva o uso das API's em todos os sistemas BIM e a sua gratuidade para o meio acadêmico, como meio de facilitar novas pesquisas e implementações de novas soluções . As companhias proprietárias devem auxiliar para popularizar as suas ferramentas, essa mudança de atitude das empresas devem ser revistas para o uso das pesquisas.

2.5. A HIERARQUIA DE INFORMAÇÃO NO SISTEMA BIM AUTODESK REVIT

Os objetos auxiliam a representação visual da geometria da edificação, como os objetos importados para dentro do projeto. O usuário pode carregar para dentro do projeto famílias de objetos ou cria-los a partir de templates de famílias.

O ambiente de trabalho no Revit permite ao usuário modelar a edificação desde a concepção ao nível de detalhes exigida pelas fases de construção. As ferramentas de modelagem podem ser utilizadas para configurar famílias pré-estabelecidas ou importar modelos geométricos para o projeto.

Os elementos nos sistemas BIM correspondem a edificação ou uma vista do mesmo. O Revit se utiliza de três tipos de elementos no projeto: elementos de modelagem, elementos de dados e elementos de uma vista específica. Elementos no Revit são estabelecidos pelas famílias das quais estão associados. A família dos elementos contem a definição da geometria e os parâmetros necessários para a sua definição. Cada instancia é definida e controlada pela família que se deu origem, isso é os elementos paredes devem se comportar como tal no projeto.

O elemento de modelagem representa os itens “físicos” que existem dentro do projeto de construção. Os elementos no grupo de modeladores são subdivididos em Instâncias de famílias, receptor de elementos e elementos estruturais.

As instâncias de famílias contem a família de instância de objetos. Como será melhor detalhado a frente, as famílias no Revit se comportam como *System Families*, *Loadable Families* e componentes e *In-Place Families*. As duas últimas são características das famílias de instâncias de objetos.

Em uma configuração padrão existem elementos pré-definidos nos sistemas BIM que possuem requisitos necessários à modelagem do edifício. Contudo, esses elementos não são suficientes para abranger toda a gama de possibilidades que um projeto arquitetônico necessita. Portanto, será preciso que estes elementos sejam transformados para estender, modificar ou adicionar as suas capacidades e abranger uma gama maior de possibilidades de projeto.

Por estas razões, é necessário entender as hierarquias de informações dentro do sistema BIM para permitir essa abrangência de possibilidades.

Nos sistemas BIM e nas plataformas Archicad, Bentley e Revit o conceito de elementos se distingue das entidades geométricas, uma vez que o conceito de elemento nos sistemas BIM vai além porque comportam os dados, informações e parâmetros o modelo, o códigos para a representação técnica, e as vistas específicas para representar um edifício.

Desta forma, modelamos e modificamos elementos com propriedades paramétricas que podem ser alteradas segundo as regras estabelecidas. É importante observar que estes elementos seguem uma organização de inter-relação:

- Categoria;
- Famílias;
- Tipos e
- Instâncias.

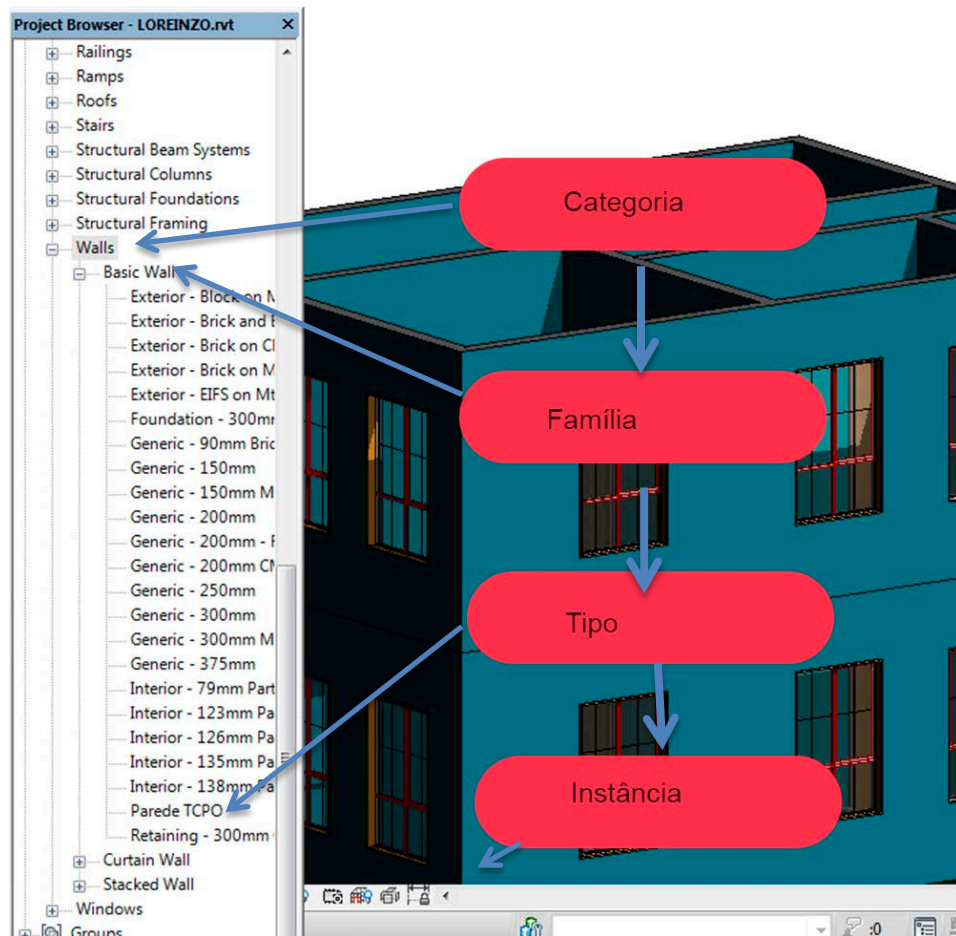


Figura 30 - Hierarquia dos Sistemas BIM
 Fonte – Imagem elaborada pela autora no Revit 2016

A figura 30 mostra que a hierarquia de informação segue a categoria que no caso são paredes, depois se delimita a família (Basic Wall), a seguir o tipo nesse caso Parede TCPO e e por último se define a aplicação específica do elemento no modelo (quando é aplicado) denominada instância.

A ilustração acima mostra que, na hierarquia nos sistemas BIM, cada objeto detém várias especificidades com relação a sua família.

- **Categoria:** é a classe mais geral que define a organização no sistema, a relação entre outros elementos, a visibilidade e a representação gráfica.

- **Famílias:** é a classe dos elementos que fazem parte da mesma categoria. As famílias podem ser carregadas no projeto ou criadas e editadas a partir de um padrão pré-estabelecido.
- **Tipo:** é a classe das famílias do mesmo tipo, dentro de um conjunto específico da mesma família definida por suas características de parametrização.
- **Instâncias:** é a representação individual de um tipo de elemento dentro do projeto, ou seja, representa o seu caráter unitário. São definidas por regras específicas paramétricas, localização e características de representação que as tornam únicas com relação a qualquer outra instancia dentro do modelo.

Como exemplo a parede, que está inserida na categoria porta, família Parede simples (basic wall) , tipo Parede TCPO, a instancia se caracteriza pelo local exato que ela deve permanecer no modelo, conforme mostra a Figura 26.

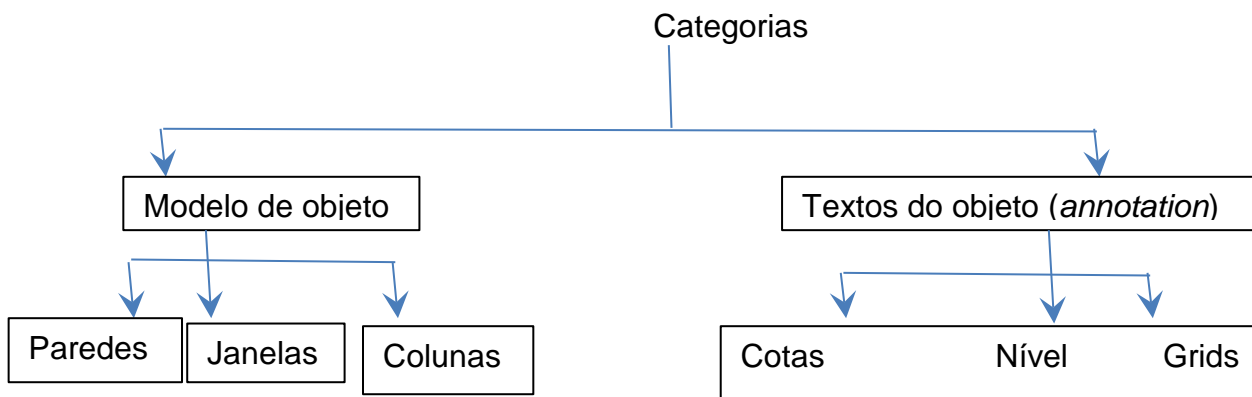
Os usuários nos sistemas BIM enfrentam essa hierarquia de elemento a todo instante enquanto estão modelando. Por esta razão existe a necessidade de pleno domínio dessa hierarquia dos objetos. Os atributos dos objetos são necessários para executar as tarefas de análises e estimativas de custos. Neste sentido, para uma correta execução dessas tarefas esses atributos devem ser previamente definidos pelo usuário.

2.5.1. HIERARQUIA DE CATEGORIA

Os sistemas BIM utilizam uma taxonomia, isto é, uma classificação para organizar todas as categorias no modelo. Este sistema de organização é baseado especificamente nas informações da indústria da construção e está configurado para

ajudar a gerenciar os relacionamentos entre as classes de objetos, bem como a representação gráfica de cada uma.

Diagrama 1 – Hierarquia simplificada de informação das categorias nos sistemas BIM
Fonte: API Developers's Guide 2014, p.136.



O diagrama 1 mostra as categorias e as subcategorias dos elementos as quais eles pertencem. As categorias de modelo são definidas pelos componentes tridimensionais elaborados nos sistemas BIM, enquanto os textos são as anotações que complementam as representações ortográficas. No sentido de ilustrar melhor essas categorias de modelos e textos dos elementos se faz necessário uma análise mais detalhada das famílias que são classes dos elementos dentro de uma categoria específica, as famílias serão mais bem detalhadas a seguir.

Os modelos de elementos representam entidades do mundo real. Esses podem ser observados na primeira aba intitulada estilos de objeto (Object Styles) da caixa de diálogo da Figura 31. Esta classificação de objetos inclui elementos como paredes, pisos, tetos e móveis, além de outras categorias do domínio do projeto arquitetônico.

Textos do objeto (annotation) – incluem todas as anotações, símbolos e dados descritivos inseridos em uma vista para facilitar a legibilidade da representação bidimensional. Esses podem ser observados na segunda aba dos estilos de objeto (Object Styles) da caixa de diálogo da Figura 31. A maioria dos

textos são elementos específicos das vistas bidimensionais, aparecem apenas nas pranchas em que forem criados. Exemplos incluem as cotas, rótulos (tags), chamadas de detalhes, linhas de cortes, níveis e grelha (grids).

É essencial a identificação de que categoria pertence o objeto para a compreensão dos sistemas BIM. As categorias de modelo são constituídas pelos componentes construtivos tridimensionais (por exemplo, paredes, estruturas, instalações e equipamentos, etc.).

“A organização de categoria lista e fixa todos os objetos indicando aquela(a) a que todos, em última análise, devem pertencer. Embora, essa categorização se apresente como rígida isso na verdade funciona perfeitamente, e permite ao usuário estabelecer conexões e inter-relações que mantenham as informações do modelo tridimensional sincrônicas com as informações gráficas durante o projeto arquitetônico”. (DEMCHAK, DZAMBAZOVA e KRYGIEL, 2010, p. 50).

A citação acima apresenta o conceito de categorias às quais todos os objetos tanto tridimensionais quanto bidimensionais pertencem a sua categoria diferente. As categorias dos elementos contêm a definição da geometria e os parâmetros necessários para a sua definição. Cada categoria é definida e controlada pela família que se deu origem, isso é os elementos paredes devem se comportar como tal no projeto.

O elemento corresponde tanto a um componente construtivo de construção quanto a um elemento de representação bidimensional.

Conforme mostra a Figura 31 cada elemento pertence a uma categoria que tanto pode ser “model object ou annotation object”. O “model object” caracteriza os estilos de gráfico dos elementos, isto é, suas linhas serão visivelmente apresentadas de uma certa espessura de linha. A aba do “Annotation objects” é o local onde as informações extras são feitas para esclarecer os códigos necessários para a representação técnica.

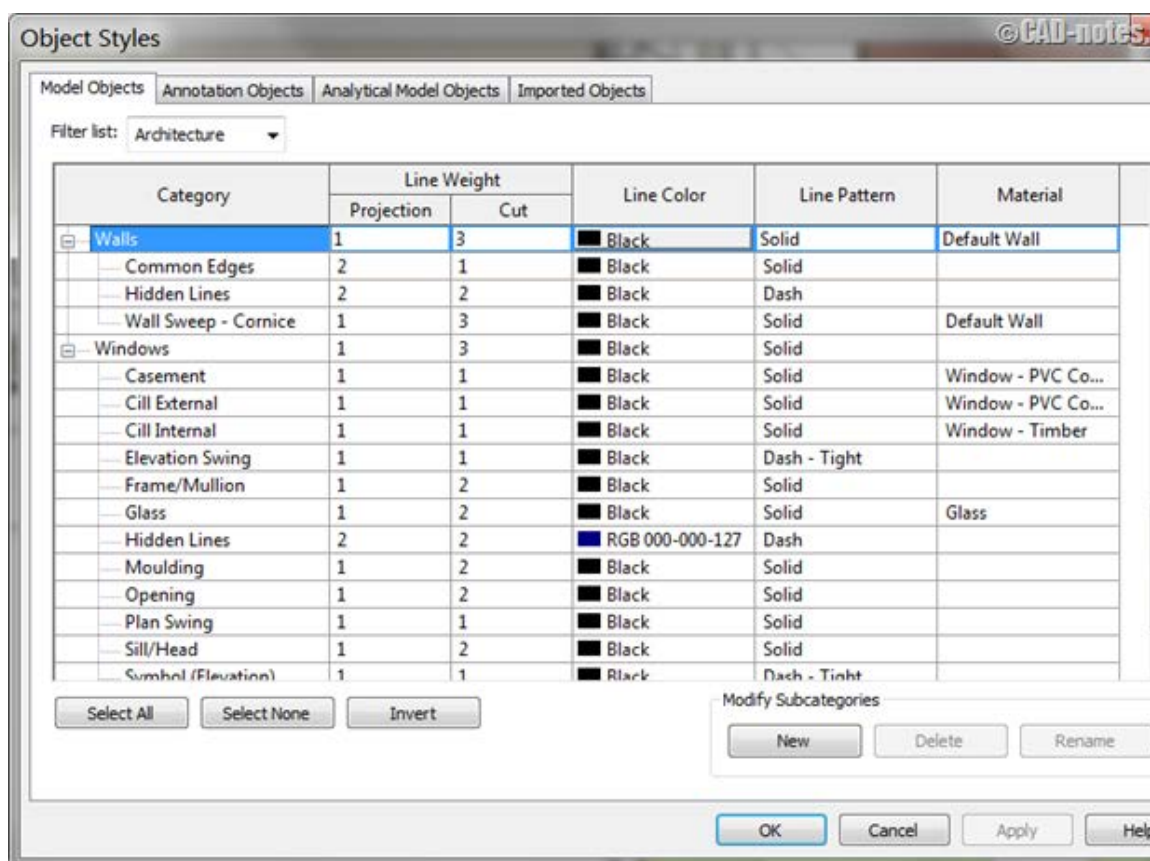


Figura 31 - Object Styles na caixa de diálogo
 Fonte: Imagem elaborada pela Autono no Revit

A figura 31 ilustra as categorias que são as estruturas básicas dos elementos que fazem parte dos sistemas BIM Autodesk tanto no Revit como em todas as plataformas. Portanto, essa hierarquia não pode ser modificada. A disposição das categorias dentro dos sistemas BIM garante consistência, gerência e o acompanhamento do comportamento dos elementos parametrizáveis em seus atributos de modelos de objetos, e as informações de representações bidimensionais.

Ao modelar nos sistemas BIM, o pressuposto sempre será que o usuário sabe lidar com as especificidades das categorias das famílias, porque quando são criadas determinam quais parâmetros das mesmas poderão ser incrementados de informação. As configurações básicas desses elementos são pré-configuradas nos

sistemas BIM, porém o usuário ao não entender as diferenças de cada categoria não dominará as configurações, os parâmetros (regras) e inter-relações dessas famílias que afetam o seu comportamento e a identificação do tipo de componente.

Dependendo da categoria de família e o tipo de modelo da mesma (*host-based*, *generic model*, *detail component*, *generic tag*) são definidos diferentes parâmetros para cada uma. Entretanto, cada um deles tem uma identidade, atributos específicos para a sua família e apresenta um processo lógico para solucionar um problema. A tabela que se segue apresenta uma lista de categorias de famílias e seus parâmetros da família.

Tabela 9 - Categorias de Família
 Fonte: Tabela elaborada pela Autora

Categoria dos Parâmetros de Família						
Categoria de Família	Modelo Tridimensional	Host -based	Hosted	Generic	Detail Component	Detail Tag
Parede	X	X				
Janelas	X		X			
Portas	X		X			
Coluna	X			x	x	
Grids						x
Cotas						x
Nível						x
Equipamentos Eletrônicos	X			x	X	
Elementos Elétricos	X			X	X	
Modelos Genéricos	X			X	X	

A tabela 9 ilustra mostra a ambivalência dos parâmetros da categoria dentro dos sistemas BIM. Essa potente categorização de cada elemento dentro dos sistemas permite que essa nova ferramenta se define como a ferramenta mais promissora e até o presente momento mais adequada para a complexidade de construção atual.

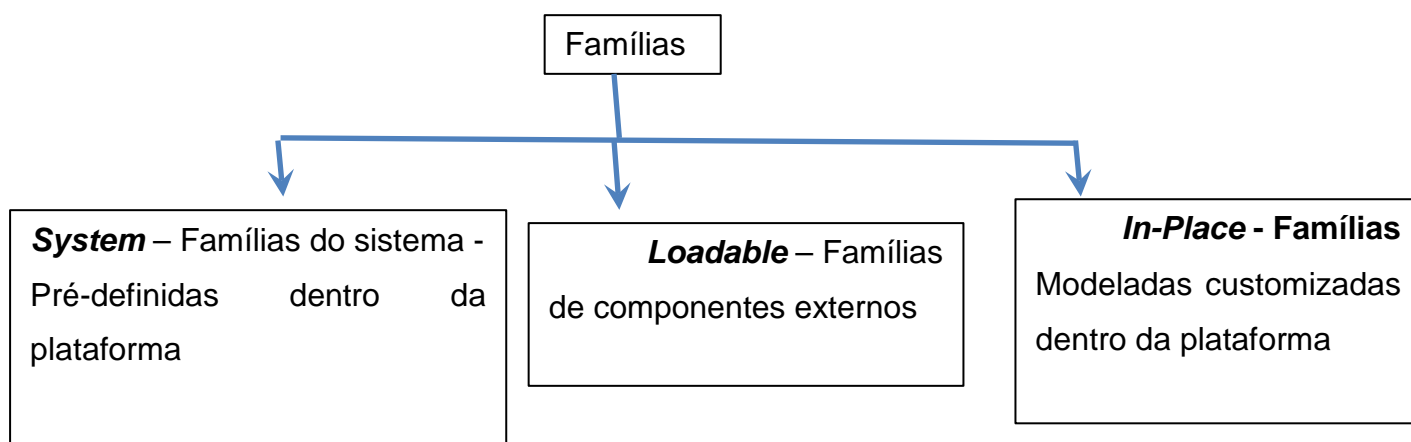
2.5.2. HIERARQUIA DAS FAMÍLIAS

As famílias reúnem objetos do mesmo tipo com parâmetros e comportamentos que podem ser iguais ou diferentes. Famílias são classes de elementos dentro de uma categoria. Elementos pertencem a mesma família quando compartilham um conjunto de parâmetros (propriedades), tem uso idêntico e possuem similar representação gráfica.

A maioria das famílias são arquivos de família de componente, o que significa que você pode carregar em seu projeto ou criá-los a partir de modelos de família já pré-definidos no sistema. O usuário determina o conjunto de propriedades e a representação gráfica da mesma, contudo não pode gerar uma, apenas customizar uma existente.

Poderia citar, por exemplo, os parâmetros dos modelos de elementos, como a parede sendo uma hospedeira que recebera uma família de modelo. A parede se caracteriza como um objeto onde a janela ou porta fará parte de sua composição. (DUELL, HATHORN e HATHORN, 2013, p. 155).

Diagrama 2- Hierarquia de Famílias nos sistemas BIM
Fonte: Autodesk Developer's Guide (2014, p.81)



O diagrama acima apresenta três principais famílias que coexistem dentro do modelo. Cada uma delas possui suas particularidades e especificidades que serão detalhadas a seguir. O sistema de famílias é predefinido no Revit e salvo em modelos e projetos, não carregados de arquivos externos. Não se pode criar, copiar, modificar ou excluir esse sistema de famílias. No entanto, pode-se duplicar (copiar) e modificar os tipos dentro do sistema das famílias para criar o seu próprio sistema personalizado.

A maioria das famílias se denota como arquivos de famílias de componentes, contudo a principal família nos sistemas BIM são as Sistema de famílias. Essas famílias são o cerne do Sistema BIM não podem ser criadas ou carregadas.

As famílias de sistemas são pré-definidas, específicas e integradas às plataformas de origem. As informações paramétricas, gráficas e as representações para a documentação são descritas e definidas pela plataforma proprietária. Elas não podem ser criadas, apagadas da plataforma, carregadas para dentro da plataforma ou salvas para além do projeto corrente.

As famílias do sistema são compostas de um conjunto limitado de objetos como paredes, telhados, lajes, escadas, forros, guarda-corpos, rampas, topografia e etc. Como exemplos de famílias de sistemas de família veja Figura 32, a seguir.

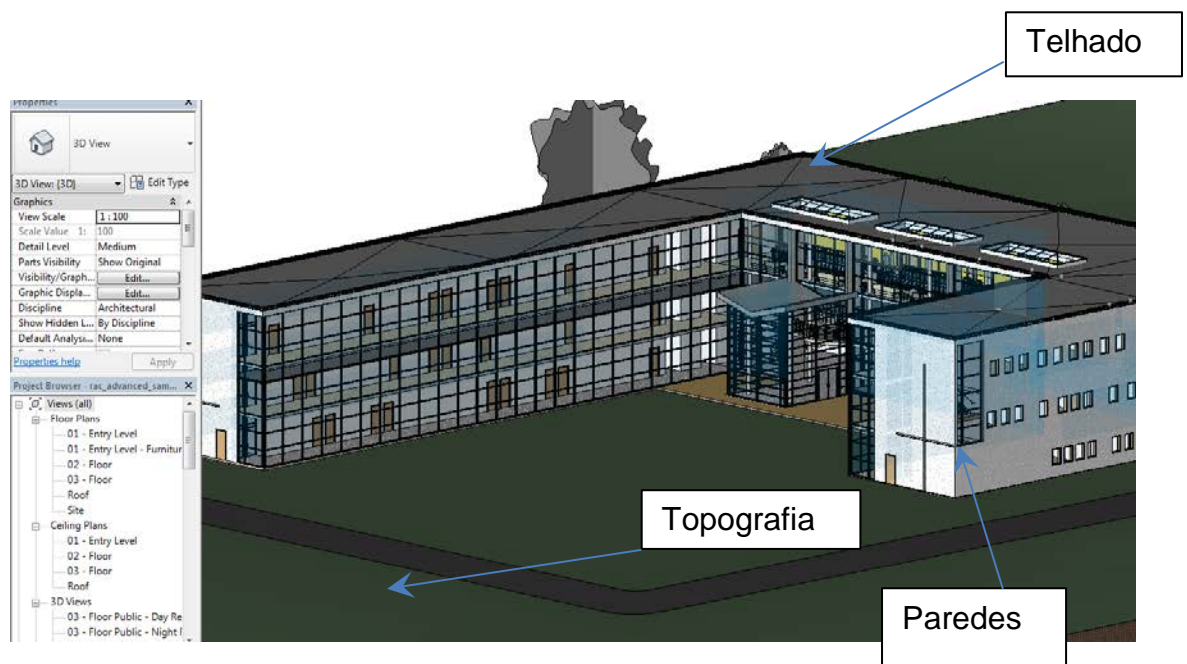


Figura 32 - System Families
 Fonte: Modelo elaborado pela Autodesk

Como se pode observar na figura acima, essas famílias são criadas no contexto da particularidade de cada projeto que usa tipos pré-definidos pelo sistema proprietário. Essas famílias também diferem de acordo com os métodos de sua criação pois são específicos para cada tipo das mesmas.

Por exemplo, para modelar paredes, o usuário pode iniciar colocando as paredes diretamente no modelo. No entanto, ao criar a laje ou o telhado o usuário é levado ao *sketch mode* no qual define a forma com linhas para gerar o modelo tridimensional. Para modelar as escadas e guarda-corpos o usuário utiliza o *sketch mode* mais detalhado que contém recursos adicionais e existem apenas para esses tipos de famílias. (DEMCHAK, DZAMBAZOVA e KRYGIEL, 2010, p. 13.)

Outra característica da família de sistema seria que o usuário não pode salvá-las fora de seu projeto em uma biblioteca compartilhada como um componente independente. Mesmo assim, ainda é possível o reuso das famílias de sistemas em outros projetos.

As famílias de componentes externos (*Loadable*) são definidas pelo usuário, e construídas de maneira editável cuja definição é feita por meio do editor de família. Isto ocorre pelo fato de que ao usar os padrões (*templates*) de cada família o referido editor especifica a escolha do usuário. As famílias de componentes têm a sua própria extensão do formato do arquivo (*.rfa).

As informações paramétricas, gráficas e as representações para documentação podem ser inicialmente definidas pelo usuário. Elas podem ser criadas e carregadas dentro do projeto, bem como excluídas ou salvas fora do projeto.

“São criadas fora do ambiente de projeto usando o editor de família. Esses componentes são armazenados em uma biblioteca externa, no HD ou pastas, e podem ser utilizados dentro do projeto a qualquer tempo. Cada família de componente pertence a uma determinada categoria, por isso quando é inserido no projeto o componente adota as regras gráficas definidas para a sua categoria na caixa de diálogo dos estilos de objetos”. (DEMCHAK, DZAMBAZOVA e KRYGIEL, 2010, p. 61).

Esta definição apresentada na citação acima informa a existência de garantia da consistência gráfica em todo o projeto sem a necessidade de gerenciar mudanças na parametrização dos tipos de componentes. Isso também garante que quando houver a necessidade de extrair tais informações por meio de tabelas de categoria as mesmas estejam completas.

Por exemplo, quando o usuário encontra uma família de luminária na web e decide carregá-la para o projeto, o sistema BIM por padrão usa as informações de geometria, parâmetros, e as características luminosas da luminária para representar a família. Ao usuário não é necessário que ele entre no editor de família para configurar as regras de geometria da luminária e nem definir a sua categoria. (AUTODESK, 2015, p. 143)

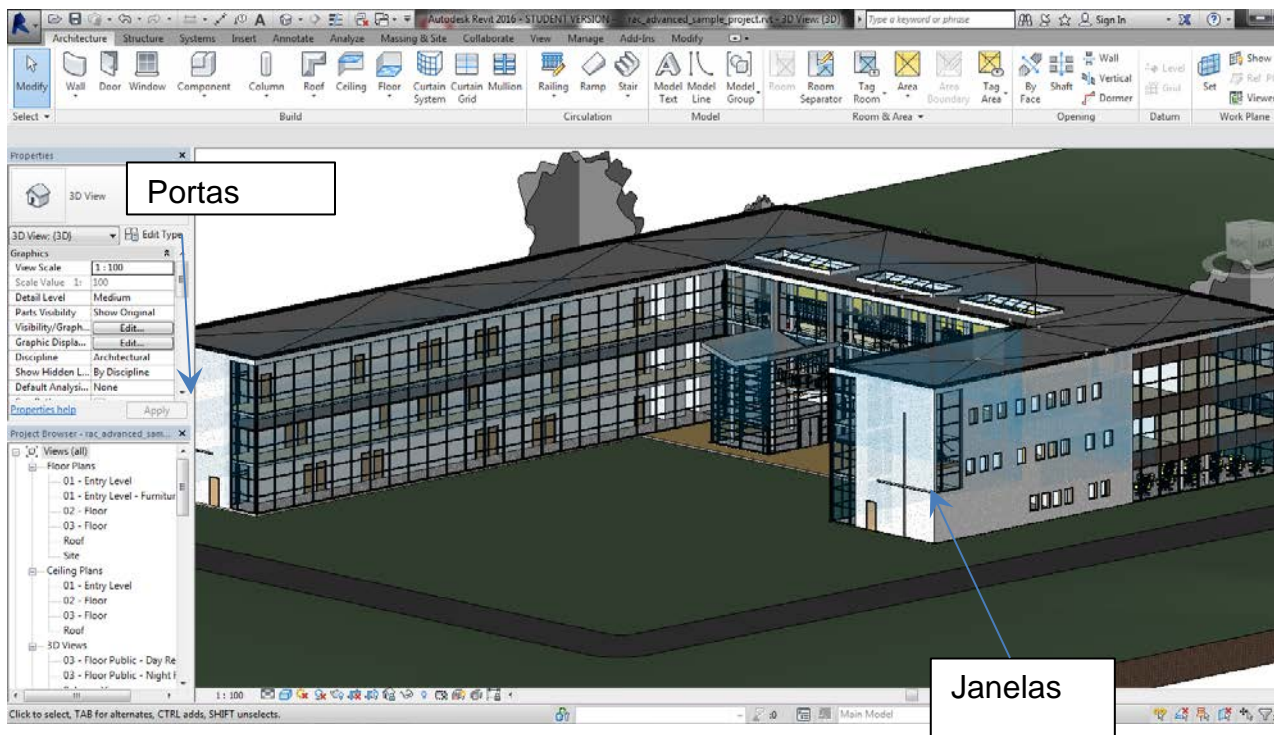


Figura 33 - *Loadable Families*
Fonte: Modelo elaborado pela Autodesk

Os elementos modelados customizados dentro da plataforma (*in-place*) são definidos pelo usuário para representar um elemento customizável do projeto. Assim como as famílias de sistemas aquelas não podem ser carregadas dentro do projeto ou salvas para o uso em outros projetos.

No entanto, elas podem ser criadas dentro do projeto por meio da ferramenta de edição de famílias.

Essa família define que os elementos deverão ser customizáveis e específicos para as condições de cada projeto, ao invés de serem objetos padronizados. As funcionalidades dessa família são disponíveis por meio do editor de família. A modelagem da família será feita por meio do *sketch mode* pelo qual o usuário definirá a sua forma e os parâmetros desse elemento.

Um bom exemplo para usar essa família seria uma parede não vertical ao piso, com forma não ortogonal, conforme mostra a Figura 34, além de armários, mesas para um determinado fim específico.

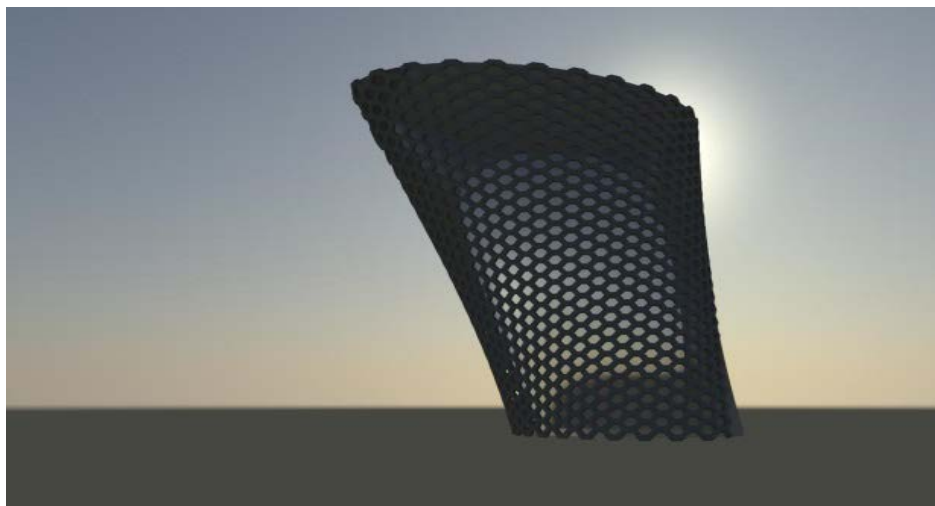


Figura 34 - *In-Place Family*
Fonte - Modelo Elaborado pela Autora

A imagem acima mostra que essas famílias ajudam a modelar objetos que não podem ser padronizados, porque eles devem preencher os elementos únicos para cada edificação que precisam ser customizados na arquitetura.

O usuário pode copiar e colar as famílias customizáveis de um projeto para outro, mas não pode salvar na biblioteca externa para ser carregada posteriormente.

2.5.3. MATERIAIS NO BIM

Na plataforma de customização dos sistemas BIM (API) as informações sobre materiais são armazenadas e gerenciadas como qualquer outro elemento.

Na interface do usuário os materiais contém diversas informações associadas ao objeto de fácil customização. A importância do material nos sistemas BIM é primordial que aqueles são designados por cinco camadas específicas de informação Identity, Graphic, Appearance, Physical e Thermal. Isso quer dizer que os materiais não são apenas informações de gráficos para a renderização.

Alguns recursos são representados por propriedades na classe de material propriamente dita como FillPattern, cor ou efeito na renderização enquanto outras características estão acessíveis como propriedade estruturais ou térmicas associadas ao mesmo.

Essencialmente, deve-se entender os conceitos básicos para manipular os materiais nos elementos e gerenciá-los para definir quais propriedades podem ser alteradas. Para ter acesso a todos os materiais disponíveis na plataforma é necessário habilitar o filtro da classe de material. Ao definir as propriedades dos materiais (informação, armazenagem, e gerenciamento) para identificar as habilidades do filtro de classe o(a) usuário(a) que terá como resultado a melhor prática de manipulação dos materiais na plataforma.

Todos os objetos e os atributos de seus materiais podem ser recuperados usando um filtro do material classe. Os objetos e seus respectivos materiais também estão disponíveis via o *ClassDocument()*, a categoria, o elemento, a face e etc.

O material não apenas se restringe a um ou mais aspectos relativos à renderização ou sua aparência. A estrutura de informação nos sistemas BIM seja a outra categoria importante para o material. Cada aspecto é representado pelas propriedades do material na própria classe ou por meio de um dos seus aspectos, estruturais ou térmicos. O *structureAsset class* representa as propriedades de um

material pertinente a análise estrutural. Por sua vez, o *ThermalAsset* classe representa as propriedades de um material pertinente a análise de energia.

Na classificação das propriedades do material, o objeto detém o tipo específico de material, incluindo a cor, padrão de preenchimento (*fill pattern*) e todas as outras propriedades características de materiais.

O desafio dos materiais se concentra nas propriedades e parâmetros de cada elemento. Portanto, as propriedade de alguns materiais são acessíveis apenas como parâmetros. Alguns como cor, por exemplo, são disponíveis como propriedade ou como parâmetro usando a variável *BuiltInParameter* MATERIAL_PARAM_COLOR. (AUTODESK, 2014, p. 163).

Ressalta-se que existem duas maneiras de se criar um novo material com o uso do API.

- Duplicando um material existente ou
- Adicionando um novo material.

Quando há a necessidade de duplicar um material usa-se o método *Duplicate* (). Assim o novo material obterá o mesmo tipo que o seu original. Como pode ser compreendido pela tabela 10.

Para executar essa tarefa é necessário o uso do método *Booleano*. O método retorna verdadeiro ou falso depois de executar a condição de tarefa a ser executada. Desta forma, é possível melhorar o código com maior liberdade de tarefas a ser executada (no caso em exemplo de material, cor, fill pattern e outros atributos). Retornando verdadeiro e falso de um método é uma forma de melhorar a orientação para objetos da sua aplicação.

Tabela 10 - Duplicação de material em uma Parede Básica
Fonte - (AUTODESK, 2015, p. 135)

Duplicando um Material

```
1. Duplique o material quando for associado Material (Material material)
2. {
3.     Execute a duplicação = falso // ao reduplicar considere Falso
4.     //tente duplicar uma nova instância da classe de material usando o método de
5.         duplicação
6.         //Certifique-se que o nome do novo material é único no Lista de Material
7.             (MaterialSet)
8.             Nomeie o novo material = "novo" + Nome do material
9.             Material myMaterial = material.Duplicate (novo nome);
10.            {
11.                Apareça Tarefa diálogo ( "Revit", falha ao duplicar elemento) ;
12.            }
13.            Teste a ação
14.            {
15.                Se for válido = execute a ação ;
16.            }
17.            retorne Duplicado;
18.        }
```

Esse algoritmo da tabela 10 de duplicação de material permite entender que a essa tarefa é uma tarefa extremamente simples no ambiente, como se observa pela tabela 11.

Tabela 11 - Adicionando um Novo Material em uma Parede Básica
Fonte - (AUTODESK, 2015, p. 166)

Adicionando um Novo Material

```
1. // Criando o material
2. Busque a Identidade do elemento e material = Crie o material, " único material "
3. material = inclua esse material no Documento (materialId) como Material
4.
```

```

5. //Crie um novo conjunto de propriedade que poderá ser usado por esse material
   StructuralAsset StrucAsset = new StructuralAsset ( "My Property Set",
6.   StructuralAssetClass.concrete);
7.   strucAsset.Behavior = StructuralBehavior.isotropic;
8.   strucAsset.Density = 230.0;
9.
10.
11. //Designe o conjunto de propriedades associadas a esse material
12.
13.   propertySetElement pse = PropertySetElement.Create (document, strucAsset);
14.
15.   material.SetmaterialAspectbyPropertySet (materialAspect,Structural,  pse.Id);

```

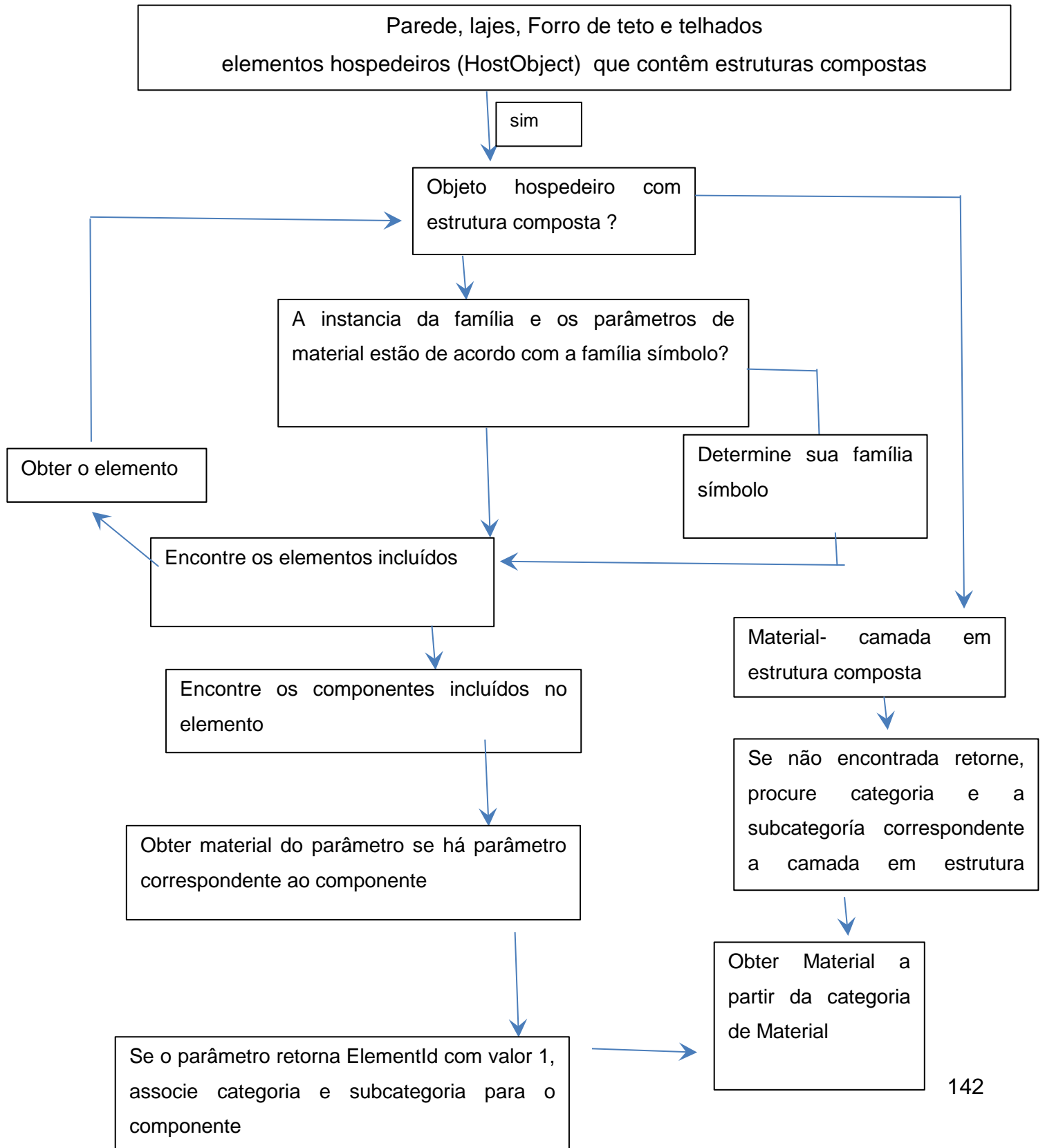
Na tabela 11 ao adicionar um novo material em uma parede básica permite compreender que um objeto pode conter vários elementos e componentes dentro do sistema (o caso em estudo a parede contém bloco de concreto e revestimento). Por exemplo, as instâncias da família de janelas ou portas contém vários subcomponentes, enquanto as instâncias de parede tem estrutura em composição (camadas de informação de matérias que a compõem).

Na plataforma Revit alguns elementos por padrão são compostos por camadas, como a parede. O material para cada camada do componente deve ser parametrizado, se o material dessa camada retornar nulo, associe à informação da categoria de elemento a subcategoria correspondente.

Estrutura de material em camada por composição (*Compound Structure layer Material*) é determinada pelo atributo de Objeto hospedeiro (host object). Para melhor visualização dessa definição de recuperação de características dos materiais do elemento apresenta o diagrama abaixo

Para melhor ilustrar o conceito de material nos sistemas BIM se faz necessário apresentar um diagrama para mostrar o fluxo de tarefas para recuperar as informações do material no elemento.

Tabela 12 - Construção dos Host Objects
 Fonte: Autodesk (2015, p.157).



A tabela 12 ilustra o processo de obter o material associado ao elemento. As etapas para se obter tal informação devem seguir premissas básicas como definir que tipo de elemento se busca a informação de material. Por essa razão que há a necessidade do questionamento se esse elemento pertence à classificação de objeto hospedeiro com estrutura composta. A intenção da pergunta se remete ao tipo de varredura que será necessária para obter tal informação pela camada da estrutura de composição, lembrando que essa tarefa buscara a propriedade da classe de MaterialId.

Se tal questionamento recair para não ser um elemento hospedeiro da classe de estrutura composta a varredura pelo material seguirá pelo caminho de parâmetros. As tarefas seguem por este fluxo análogo de maneira que essa informação será obtida através dos parâmetros do objeto.

“Note que a Instancia de família e seu símbolo de família pertencem a mesma categoria. Isso é válido para denotar a importância do conhecimento sobre o objeto elemento, conseqüentemente esse processo de resolução de tarefa buscara o material a partir da sua categoria correspondente” (AUTODESK, 2014, p. 196)

Como exemplo: quando inicia a fase de detalhamento e desde o início da modelagem sabe-se que o elemento é uma parede, o melhor percurso a ser percorrido será obter o parâmetro pela instancia de material compoundStructure; de outra maneira, se sabe que o elemento é uma porta , pode lança-lo para a instancia de família e obter o símbolo familiar .

3. MÉTODO DE INVESTIGAÇÃO

Neste capítulo, apresentaremos o método de investigação e os critérios adotados para verificar se a hipótese apresentada é promissora do ponto de vista científico.

O método científico hipotético-dedutivo de Karl Popper apresentado em seu livro “*The Logic of Scientific Discovery*” (1972) será utilizado nesta tese devido ao seu caráter exploratório. A importância desse método é permitir que a pesquisa seja iniciada a partir de uma hipótese e, posteriormente, se descreva o método de investigação em uma abordagem lógica para que possa ser reaplicada por outros pesquisadores.

Como essa pesquisa tem início a partir de uma lacuna detectada, a hipótese é delineada para resolver esse problema. A customização dos sistemas BIM configura-se como uma necessidade de prover informação específica dos quantitativos de materiais ao contexto construtivo brasileiro.

Segundo Popper, a base de uma pesquisa científica deve expandir-se para alcançar o maior número possível de públicos e leitores para ser entendida, fazendo avançar o estado da arte na área em que o problema foi detectado e, em decorrência da pesquisa, foi superado. Portanto, a presente investigação foi formulada de maneira simples para facilitar o entendimento de todos os leitores, acadêmicos e leigos, de modo que possam compreender e dominar todas as etapas sugeridas nesse método de investigação.

A contribuição para preencher a lacuna do conhecimento será feita por meio da criação de um algoritmo em um sistema BIM para extrair os quantitativos específicos de materiais para compra no mercado nacional. Isso permitirá extrair as informações de maneira mais consistente entre a geometria e os seus quantitativos de insumos, em comparação com a situação atual em que só se conta com a relação genérica da informação.

Dadas limitações de tempo, o recorte desta tese será feito a partir da criação de um algoritmo para a família de sistema básico de parede na própria plataforma Revit. Optou-se pela pesquisa com a família do sistema composto de informação da parede básica por dois motivos: por se tratar de um elemento essencial na construção nacional (camada de alvenaria, reboco e chapisco) em qualquer projeto arquitetônico e porque possui várias camadas de elementos (informações), denominados *Compound Structure Layers*, que permitem incluir em cada delas uma informação distinta das demais.

Na prática profissional, este algoritmo desenvolvido poderá ser acrescentado aos dados de todas as outras famílias do *Compound Structure Layers* do sistema Revit, como pisos, forros e telhados, entre outros. Dessa forma, contribuirá para reduzir os gastos com materiais de construção, uma vez que apresentará quantitativos mais precisos.

Este trabalho de investigação foi necessário também para examinar os conceitos e tarefas adotados no desenvolvimento da construção do algoritmo, e verificou que o algoritmo se demonstrou adequado e eficiente para a atividade proposta.

A solução do problema com a utilização desse algoritmo vai atender a uma lacuna específica no "mundo real" que, conforme revelaram as respostas ao questionário, é sentido em vários setores da construção.

Para a proposição do algoritmo, foram necessários conhecimentos dos campos de arquitetura, matemática, ciência da computação e linguagem de programação lógica, utilizados como instrumentos nas diferentes etapas do processo de solução mais automatizada do problema.

Segundo Swinson em seu artigo "*Logic Programming: a computing tool for the architect of the future*", é necessário que os arquitetos interessados em projetos assistidos por computador envolvam-se no avanço das lógicas de computação.

Embora essa afirmação ainda não seja bem compreendida pela maioria dos escritórios, os avanços tecnológicos não podem ser plenamente concretizados no dia a dia da arquitetura se não ocorrer um desenvolvimento correspondente de

técnicas da lógica formal de solucionar um dado problema auxiliado pelo computador. Essa articulação de um plano estratégico para a solução do programa de necessidades ou de formas conceituais por meio de variabilidade de possíveis soluções para a tarefa.

Por isso, esta pesquisa busca uma nova possibilidade de repensar a arquitetura de uma maneira mais ampla, expandindo as fronteiras do conhecimento arquitetônico.

Segundo Nigel Cross em seu artigo "*The automated architect*", problemas de projeto não são problemas científicos, matemáticos ou de lógica. Não são quebra-cabeças ou jogos de adivinhação que têm uma única resposta correta. O projeto arquitetônico muitas vezes contém várias soluções possíveis que envolvem aspectos de vários campos do conhecimento.

3.1. PROCEDIMENTOS E APLICAÇÃO

Como já discutido em capítulo anterior, a aplicação do algoritmo requereu a criação de um novo sistema de famílias nos sistemas BIM. Tomamos essa decisão porque as famílias de paredes devem ser expandidas para permitir a especificação das informações atreladas ao seu banco de dados, tais como material, espessura etc.

A construção do algoritmo começa com a seleção do tipo de parede para criar as partes dos componentes, isto é, a ação de cada camada de informação do *Compound Structured Layer*. A listagem dos parâmetros de informação das camadas específica permitirá compreender como a hierarquia da informação nos sistemas BIM está atrelada à geometria dos componentes.

A partir da compreensão da listagem dos parâmetros, foi necessário isolar os parâmetros que seriam utilizados para a confecção do algoritmo para a inclusão dos

cálculos matemáticos a partir da proporção da TCPO e, posteriormente, a extração da informação dos materiais por meio do Revit 2016 e da Plataforma API (*Application Programming Interface*)¹⁸ no Dynamo.

A API funciona através da comunicação de diversos códigos, definindo comportamentos específicos de determinado objeto em uma interface conectada para aquela API. Portanto, a API de uma plataforma só realiza ações para a plataforma para a qual foi concebida. A customização das plataformas pelas linhas dos códigos ou blocos de tarefas permite uma série de funções acessíveis somente por meio da programação Visual ou de Programming Language .

A programação Visual é qualquer linguagem de programação que permite ao usuário criar programas manipulando elementos graficamente ao invés de escrevê-los textualmente, como acontece na Scripting Languages. Como exemplo, muitos programas que se utilizam dessa linguagem os fazem baseados na ideia que os nodos são conectados por flechas para representar as relações.

Programming Language linguagem de programação que suportam scripts, programas escritos para um especial ambiente que executará a ação da tarefa proposta pela compilação ou não da ação proposta no texto. Linguagens de scripts são frequentemente interpretadas ao em vez de compiladas como acontece nas linguagens de programação.

Uma linguagem de programação é um método padronizado para comunicar instruções para um computador. É um conjunto de regras sintáticas e semânticas usadas para definir regras e lógicas de processamento que o computador possa executar.

Permite que um programador especifique precisamente sobre quais dados um computador vai atuar ou manipular, como estes dados serão armazenados ou transmitidos e quais ações devem ser tomadas sob várias circunstâncias.

¹⁸ API (Application Programming Interface) é um conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo de software. Através das APIs, os aplicativos podem se comunicar uns com os outros sem o conhecimento ou intervenção dos usuários. Fonte: <http://canaltech.com.br/o-que-e-software/o-que-e-api/> (Acessado em 03/04/2016).

Quanto à apresentação do conceito da interface de aplicativos que utilizam a API no Revit, vale ressaltar que o uso da API na plataforma pode ser feito de duas maneiras distintas:

- *Visual Programming Language Dynamo*;
- *Programming Language*, linguagem de programação orientada a objetos (como Java, C# ou C++, entre outras).

Em capítulo posterior, serão discutidos maiores detalhes sobre o *Visual Programming*, mas cabe sublinhar aqui que este aplicativo cumpre as mesmas tarefas e rotinas de qualquer *Programming Language API*. A vantagem do uso daquela interface é não requerer o conhecimento de qualquer linguagem de programação para criar novas rotinas ou protocolos.

O *Visual Programming(Dynamo* no Revit permite o acesso da API mediante os nodos que se unem formando os “gráficos”, como se pode perceber na imagem que se segue. A validação do algoritmo para esta tese foi desenvolvida nesta abordagem.

A imagem acima facilita o entendimento de como os nodos são criados para a sistematização do algoritmo. Ao utilizar essa proposição, o arquiteto não necessita nenhum conhecimento de programação ou linguagem orientada a objetos para customizar os sistemas BIM, que estabelecem uma barreira para criar novas soluções para processos automatizados.

Para a criação do algoritmo nesses sistemas, basta desenvolver a habilidade de criar a lógica do processo de projeto do algoritmo que queremos e, com isso, gerar o processo através dos “gráficos” criados no Dynamo, já que, ao escolher a ação ou bloco, toda a linguagem de máquina já está inserida no bloco, permitindo que os usuários possam ampliar as potencialidades do Revit para além do padrão.

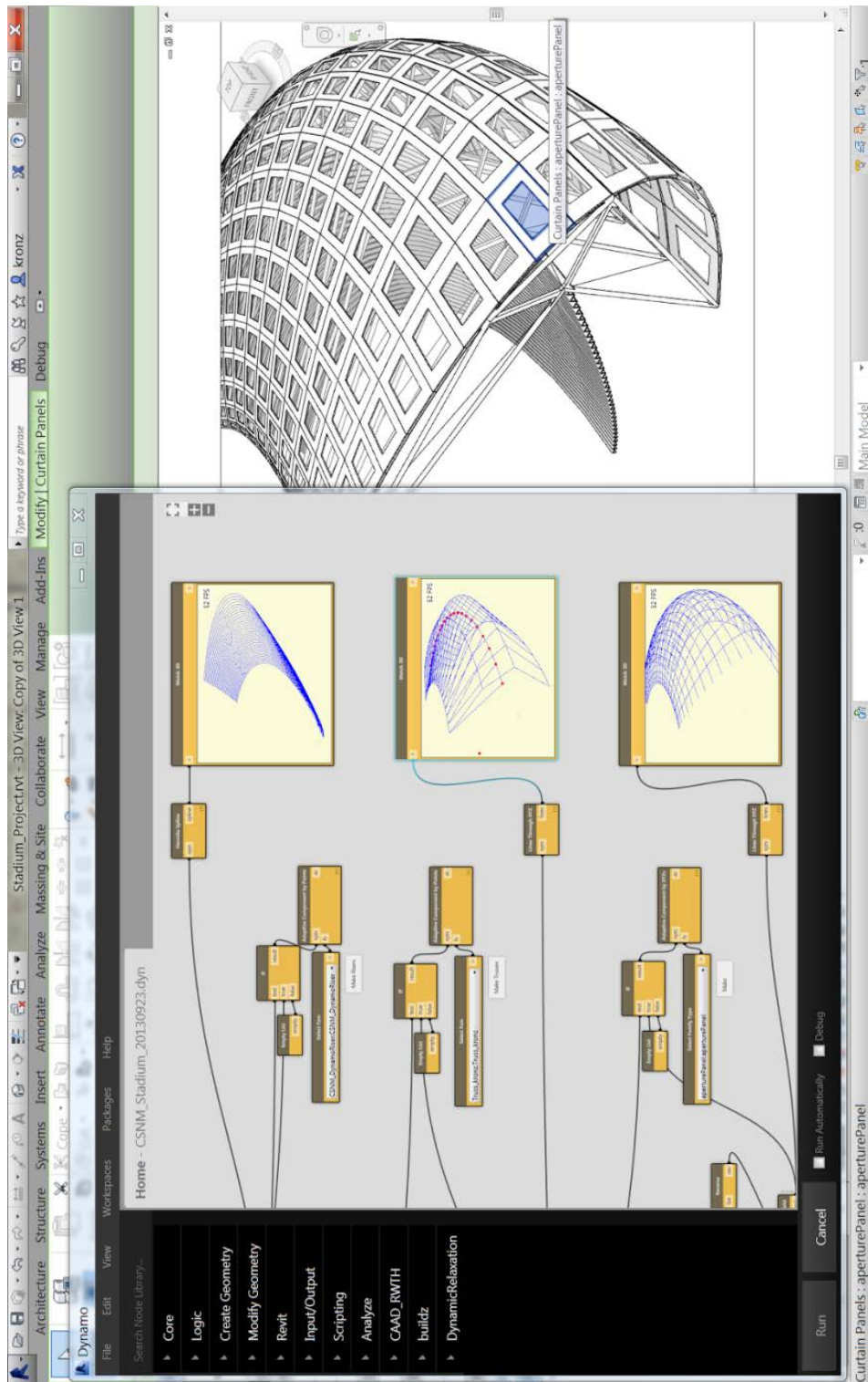


Figura 35 - Interface do Visual Programming
 Fonte: Modelo elaborado por Keough no programa Dynamo

Para arquitetos, é extremamente válido o conhecimento e o uso desta interface, pois, em geral, são poucos os que se aventuram a compreender as linguagens computacionais orientadas a objeto. O que se espera é que, ao terem conhecimento de tal interface, muitos se sintam encorajados a se lançar a novas aventuras.

A programação de softwares é um conjunto de rotinas, protocolos e ferramentas para criação de aplicativos. A API amplifica os componentes de tarefas padrão da plataforma em termos de suas operações, entradas e saídas de informações.

A API também define as funcionalidades que são independentes de suas respectivas plataformas proprietárias¹⁹. O software proprietário, privativo ou não livre, é um software licenciado, com direitos exclusivos para a empresa que o criou e que detém os direitos de sua comercialização. As quais permitem que as novas definições e implementações possam ampliar as variáveis de rotinas sem comprometer a interface. Este conceito será mais explorado no ANEXO I.

A *Application Programming Interface* é utilizada para programar um conjunto de funções ou rotinas de instruções para executar uma tarefa específica nova ou permitir a interação diretamente com o componente de uma plataforma nos sistemas BIM.

Ressalte-se o fato de que as famílias de sistemas pertencem à plataforma proprietária. Embora novas famílias de paredes, por fazerem parte da plataforma proprietária do Revit, não possam ser criadas diretamente, elas podem ser duplicadas e alterada.

As famílias de Sistema (system families) são pre-definidas no Revit. Podem ser salvas nos projetos ou como padrão para serem utilizadas posteriormente. Não podem ser carregadas externamente para fazerem parte do projeto, elas não podem

¹⁹ O **software proprietário, privativo** ou **não livre** é um software para computadores que é licenciado com direitos exclusivos para o produtor. Conforme o local de comercialização do software, esse pode ser afetado por patentes ou direitos de autor e encontrar limitações para exportação e uso em outros países. Fonte: en.wikipedia.org/wiki/Proprietary_software

ser criadas, copiadas, modificadas ou apagadas das famílias do sistema, mas elas podem ser duplicadas para posterior customização.

A primeira tarefa será a duplicação da família dos sistemas de parede para que seja possível fazer a sua customização, pois os sistemas BIM são paramétricos, ou seja, permitem a customização das categorias dos elementos que serão inseridos no projeto.

Observe-se que os componentes nos sistemas BIM podem ser alterados de três maneiras distintas:

1. Duplicando os existentes;
2. Alterando dados ou regras da família existente;
3. Ou criando uma nova família desde o início. (AUTODESK, 2014, p.179).

A fim de que o algoritmo a ser elaborado possa ser replicado mais facilmente, faremos, em primeiro lugar, a customização da família de parede a partir da duplicação, seguida das alterações necessárias. Ressaltamos que este algoritmo poderá ser usado em outros projetos de arquitetura.

Existem três tipos de famílias de paredes: *basic wall* (paredes tradicionais), *curtain wall* (parede de cortina de vidro ou divisórias) e *stacked wall* (parede com diferentes tipos de acabamento na mesma face). As imagens a seguir apresentam cada um destes tipos de parede:

1. “*Basic wall*” (paredes tradicionais do *compound structure layer* que serão utilizadas em nosso algoritmo.)

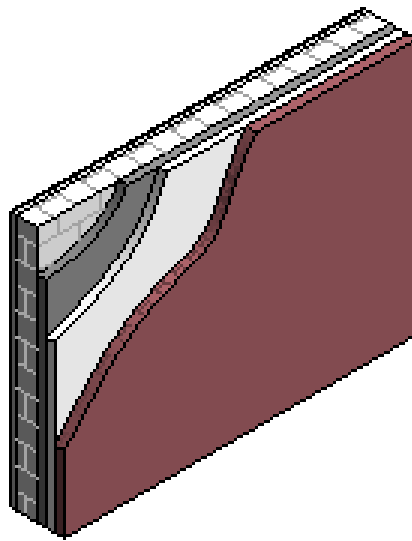


Figura 36 - Basic Wall
Fonte: Parede modelada pela autora no Revit (2016)

2. “*Curtain Wall*” (paredes feitas por meio de cortinas de vidro ou divisórias).

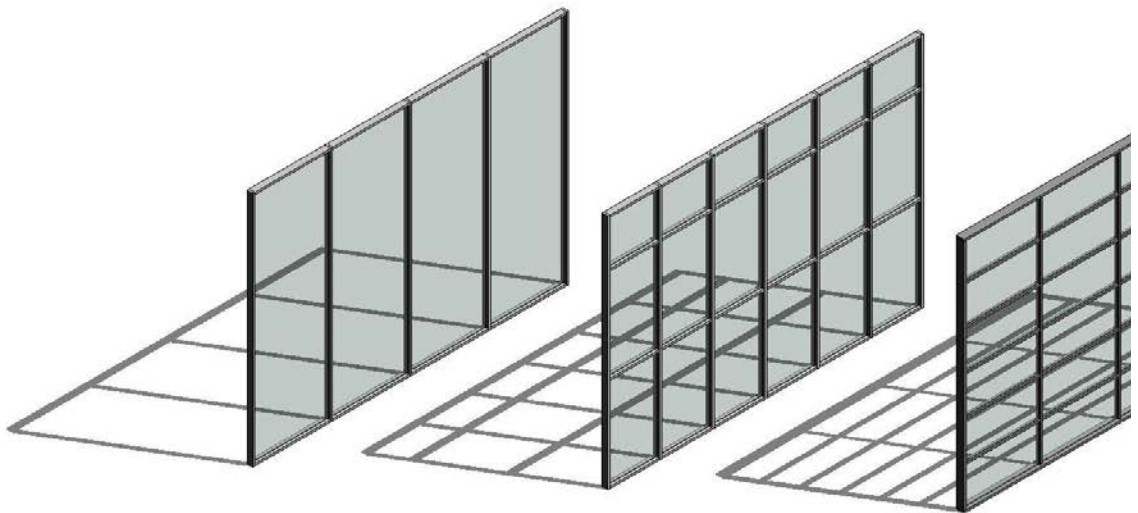


Figura 37 - Parede de Curtain Wall
Fonte: Parede modelada pela autora no Revit (2016)

3. “*Stacked wall*” (paredes construídas com diferentes tipos de

acabamento na mesma face, embora incluam camadas de informação em uma única face).

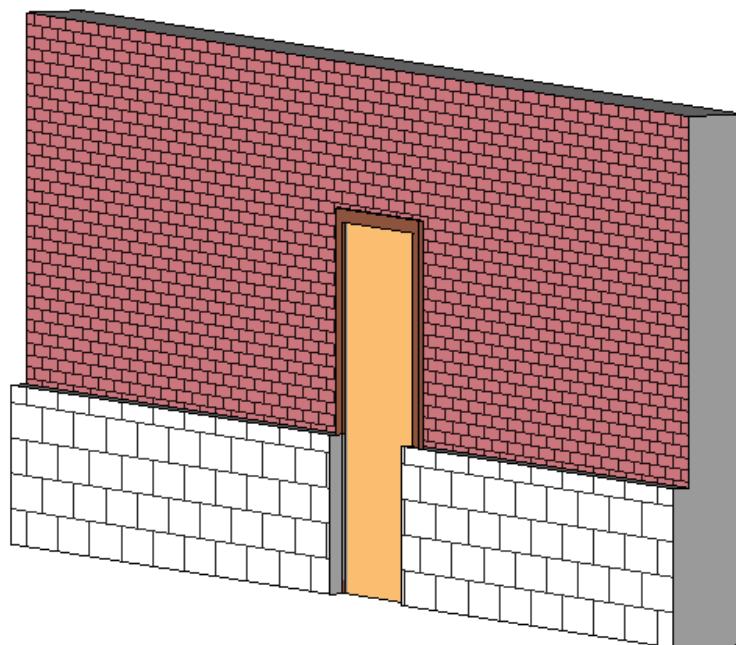


Figura 38 - Stacked WALL
Fonte: Parede modelada pela autora no Revit (2016)

Tendo em vista que a parede básica é a mais utilizada na construção civil no Brasil, esta foi escolhida em nossos procedimentos metodológicos nesta tese. As camadas desse tipo de parede são construídas no local, e, excetuando os tijolos, não há nenhum outro elemento pré-fabricado.

Conforme ilustrado acima, as paredes básicas são constituídas por camadas segundo os materiais que as compõem. No Revit, essas paredes são definidas por camadas de composição de materiais, por meio do *Compound Structure Layers*, que permite adicioná-las em um único elemento. Nas suas configurações pré-estabelecidas no API do Revit, a parede pertence ao *Compound Structure* que contém as várias camadas do *Compound Structure Layers*.

Portanto, as camadas das composições das paredes são elementos do componente parede. Dessa forma, podem-se adicionar novos parâmetros de dados,

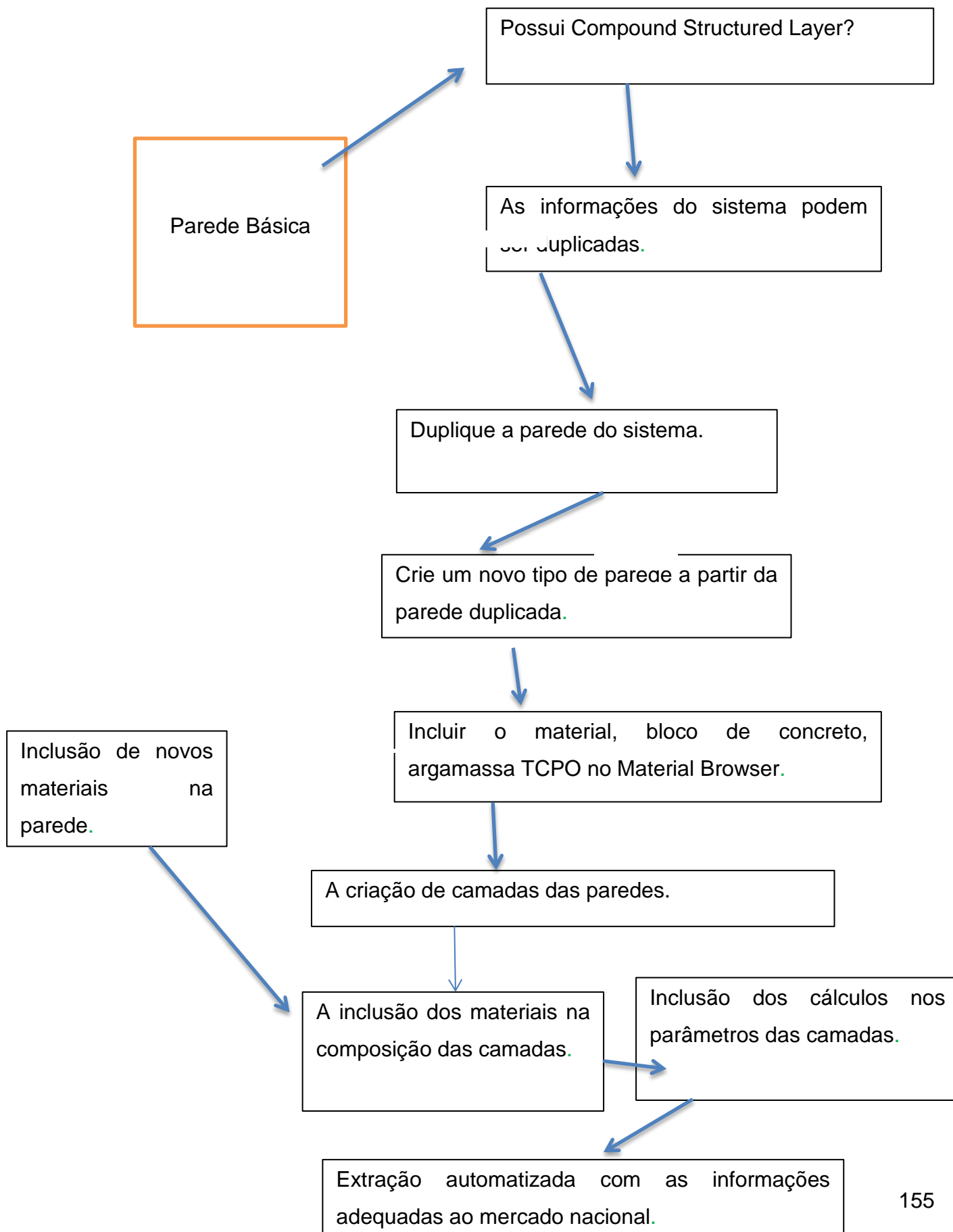
regras, atributos ou materiais para cada camada da parede. Esta rotina será mais bem detalhada na sequência da construção do algoritmo.

O sistema BIM permitem o refinamento e a melhoria dos seus dados, visto que possuem um banco de dados que suporta a criação de novas rotinas ou ferramentas a partir do uso da API.

As variáveis de duplicação dentro da API de paredes já existem e são de domínio público. Este recurso de duplicação já está disponível para cada classe de parede; caso contrário, não seria possível criar um novo tipo a partir das já existentes. A classe de parede básica, suas propriedades e métodos e seus respectivos tipos são representados pelo *WallType*, que é uma derivação do *ElementType*.

A seguir, serão apresentados os passos das rotinas para a criação do algoritmo, ressaltando-se que serão apresentados outros subitens para melhor entendimento.

Diagrama 3- Fluxo de Procedimento do Algoritmo



A partir do diagrama 3, percebe-se claramente a simplificação das etapas que o algoritmo executou para a validação da parede básica e a listagem dos parâmetros para a diagramação dos cálculos matemáticos.

Vale ressaltar que, para preencher a lacuna detectada, foi necessário identificar os dados que ainda deveriam ser obtidos externamente. Nesta tese, esses dados são, principalmente, as proporções de materiais advindos da TCPO (tabelas de composição de preços para orçamentos).

Com relação a expectativa de orçamentação no Brasil, segundo (SOLANO e PICORAL, 2006, p. 40) o setor de Orçamentos e Controle de Custos é fechado às inovações e à divulgação de seus métodos, com cada interveniente tomando decisões isoladas, segundo suas experiências. Dessa forma, muitas empresas optam por fazer estimativas. Identifica-se uma negatividade no controle de custos para o setor. De um modo geral, há uma variação entre os custos orçados e os custos reais de obras de edificações.

Portanto, como em muitas empresas nacionais se adotam a experiência acumulada para definir as proporções quantitativas. Nesta presente tese por se tratar de um texto acadêmico se fez o uso da Tabela de Composições de preços e Orçamentos- TCPO porque como já expressado anteriormente as proporções definidas por estas tabelas são amplamente utilizada tanto nas empresas de construção particulares quanto em órgãos públicos, tornando-se uma fonte de adequada.

Para o processo gerativo do algoritmo, foi adotada a composição dos materiais necessários para a construção da alvenaria estrutural em blocos de concreto, com dimensões 14 x 19 x 39 cm, e para a composição da argamassa de assentamento.

A seguir, apresentaremos os fluxos das fórmulas matemáticas utilizadas no cálculo das quantidades de insumos para a compra no mercado nacional de cada um dos materiais componentes das paredes. Isso requer a utilização dos dados já disponíveis nos sistemas BIM (como, por exemplo, as dimensões das paredes) e as proporções de cada um dos materiais obtidos na TCPO.

O passo seguinte será a inclusão de regras nos parâmetros de materiais, com o objetivo de inserir fórmulas matemáticas com as proporções utilizadas pela TCPO. Além disto, foram incluídas as unidades de compras específicas do mercado de construção nacional.

Finalmente, foi feita a previsão da extração automática dos quantitativos adequados.

A implementação desses passos será feita por meio do Revit 2016 API *Developer's Guide* e implementado pelo *Visual Programming Dynamo*. Esse Guia encontra-se *on-line* e é gratuito para aqueles que queiram modificar o sistema Revit ou adicionar novos recursos.

3.1.1. ADICIONANDO A FAMÍLIA DE PAREDE TCPO

Destacamos que existe um procedimento para a duplicação da família de parede que se encontra disponibilizado pelo fabricante em linguagem de programação

Portanto fica claro que essa duplicação já existe e na tese mantivemos essa duplicação em linguagem de C# apenas para possibilitar ao leitor entender que a linguagem de programação computacional não é de fácil entendimento e, portanto os arquitetos não precisam dominar a linguagem de programação para entender a logica de programação e conseqüentemente algoritmos.

Como já discutido anteriormente os sistemas de famílias de paredes no Revit precisam ser duplicados para posterior customização. Essa duplicação por meio da API permite ao usuário criar os modelos de elementos como as paredes. Pela classe

WallType que apenas permite o acesso os tipos de paredes básicas a API buscará determina se a parede básica selecionada pertence ao tipo básico wall e se a afirmativa for verdadeira por meio de operação booleana validará se tal parede contem compound structure layer. A partir da validação haverá a varredura de todos os requerimentos e parâmetros da parede original para a sua duplicação em um nova parede com nome distinto. Esses passos serão apresentados na Tabela 13 e 14 a seguir.

Tabela 13 – Criação da família de sistema parede de domínio público
Fonte - (AUTODESK, 2014, p. 265)

Criação de uma Família de sistema parede	
01	. WallType wallType = wall. WallType;
02	. WallType newWallType = wallType.Duplicate (newWallTypeName) as WallType;
03	. CompoundSrtuctureLayerArray layers = new WallType.CompoundStructure.Layers;
04	. Foreach (compound Structure Layer layer in layers)
05	. {
06	. //double each layer thickness:
07	. layer.thickness * = 2,0 ;
08	. }
09	. // assign the new wall type back to wall:
10	. wall.WallType = NewWallType.

Percebe-se a partir da tabela acima que a linguagem de programação é projetada para adotar uma sintaxe de comando para a máquina executar. Difere substancialmente da linguagem de alto nível humana. Linguagens de programação

são ferramentas importantes para que programadores e engenheiros de “*software*” possam escrever programas mais organizados e com maior rapidez.

Como a linguagem de programação não é de domínio da maioria dos arquitetos, entretanto uma das contribuições dessa tese parte do pressuposto que a lógica de programação e conseqüentemente o processo gerativo do algoritmo pela interface de programação gráfica cada vez mais deverá se tornar uma tarefa usual no dia a dia do arquiteto.

Para compreender a lógica das etapas da duplicação da parede acima, uma das contribuições da autora se estabeleceu na transcrição da rotina de linguagem de programação de autoria da Autodesk para a linguagem humana, portanto a tradução da Tabela 12 (linguagem de programação) para a Tabela 13 (linguagem humana), a qual permitirá a todos os leitores entender os passos necessários para a duplicação da parede básica.

A compreensão da rotina de duplicação da parede em linguagem humana facilita a replicação desse método de investigação por todos os que pretendem customizar uma família de sistema de parede.

A contribuição dessa tabela é permitir a todos os pesquisadores entenderem que uma duplicação de família de paredes é uma tarefa simples e bem prática.

Tabela 14 - Procedimento de duplicação da família de paredes em linguagem em alto nível

Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Início

1. Solicitar ao programa que armazene espaço na memória do computador para a inserção de dados (tipo de parede, tipo de componente, altura , etc) .
2. Utilizar valores alfanuméricos (ex. tamanho da parede, parede “a” , parede “b”) , pré –determinar valores únicos a serem utilizados e valores que podem ser substituídos.
3. Enquanto não há mudanças de atributo, utilizar atributos herdados da família (ex. não havendo definição da altura da parede, utilize o valor padrão da parede fornecida pelo sistema)
Programa verifica valores do objeto e copia informações e atributos caso não seja inserido novos.
4. Apresentar novos campos para inserção de características da nova parede, caso seja criado uma nova parede.
5. Testar a informação inserida nos atributos, efetue um teste para determinar se a copia da parede foi efetuada com sucesso no banco de dados do programa.
6. Duplicar a parede pela parede padrão que consta no sistema.
7. Dados são duplicados nos sistemas, mas nova parede recebe nome diferente da primeira.
8. Criar camada com nova sequencia de elementos atribui novas camadas pelo *compound Structure Layer*.
9. Criar valores de um mesmo tipo e igual a estrutura da parede inicial.
10. Definir valores lado externo e interno das paredes (camadas).
11. Duplicar espessura da parede (camada)
12. Copiar parâmetros da parede padrão para a nova parede.
13. Retornar copia da parede a parede original.
14. Finalizar nova parede e salvar arquivo no sistema.

Fim

O procedimento acima duplica a família de sistema, tendo como base a família proprietária do mesmo. O procedimento de verificar a existência da família de sistema procurada permite a varredura de todas as variáveis e dados existentes na família de sistema original para confirmar se a mesma existe ou não, e se está adequada para ser duplicada.

Na linha 4 da Tabela 14, ao acrescentar espaço na memória da nova parede permite a inclusão de novas propriedades a serem utilizadas, permitirá a inclusão de novas informações dentro desta família, o que será o ponto chave para alterá-la e customizá-la a partir do algoritmo proposto.

Logo ao finalizar a nova parede e salvar arquivo no sistema os arquivos da nova família de parede TCPO devem ser salvos em *.RFA. Esse tipo de arquivo salva as famílias de elementos. Difere dos arquivos *.RVT arquivo de projeto.

Para ilustrar o arquivo *.RFA que é um arquivo de família, a Figura 38 permite entender que os arquivos de famílias na plataforma Revit se comportam como objetos que contêm geometria e informação.

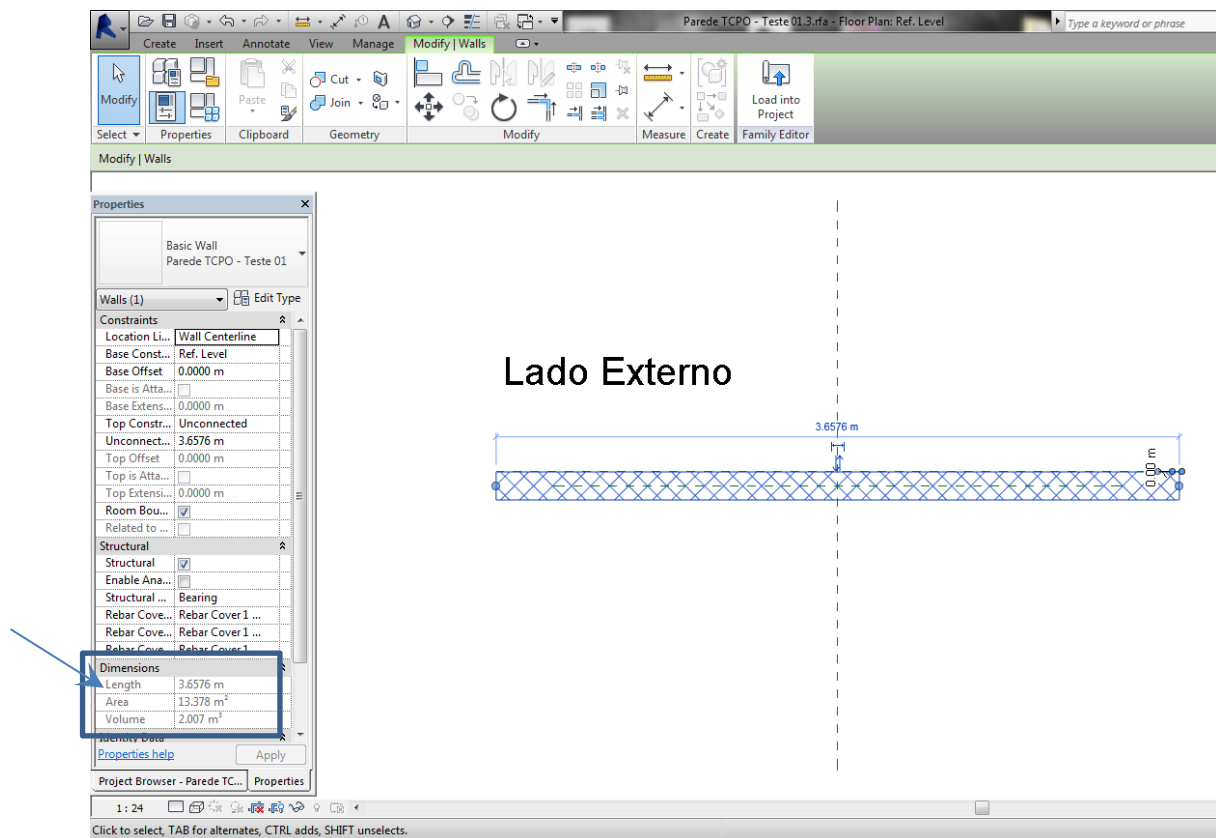


Figura 39 - Parede TCPO Teste 01
Fonte: Imagem elaborada pela autora no Revit (2016)

A partir da figura 39 se denota que as paredes e as suas propriedades de dimensões como: área e volume do objeto são calculadas e transmitidas ao usuário de uma maneira dinâmica. Isto é, ao alterar a geometria essas informações automaticamente são calculadas.

A família de parede duplicada poderá agora ser acrescida das informações dos materiais das camadas customizadas e dos parâmetros necessários para a família de parede.

3.1.2. INCLUSÃO DO MATERIAL TCPO

O próximo passo é esse, incluir os materiais segundo a TCPO na biblioteca da plataforma. Ressaltamos que o Revit não é apenas uma plataforma de representação gráfica. Os elementos arquitetônicos devem possuir informações necessárias para definir as características, propriedades, requerimentos e parâmetros dos objetos para extrair os dados precisos para a construção.

Os materiais no sistema Revit possuem atributos, requerimentos e comportamentos registrados detalhadamente em seu banco de dados. Os materiais possuem diversos aspectos, relacionados com a aparência da renderização, a elaboração dos gráficos, da estrutura térmica e física.

No Revit os componentes construtivos são associados ao conjunto das informações sobre suas propriedades, comportamentos e inter-relações. Algumas destas informações são a respeito das características visuais dos materiais e só podem ser observados por meio da renderização realista do edifício. Por outro lado, outras propriedades podem ser manipuladas ou visíveis a todo momento de elaboração do edifício.

As propriedades de aparência e gráficos podem ser definidos para uma extração da informação dos materiais. Estes módulos são opcionais e podem ser adicionados ou eliminados conforme necessário; No entanto, a maioria dos materiais têm um atributo que não pode ser excluído, os gráficos bidimensionais e sua aparência.

Cada característica do material é representado por sua propriedade em sua classe além do seus assets). Os assets são as propriedades que definem como os materiais devem ser organizados.

O Revit utiliza quatro tipos de *assets* para definir os materiais:

- Gráfico (**Graphics**) (Revit apenas) – essa propriedade apresenta as qualidades visuais do material em vistas.
- Aparência (**Appearance**) – essa propriedade apresenta o tipo de representação dos materiais em vistas renderizadas, como: vistas realísticas, *ray trace* e etc;
- Física (**Physical**) - essa propriedade é utilizada para a análise estrutural;
- Térmica (**Thermal**) (Revit apenas) – propriedade que define as características para as simulações de conforto térmico.

A definição das propriedades dos materiais é essencial para a criação e customização dos mesmos no Revit. Conforme mostra a Figura 40 pode-se definir os *assets* no Material Browser.

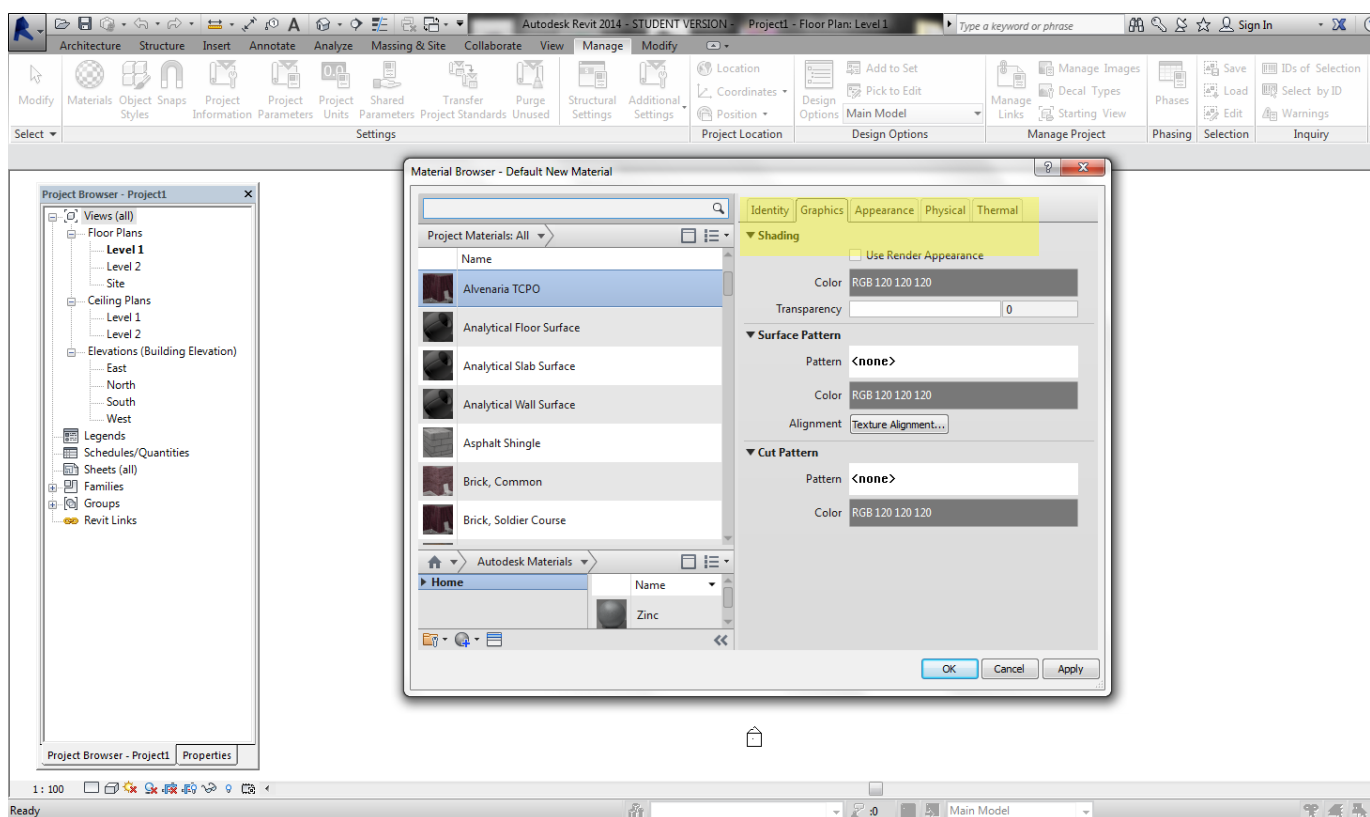


Figura 40 - Material Browser e Assets
Fonte: Imagem elaborada pela autora no Revit (2016)

O conhecimento das propriedades dos materiais e suas características permitem que a criação dos novos materiais seja feita corretamente dentro do sistema.

Na criação dos materiais da alvenaria TCPO e substrato TCPO se utilizou o método `Material.Create()`. Nesta biblioteca de materiais não pode haver nomes duplicados dentro do Material Browser.

Tabela 15- Adicionado o novo no Material Browser
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Adicionando Novo Material Alvenaria TCPO - Substrato TCPO	
1.	Criando o material Sistema busca características do material (qual tipo de material será utilizado)
2.	Crie os materiais, " Alvenaria TCPO - Substrato TCPO ";
3.	Inclua esse material no documento;
4.	//Crie um novo conjunto propriedades que irão compor esse material; Assuma as camadas estruturais (Tijolo, reboco/ chapisco e acabamento)
5.	Inclua conjunto de propriedades do Material TCPO Teste 01 Defina o modelo do structuralAsset , que é a propriedade que caracteriza os elementos com mesma propriedade
6.	Na biblioteca do sistema , defina o tipo de material (exp. Concreto , gesso)
8.	Na biblioteca de materiais defina o elemento de material; Defina as propriedades e parâmetros de material ao material Browser
9.	Crie um novo documento no conjunto de elementos e suas propriedades de materiais; Defina o conjunto de aspectos gráficos, aparência , físico e térmicos ao material TCPO
10	Alvenaria TCPO - Substrato TCPO

Na tabela 15 estão apresentados os passos da inclusão dos materiais TCPO Material Alvenaria TCPO - Substrato TCPO no Material Browser. Conforme apresentado na tabela acima, a inclusão dos materiais é feita por meio de uma rotina de procedimentos no tocante a composição de atributos dos mesmos.

As propriedades dos materiais no Revit possuem vários parâmetros que não podem ser acrescentados ou customizados, tais como: como o `asset.PoisonRatio`; `asset.youngModulus`; `asset.ThermalExpansionCoefficient`; `asset.Density`; `asset.ShearModulus`; `asset.DampingRatio`. Portanto, todos os `assets` relacionados aos simuladores térmicos ou estruturais no Revit não podem ser alterados.

3.1.3. CAMADAS DE COMPOSIÇÃO DAS PAREDES

O algoritmo começa por meio da ação apresentada nesta seção. O Revit ainda não permite a criação de camadas de informação (*Compound Structure Layer*) automaticamente, essa atividade deve ser executada pelo usuário. O objeto parede básica ao ser modelada pode apresentar camadas distintas de informação que pertence ao mesmo elemento, para a tese será necessária a inclusão da informação de camadas de informação de acordo com a TCPO.

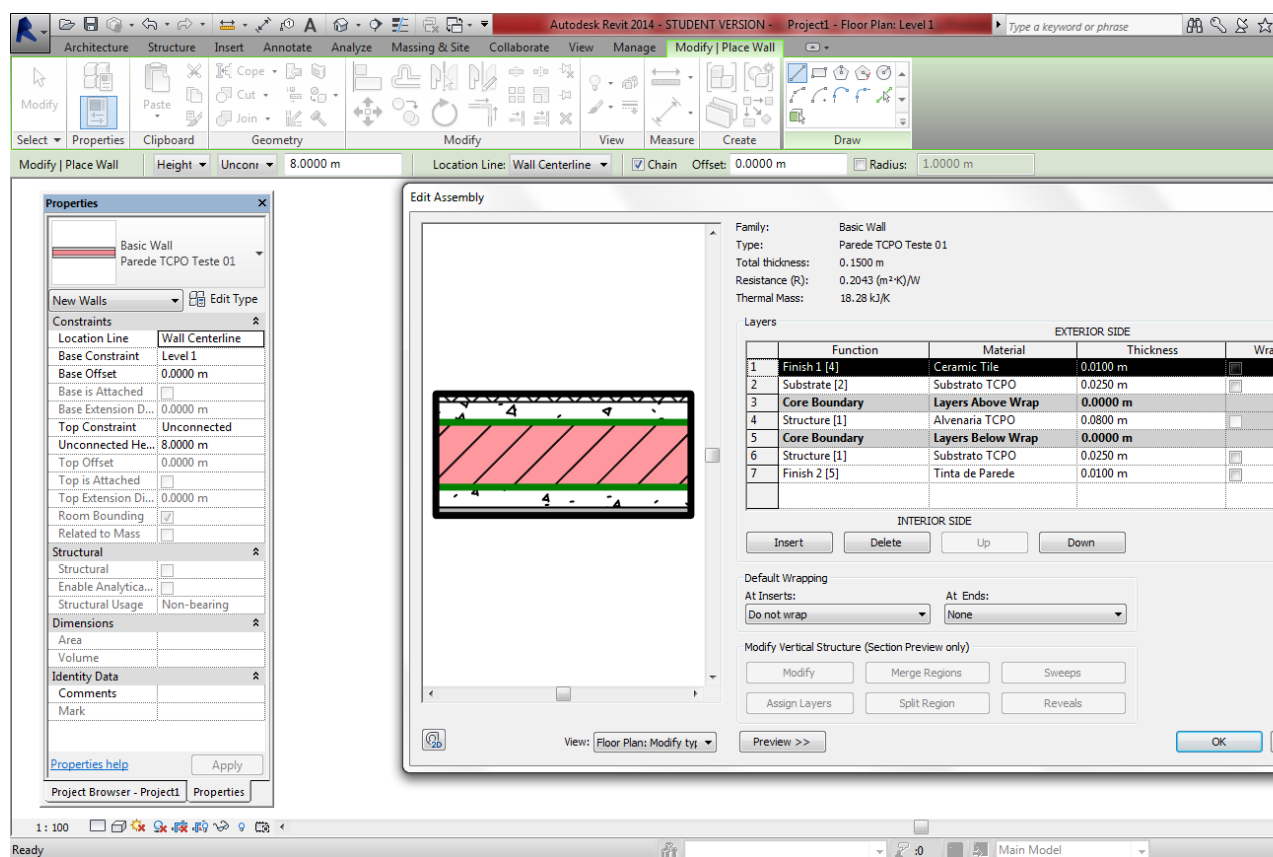


Figura 41 - Criação de partes das camadas pela TCPO
Fonte: Imagem elaborada pela autora no Revit (2016)

A figura acima mostra que cada camada da parede está associada a um elemento da TCPO como substrato, blocos de concreto e acabamentos.

As camadas dos elementos têm como exemplo: material, espessura e propriedades. Os parâmetros que as regem também devem conter informações relativas às respectivas camadas a que pertencem.

Como mostra a Figura 41, , as camadas de informação do *Compound Structure Layer*— são distintas dentro do elemento parede. A composição de camadas em um elemento permite associar a cada uma delas as informações para a extração mais exata.

A parede no Revit é um elemento Host (hospedeiro de portas e janelas) e as camadas do objeto são modeladas por estruturas compostas - *Compound Structure* - a variável *HostObject with compound Structure* - obterá os materiais de cada camada do modelo a partir da *CompoundStructureLayer class Material Id property*.

Os elementos Host (hospedeiro) como as paredes incluem camadas paralelas. As camadas paralelas são disponíveis pelo *CompoundStructure class*, a partir do *HostObjAttributes.getCompoundStructure*.

A seguir é preciso executar alguns passos importantes antes de usar o *CompoundStructure*:

- Considerando que a largura total da parede é a soma de cada componente de cada camada de sua geometria, não há como alterar a largura total em relação ao elemento trabalhado diretamente. No entanto, é possível alterá-la por meio da largura total da composição de camadas da geometria parede.
- No sentido de armazenar informações, o processo adotado deverá ser *HostObjAttributes.SetCompoundStructure* que define novos atributos das instâncias (*HostObjAttributes instance*).

Assim, as camadas das paredes podem ser alteradas em seus componentes, resguardando todos os atributos da família a que pertence.

A Tabela 16 apresenta os passos necessários para a obtenção dos materiais por camada do elemento de parede. Também contém informação no sentido de que as camadas do objeto possuem identidades independentes.

Tabela 16 - Algoritmo para obter a estrutura de material composto por camada
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Passos para a Inclusão de Materiais por Camada de Parede	
1.	Obter o tipo de parede (<i>basic, stacked wall</i> ou <i>curtain wall</i>)
2.	Apenas parede básica faz parte da classe <i>CompoundStructure</i> (<i>classe da estrutura</i>)
3.	Se a parede escolhida pertence à família básica ela será validada
4.	Obter a classe <i>CompoundStructure</i> (composição da estrutura)
5.	Obter a estrutura padrão das paredes
6.	Buscar as informações e atributos de cada camada padrão do sistema
7.	Para cada camada definida – estruturar camadas diferentes
8.	Validar as camadas de materiais do <i>CompoundStructure layer</i> se forem especificadas
9.	Usar o paralelismo para definir as outras camadas
10.	Definir os materiais e suas categorias
11.	Expandir a função das camadas de estruturas para camadas distintas
12.	Atribuir material de acabamento 01
13.	Adotar a camada de material cerâmica
14.	Dentre todas as categorias obter um item
15.	Atribuir ao material a categoria de acabamento denominada cerâmica.
16.	Criar e adotar como material de acabamento
17.	Atribuir a função de material acabamento 02
18.	Adotar a camada de material tinta
19.	Dentre todas as categorias obter um item
20.	Atribuir ao material a categoria de acabamento denominada tinta.
21.	Criar e adotar como material de acabamento
22.	Atribuir material bloco de concreto
23.	Adotar a camada bloco de concreto
24.	Dentre todas as categorias obter um item
25.	Atribuir ao material a categoria de acabamento denominada bloco de concreto.
26.	Criar e adotar como material de Estrutura
27.	Atribuir material bloco de Substrato
28.	Adotar a camada de Substrato
29.	Dentre todas as categorias obter um item
30.	Atribuir ao material a categoria de acabamento Substrato.
31.	Criar e adotar como material de Substrato

32.	Atribuir material bloco de Substrato
33.	Adotar a camada de Substrato
34.	Dentre todas as categorias obter um item
35.	Atribuir ao material a categoria de acabamento Substrato.
36.	Criar e adotar como material de Substrato

A partir dos passos apresentados na tabela 16 de inclusão de material por camada de parede, as camadas de composição dos materiais são criadas separadamente. O resultado é que desta forma permite ao sistema extrair as informações detalhadas da composição da parede padrão TCPO. Desta forma, o algoritmo proposto nesta tese inclui estes passos de maneira automatizada para as paredes.

A criação automatizada das camadas distintas de composição dos materiais da parede pode ser observada na Figura 42. Esta ilustra que cada camada ao ser separada do elemento gerador cria a possibilidade de incluir novos parâmetros e atributos distintos.

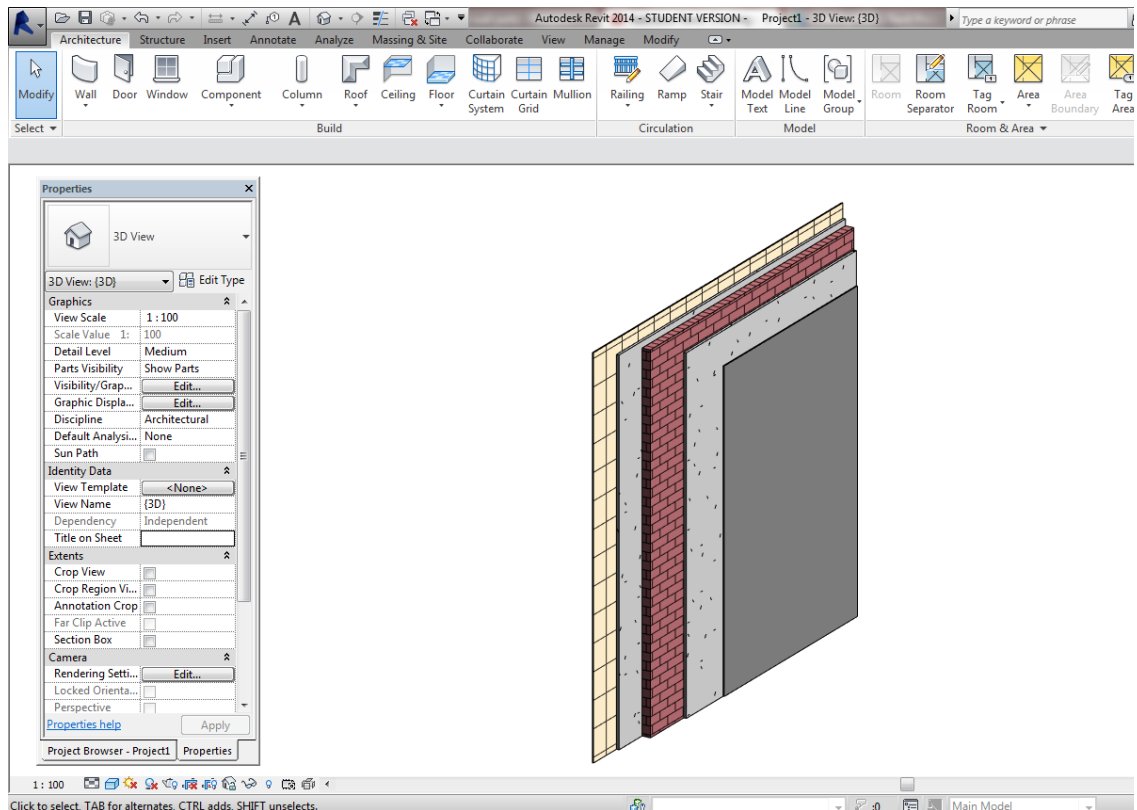


Figura 42 - Criação de partes das camadas de composição da Parede TCPO
Fonte: Imagem elaborada pela autora no Revit (2016)).

A representação das partes permite uma melhor visualização e modelagem das mesmas. Essa distinção de cada camada possibilita o modelo a ser mais realista com a construção.

3.1.4. OS DADOS DE PROPORÇÃO DE MATERIAIS

Segundo a norma da ABNT NBR 12721, “critérios para avaliação de valores de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios”, o valor de construção nas incorporações em condomínio deve ser rateado de acordo com o critério de proporcionalidade das áreas equivalentes. A cota de construção é calculada por meio da proporção entre a área equivalente de valor padrão total da unidade autônoma e aquela de valor padrão global da edificação.

Desta forma o valor das edificações deve ser baseado apenas nos critérios de proporcionalidade das áreas equivalentes, o que não inclui os quantitativos de insumos nos cálculos. O argumento desta tese é contrário a esta posição porque assume que é possível fornecer os quantitativos exatos de materiais de acordo com as unidades de compra no mercado, o que permitirá uma construção com menos desperdícios.

3.1.5. DEFINIR OS MATERIAIS DA PAREDE TCPO

Os materiais das camadas do elemento parede usarão as proporções estabelecidas na tabela de composição de preços para orçamento, TCPO, como, exemplo, utilizando os dados de proporção de materiais, blocos de concreto, cimento, argamassa, cal hidratada, areia e etc

Na elaboração do algoritmo produzido nesta tese, utilizamos uma parede de alvenaria estrutural em blocos de concreto portantes com dimensões de 14 x 19 x 39 cm, assentados com argamassa. Utilizamos a espessura das juntas 10 mm, e parede sem revestimento com 14 cm de largura as unidades de medida, m².

A argamassa de assentamento para os blocos de concreto é composta de cimento, cal hidratada e areia média sem peneirar no traço 1:0,25:3.

Tabela 17 – Quantitativos de materiais para alvenaria de elevação em bloco de concreto
 Fonte: TCPO 2013, p.167.

Composição dos materiais necessários para o assentamento da alvenaria estrutural em blocos de concreto com dimensões: 14 x 19 x 39 cm.		
Quantidade de materiais - Unidades por m ²		
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média sem peneirar no traço 1:0,25:3.		
Componentes	Quantidades	Unidade
Cimento	5,28	kg
Cal hidratada	0,65	kg
Areia média	0,013	m ³
Bloco de concreto 14 x 19 x 39cm	13,13	unidade

Conforme a Tabela 16 acima essa será a proporção da quantidade de materiais utilizados para assentar a alvenaria estrutural. Estas informações dos quantitativos de materiais não existem por padrão nos sistemas BIM e nem no Revit. A especificidade dessa informação para a construção nacional é relevante como já foi mencionado no questionário desta tese. A escolha desse tipo de alvenaria em bloco de concreto se justifica porque é largamente implementada no território nacional.

3.2. DEFINIR AS FÓRMULAS MATEMÁTICAS

Como já definimos as composições das camadas verticais das paredes é necessário estabelecer as proporções dos materiais. Será necessário determinar a proporção destes materiais com referencia a área da parede, utilizando a mesma proporção adotada pela TCPO.

A criação da variável grandeza é a relação direta entre as quantidades de materiais encontradas na TCPO e a relação de proporcionalidade direta com o atributo de medidas da parede.

A tabela abaixo ilustra a relação dos materiais dentro da camada de alvenaria e suas grandezas com referencia a área do elemento. As fórmulas matemáticas dos materiais são constituídas por meio da proporção direta entre os coeficientes dos mesmos e a variável área.

Tabela 18 – Tabela dos cálculos matemáticos para a Alvenaria TCPO
Fonte: Tabela elaborada pela autora (2016)

Composição dos materiais necessários para alvenaria estrutural em blocos de concreto portantes armados.			
Consumo de materiais - Unidades por m ²			
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média sem peneirar no traço 1:0,25:3.			
Componentes	Quantidades	Unidade	Fórmulas matemáticas das Quantidades
Cimento	5,20	kg	$Q = (\text{Área} \times 5,20)$
Cal hidratada	0,65	kg	$Q = (\text{Área} \times 0,65)$
Areia média	0,013	m ³	$Q = (\text{Área} \times 0,013)$
Bloco de concreto 14x19x39 cm	13,13	unidade	$Q = (\text{Área} \times 13,13)$

Para o cálculo das fórmulas será necessário acrescentar os parâmetros de proporção no algoritmo. A relação da proporcionalidade direta entre os quantitativos de materiais na alvenaria estrutural com a proporção das áreas dos mesmos será apresentada na tabela abaixo.

Exemplo 01

Tabela 19 - Exemplo de Cálculo dos Quantitativos de Materiais
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Cálculo para o quantitativo de materiais em uma parede de 50 m ²	Quantidade	Unidade
Formula: área x 5,20	260	kg de cimento
Formula: área x 0,65	32,50	kg de cal hidratada
Fórmula: (área x 2,6) x 0,013	0.65	m ³ de areia
Fórmula: área x 13,13	656,5	unidades de blocos

Os exemplos da tabela 19 e 20 mostram a possibilidade de obter a informação exata dos quantitativos de materiais que além de ajudar a evitar desperdícios permitem compreender a manufatura dos componentes da arquitetura.

Exemplo 02

Tabela 20 - Exemplo de Cálculo dos Quantitativos de Quantitativos
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Cálculo para o Consumo de Insumos em uma parede de 365 m ²	Quantidade	unidade
Formula: área x 5,20	1898	kg de cimento
Formula: área x 0,65	237,25	kg de cal hidratada
Fórmula: (área x2,6) x 0,013	4,74	m ³ de areia
Fórmula: área x 13,13	4792	unidades de blocos

Esta informação é crucial para o dia a dia da construção, pois permite que o(a) arquiteto(a) se aproxime mais do canteiro de obras e tenha mais controle sobre o mesmo.

Observa-se também que atualmente a postura do arquiteto perante o canteiro de obras vem se alterando. O(a) arquiteto(a) não está mais restrito apenas ao projeto, mas por meio das tecnologias digitais passa a ser parte atuante da construção. Neste sentido, esta tese contribui com a definição precisa dos materiais necessários para execução dos elementos e também como deverá acontecer as etapas a eles relacionadas.

Como já discutida na seção problemática, a extração automática da informação geral dos quantitativos baseados na forma geométrica disponível hoje nas plataformas dos sistemas BIM não é suficiente para a compra dos materiais no mercado nacional. Atualmente a compra dos materiais no mercado nacional é feita utilizando a unidade de saco de cimento (de 50 kg) ou de cal hidratada (de 20 kg). Para a execução do algoritmo se faz válido uma função matemática para executar essa ação, como pode ser compreendido pela tabela 18 e 19.

Contudo, como pode ser observado pela tabela 18 e 19 os resultados alcançados nem sempre são exatos. E lembrando que não há possibilidade compra de 0.65 sacos é necessário uma função matemática que refine esse dado.

A fórmula que calcula intervalos numéricos executa a ação de aproximar valores decimais ao numero real mais próximo.

No sentido de explicar as fórmulas de cálculo consideradas mais eficientes para a construção do algoritmo elaboramos a Tabela 20 que apresentamos a seguir.

Tabela 21 - Cálculo dos intervalos numéricos para os sacos de cimento
 Fonte - Tabela elaborada pela autora (2016)

Proposta da fórmula para calcular intervalos numéricos dos sacos de cimento	
PROBLEMA	RESULTADO
Se a quantidade estiver no intervalo entre 0 e 50 kg ;	Adote o valor de 01 saco de 50Kg
Se a quantidade estiver no intervalo entre (50+1) e 2 x(50) ou [51 e100 kgs];	Adote o valor de 02 sacos de 50Kg
Se a quantidade estiver no intervalo entre (2 x50)+1 e 3X (50) ou [101 e 150 kgs];	Adote o valor de 03 sacos de 50Kg
Transformando os intervalos acima em linguagem matemática:	
Se $Q1 \leq 50 \times 1$; Adote 01 ; onde "Q1" é o quantitativo de materiais	
Se $50 < Q1 \leq 50 \times 2$; Adote 02 ; onde "Q1" é o quantitativo de materiais	
Se $100 < Q1 \leq 50 \times 3$; Adote 03 ; onde "Q1" é o quantitativo de materiais	

A inclusão do intervalo numérico no cálculo da quantidade dos sacos de cimento é fundamental para a elaboração do algoritmo. Como se pode observar por meio da tabela acima utilizamos a fórmula de proporção direta.

Por exemplo, 15,60 sacos de cimento não estão disponíveis para compra no mercado, pois se vende apenas medidas inteiras. Por isto, o cálculo da quantidade de sacos de cimento deve obedecer ao arredondamento sempre para cima. Isto é, ser for necessário 110 quilos de cimento e sabendo que cada saco de cimento contém 50 quilos, portanto será necessário comprar 3 sacos de cimento.

Importante enfatizar, também os valores sobre o arredondamento, pois em alguns casos não será necessário o executor da obra comprar mais material destinado a perdas que infelizmente na cultura brasileira ainda é comum, embora tende a ser reduzida. Contudo essa variação sobre as perdas de materiais depende, basicamente, da variação do indicador de produtividade adotado por cada empresa, tanto para o material quanto para a mão-de-obra. (SOUZA, PALIARI, *et al.*, 2001)

Tal consideração questiona a adoção de valores médios de produtividade/perdas, uma vez que diversas pesquisas realizadas no Brasil apontam uma grande variabilidade dos indicadores de técnicas e produtividade de mão-de-obra em função, dentre outros motivos, das características do canteiro e dos serviços em execução. (AGOPYAN e SOUZA, 1996)

Portanto, devido a sua variabilidade dos indicadores de consumos serem alterados por região, por empresa, qualidade de materiais ou mão-de-obra, as sobras de materiais advindas do arredondamento nesta tese devido ao recorte não foram analisadas para nenhum aspecto, porém acende uma suposição para pesquisas futuras.

De acordo com a ABNT/NB 87 de 1961 que dispõe sobre as regras de arredondamento da numeração decimal e fórmulas matemáticas para os vários tipos de arredondamentos, essa fórmula é melhor definida na Tabela 21.

É do conhecimento geral que o arredondamento para o número inteiro mais próximo é usual. Neste caso, quando houver uma fração, será utilizado o número inteiro superior mais próximo.

Tabela 22 - Função matemática de arredondamento
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

A função matemática de arredondamento a ser utilizada:
ARREDONDAR.PARA.CIMA ATÉ O NÚMERO INTEIRO MAIS PRÓXIMO
Sintaxe: ARRED(número, núm_dígitos)
A sintaxe da função ARRED tem os seguintes argumentos: <ul style="list-style-type: none"> • (número) O número que você deseja arredondar; • (núm_dígitos) O número de dígitos para o qual você deseja arredondar o argumento do número; arredonda um número para cima afastando-o de zero. • Se “núm_dígitos” for 0, o número será arredondado para o inteiro mais próximo.

Na tabela abaixo apresentamos exemplo de como essa função será adotada para o cálculo dos sacos de cimento.

Tabela 23 - Exemplo da aplicação da função de arredondamento
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Função = ARRED(número, núm_dígitos)	Descrição	Resultado
=ARREDONDAR.PARA.CIMA(Quantidade necessária de cimento em kgs dividido por 50kgs de cada saco;0); Exemplo: Arred(121/50;0)	Arredonda a divisão de $121 \div 50 = 2,42$ para o número inteiro mais próximo(nesse caso 03), além de arredondar para cima afastando-o de zero.	03 sacos de cimento
Exemplo: Arred(365/50;0)	Arredonda o resultado da divisão $365 \div 50 = 7.3$ para o número inteiro mais próximo (nesse caso 08), além de arredondar para cima afastando-o de zero.	08 sacos de cimento

Exemplo: Arred(761/50;0)	Arredonda a divisão de $761 \div 50 = 15.22$ para o número inteiro mais próximo(nesse caso 16), além de arredondar para cima afastando-o de zero.	16 sacos de cimento
--------------------------	--	---------------------

A tabela 23 apresenta a função de arredondamento numérico para computar a quantidade de sacos de cimento a partir dos quilos de cimento tendo por base os 50 kgs de cada saco . A partir desta divisão este valor deve ser arredondado para o número real inteiro mais próximo afastando-se do zero.

Este cálculo é aplicável a todos os casos. O cômputo das informações devem seguir alguns princípios de programação tais como:

- Considerar o tempo de execução do cálculo determinado pelas instruções executadas. Isto significa avaliar quanto “tempo” é necessário para computar o resultado para uma instância do problema. (KANT,1985, p. 166).
- Verificar qual é o espaço de armazenagem utilizado pela função matemática. Isto é, identificar quanto espaço de memória ou disco é preciso para armazenar a(s) estrutura(s) utilizada(s) pela implementação do cálculo. (KANT,1985, p. 166).
- Medidas de complexidade: levam em consideração o grau de dificuldade para fazer o cálculo. Isto significa a quantidade de vezes necessárias para executar o cômputo. (KANT,1985, p. 166).

A Tabela 23 apresenta exemplos de cálculos matemáticos para a conversão dos quantitativos de materiais para as unidades de compra do mercado. Nas compras de materiais vale lembrar que o cimento e a cal hidrata são adquiridos

nas quantidades de sacos de 50 e 20 kilos, respectivamente, enquanto que a areia é calculada em metros cúbicos inteiros e os tijolos por unidade.

Conforme mencionado anteriormente, a extração de áreas e volumes da geometria dos elementos no Revit é feita de maneira automática. Portanto, os cálculos para os materiais, em unidades nacionais, baseados em área ou volume podem ser feitos automaticamente por meio do algoritmo proposto.

A proporção dos materiais na TCPO é computada pelo traço dos quantitativos de materiais. No caso da teste a parede estrutural escolhida de acordo com a TCPO tem o traço de 1:0,25:3. Isso significa que para a elevação de 1m² da alvenaria será necessário o volume de 1 balde de cimento, 0,25 de cal hidratada e 3 de areia média, essa conversão de volume para peso é feito nas tabelas da TCPO.

Tabela 24 - Resumo dos cálculos matemáticos para a conversão dos quantitativos de materiais em unidades de compra.
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

TABELA DE EXEMPLOS DE FÓRMULAS PARA CONVERSÃO DOS DIVERSOS MATERIAIS DE ALVENARIA

Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média ou grossa sem peneirar no traço 1:0,25:3.		
Componentes	Unidades de compra	Fórmulas para compra no mercado
Cimento	50 kg	ARRED(número, núm_dígitos) ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de insumos/50;0)
Cal hidratada	20 kg	ARRED(número, núm_dígitos) ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de insumos/20;0)
Areia média	m ³	ARRED(número, núm_dígitos) ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de insumos)
Bloco de concreto 14x 19x 39 cm	Unidade	ARRED(número, núm_dígitos) ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de blocos)

Conforme foram apresentadas, as fórmulas necessárias para calcular os materiais das camadas de parede da alvenaria contêm uma relação direta entre os quantitativos e as unidades de materiais disponíveis no mercado.

Tabela 25 - Exemplo dos cálculos de materiais para compra no mercado nacional
Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Cálculos de materiais para compra no mercado brasileiro de uma alvenaria de 365 m ²			
Cimento	Fórmula: arred(quantidade/50;0)	38	sacos
Cal Hidratada	Fórmula: arred(quantidade/20;0)	12	sacos
Areia Média	Fórmula: arred(quantidade)	5	m ³ de areia
Blocos de concreto	Fórmula: arred(quantidade)	4792	unidades de blocos

Na TCPO as quantidades de materiais são calculadas de maneira direta entre a área da construção e o respectivo quantitativo de materiais. É preciso observar que o conhecimento dos quantitativos de materiais não auxilia a execução da compra. Por tanto, para finalizar a inclusão das funções matemáticas o arredondamento adequa as quantidades de sacos para a compra dos materiais para a aquisição.

3.3. ALGORITMO PROPOSTO NESTA TESE

A tabela a seguir apresenta todas as ações do algoritmo proposto nesta tese. Em toda a seção do método de investigação as etapas foram amplamente apresentadas, assim como as fórmulas matemáticas, por isso na tabela 25 apresenta-se o fluxograma para a extração da informação necessária dos quantitativos de materiais de acordo com o mercado nacional.

Tabela 26 - Algoritmo de cálculo de quantitativos em unidades para a compra no mercado nacional
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Passo a Passo para Obtenção de Quantitativos de Materiais de Construção da Parede nas Unidades Nacionais	
1.	Escolher o tipo de parede (<i>basic, stacked wall</i> ou <i>curtain wall</i>);
2.	Apenas parede básica faz parte da classe <i>CompoundStructure</i> (classe da estrutura)
3.	Se a parede pertence à família básica, continuar a operação para essa parede
4.	Definir a classe <i>CompoundStructure</i> (composição da estrutura);
5.	Definir a estrutura padrão das paredes;
6.	Validar as informações e atributos das paredes básica;
7.	Listar todos os parâmetros do elemento parede
“TÉRMINO DA AÇÃO”	
8.	Escolher as camadas de material do <i>CompoundStructure layer</i> se forem especificadas;
9.	Checar o comportamento do material e apenas o aceite se as camadas forem paralelas;
10.	Usar o paralelismo para criar as outras camadas;
11.	Definir os materiais e suas categorias;
“TÉRMINO DA AÇÃO”	
12.	Expandir a função das camadas de estruturas para camadas distintas;
“TÉRMINO DA AÇÃO”	
13.	Atribuir da função de materiais acabamento 01
14.	Definir a camada de material= cerâmica;
15.	Dentre todas as categorias obter o item cerâmica;
16.	Adotar o acabamento cerâmica na parte da camada externa do elemento;
17.	A camada do elemento de acabamento será uma parte do elemento parede;
18.	Assumir a classe determinada do material;
19.	Associar as novas propriedades para o novo material;
20.	Calcular a área do material de acabamento 1 do elemento;
21.	A partir da propriedade da área definir o parâmetro a serem preenchidos com fórmula matemática para a extração dos quantitativos;
22.	Adotar quantidade de material Cerâmica: = quantidade de área da superfície do elemento.
“TÉRMINO DA AÇÃO”	
23.	Atribuir da função de materiais acabamento 2
24.	Definir a camada de material= tinta;
25.	Dentre todas as categorias obter o item tinta;
26.	Adotar o acabamento cerâmico na parte da camada interna do elemento;
31.	A camada do elemento de acabamento será uma parte do elemento parede;
27.	Assumir a classe do material determinada;
28.	Associar as novas propriedades para o novo material;
29.	Calcular a área do material de acabamento 02 do elemento;

30.	A partir da propriedade área definir o parâmetro a ser preenchidos com fórmula matemática para a extração dos quantitativos;
31.	Adotar quantidade de material tinta = Quantidade de área da superfície do elemento
	“TÉRMINO DA AÇÃO”
32.	Atribuir da função de matéria estrutura (<i>structure</i>) – Parede de assentamento
33.	A camada do material de assentamento deverá conter cimento, cal hidratada, areia média e bloco de concreto;
34.	Dentre todos os materiais da biblioteca obter o item alvenaria de assentamento TCPO;
35.	Adotar a camada da alvenaria de assentamento dentro da estrutura (core) da parede;
36.	A camada do elemento de alvenaria será uma parte do elemento parede;
37.	Assumir a classe do material determinada;
38.	Associaras novas propriedades para o novo material;
39.	Calcular a área do material da parede de assentamento do elemento;
40.	A partir da propriedade da área crie 06 parâmetros (para as proporções de cimento, cal hidratada, areia e tijolo, sacos de cimento e sacos de cal hidratada) a ser preenchidos com fórmula matemática (para a extração dos quantitativos);
41.	Para a proporção de cimento adotar a fórmula - Quantidade = (Área x 5,28);
42.	Para a proporção de cal Hidratada adotar a fórmula - Quantidade = (Área x 0.65);
43.	Para a proporção de areia média adotar a fórmula - Quantidade = (Área x 0,013);
44.	Para a proporção de bloco de concreto adotar a fórmula - Quantidade= (Área x 13,13) ;
	“TÉRMINO DA AÇÃO”
45.	Para as compras no mercado adotar a variável do intervalo numérico
46.	Exibir os dados da quantidade de insumos de cimento;
47.	Exibir os dados da quantidade de insumos de cal hidratada;
48.	Exibir os dados da quantidade de insumos de areia média;
49.	Exibir os dados da quantidade de blocos de concreto;
	“TÉRMINO DA AÇÃO”
50.	Para os quantitativos de medidas de compra de acordo com o mercado nacional
51.	Para a proporção de cimento
52.	Para compra de sacos de cimento adotar a fórmula -
53.	Sacos = (quantidade de materiais /50)
54.	Para a proporção de cal Hidrata
55.	Para compra de sacos de cimento adotar a fórmula -
56.	Sacos = (quantidade de materiais /50)
57.	Para compra de areia média adotar a fórmula -
58.	Volume = (quantidade de materiais)
59.	Para compra de bloco de concreto adotar a fórmula -
60.	Unidade = (quantidade blocos)
	“TÉRMINO DA AÇÃO”
61.	Exibir os sacos da quantidade de insumos de cimento;
62.	Exibir os sacos da quantidade de insumos de cal hidratada;
63.	Exibir os dados da quantidade de insumos de areia média;
64.	Exibir os dados da quantidade de blocos de concreto;
	“TÉRMINO DA AÇÃO”

65.	Para a medida de compra no mercado nacional
66.	Para compras no mercado adotar as fórmulas para calcular arredondamento numérico dos sacos de cimento e cal hidrata;
67.	Para a compra de sacos de cimento adotar a formula = ARREDONDAR.PARA.CIMA (quantidade de cimento/50;0);
68.	Para a compra de sacos de cal Hidratada adotar a fórmula = ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de cal/20;0);
69.	Para a compra de sacos de areia média adotar a fórmula = ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de areia média);
70.	Para a compra de sacos de bloco de concreto adotar a fórmula = ARREDONDAR.PARA.CIMA(bloco de concreto);
	“TÉRMINO DA AÇÃO”
71.	Exibir os dados inteiros dos sacos de cimento;
72.	Exibir os dados inteiros dos sacos de cal hidratada;
73.	Exibir os dados inteiros da quantidade de areia média;
74.	Exibir os dados inteiros dos blocos de concreto.

Podemos observar na tabela 25 o passo a passo do algoritmo proposto nesta tese que permitirá ao programa a extração automática das proporções dos quantitativos de materiais da parede ou qualquer outro elemento nas unidades adequadas de aquisição dos materiais no mercado nacional.

4. IMPLEMENTANDO O ALGORITMO

A implementação do algoritmo é importante no processo de verificação da hipótese da tese. O algoritmo será implementado por meio do Dynamo, um programa *Open Source*²⁰ (código aberto). A importância de implementar o algoritmo no editor de gráfico se deve porque esta programação é interoperável em vários sistemas como o Revit Architecture, Revit MEP, Revit Engineering; Infrastructure Design Suite, NavisWorks, Structural Analysis for Revit em todos os outros programas gráficos da família Autodesk. Além também de ser interoperável com o Rhinoceros/Grasshopper. Além de possuir um *Nodo Tool.ExportIFC* para a exportação de arquivos IFC para interoperabilidade dessa interface a várias outras dos sistemas BIM.

O resultado desta efetivação do algoritmo em editor gráfico terá como resultado um protótipo de aplicativo. Não se trata de um software comercial com interface completa, mas de um protótipo (“loose prototype”) que permite testar o funcionamento concreto do algoritmo.

Sommerville afirma na citação abaixo que o processo do protótipo é usual na definição de algoritmo, pois auxilia a identificação de problemas iniciais de requerimentos e também das especificações dos comandos.

“Um protótipo é uma versão inicial de um sistema de software que é usado para demonstrar conceitos, testar opções de design e descobrir sobre eventuais inconsistências e suas possíveis soluções”
(SOMMERVILLE, 2011, p. 45)

²⁰ “*Open Source software* - programa de fonte aberta (OSS) - é um programa de computador com seu código fonte disponibilizado pela licença do titular do direito de autor, que fornece os direitos para o estudo, alteração e distribuição do programa para qualquer pessoa e para qualquer finalidade. Um programa de código-fonte aberto pode ser desenvolvido em uma forma pública de colaboração”.
Fonte: <https://opensource.org> (Acessado em 10/03/2016)

No meio científico, admite-se que, nesse tipo de protótipo, a interface seja incompleta e que o aplicativo não seja cem por cento livre de “bugs”, desde que permita testar o algoritmo proposto e visualizar seus resultados, ainda que de forma rudimentar.

Uma referencia em suporte a esta afirmação seria: “Normas de qualidade organizacional são normalmente livre de limitadores e condicionantes para o desenvolvimento do protótipo”. (Sommerville, 2011, p. 46). O protótipo executável serve como base para avaliar os comandos e também é destinado a examinar a especificação do fluxograma de maneira que a saída de dados seja de acordo com a atividade proposta

É necessário informar, por exemplo, que os resultados aparecerão em uma janela à parte do modelo ativo no Revit, cujos quantitativos serão apresentados no fluxograma elaborado no Dynamo.

Como já tratado na seção Método de Investigação, a construção gráfica do algoritmo nessa interface é caracterizada pela ligação e configuração dos blocos de operações, chamados nodos, no Dynamo.

*Será utilizada a API (Application Programming Interface) do Revit. Ressalte-se que a API do Revit pode ser utilizada de duas maneiras: por meio do *Dynamo* e do *programming Language*.*

Nesta seção, descrevemos a implementação do algoritmo usando o Dynamo, a principal técnica escolhida. O uso da segunda técnica, Scripting Language é apresentada em anexo, na qual algumas partes foram implementadas apenas a título de ilustração.

Apresentamos a implementação do algoritmo por meio do Dynamo a fim de viabilizar a sua programação e execução dentro do Revit. A visualização e a sequencia de passos do algoritmo podem ser melhor compreendidos graças à facilidade que caracteriza a interface gráfica do Dynamo.

Como pode ser visualizado na Figura 19, o Dynamo está inserido no Revit como um “*add-in*” que são termos utilizados para aumentar a capacidade padrão do programa originário (Microsoft, 2017).

Esta técnica ganha cada vez mais adeptos, pois permite acesso direto à API do Revit para customização das tarefas. Portanto, qualquer alteração no fluxograma na janela de programação será automaticamente atualizada no projeto ativo da interface do usuário.

No caso da tese em questão a implementação e visualização do algoritmo será integralmente apresentada na janela do Dynamo. O que a tese aplicou foi o extração dos dados do projeto ativo para mostrar as funcionalidades do algoritmo diretamente no Dynamo portanto, os resultados dos cálculos da implementação do algoritmo não tem implicações sobre o projeto ativo na interface de modelagem do Revit.

Vale ressaltar que tal abordagem não é novidade. Essa técnica de modificar o projeto por meio da programação visual via fluxograma não foi uma criação da Autodesk, pois já existia antes da mesma, como, por exemplo, no Rhinoceros/Grasshopper e do generative components da Bentley.

O Dynamo permite programar os passos do algoritmo diretamente na API do Revit. As possibilidades de customização são várias, dependendo das necessidades do programador, tais como:

- Analisar a informação do modelo;
- Gerenciar os dados do modelo;
- Explorar a programação visual;
- Explorar modelos paramétricos;
- Automatizar processos, etc.

As possibilidades de programação do Dynamo são as mesmas do *Programming Language*. Contudo, não é necessário o conhecimento da linguagem de programação para utilização do *Visual Language* tornando a sua utilização mais atraente por parte dos arquitetos.

A figura a seguir mostra o Dynamo inserido na interface principal do Revit como um dos “Add-Ins”.

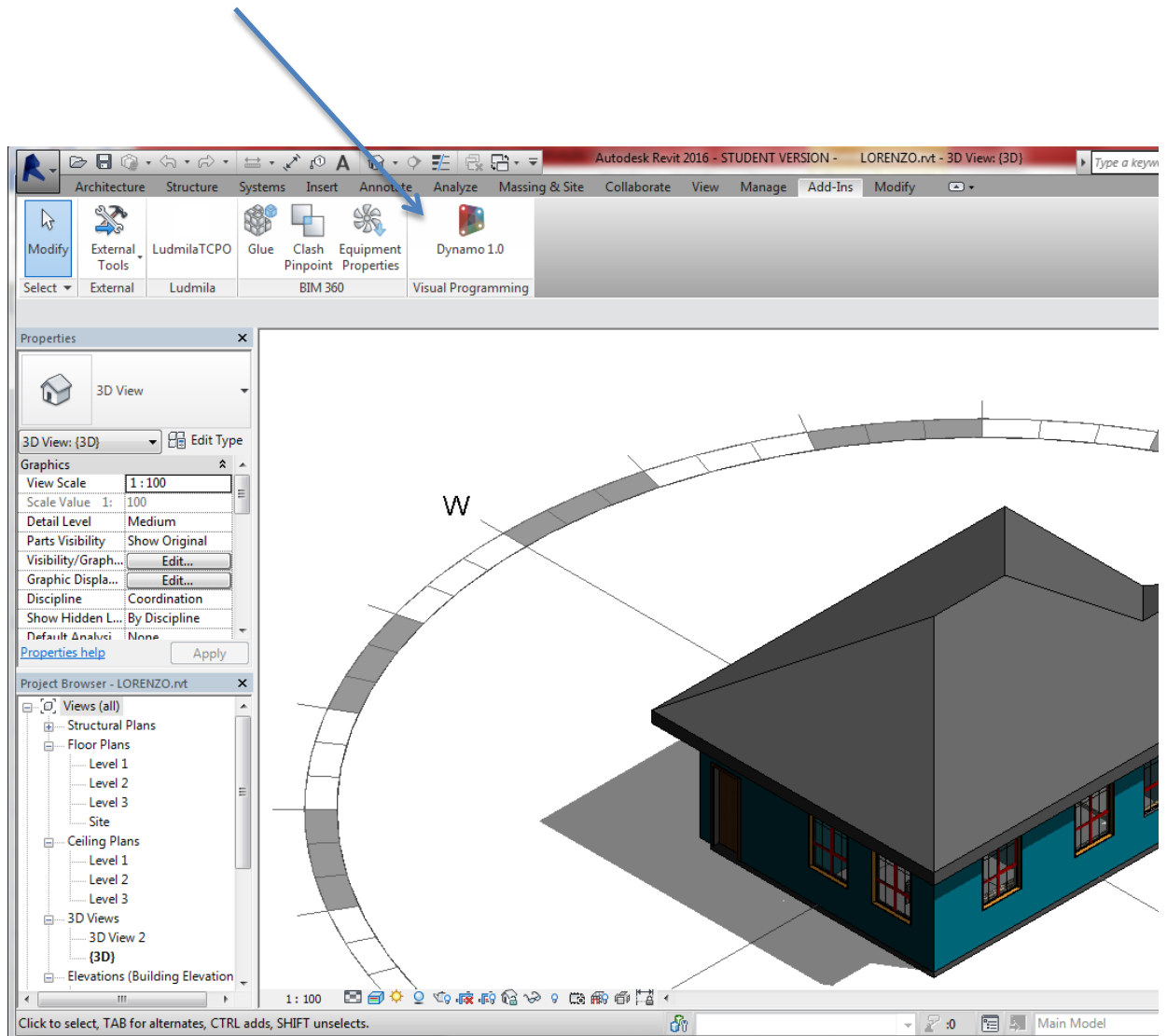


Figura 43- O Dynamo inserido na interface do Revit.
Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016

A imagem 43 mostra a inserção do Dynamo na interface do Revit. O Dynamo permite explorar melhor os recursos do Revit, mediante o uso dos nodos que formam o fluxograma do algoritmo proposto .

Conforme já mencionado, o uso do Dynamo é interessante para os arquitetos, pois não requer conhecimento de linguagem de programação. O que requer é

apenas a capacidade de definir os passos necessários para implementar o algoritmo proposto.

Para criar o fluxograma é necessário escolher e unir os diversos nodos, que executam tarefas específicas. Os Nodos são: pré-existentes, podem ser customizados ou criados para realizar uma nova tarefa. Como também mencionado no capítulo IV, na seção 4 (página 185), o Dynamo é um programa código aberto (*open source*). Portanto, a liberdade em criar e alterar tais nodos são várias.

No capítulo anterior, “Procedimentos e Aplicação”, foram apresentados os conceitos gerais e as configurações da interface. Nesta seção, apenas destacamos as considerações necessárias para compreensão da aplicação do algoritmo no Dynamo. Vale destacar que os nodos processam a informação de entrada resultando em um novo dado, para tanto é basal que o programador compreenda qual ação e resultado são esperados para os dados.

Por ser um aplicativo aberto, ou seja o código fonte está livre à participação de qualquer programador, essa razão motiva o amplo uso do visual programming. Também pela consequência de criação de nodos de acordo com as necessidades dos usuários. Por outro lado, o desenvolvimento do *Programming Language* vem sofrendo entraves para a abertura de códigos de acesso à API do Revit em suas atualizações dificultando o seu acesso e potencialidades (AUTODESK, 2016).

Na especificação dos materiais nas unidades do mercado nacional, utilizamos apenas nodos abertos e gratuitos disponíveis no Dynamo, porque não houve necessidade de criar novos, além de permitir a replicabilidade do experimento por outros pesquisadores.

4.1.1. INTERFACE DE PROGRAMAÇÃO GRÁFICA NO DYNAMO

A programação considera que um nodo é cada um dos elementos de uma lista enlaçada, de uma árvore de busca binária ou de um gráfico numa estrutura de dados. Cada nodo tem a sua própria estrutura e conta com vários campos, entre os quais pelo menos um funcionará como referência. (Fonte: Conceito, 2016).

Usaremos aqui o conceito de nodos para programar os passos no Dynamo. Um nodo é um ponto de conexão, de redistribuição ou um terminal.

No algoritmo, o nodo é um registro que contém o dado de interesse e a ação proposta. Além disso, deve também conter dois ponteiros: um para inclusão de dados e outro para referenciar a outro nodo ou para saída de dados.

O Dynamo desde a versão 2016 faz parte integral do Revit, portanto ao instalar o Revit o Dynamo também já vem instalado. A empresa proprietária das duas interfaces cada vez mais estimula a integração entre as duas. Essa conexão se torna uma consequência do mercado, pois cada vez mais os usuários dos sistemas BIM compreendem a conexão entre o Dynamo e a API do Revit e as consequências dessa inter-relação na interface do usuário no Revit.

Os nodos no Dynamo permitem traduzir os mesmos conjuntos de instruções de diferentes maneiras. Semelhantemente a um editor gráfico de algoritmo, tais transcrições das ações são representadas pelas redes conectadas dos nodos. Este conceito de nodos é melhor apresentado na citação abaixo:

“A interface de programação em gráfico, Dynamo, representa fluxo de dados em um gráfico que consiste de um grupo de nodos que processam os dados e as ligações entre eles. Estes nodos podem ser selecionados a partir de uma série de menus e arrastados para o ambiente de trabalho. Os nodos podem representar funções, parâmetros ou mesmo geometria e são conectados com linhas. Esta abordagem permite a implementação de algoritmos complexos combinando os nodos” (FERREIRA e LEITAO, 2015, p. 638)

Uma vez que a implementação do algoritmo será feita por meio do Dynamo, este será conceituado pormenorizadamente nos parágrafos seguintes. A Autodesk, apresenta Dynamo como:

“Uma ferramenta de programação visual que pretende ser acessível tanto a não programadores quanto a programadores experientes. O software fornece aos usuários a capacidade de verificar visualmente o comportamento do script, ao conectar os processamentos dos dados, definindo as etapas da lógica formal do algoritmo, e a vantagem de usar Scripting Languages para customizar ou criar novos processos” (Autodesk, 2016, p. 45).

Assim, o Dynamo tem por objetivo ser um ambiente visual de algoritmo de fácil utilização pelo público. Ao invés de escrever textos vinculados à sintaxe do algoritmo, representa as relações dos processamentos de dados na interface gráfica.

Dynamo permite customizar as ferramentas para procurar as informações no banco de dados interno ou criar uma ferramenta externa (ou criar uma nova função para qualquer produto Autodesk que tenha uma API).

Ressaltamos que o Dynamo está escrito em linguagem Python, também incluída em vários programas da família Autodesk. Esta programação é interoperável em vários sistemas como o Revit Architecture, Revit MEP, Infrastructure Design Suite, NavisWorks, Structural Analysis for Revit em todos os outros programas gráficos da família Autodesk.

4.1.2. OS NODOS

Os nodos requerem a elaboração de uma sequência de comandos executados imperativamente, sem desvio de caminho.

No Dynamo, o processo gerativo do algoritmo em sequências imperativas é visualmente compreendido pela conexão dos nodos. A sequência da informação sempre é apresentada da esquerda para a direita, com a finalidade de processar os dados de acordo com as relações e as sequências de ações que compõem o algoritmo proposto.

Os nodos representam as funções, as operações imperativas. As inter-relações dos nodos formam um conjunto de instruções sobre como processar os dados para o trabalho algorítmico.

O processo gerativo do algoritmo pela conexão dos nodos segue a estrutura das instruções para a execução da atividade proposta. Os nodos transmitem a informação e a processam, produzindo um novo dado necessário para a continuidade ou conclusão da tarefa.

A maneira como os “fios” se interligam irá determinar a ordem das operações e o fluxo dos dados. Esta regra será detalhada em parágrafos posteriores.

Além de possibilitar o gerenciamento de dados dos objetos paramétricos, o Dynamo também gera geometria dos modelos quando programado para esta finalidade. Isso é feito em tempo real, de forma que essas alterações aparecerão na interface do usuário no Revit, contudo, este aspecto não fez parte da presente tese.

4.1.3. A ESTRUTURA DOS NODOS

No Dynamo, os nodos geralmente seguem as mesmas sintaxes de construção do fluxograma: pela esquerda entram os dados a serem executados, e pela direita é transmitido o resultado da operação. As portas de entrada e saída da informação são a parte central de cada nodo. No sentido de verificar qual tipo de informação o nodo admite, é preciso colocar o cursor sobre a porta, e isso revelará o valor padrão e o tipo de entrada aceita pela mesma.

A maioria dos nodos é composta por cinco partes, como se vê na Figura 44.

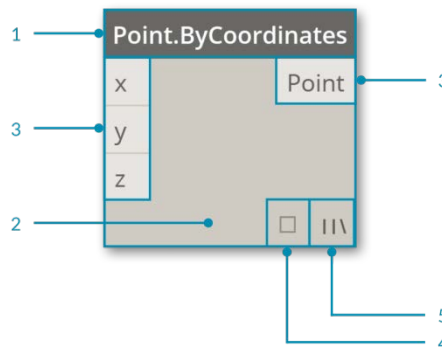


Figura 44 - Nodos do Dynamo
Fonte: Autodesk (2016)

A estrutura padrão do nodo:

1. *Name* (nome) – O nome do nodo sempre é apresentado como Category. Name. Observa-se no nodo que há poucas exceções a essa convenção.
2. *Main* (área central) – A forma do nodo - um click no botão da direita do mouse resulta numa variedade de opções possíveis.
3. *Ports - in and out* - (portas de entrada e saída de dados) - Os receptores dos dados de entrada do nodo, bem como os resultados esperados.
4. *Data preview* (previsão do resultado esperado) – Coloca-se o cursor sobre a imagem ou clica-se sobre a mesma para visualizar os resultados da ação do nodo.
5. *Listing Icon* - Indica a opção de sequência especificada para entradas da lista de correspondência.

Ressaltamos que o Dynamo na sua interface exibe apenas os nodos. Contudo esses nodos na verdade são códigos de linguagem de programação. Isso quer dizer que o usuário padrão apenas visualiza os nodos, mas esses gráficos na verdade é o espelhamento dos códigos de linguagem de programação.

A imagem 45 ilustra este assunto. A esquerda da tela mostra a linguagem de programação em Python no Dynamo e a direita o nodo que representa essa ação.

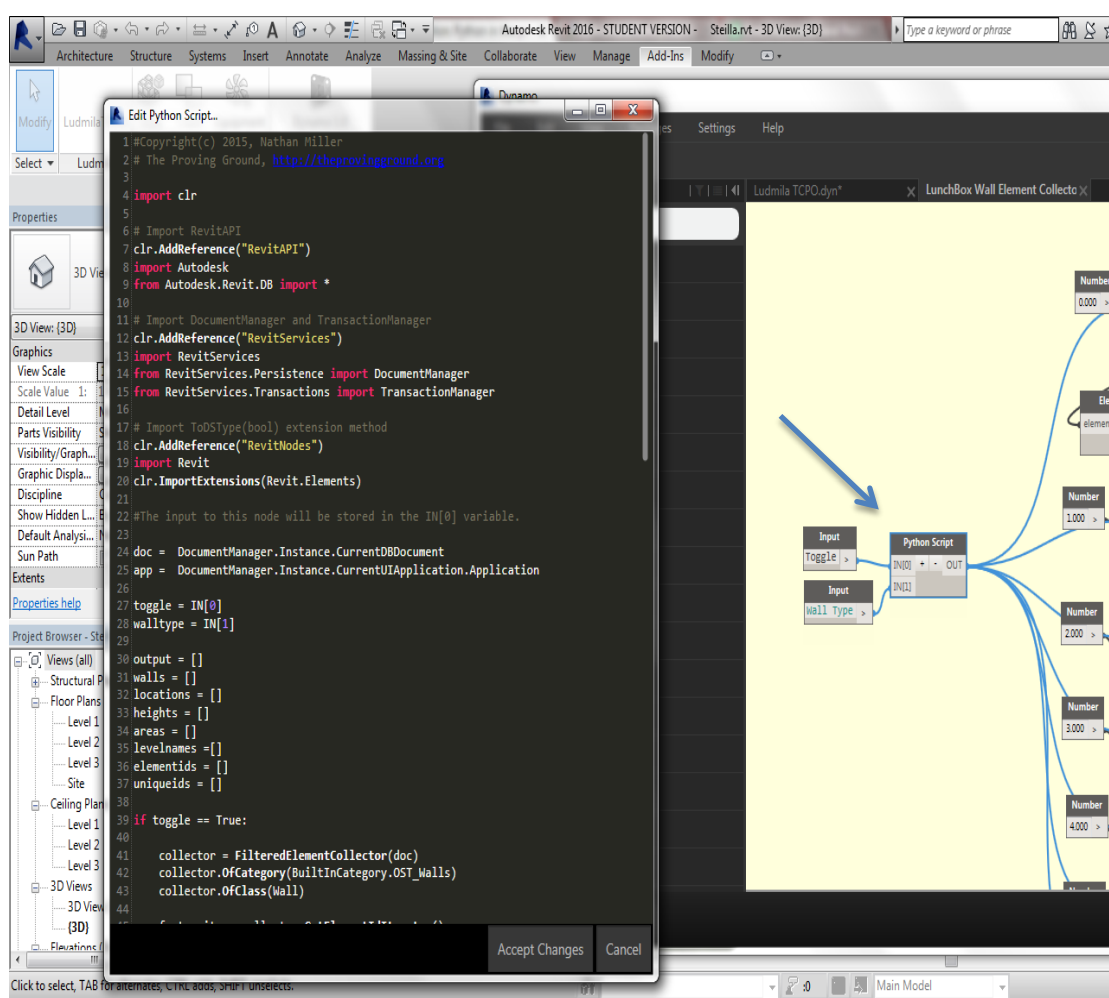


Figura 45 - Os nodos são os gráficos dos comandos
Fonte – Dynamo (2016)

A seta azul indica o nodo do "LunchBoxWallElementCollector" usado na implementação do algoritmo dessa tese, e a esquerda da imagem as linhas de

comando na linguagem de programação do nodo. Esta é a principal razão porque se escolheu o Dynamo. Este tipo de técnica reduz a complexidade de programação para o usuário não especializado nessa área.

Como já mencionado os nodos podem ser alterados ou criados pela linguagem de programação em Python. Apenas para isso é necessário a implementar as linhas de comando que resultarão em um novo nodo.

4.1.4. GERENCIAMENTO DOS DADOS NO ALGORITMO PROPOSTO

Quando o arquiteto utiliza o Dynamo é rapidamente gerada uma grande quantidade de dados que requerem o gerenciamento da hierarquia das informações obtidas. No Dynamo, essas estruturas são denominadas listas. O processo gerativo do algoritmo requer que as especificidades das estruturas de dados e modos de utilizá-los variem de acordo com a intenção do usuário.

A maneira mais direta de organizar uma hierarquia de dados para buscar a informação necessária para o desenvolvimento do algoritmo é por meio de listas. A questão é essencial para o processo do algoritmo proposto por esta tese, e também é relevante quando se deseja permitir a replicação da instrução por outros pesquisadores.

Observando a Figura 46, verificamos que as listas feitas por meio do Dynamo são essenciais para a organização de qualquer informação, atributo, parâmetro etc.

Nos nodos de listas, as entradas de dados seguem o mesmo princípio adotado pelos demais. Como se observa na imagem a seguir no Dynamo, existe uma variabilidade de procedimentos para se criar uma lista de informação.

Por exemplo, o nodo de lista de número de sequência, Number Sequence, em sua porta de entrada de dados start, precisa do primeiro número da lista, a porta amount solicita a quantidade de sequências que a lista deverá possuir, e a porta step informa de quando em quando a sequencia de números deve ser apresentada.

O nodo List.GetItemAtIndex lista os parâmetros de vários objetos a partir de um único atributo. O nodo List.Create converge duas listas em uma única .

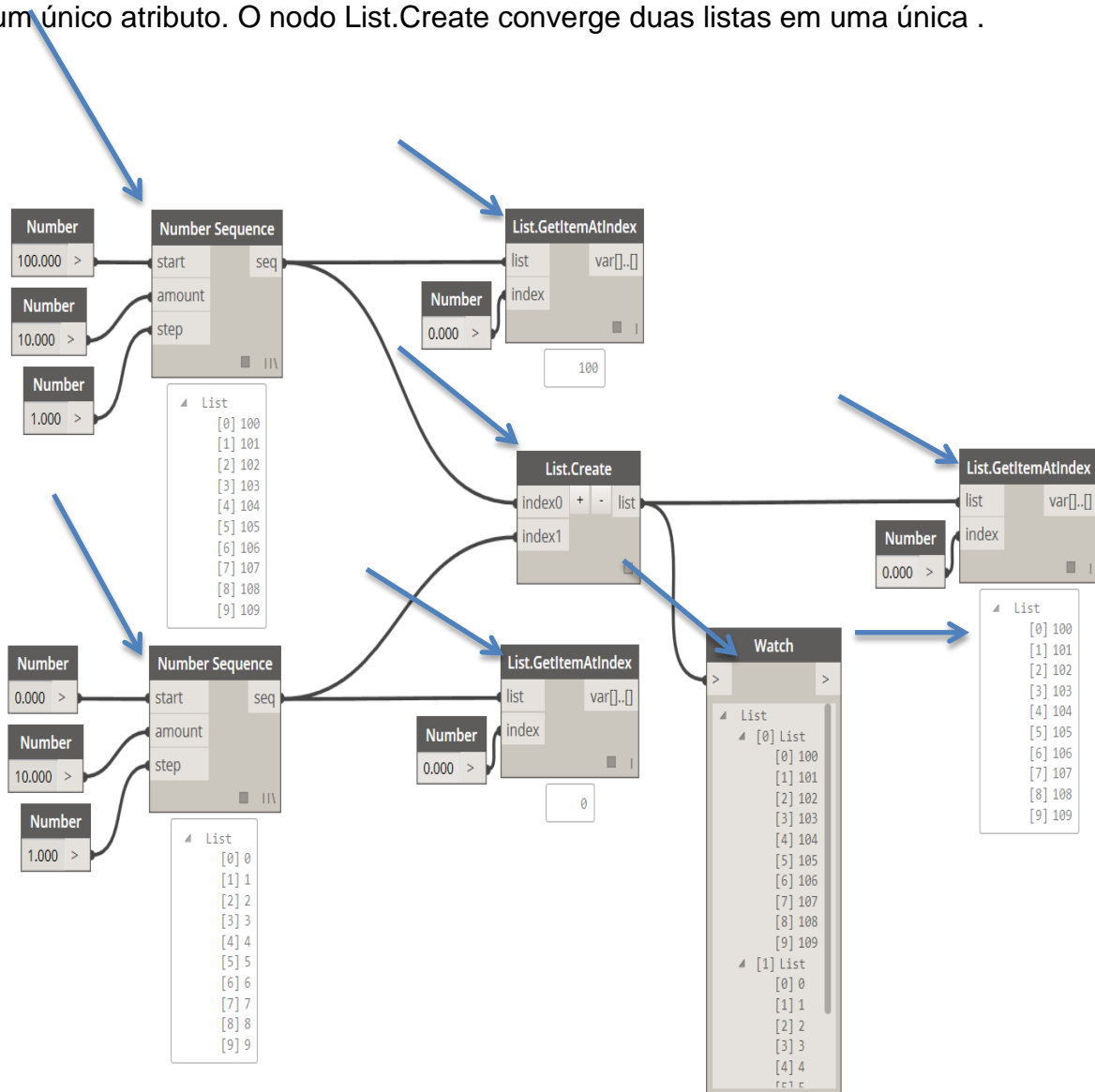


Figura 46 - Acesso aos dados dos componentes a partir de listas
 Fonte: Gráfico elaborado pela autora no Dynamo 2016

Na Figura 46, observa-se uma prática de utilização do conceito das listas na hierarquia de informação do Dynamo, essa estrutura de dados organizados de forma

sequencial é uma prática comum. O significado de listagem no Dynamo se atem na convergência de dados com o objetivo de extrair informação de um elemento ou criar uma listagem de atributos para o elemento de forma direta.

Estas listas são constituídas por itens, dos quais a interface obtém as informações referentes ao modelo existente no Revit, criando as listas a partir de elementos do próprio fluxograma do Dynamo, ou ainda geram dados para novas funções do processo gerativo do algoritmo.

Ressaltamos que nesta tese utilizamos a lista de organização por inclusão dos parâmetros do componente na parede básica a partir de uma listagem dos atributos da mesma. Portanto, se define todos os atributos das paredes, para a partir dessa lista restringir apenas um parâmetro que será utilizado pelo algoritmo. O nodo “List.GetItemAtIndex” seleciona o item dentro de uma variabilidade de atributos dentro de uma lista a fim de aplicá-lo na composição dos parâmetros dos materiais.

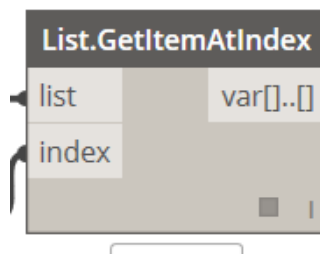


Figura 47 - Nodo GetItemAtIndex
Fonte: Autodesk,2016

O nodo acima estabelece uma ação de filtragem de uma lista já existente. Observa-se que os dados de entrada à esquerda são a inclusão de uma lista, e na outra porta *index* um parâmetro selecionado desta mesma lista.

Ao executar a tarefa de selecionar apenas um único parâmetro dentre os vários existentes a partir de uma lista anterior, esse nodo restringe o fluxo do dado do algoritmo. Como consequência apenas o dado selecionado continuar á fazendo parte do fluxograma.

4.1.5. FLUXOGRAMA DO ALGORITMO E SEU PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Antes de começar a utilizar o Dynamo é preciso definir claramente o objetivo do algoritmo que se pretende implementar. Os dados que se pretendem alcançar, as tarefas e as relações entre as ações necessárias para executá-lo são as premissas essenciais para efetivar de forma correta o algoritmo.

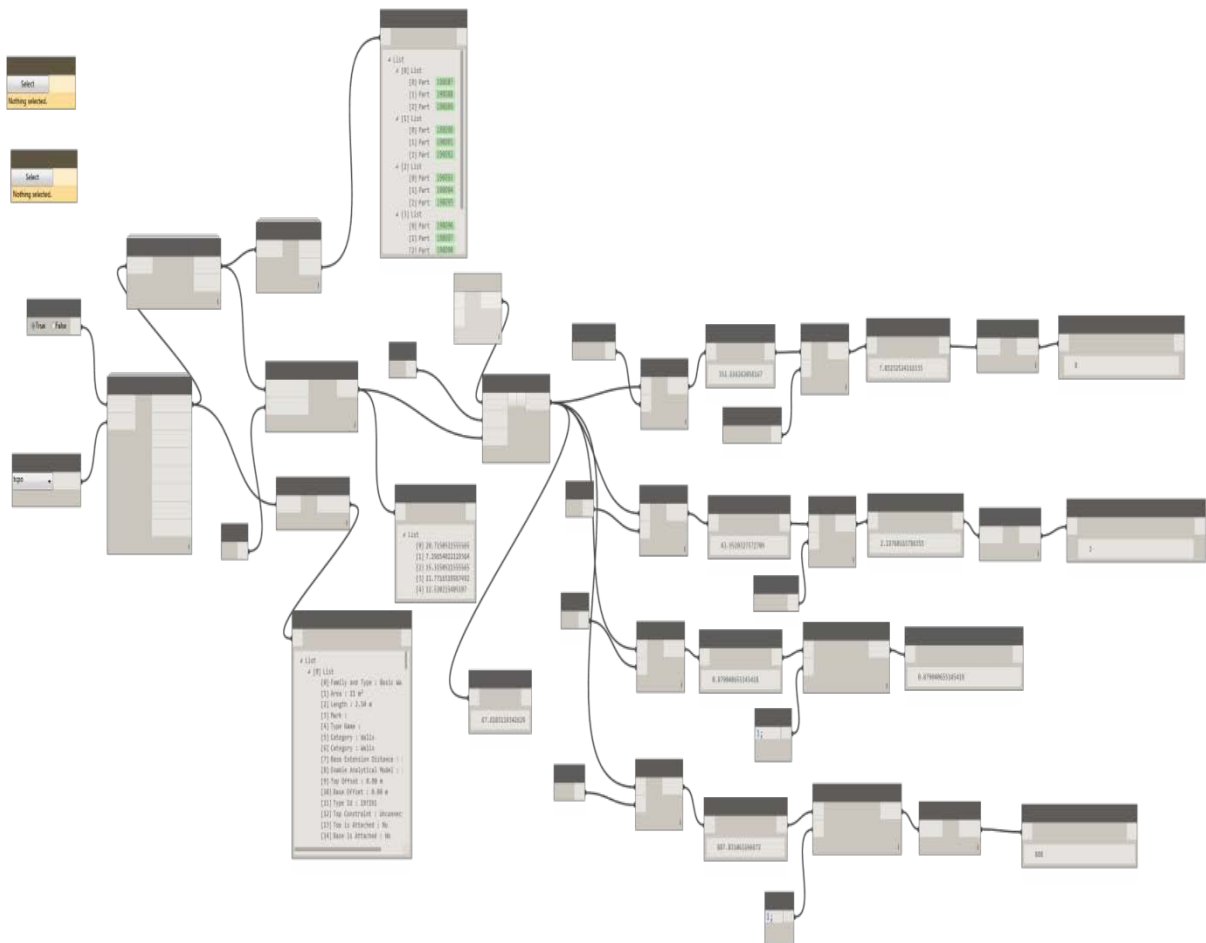


Figura 48 - Fluxograma do Algoritmo Proposto
Fonte: Fluxograma elaborado pela autora elaborado no Dynamo 2016.

O algoritmo proposto nesta tese para customizar os sistemas BIM ao mercado nacional calculou os quantitativos dos materiais na unidade de aquisição do cimento, bloco de concreto, cal hidratada e areia para o assentamento de uma alvenaria estrutural (o algoritmo foi apresentado no início deste capítulo, na página 181).

A figura 48 indica os fluxos do algoritmo. Esta apresentação esquemática do algoritmo nesta seção, ilustra de forma geral a estrutura do algoritmo no Dynamo, mas os detalhes de cada processo serão discutidos em capítulos posteriores.

Sumariamente, as premissas do processo de implementação do algoritmo no Dynamo criou condições para que os dados finais apresentados fossem os dados de aquisição dos materiais. Para isso foi necessário: a) criar partes das paredes TCPO, b) listar todos os atributos da parede TCPO, c) restringir a informação de área de cada parede e d) incluir os cálculos matemáticos.

O algoritmo proposto permite criar as condições necessárias para a extração automatizada da aquisição dos materiais. Na implementação do algoritmo no Dynamo os mesmos processos de criação de partes automatizadas a listagem dos atributos do elemento parede a restrição do atributo área e a geração dos cálculos matemáticas para obter os quantitativos de insumo de acordo com o requisitos de aquisição.

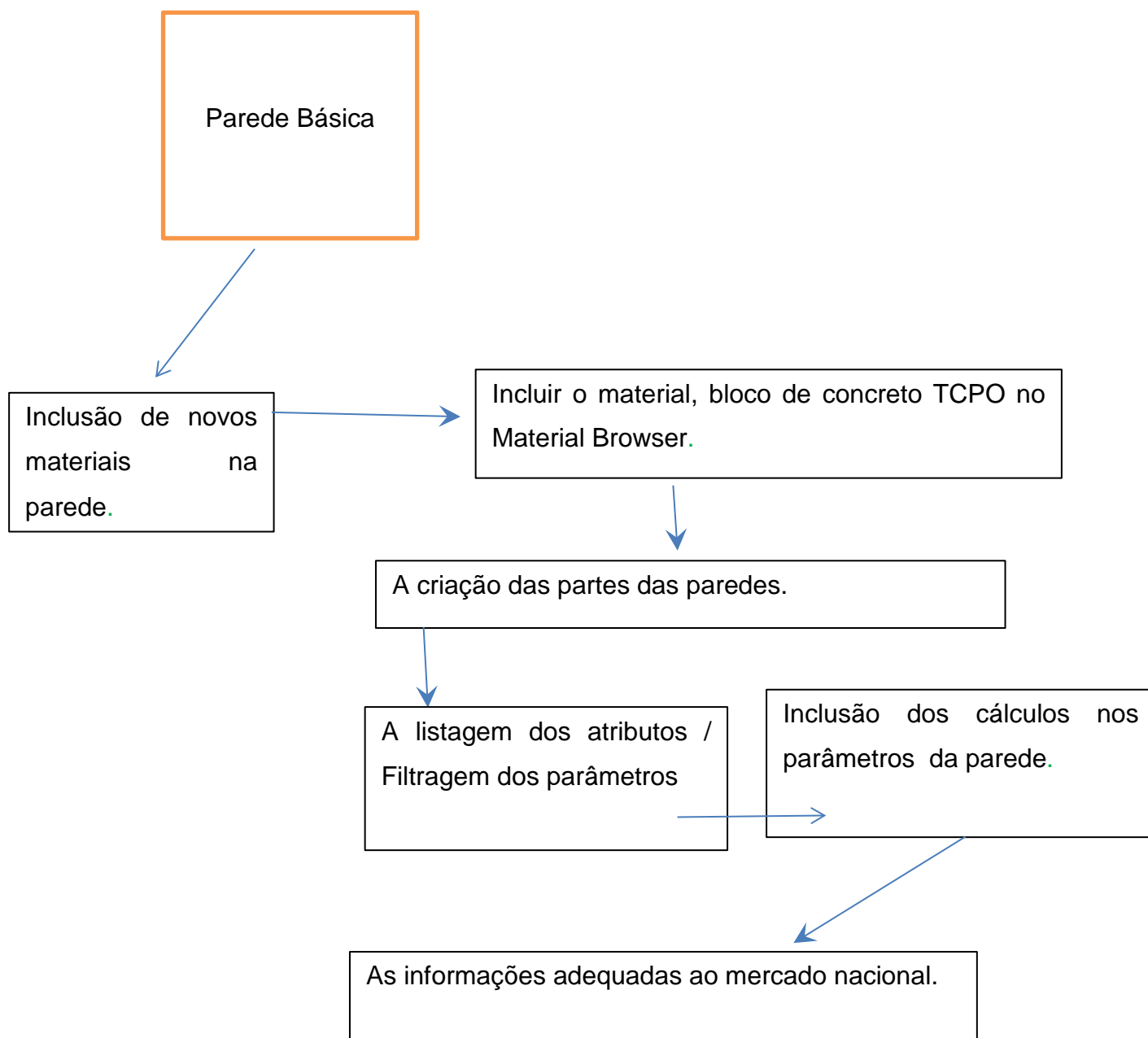
Para permitir compreender melhor essa correlação direta entre o algoritmo e sua implementação, o diagrama 05 abaixo esquematiza a efetivação das etapas anteriores a inclusão do algoritmo e o algoritmo em si.

Etapas anteriores a implementação do algoritmo está demarcada pela especificidade da inclusão do material no objeto parede. As etapas do algoritmo se iniciam com, a) criação das partes do objeto, b) a listagem de todos os atributos da Parede TCPO (Parede teste nesta tese); c) a listagem do parâmetro área como sendo o único dado que será utilizado pelo algoritmo; e d) A inclusão dos cálculos matemáticos necessários para a execução do algoritmo.

A visualização do diagrama abaixo apenas ilustra de maneira esquemáticas os passos detalhados do método de investigação. A correlação direta entre as

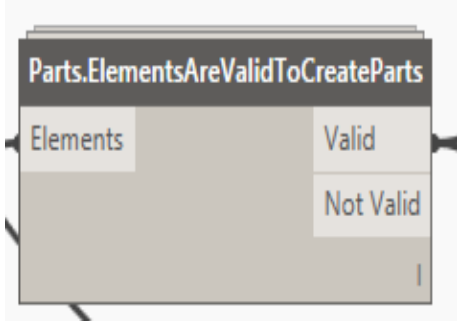
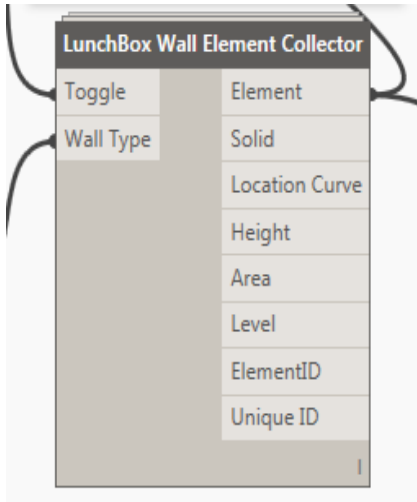
linhas de comando do algoritmo e a sua apresentação em nodos será apresentada em tabela posterior.

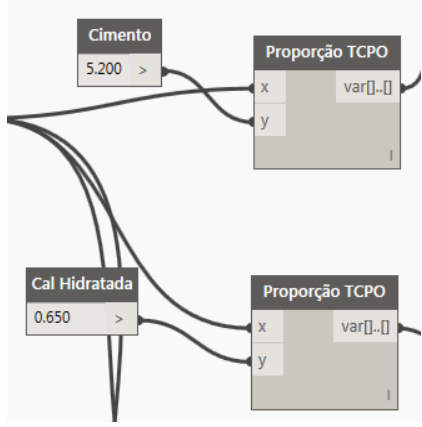
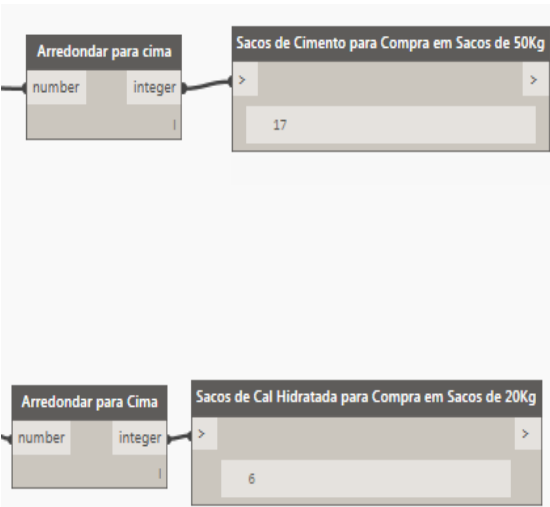
Diagrama 4 - Fluxograma do Procedimento do Algoritmo
Fonte – Diagrama elaborado pela da autora (2016)



As premissas do algoritmo acima já foram apresentadas na seção de Aplicação e Métodos (página 144). Por essa razão, os detalhes dos procedimentos não serão descritos nesta seção.

Tabela 27 – Esquema da transição do algoritmo em linguagem humana para o Dynamo
 Fonte- Tabela elaborada pela autora (2017)

Fluxograma do Algoritmo	Nodo do Dynamo
<p>A criação das partes das paredes.</p> <p>Escolher as camadas de material do <i>CompoundStructure layer</i> se forem especificadas;</p> <p>Checar o comportamento do material e apenas o aceite se as camadas forem paralelas;</p> <p>Usar o paralelismo para criar as outras camadas;</p>	
<p>A listagem dos atributos / Filtragem dos parâmetros</p> <p>Definir a estrutura padrão das paredes;</p> <p>Definir a estrutura padrão das paredes;</p> <p>Validar as informações e atributos das paredes básica;</p>	
<p>Inclusão dos cálculos nos parâmetros da parede.</p> <p>A partir da propriedade da área criar as</p>	

<p>proporções TCPO de cimento, cal hidratada, areia e bloco de concreto com fórmula matemática para a extração dos quantitativos</p> <p>Para a proporção de cimento adote a fórmula - Quantidade = (Área x 5,20);</p> <p>Para a proporção de cal Hidratada adotar a fórmula - Quantidade = (Área x 0.65);</p>	
<p>As informações adequadas ao mercado nacional.</p> <p>Para compras no mercado adotar as fórmulas para calcular arredondamento numérico dos sacos de cimento e cal hidrata;</p> <p>Para a compra de sacos de cimento adotar a fórmula =</p> <p>ARREDONDAR.PARA.CIMA (quantidade de cimento/50;0);</p> <p>Para a compra de sacos de cal Hidratada adotar a fórmula =</p> <p>ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de cal/20;0);</p>	

Como se apresenta, a título de exemplo, a tabela acima apenas correlaciona o algoritmo a esquerda e a correlação da ação pelo nodo do Dynamo, portanto a tradução do algoritmo em linguagem humana para o Dynamo. As linhas de comando gerais do algoritmo apresentada nesta tabela apenas servem como identificadoras da ação cuja a relação nodo para a implementação do algoritmo no Dynamo se encontra a direita da tabela.

Frisaremos apenas as sequências globais para dar continuidade a explicação sobre a implementação do algoritmo a fim de que sua descrição detalhada na próxima seção seja mais compreensível.

As tarefas mostradas abaixo não refletem a sequência exata do algoritmo descrito em linguagem humana nesta tese, mas as sequências das atividades no Dynamo para executar as ações propostas correspondentes. Portanto, este fluxograma é essencial para o pesquisador replicar a sequência das atividades no Dynamo.

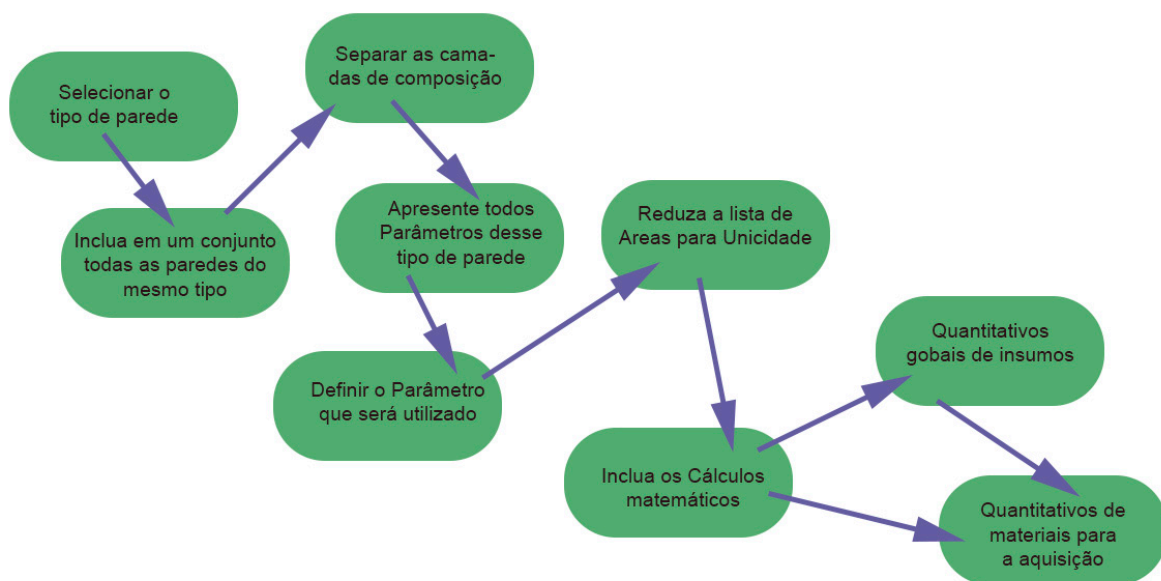


Figura 49- Conjunto de procedimentos para implementar o algoritmo
Fonte: Fluxograma elaborado pela autora (2016)

A figura 49 mostra a sequência de forma esquemática dos passos no fluxograma do Dynamo. Na próxima seção, todos os passos serão analisados. O fluxograma acima apenas mostra as sequências do algoritmo e a correlação na Interface de programação gráfica será apresentada na seção seguinte.

4.2. IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO NO DYNAMO

A ideia de implementação do algoritmo por meio do Dynamo surgiu da necessidade de se construir um protótipo de aplicativo. O resultado da implementação do algoritmo por esta interface não é um software comercial completo, mas um protótipo rudimentar (“loose prototype”) que permite testar o seu funcionamento .

Apresentamos brevemente, na revisão bibliográfica, a estrutura de hierarquia da informação dos sistemas BIM. Nesses sistemas, os tipos de famílias básicas de parede são a representação tridimensional paramétrica dos seus dados, como um banco de dados visuais de famílias de objetos de construção. Para a implementação do algoritmo no Dynamo, a parede 01.TCPO que já foi modelada na seção Método de Investigação será a porta de conexão entre o Dynamo e o Revit.

Portanto, a parede 01.TCPO foi modelada com o objetivo de suprir as informações específicas necessárias para iniciar a implementação do algoritmo, de acordo com a descrição contida na TCPO (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos). Ressaltamos que, devido ao recorte que fizemos nesta tese, apenas um tipo de parede estrutural contido na TCPO foi utilizada.

A maneira pela qual a duplicação da parede 01.TCPO foi mencionada na seção sobre o método de investigação. A Figura 48 a seguir mostra a parede modelada no Revit segundo os parâmetros encontrados na TCPO.

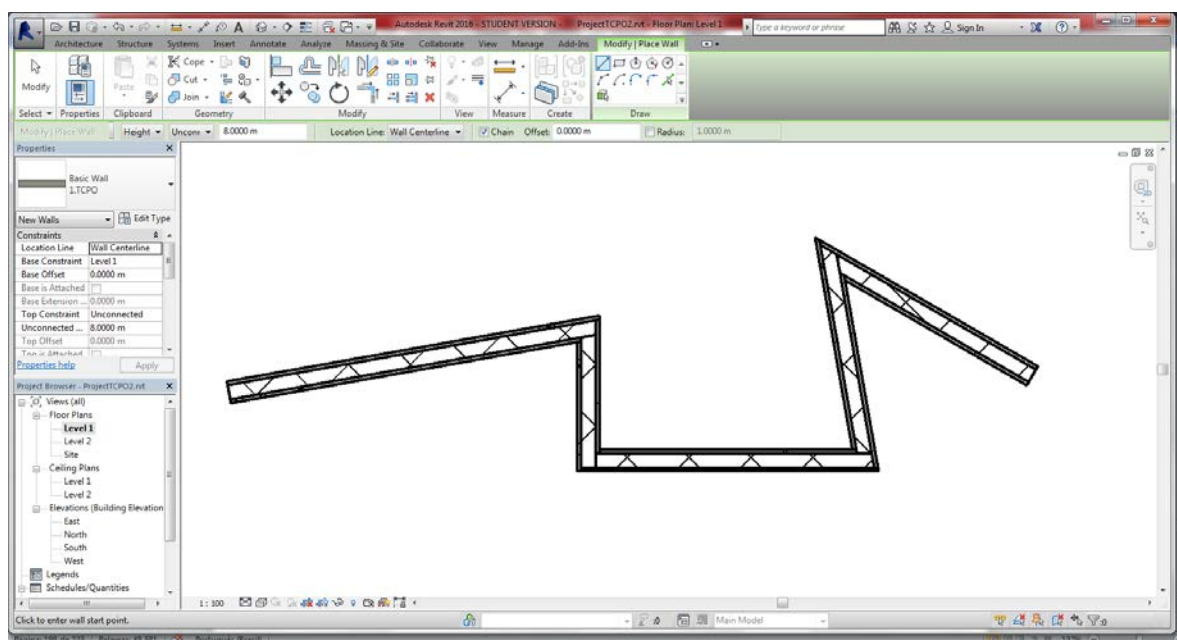


Figura 50 - Modelagem do novo tipo de parede TCPO
Fonte: Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

Conforme mencionado, criou-se este tipo de família apenas para fins desta tese. A figura acima mostra a família de parede básica 1.TCPO. Esta é a família de parede escolhida para implementar o algoritmo destinado a gerar os quantitativos automatizados de materiais de construção, dentro do sistema BIM, nas unidades de compra disponíveis no mercado nacional.

Como o algoritmo proposto não é executado nesta etapa, e é comum a inclusão de uma parede básica nos sistemas BIM pelos arquitetos, por isso não entraremos em detalhes sobre a duplicação da mesma. Conforme mostra a figura a seguir, a definição dos materiais foi feita na família Basic Wall 1.TCPO, conjuntamente com a inclusão das camadas necessárias para a implementação do algoritmo.

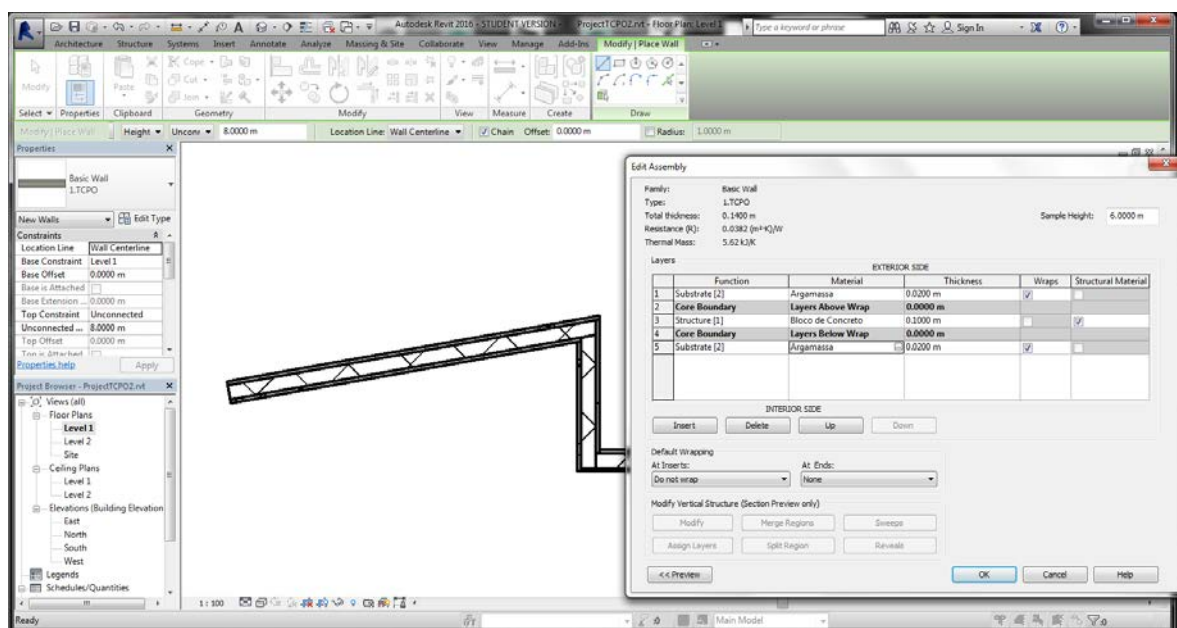


Figura 51 - Parede TCPO
 Fonte: Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

Seguimos as premissas da TCPO na escolha de alvenaria estrutural de blocos de concreto armado. Até este ponto de duplicação da parede, seguimos o fluxo de trabalho dentro do sistema BIM padrão. Contudo, para a implementação do algoritmo é necessário utilizar o *Dynamo*.

A seguir, definimos que o próximo passo será a criação das camadas de informação. De acordo com o fluxo de trabalho, a distinção entre as entidades destas camadas permitirá a inclusão de fórmulas matemáticas referentes a cada uma delas.

Sabe-se que a ação de criar as camadas de composição das paredes não é padrão no sistema BIM escolhido nesta tese. Por isto, estas modificações só podem ser executadas elemento por elemento, manualmente ou por meio do uso do *Dynamo*. Nesta tese, executamos a sequência de criação de partes usando o nodo *Creates Parts*, que será detalhado a seguir.

Portanto, o procedimento padrão do Revit não apresenta a automação necessária para a implementação do algoritmo. Por isto, o algoritmo começará a ser implementado nesta etapa por meio do *Dynamo*, que executa a tarefa de modo

automatizado em todas as paredes selecionadas por meio da pesquisa dos tipos existentes no modelo.

Iniciou a implementação do algoritmo, ressaltando que os sistemas não possuem autonomia própria para executar as atividades sem a referida inserção de dados de entrada. Por isto, o passo inicial da implementação do algoritmo será a seleção do tipo de família básica 01.TCPO. Esta parede foi criada pela autora apenas com a finalidade de testar sua hipótese por meio do modelo.

O primeiro procedimento será a pesquisa no modelo tridimensional de todas as paredes com composição de camadas. Em seguida, serão criadas as camadas de composição do elemento parede, incluindo a distinção de três componentes: alvenaria, argamassa externa, argamassa interna como mostra a Figura 52.

Utilizamos uma seta azul na imagem abaixo para indicar o nodo *Parts.Elements.AreValidToCreateParts*, que cria as partes da parede.

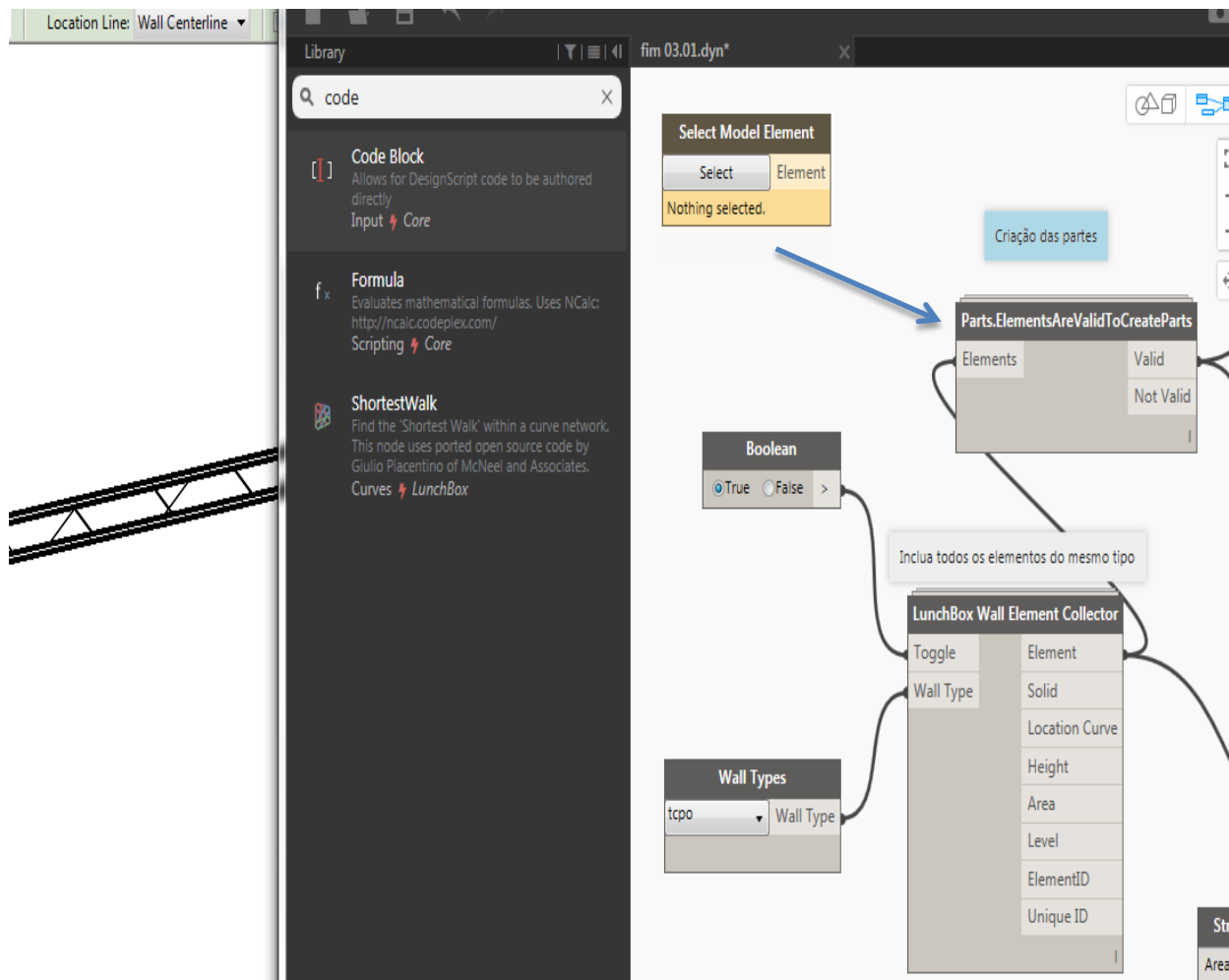


Figura 52 - Seleção do nodo para a criação das partes na parede TCPO
 Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Dynamo 2016.

O nodo *Parts.Elements.AreValidToCreateParts* executa a atividade de criar as partes do elemento selecionado. Depois da criação das partes distintas do elemento parede se faz necessário o uso do nodo *Elements.Parameters* para que todos os parâmetros dos elementos sejam listados.

A partir da listagem de todos os atributos das paredes, será verificado se os parâmetros são válidos para dar continuidade a implementação do algoritmo. O

próximo passo é restringir os vários parâmetros básicos das paredes para apenas aqueles que serão executados pelo algoritmo, como ilustra a Figura 53.

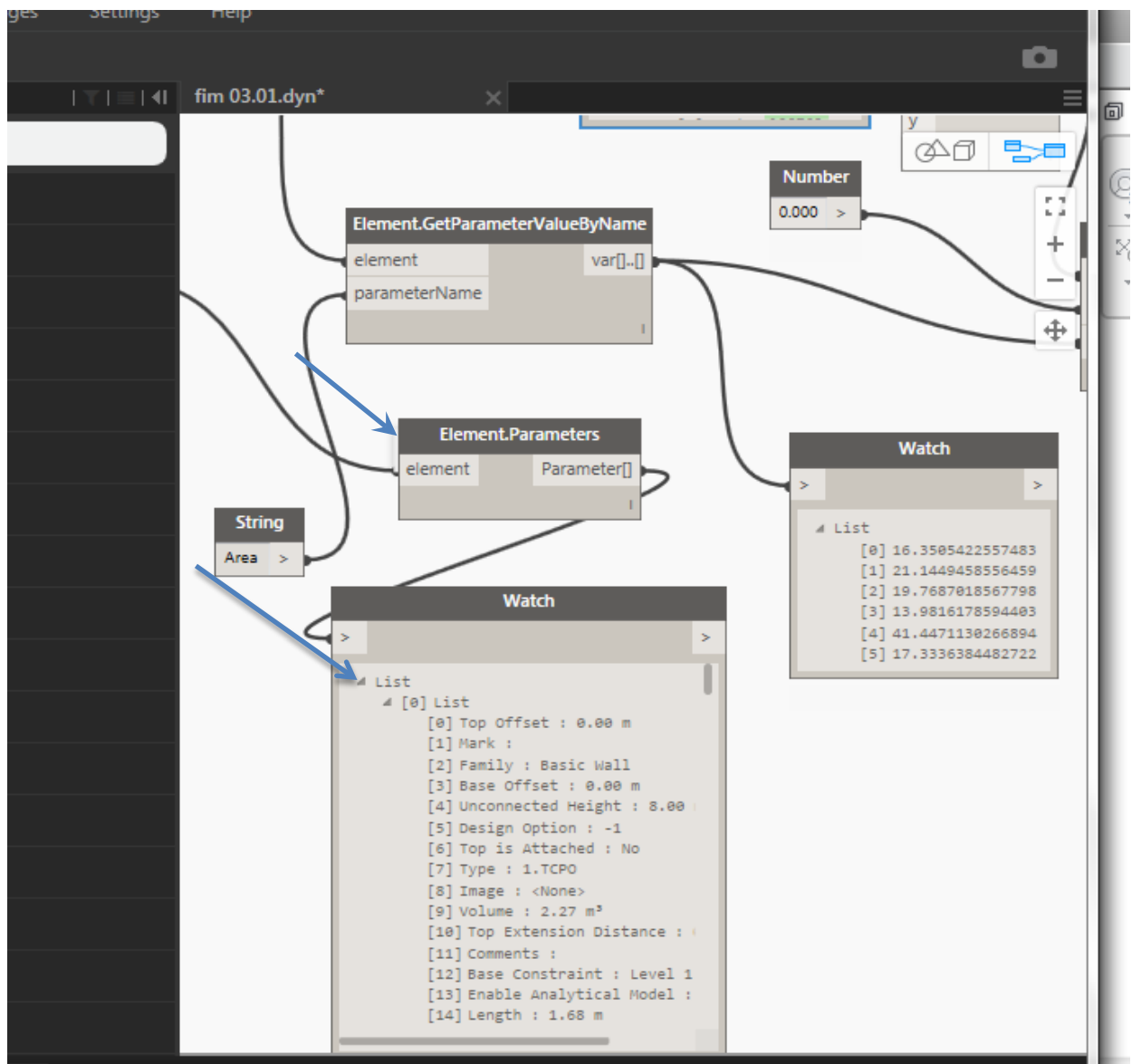


Figura 53 - Listagem dos parâmetros das Paredes
Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Dynamo 2016.

Conforme mostra a imagem acima, todas as propriedades disponíveis da parede 1.TCPO são listadas pelo nodo *Elements.Parameters*. Em nosso exemplo,

ilustramos tais parâmetros apenas para o conhecimento dos demais pesquisadores. Como se observa, a lista de atributos do elemento 01.TCPO é extensa: Family: Basic Wall; Type: TCPO; Volume: 2,27m³; Base Constraint: Level 1, entre outros atributos.

Como vimos no nodo anterior, *Elements.Parameters*, gera uma grande quantidade de parâmetros que está contida no modelo. Este nodo extrai do modelo as informações atribuídas a parede 1.TCPO. Contudo, o algoritmo precisa selecionar apenas o parâmetro área para a inclusão dos cálculos matemáticos.

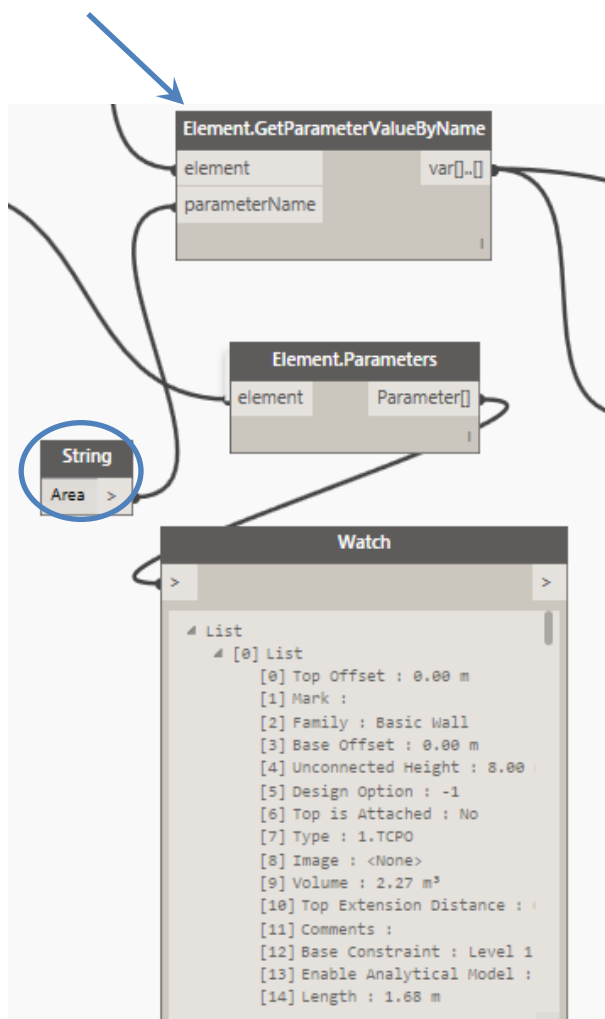


Figura 54 - Resgatando o parâmetro para o fluxograma
Fonte: Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Conforme mostra a figura 50, indicado por meio do círculo azul, foi criado o delimitador do parâmetro Área para que apenas o mesmo seja incluído nos cálculos matemáticos para extração da informação necessária para implementar o algoritmo.

O nodo *Elements.GetParametersValueByName* seleciona o parâmetro *Area* entre os diversos atributos que são utilizados no fluxograma da implementação do algoritmo. O nodo trabalha como um filtro de parâmetros que busca apenas aquele que será utilizado para dar continuidade ao processamento das informações, de acordo com a Figura 54 ..

Contudo, pode-se observar que em um modelo executado no Revit existe uma quantidade considerável de paredes. O passo seguinte consiste em extrair uma única lista contendo todas as áreas de todas as paredes.

Observa-se na Figura 55, a seguir, a saída dos dados do nodo *Elements.GetParametersValueByName* apresenta todas as áreas das paredes existentes no modelo em uma única lista.

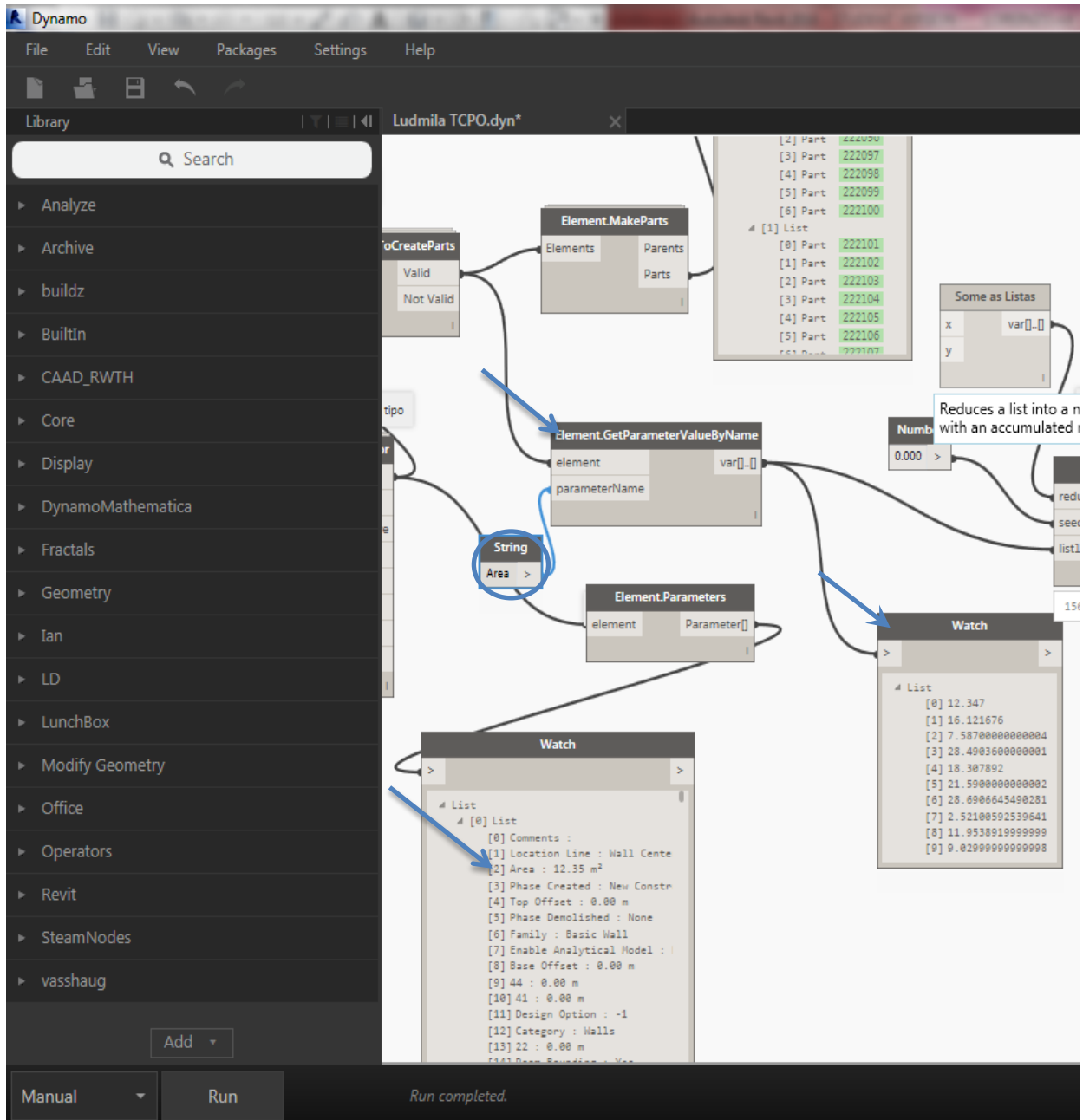


Figura 55 - Listas das áreas das paredes
 Fonte: Modelo da autora elaborado Dynamo 2016.

A imagem acima indica, particularmente por meio da primeira seta azul, o nodo *Elements.GetParametersValueByName* que filtra a lista de todos os

parâmetros do elemento parede e seleciona apenas o atributo indicado pelo *String Area* circulado e apresenta os resultados na janela *Watch* indicada pela seta azul. Este parâmetro denominado *Area* será utilizado no processo de inclusão dos cálculos matemáticos.

O nóculo *Watch* apenas permite a visualização do processamento de dados executados, ou seja, não pratica nenhuma ação. Funciona apenas como um leitor da ação em curso.

A lista apresentada pela seta azul no nóculo *Watch* indica a listagem de dez paredes com suas respectivas áreas. Portanto, a listagem das áreas das paredes é executada por meio do atributo área de cada parede em questão.

Como se observa, a listagem dos parâmetros apresenta numericamente as áreas de todas as paredes indistintamente. Contudo, para viabilizar a formulação do algoritmo é necessário consolidar os dados em uma lista única.

O funcionamento do algoritmo requer a soma de todas as áreas. A criação de uma nova lista, com a somatória de todas as áreas será executada pelo nóculo *List.Reduce*.

A porta de entrada de dados do nóculo *List.Reduce* requer 03 portas de entrada de dados. A porta inicial de entrada Reductor indica como será realizada a redução da listas, nesse caso em questão o nóculo Some a Lista indica que as listas devem ser somadas. A segunda porta utilizada, *Seed*, indexa os atributos da lista em numerais. A terceira porta de entrada de dados utiliza a lista anterior para reduzi-la de acordo com os parâmetros fixados (nas duas portas anteriores). A imagem abaixo mostra este processo.

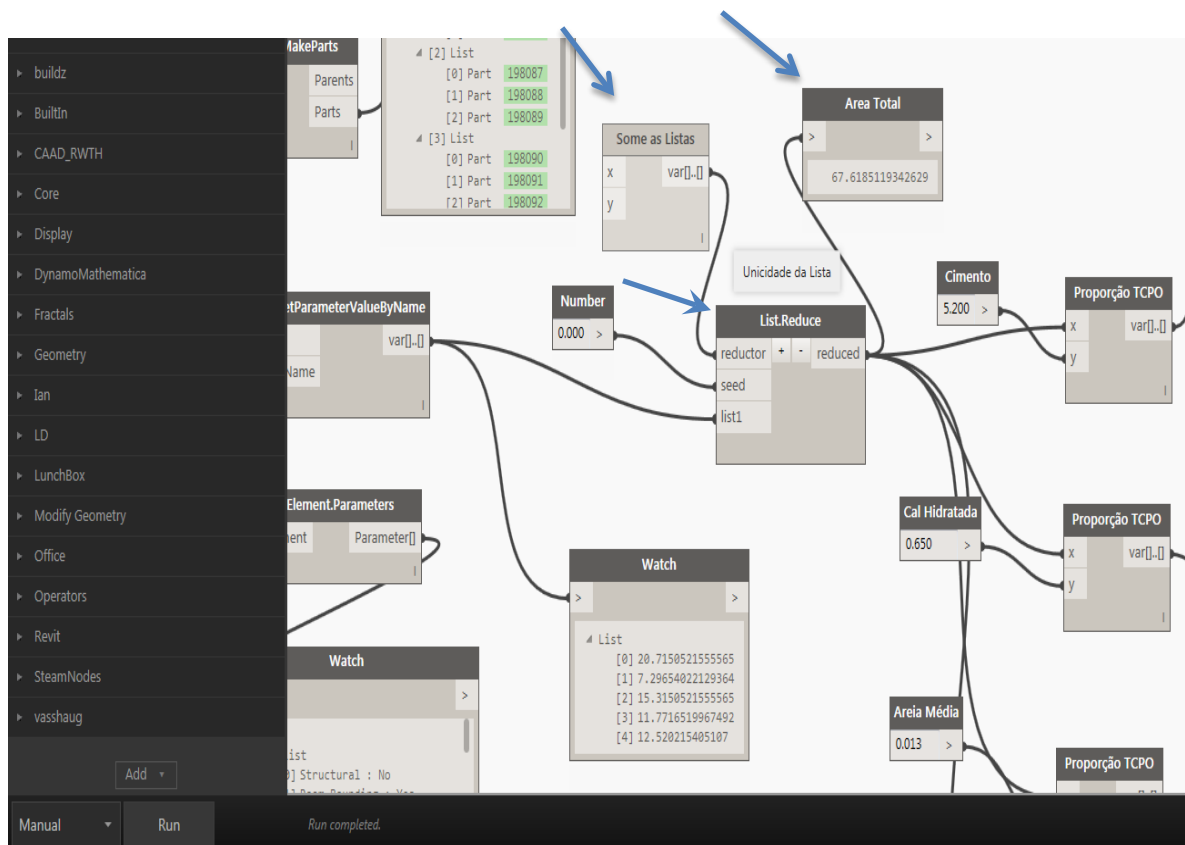


Figura 56 - Redução das listas de áreas a uma única.
 Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit Dynamo 2016.

A ação de reduzir todas as listas de paredes a uma única viabiliza a implementação do algoritmo. Por meio da figura acima, pode-se observar a ação de redução das listas de várias áreas a uma única lista pelo nodo indicado pela seta azul Area Total.

A partir da imagem 56, vê-se que o nodo de redução de lista executou a tarefa conforme esperado, por meio do nodo área total. Portanto, todos os parâmetros de área de todas as paredes convergem para um único nodo a fim de viabilizar a implementação do algoritmo.

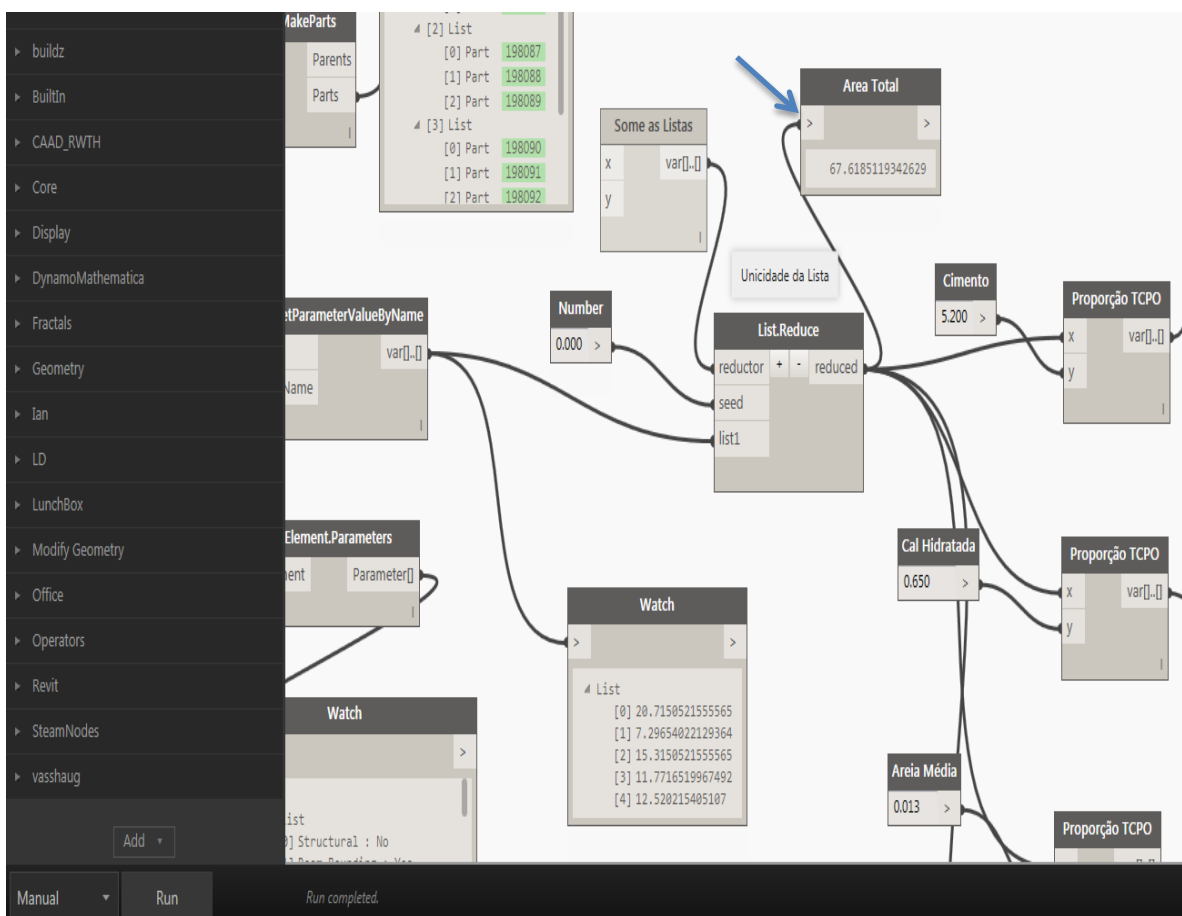


Figura 57 - Reduzir as listas a um único resultado.
 Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Dynamo 2016.

Continuando com a implementação do algoritmo, será necessário incluir os cálculos matemáticos para a extração das informações referentes aos quantitativos dos materiais de construção.

Prosseguindo com a implementação do fluxograma, os cálculos matemáticos foram apresentado no capítulo 3 sobre métodos de investigação. Ressaltamos que a elaboração dos cálculos matemáticos resultará na extração dos quantitativos exatos de cimento, cal hidratada, areia média e blocos de concreto de acordo com as proporções da TCPO.

No Dynamo, no início da elaboração dos cálculos matemáticos utilizou-se o nodo intitulado *Proporção TCPO*. Este nodo requer dois dados de entrada: a redução da lista de áreas na porta "X", que foi calculada pelo nodo *List.Reduce*, e a

variável matemática da proporção direta indicada pela TCPO. Portanto, resumindo: este nodo calcula a proporção entre as duas variáveis, a redução da lista de áreas e a proporção de cada material conforme a TCPO.

O nodo Proporção TCPO apresenta duas portas de entrada. A primeira porta é referente à somatória de áreas, e a segunda à proporção de material de acordo com a TCPO. O processamento destes dois dados por meio do cálculo matemático proposto no algoritmo resultará no quantitativo de cada material.

Foi escolhida a alvenaria estrutural em bloco de concreto com argamassa de assentamento na mistura de cimento, cal hidratada e areia média, sem peneirar, no traço 1:0,25:3. Portanto, a proporção dos quantitativos de cada material varia de acordo com esta medida. No caso em questão, em cada m² de alvenaria serão utilizadas quatro medidas de cimento para uma medida de cal hidratada e doze medidas de areia média sem peneirar.

Contudo, para a implementação do algoritmo, esta proporção pela medida de traço não auxilia a extração direta dos materiais, porque nesta abordagem a quantidade de material está vinculada ao volume de materiais correlacionados. Esta proporção em nada contribuiria, pois o objetivo do algoritmo é extrair do modelo as quantidades de materiais de cada elemento de maneira independente. Portanto, é necessário o cálculo direto dos quantitativos de materiais por área e nas suas medidas de aquisição no mercado.

O cálculo da quantidade de cada material é distinto. A TCPO apresenta por meio da equivalência a quantidade dos materiais de acordo com a área. Os cálculos conforme apresentados na seção Métodos e Aplicação (página 144), esta proporção é mostrada na tabela 28.

Tabela 28 - Quantidade dos dos materiais
 Fonte: Tabela elaborada pela Autora com referência a TCPO 2014.

Composição dos materiais necessários para alvenaria estrutural em blocos de concreto.			
Quantidade de materiais - Unidades por m ²			
Componentes	Quantidades	Unidade	Fórmulas matemáticas dos quantitativos
Cimento	5,20	kg	$Q = (\text{Área} \times 5,20)$
Cal hidratada	0,65	kg	$Q = (\text{Área} \times 0,65)$
Areia média	0,013	m ³	$Q = (\text{Área} \times 0,013)$
Bloco de concreto 14x19x39 cm	13,13	unidade	$Q = (\text{Área} \times 13,13)$

Segundo a tabela acima, pode-se observar que cada material requer um cálculo distinto. Por exemplo, para explicar o cálculo de cimento, usaremos a fórmula $Q = (\text{Área} \times 5,20)$ para obter a proporção necessária de cimento por metro quadrado de parede. Então, para cada 10 m² de alvenaria são necessários 52 quilos de cimento.

Na implementação do algoritmo, o nodo que representa a ação do cálculo dos quantitativos de materiais é denominado Proporção TCPO, indicado pela seta azul na figura a seguir.

Este nodo realiza os cálculos de proporção dos materiais de acordo com o fluxograma do algoritmo. Portanto, na porta de entrada de dados “X” a informação que se espera é o cômputo das áreas de paredes, proveniente do nodo anterior, *List.Reduce*. A porta “Y” deve ser alimentada pela proporção de cada material, como foi mencionado em parágrafos anteriores. Continuando com o exemplo do cimento, neste nodo a proporção 5.20, contida no círculo azul, informa a quantidade de material para o nodo seguinte, Proporção TCPO. Concomitantemente, a lista da

área de parede, por meio de sua proporção direta, resultará no quantitativo nas unidades de materiais disponíveis no mercado nacional, conforme mostra a figura 58.

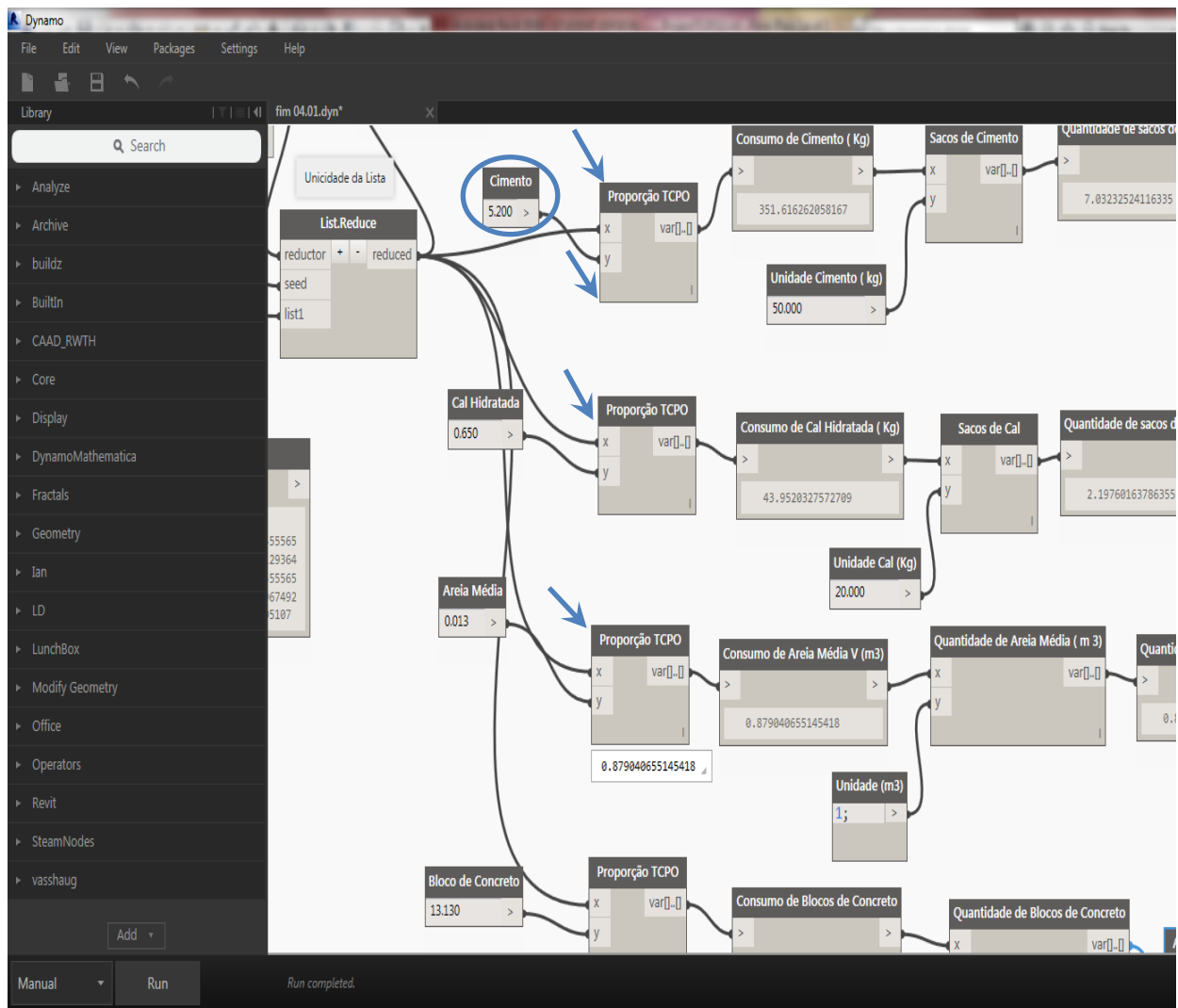


Figura 58 - Nodo de Proporção TCPO
Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit Dynamo 2016.

A figura acima mostra a inclusão dos cálculos por meio do nodo Proporção TCPO referente a cada material utilizado. No cálculo dos materiais há duas variáveis importantes: o cômputo das áreas pelo nodo *List.Reduce* e a variável de proporção.

No nodo Proporção TCPO, as duas variáveis se apresentam nas duas portas de entrada de informação, sendo “X” a somatória das áreas e “Y” as variáveis constantes de proporção de cada material.

Como cada quantitativo de material possui a sua variável constante de proporção, então esse cálculo é efetuado por um nodo Proporção TCPO.

A partir desse nodo, o fluxograma está completo para calcular os materiais que serão necessários para a execução da elevação da alvenaria.

O resultado desta etapa pode ser visualizado na Figura 53 que mostra o nodo de quantitativos de cada material disponível para ser extraído. No sentido de facilitar a visualização, cada nodo juntamente com seu respectivo quantitativo está indicado por meio de uma seta azul na figura abaixo.

Pode-se observar que o nodo Quantitativo de Cimento (Kg) apresenta automaticamente a informação de que serão necessários 814,52 quilos de cimento para executar a referida parede.

Esta informação é importante, pois além de ser elaborada nas unidades disponíveis no mercado nacional, também permite que as diversas equipes de construção possam planejar e executar a obra com precisão, baseadas em dados exatos de cada material.

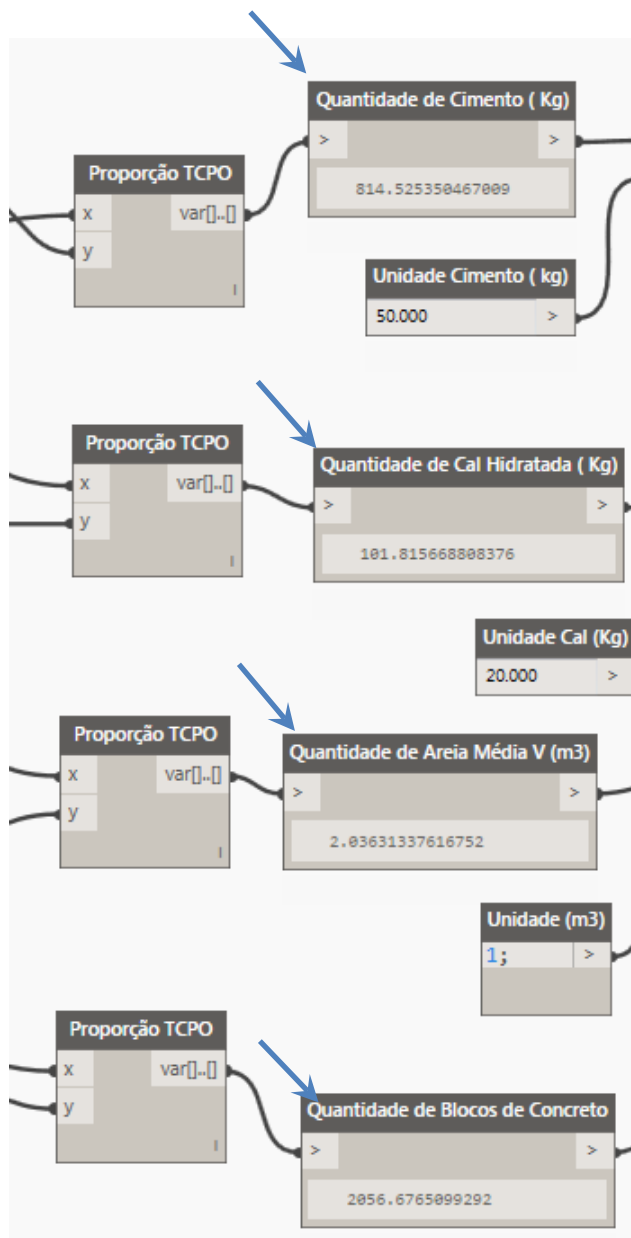


Figura 59 - Quantitativos dos materiais de construção das paredes.
 Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Dynamo 2016.

A figura 59 mostra como os quantitativos de materiais são extraídos automaticamente por meio do Dynamo. Conforme afirmamos nesta tese, esta tarefa é inovadora, pois, nos sistemas BIM, não existe, como um recurso padrão, a extração dos quantitativos de materiais de construção nas unidades disponíveis no mercado nacional.

O fluxograma elaborado por meio do Dynamo permite expandir e customizar os recursos do sistema BIM escolhido. O algoritmo proposto nesta tese tem o objetivo de informar os quantitativos de materiais nas unidades adequadas para a aquisição no mercado nacional. Portanto, para adequar estes quantitativos de materiais será necessária mais uma etapa, que detalharemos adiante.

A seguir, será necessário definir os outros nodos do algoritmo que lidam com a adequação dos quantitativos de materiais às unidades de compra no mercado nacional, como o saco de 50 quilos para o cimento, ou de 20 quilos para a cal hidratada. Portanto, cálculos adicionais são necessários para executar este procedimento.

A tabela apresentada a seguir mostra um exemplo específico do resultado da utilização das fórmulas matemáticas do algoritmo proposto nesta tese:

Tabela 29 - Exemplo dos cálculos de compra de materiais
 Fonte – Tabela elaborada pela autora (2016)

Cálculos dos quantitativos de materiais para compra no mercado brasileiro de uma alvenaria de 478m ²			
Cimento	Fórmula: (consumo por m ² /50;0)	50,47	sacos
Cal hidratada	Fórmula: (consumo por m ² /20;0)	15,53	sacos
Areia média	Fórmula: (área x 0,013)	4,74	m ³ de areia
Blocos de concreto	Fórmula: (área x 13,13)	6276,14	unidades de blocos

Conforme apresentadas na tabela 29, as unidades de compra no mercado nacional são definidas pelos sacos de 50 quilos de cimento, 20 quilos de cal

hidratada, m³ de areia e unidades de blocos de concreto. As fórmulas definidas para calcular os materiais da parede de alvenaria contêm uma relação direta entre o nodo anterior de quantitativos de materiais e as unidades de compra de acordo com o mercado nacional.

No sentido de executar este procedimento, foi utilizado, por exemplo, o nodo quantidade de sacos de cimento para fazer o cálculo a partir das medidas de compra no mercado nacional. Para definir que cada saco de cimento contém 50 kg, foi necessário implementar um novo cálculo com base naqueles ilustrados na tabela acima.

Os nodos que executam estes cálculos são denominados sacos de cimento, cal hidratada, areia média e blocos de concreto. O nodo anterior produziu, como resultado, a quantidade de cimento necessário para executar a construção. A relação entre a quantidade de cimento e a variável saco de cimento de 50 kg é feita por meio do nodo sacos de cimento. A partir da figura que se segue, é possível observar no fluxograma a posição do mesmo e dos demais materiais.

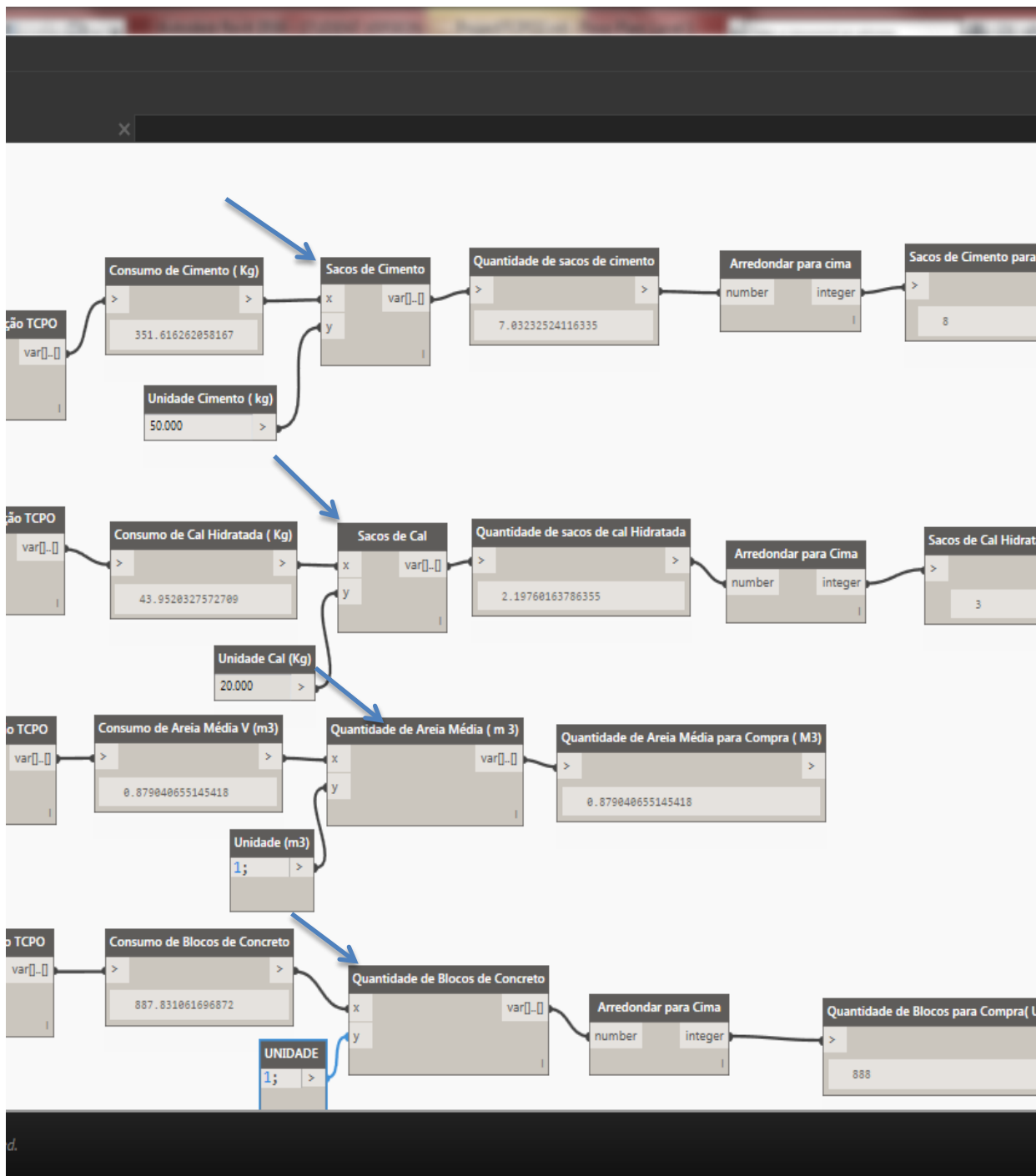


Figura 60 - Quantitativos dos materiais de construção das paredes.
 Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit Dynamo 2016.

Um dos nodos apresentados na figura acima é intitulado Sacos Cimento. A configuração deste nodo ocorre por duas portas de entrada: a porta “X” que requer a

informação do nodo anterior dos quantitativos de materiais, e a porta “Y” que indica a unidade de acordo com o mercado nacional.

As unidades encontradas pelo nodo anterior ainda não oferecem a adequação necessária para o mercado nacional. Na implementação do algoritmo, o cálculo estabelece que as unidades encontradas pelo nodo anterior devem ser arredondadas para o número inteiro mais próximo.

A tabela abaixo é um exemplo que elaboramos para facilitar a compreensão desses cálculos.

Tabela 30 – Exemplo dos cálculos de compra de materiais
 Fonte: Tabela elaborada pela autora (2016)

Cálculos dos quantitativos de compra de materiais no mercado brasileiro de uma alvenaria de 478 m ²			
Cimento	Fórmula: arred(consumo por m ² /50;0)	51	sacos
Cal hidratada	Fórmula: arred(consumo por m ² /20;0)	16	sacos
Areia média	Fórmula: arred(área x 0,013)	6	m ³ de areia
Blocos de concreto	Fórmula: arred (área x 13,13)	6277	unidades de blocos

A Tabela acima apresenta a Fórmula de arredondamento que já foi apresentada no seção 03 de Métodos de Investigação. Por exemplo, o resultado do quantitativo de sacos de cimento normalmente não será um número inteiro. Como não é possível comprar frações de sacos de cimento, é necessário arredondar para o próximo número inteiro mais próximo. Isto pode ser feito por meio do nodo ArredondarparaCima.

Esta informação de quantitativos adequados é essencial na construção civil para o planejamento, entrega de materiais e execução das tarefa. Isto se justifica

porque, durante a construção, a falta de parte de qualquer material acarreta prejuízos graves, como a deterioração dos demais que não serão utilizados, mão de obra parada e obra paralisada, resultando na elevação do custo da construção.

Tabela 31 - Resumo dos cálculos matemáticos para arredondamento dos quantitativos de materiais
 Fonte: Tabela elaborada pela autora (2016)

TABELA DE EXEMPLOS DE FÓRMULAS PARA CONVERSÃO DOS DIVERSOS MATERIAIS DE ALVENARIA

Componentes	Unidades de compra	Fórmulas para compra no mercado
Cimento	50 kg	ARRED(número, núm_dígitos) ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de materiais/50;0)
Cal hidratada	20 kg	ARRED(número, núm_dígitos) ARREDONDAR.PARA.CIMA(quantidade de materiais/20;0)
Areia média	m ³	ARREDONDAR.PARA.CIMA Q = (Area) x 0,013)
Bloco de concreto 14x 19x 39 cm	Unidade	ARREDONDAR.PARA.CIMA Q= (área x 13,13)

Como se pode observar na tabela acima, o cálculo apresentado é necessário para ajustar os números fracionados ao número inteiro superior mais próximo, pois não se pode comprar, por exemplo, 2,64 sacos de cal hidratada.

O nodo abaixo destacado por meio da seta azul, indica esta tarefa de de arredondamento dos dados até o próximo número inteiro superior para cada material de construção utilizado.



Figura 61 - Quantitativos dos materiais de construção das paredes
 Fonte: Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Conforme mostra a figura acima, implementamos nosso algoritmo por meio do Dynamo, de forma a produzir os quantitativos para compra nas unidades nacionais dentro do sistema BIM escolhido. O Nodo Arredondar para Cima em sua porta de entrada *number* requer o dado do nodo anterior e a porta de saída *integer* indica que o resultado será o número inteiro superior mais próximo.

Como resultado desta operação de arredondamento o dado apresentado no nodo “Sacos de Cimento para compra” apresenta a informação adequada para a

aquisição do material no mercado nacional, como se pode observar pela figura abaixo.



Figura 62 - Quantitativos nas unidades de compra do mercado nacional
Fonte: Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Conforme mostra a Figura 62, o Dynamo alcançou o objetivo proposto por nosso algoritmo em relação às referidas tarefas cujos resultados são adequados ao mercado nacional.

Por se tratar de programação gráfica, o Dynamo, dentro do sistema BIM escolhido, permite a implementação do algoritmo diretamente na interface do(a) usuário(a). Isso quer dizer que o próprio aplicativo compila o algoritmo e executa a tarefa no modelo ativo no programa. O Dynamo, com a sua funcionalidade de compilador, permite aos usuários criar um protótipo de aplicativo que é funcional mas que ainda não é um software comercial porque não possui interface completa. No sentido de executar o protótipo, é necessário que haja um arquivo com o algoritmo definido no Dynamo e que o(a) usuário(a) solicite que a interface execute o fluxograma por meio do seu compilador.

Os resultados destas atividades podem ser visualizados na figura abaixo: o(a) usuário(a) aplica o algoritmo no modelo ativo do sistema BIM, e o mesmo será executado apresentando os quantitativos específicos nas unidades nacionais de compra.

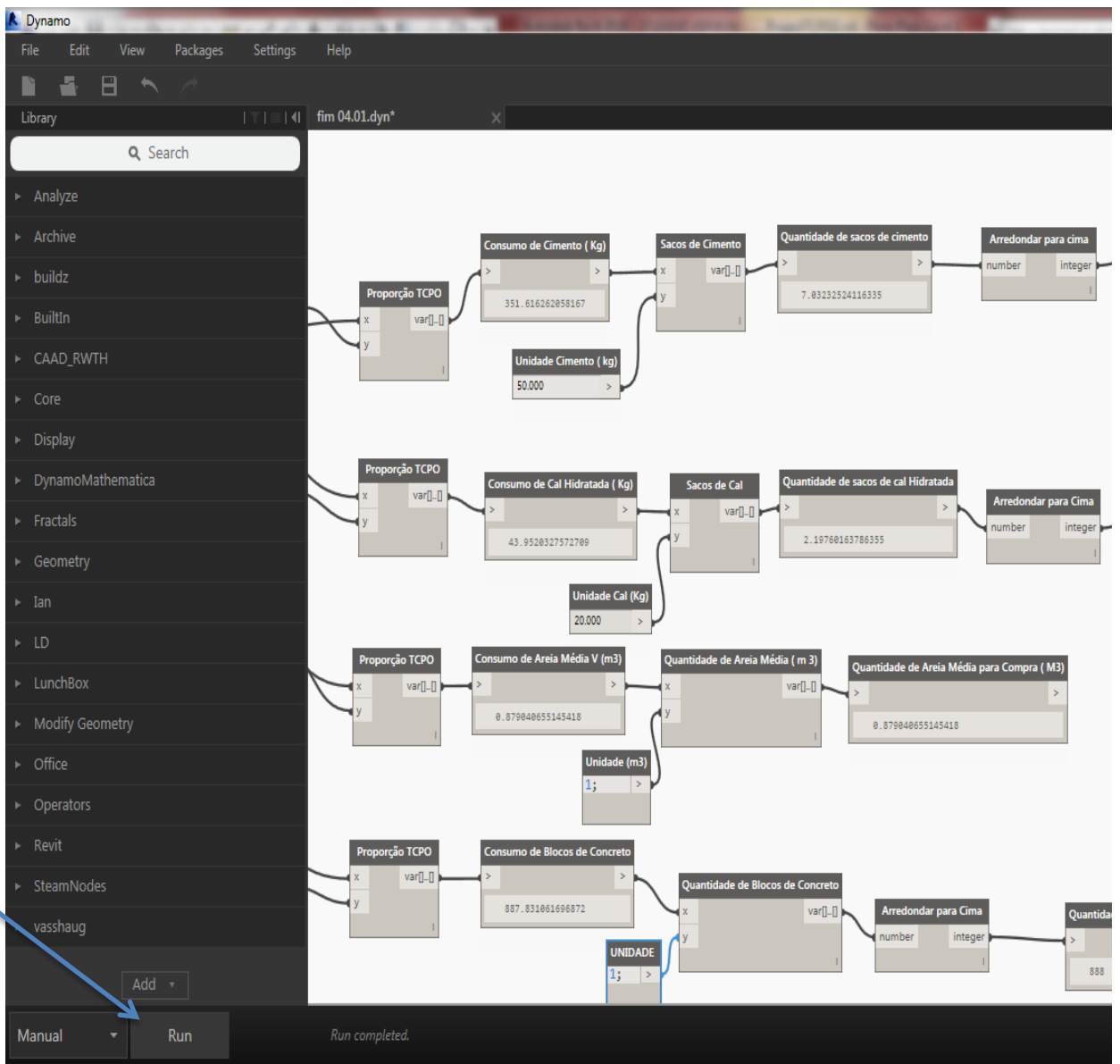


Figura 63- Botão "Run" no Dynamo

Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Dynamo 2016.

Na figura acima a seta azul indica o botão “Run” o qual executa a tarefa proposta por meio da implementação do algoritmo.

A proposta de implementação do algoritmo por meio do Dynamo permitiu executar as tarefas apresentadas no fluxograma. Desta forma, possibilitou alcançar o objetivo desta tese, de suprir a lacuna do mercado nacional com a customização dos sistemas BIM, de acordo com as medidas de compra do mercado nacional

4.3. TESTE DO APLICATIVO RESULTANTE DA IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO

Este trabalho de tese inovou ao criar um algoritmo para adequar a extração dos quantitativos ao mercado nacional. No sentido de verificar a hipótese desta tese foi preciso elaborar um fluxograma de instruções no Dynamo para obtenção dos resultados propostos na medidas de compra. Nesta seção apresentamos diversos testes preliminares realizados com sucesso para confirmar nossa contribuição original ao conhecimento.

A modelagem das duas habitações de baixo custo é privativa para os fins desta tese. A autora projetou tais edificações exclusivamente para serem o suporte de teste da funcionalidade do algoritmo. Mais adiante nesta tese, as informações específicas de cada casa serão detalhadas. Neste primeiro momento apenas à distinção por metragem, ou seja, uma casa de 65m² e outra de 125 m². Neste capítulo, consideramos essencial a informação de quantidade de metros quadrados de cada uma das casas unicamente para testar o aplicativo utilizado na implementação do algoritmo.

Uma vez que as instruções do algoritmo foram implementadas por meio do Dynamo, as mesmas devem ser testadas para verificar se os dados finais encontrados estão nas unidades utilizadas no mercado nacional.

Neste teste, a modelagem das habitações foi orientada pela NBR 13.532 que estabelece que o programa de necessidades define a função da edificação, além de conter as informações necessárias, incluindo as relações entre os ambientes que a compõem, suas ligações, áreas mínimas e características gerais.

O programa de necessidade das duas habitações estabelece que as mesmas possuam quarto, sala, cozinha, banheiro e área de serviço.

A utilização de duas casas populares serve apenas como meio de teste para a implementação do algoritmo. Elas são utilizadas apenas para fornecer as informações para execução do algoritmo representado pelo o fluxograma.

A seguir, apresentaremos mais detalhadamente os modelos e o programa de necessidades das duas casas e o teste de implementação do algoritmo. No decorrer desse capítulo serão apresentadas as informações do modelo, o teste e os resultados obtidos por meio do algoritmo para a obtenção de quantitativos de materiais de acordo com no mercado nacional.

Teste 01: Casa Lorenzo

Este primeiro modelo de casa econômica possui 65 m², contendo 1 sala de jantar/estar, 2 quartos, 1 banheiro, 1 cozinha e 1 área de serviço.



Figura 64 - Modelo da casa Lorenzo
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

A razão da simplicidade do modelo tem o objetivo de fornecer os dados necessários para o teste do algoritmo, que constitui o tema principal deste capítulo, ao invés de concentrar nas questões relacionadas a arquitetura da habitação.

A arquitetura não é o ponto central desta seção e, por esta razão, não temos o objetivo de detalhar a intenção arquitetônica da casa. Mas como é de domínio público existem requisitos mínimos para as construções. Por esta razão, na fase de concepção, as casas apresentadas neste capítulo foram planejadas à luz de todos os parâmetros mínimos do código de edificação do Distrito Federal. As dimensões mínimas dos compartimentos de área, dimensão, aeração, iluminação e pé-direito foram observadas.

No sentido de facilitar a visualização dos compartimentos da casa se utilizou a ferramenta que desloca o telhado do modelo. Assim, a disposição interna dos ambientes podem ser melhor visualizadas como se observa na imagem abaixo.

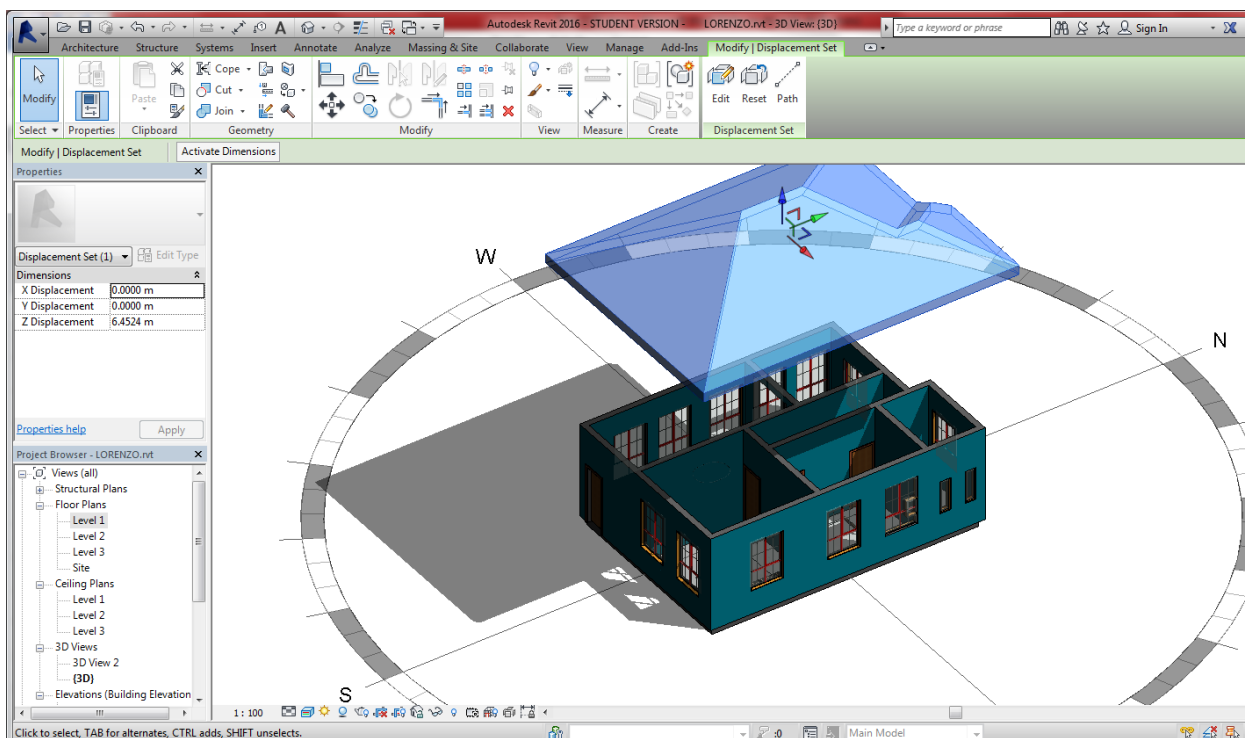


Figura 65 - Zoneamento da casa Lorenzo.
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

A concepção arquitetônica da casa acima contém os parâmetros mínimos para os compartimentos, cujo o modelo foi elaborado tridimensionalmente. Observamos, ao explorar as configurações espaciais por meio deste modelo, que o mesmo permite maior visualização dos espaços. Desta forma, a figura acima mostra a importância de apresentar o modelo tridimensionalmente.

Decidiu esclarecer vários aspectos do modelo para posterior replicabilidade do modelo, para melhor compreensão do leitor, por meio do modelo tridimensional primeiramente. Neste sentido, o zoneamento dos compartimentos foi definido por meio da modelagem tridimensional. Isto quer dizer que a concepção arquitetônica está centrada no modelo. Nos sistemas BIM o modelo é o ponto de partida para a elaboração do projeto de arquitetura de edificação.

Algumas informações ainda se fazem necessárias para o conhecimento da Casa Lorenzo e posteriormente compreensão do teste da implementação do algoritmo. As informações apresentadas ainda não são suficientes para a caracterização geral da concepção adotada, incluindo as indicações das funções, dos usos, das formas, das dimensões e das localizações dos ambientes da casa. Salienta que nos sistemas BIM as informações técnicas são geradas a partir do modelo tridimensional.

Essas informações permitem definir as funções ou as atividades em cada ambiente. As dimensões e cotas devem ser suficientes para a especificação dos mesmos.

A planta-baixa da casa Lorenzo é uma das diversas informações que são extraídas automaticamente do modelo único. Para facilitar a replicabilidade do teste por outros pesquisadores, a planta-baixa, corte e fachadas são apresentadas para compreensão do modelo.

Na figura 66 a representação técnica da planta-baixa da casa Lorenzo, essa representação vem suprir as necessidades de informações de referências de posição de alvenarias, dimensionalidade dos ambientes, cotas, rótulo dos ambientes entre outras informações.

As linhas guias, na figura abaixo, definem os eixos da alvenaria e as cotas contêm as informações da dimensão dos ambientes.

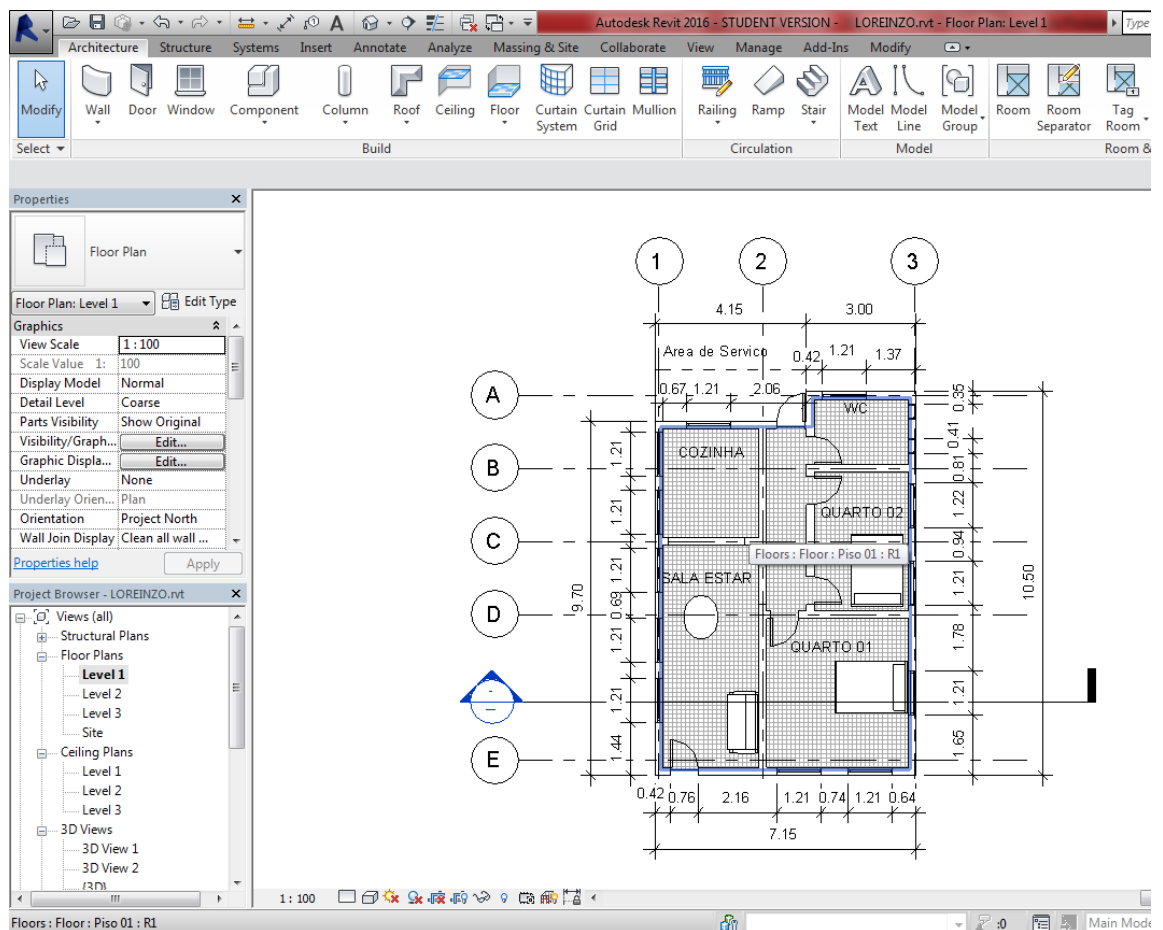


Figura 66 - Planta-baixa casa Lorenzo
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

Seguimos a orientação da NBR 6492/1994 na indicação de coordenadas pelos *grids* na planta-baixa que mostra os eixos de modulação da habitação.

A indicação dos nomes dos ambientes e as cotas gerais na casa Lorenzo auxiliam a compreensão da organização espacial do modelo, como se observa na imagem abaixo:

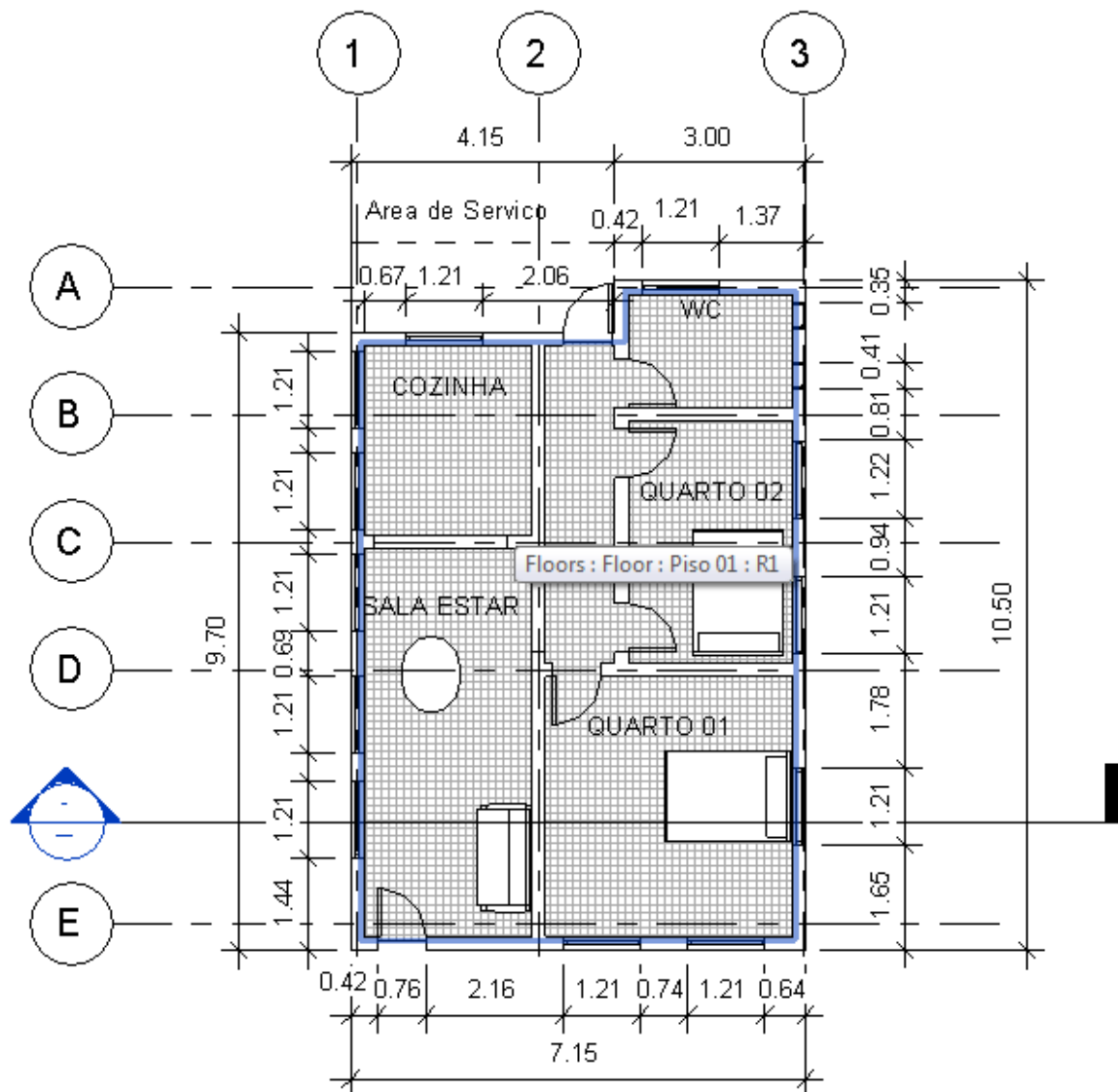


Figura 67 - Detalhe da Planta-baixa casa Lorenzo
 Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

A apresentação da representação gráfica acima facilita a compreensão da relação dos setores que compõem a referida habitação, suas ligações, necessidade de área e características especiais.

Conforme mostra a figura 68, o corte foi disposto onde a representação mostra o máximo possível de informação da casa.

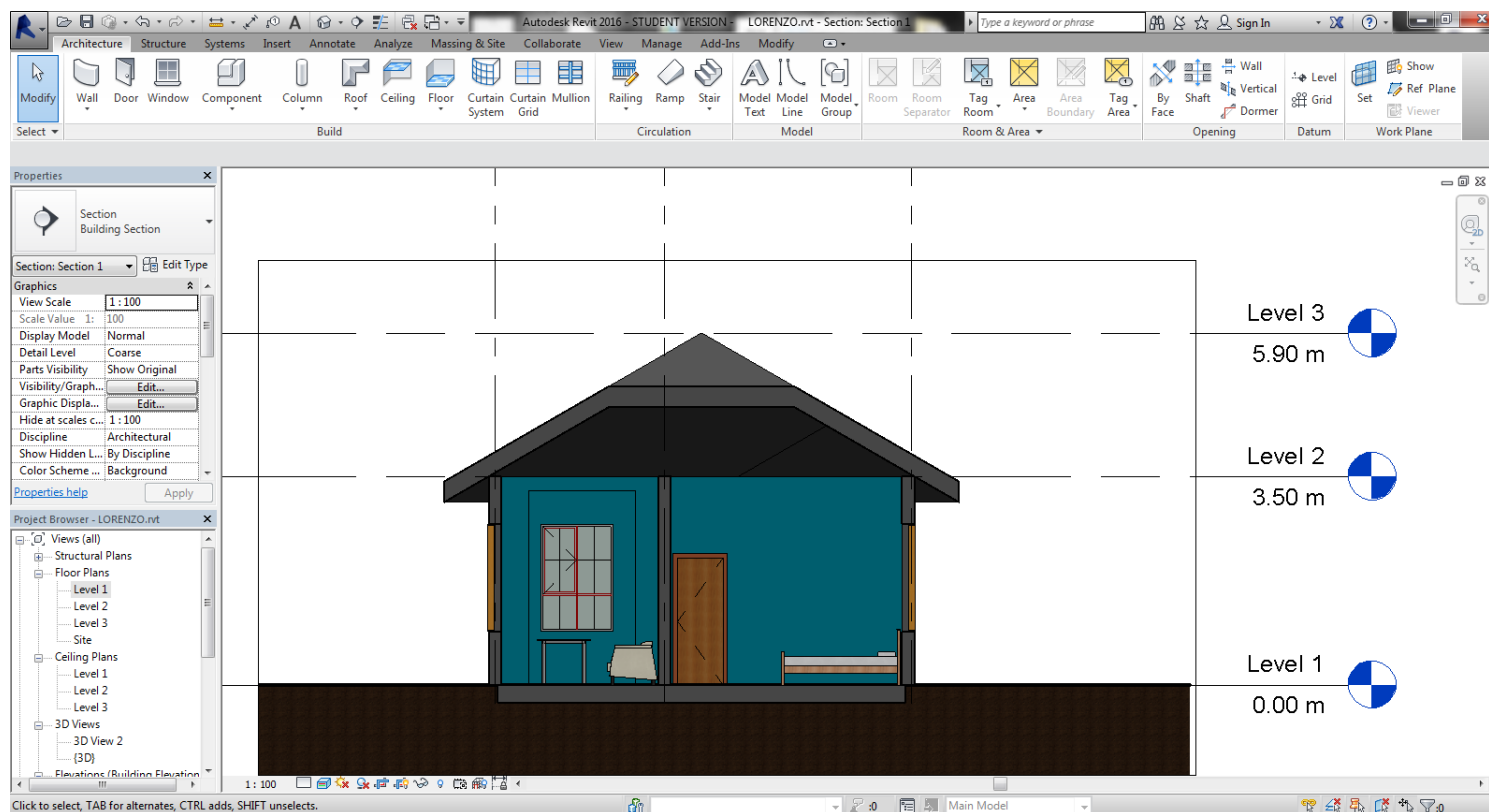


Figura 68 - Corte transversal da casa Lorenzo
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

Por meio da imagem acima observa-se que o pé direito da edificação é de 3,50m, que será um dos parâmetros do cálculo das alvenarias.

A representação ortogonal do exterior da casa apresenta um detalhe relevante, a localização exata das janelas da residência, como pode ser observada pela imagem abaixo.

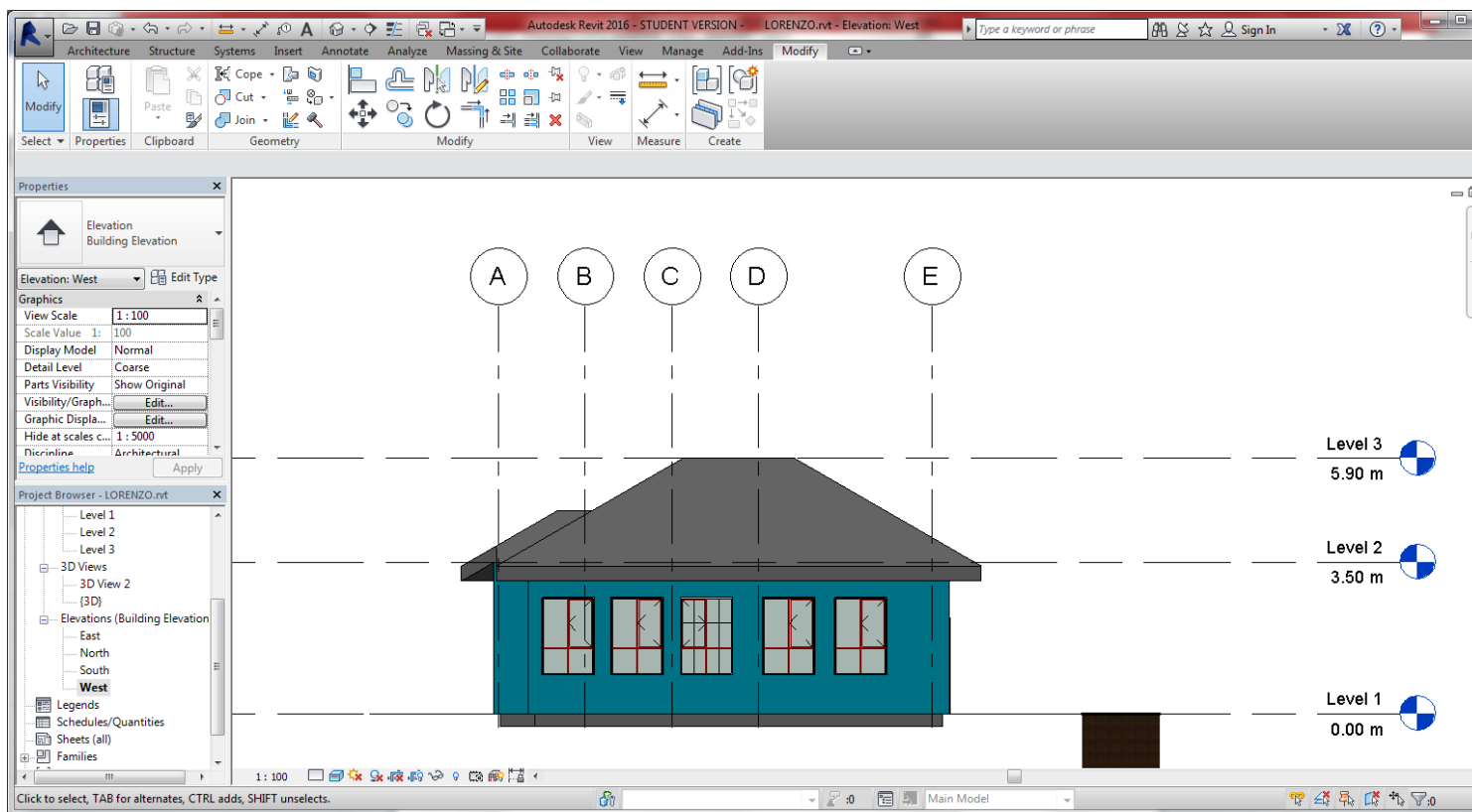


Figura 69 - Fachada externa casa Lorenzo
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

Após a apresentação da fachada por meio da imagem acima, outros pesquisadores podem replicar o modelo para outros testes e estudos.

Os resultados do primeiro teste da implementação do algoritmo utilizando o modelo da Casa Lorenzo serão apresentados em capítulos subsequentes. Observe-se que o aplicativo por nós produzido é inicializado na interface do Revit.

Na figura 70 a seta 01 indica que o acesso ao Dynamo é feito por meio da aba Add-Ins do Revit. Ao clicar nesta aba o editor gráfico é mostrado na interface do usuário, como pode ser visto por meio da imagem abaixo.

Na figura 70 a seta 02 indica o acesso ao Dynamo no Revit. Desta forma, para iniciar o aplicativo apenas um clique é necessário.

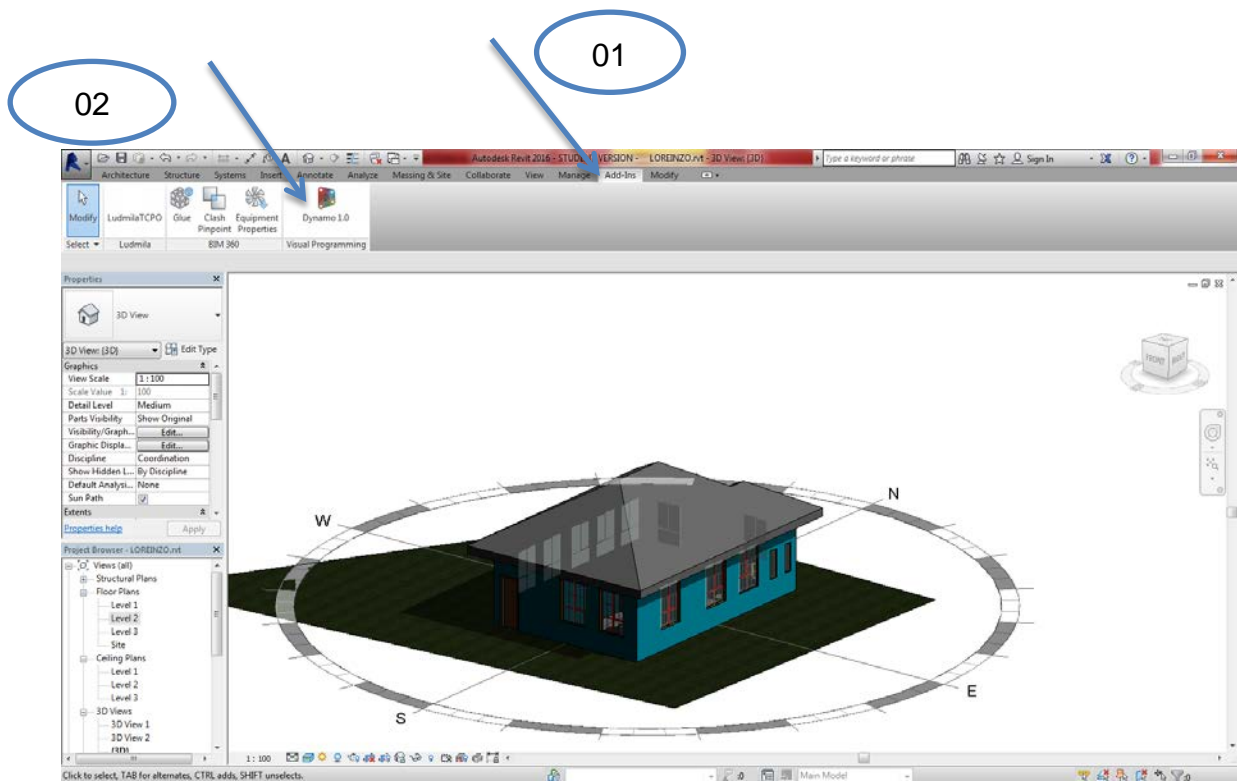


Figura 70 - Acesso direto ao Dynamo no Revit.
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

Desde a versão 2016 o Dynamo está inserido no Revit de uma-forma direta e simples, constituindo uma ferramenta para edição de algoritmos em gráficos.

A interface deste editor gráfico é comum a várias interfaces dos sistemas Windows. Contém abas de acesso a arquivos, edição da interface do usuário, vistas, configurações e ajuda.

O início da interface pode ser feito por meio de um novo arquivo ou do acesso a um já existente. Nesta tese, a implementação do algoritmo foi apresentada e consolidada na seção 4.2, implementando o algoritmo na interface de programação gráfica no Dynamo. Por esta razão, neste capítulo, utilizaremos apenas o arquivo denominado Ludmila TCPO, conforme mostramos na imagem 69.

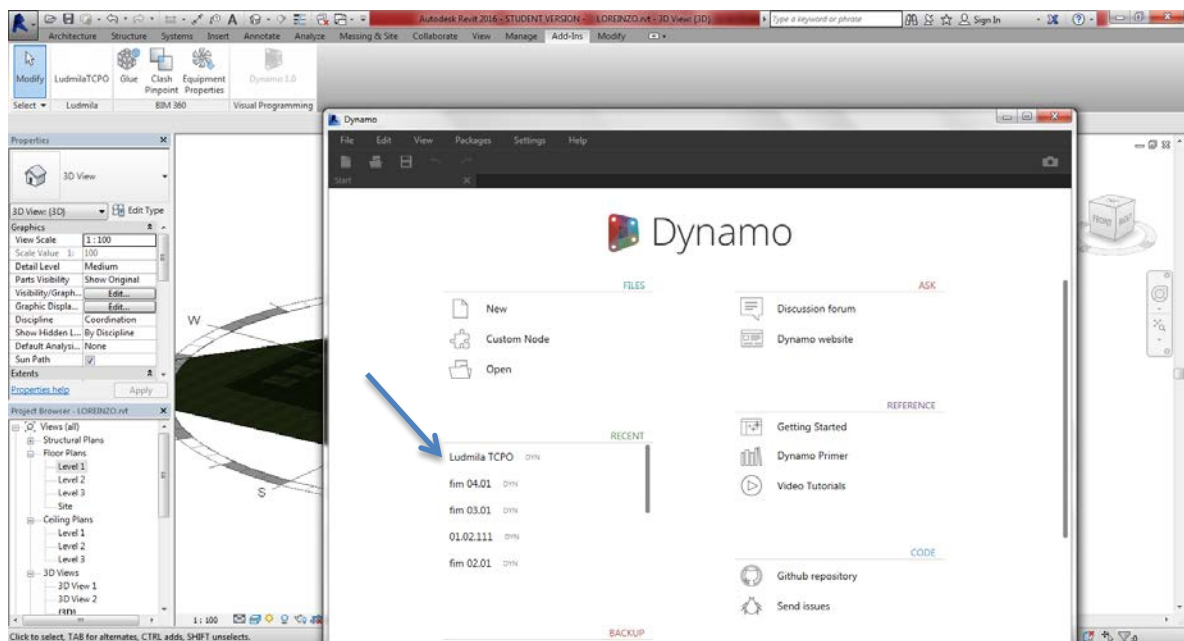


Figura 71 - Acesso ao Algoritmo Ludmila TCPO.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Por meio de um clique simples sobre o nome do arquivo LudmilaTCPO, a abertura da interface do Dynamo apresenta o algoritmo proposto para esta tese. Esta interface é um compilador que executa a ação proposta pelo algoritmo na interface do usuário no Revit.

Contudo, esta ligação direta entre as duas interfaces não ocorre de maneira automática. Ao acessar o arquivo do algoritmo no Dynamo, este ainda não executou nenhuma tarefa na interface do usuário.

Conforme se pode observar na Figura 68, abaixo, quando o fluxograma é visualizado no Dynamo os nodos não contêm dados ou informações. Isto quer dizer que o aplicativo ainda não executou a tarefa proposta.

No sentido de testar o algoritmo, as ações propostas devem ser claras para permitir a análise do resultado. Se analisará a apresentação dos dados finais do algoritmo e se os resultados atenderam aos objetivos propostos no sentido de informar os quantitativos de materiais nas unidades de acordo com o mercado nacional.

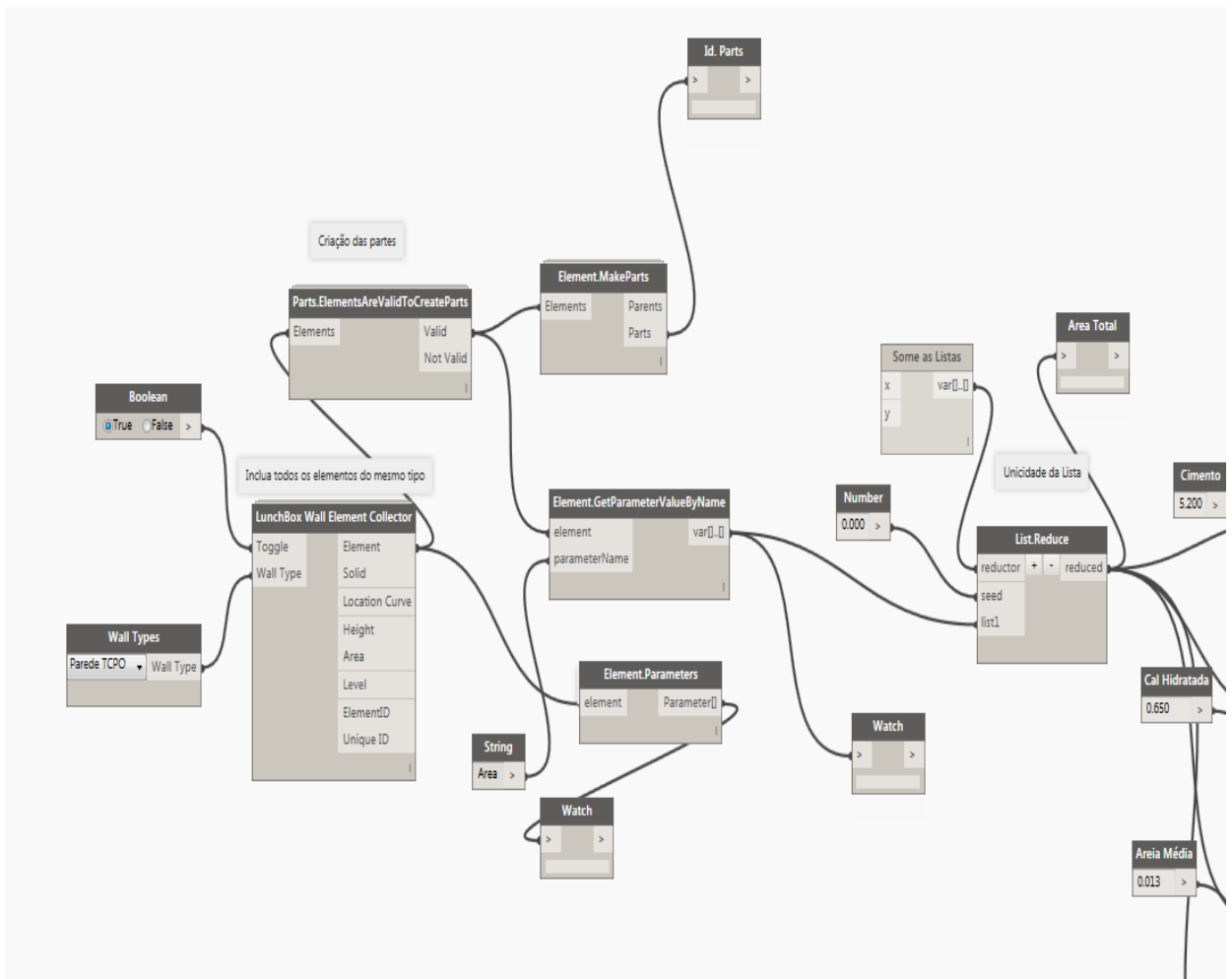


Figura 72 - Fluxograma do Dynamo sem os resultados finais.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

A imagem 72 ilustra o algoritmo sem ação na interface do Dynamo. Para que seja feito o teste do aplicativo do algoritmo é necessário solicitar que o mesmo seja executado, como um aplicativo da API do Revit para obter os quantitativos de materiais nas unidades nacionais.

Em outras palavras, deve se aplicar o algoritmo proposto no Dynamo sobre o modelo da casa Lorenzo. A implementação deste teste requer que se solicite ao Dynamo que crie a conexão com a interface do usuário no Revit por meio do botão “Run” indicado pela seta azul.

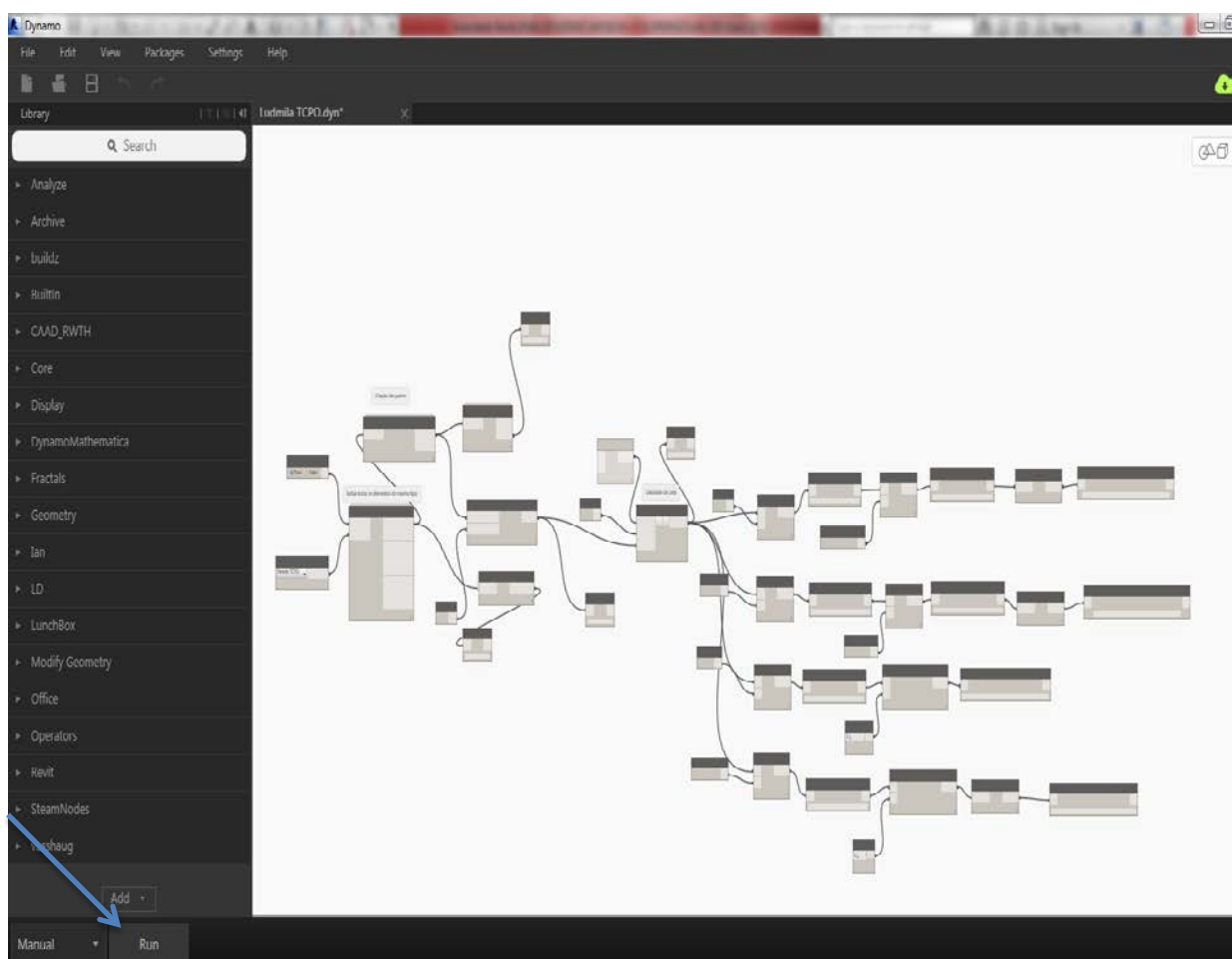


Figura 73 - Teste do Protótipo do Aplicativo.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Ao clicar no botão “Run” inicia-se a execução do aplicativo na casa Lorenzo. O vínculo criado entre o aplicativo implementado pelo Dynamo na interface do Revit produz a inclusão automatizada da informação suficiente para preencher as tabelas dos quantitativos de materiais em suas unidades de compra.

A imagem 74 mostra que o Dynamo ao executar este teste inclui os dados no nodo listagem dos parâmetros das paredes.

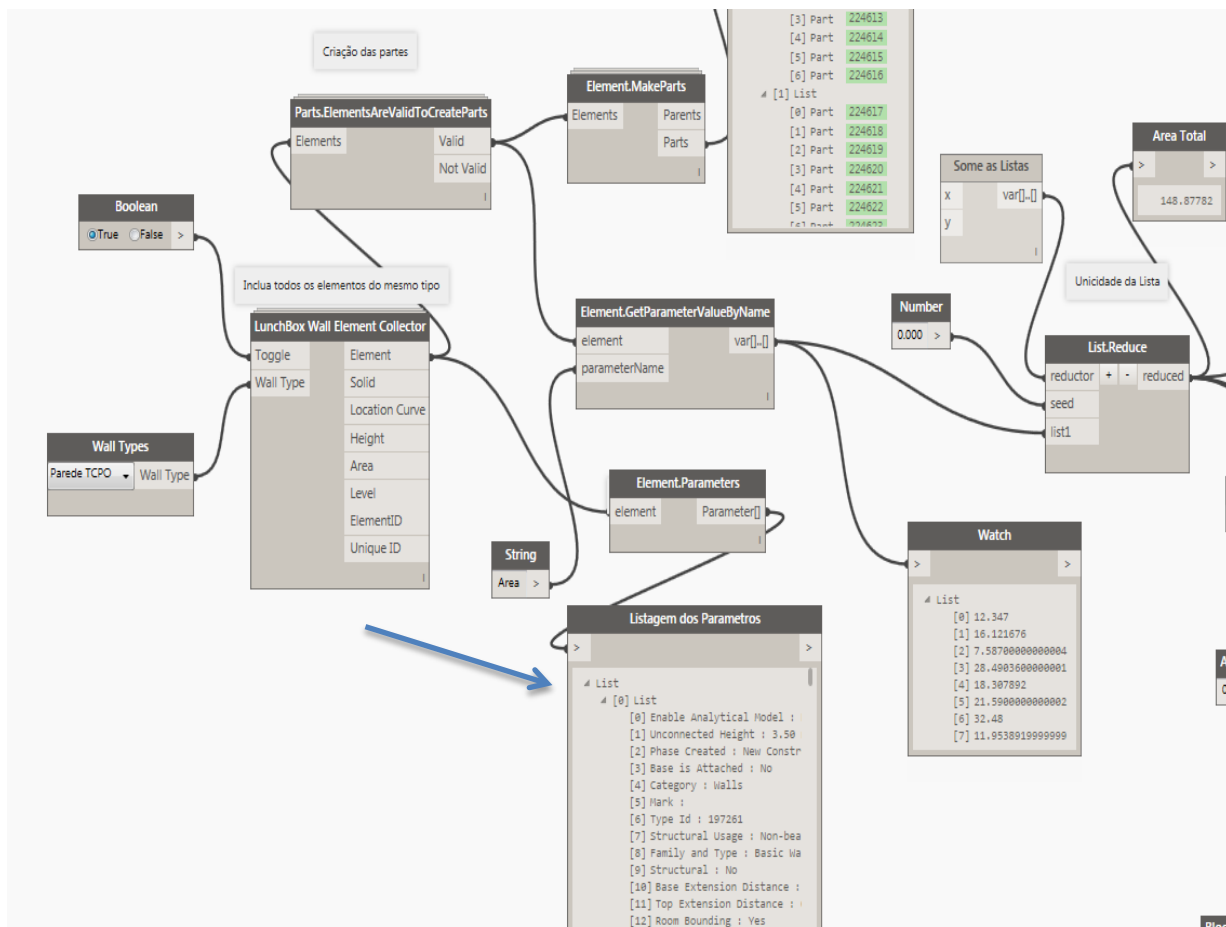


Figura 74- Listagem dos parâmetros da parede TCPO.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Como se pode observar na imagem 74, o Dynamo listou os atributos da parede TCPO necessários para a implementação do algoritmo. O nodo “listagem dos parâmetros” está preenchido, o que significa que foi realizada a conexão entre o algoritmo no Dynamo e o modelo da casa Lorenzo ativo na janela do Revit.

Ressalta que se a visualização da listagem dos parâmetros da parede TCPO está apresentada no nodo, isso quer dizer que os dados necessários da casa Lorenzo foram extraídos do seu modelo para dar a continuidade aos cálculos programados no referido fluxograma.

A conexão entre o modelo da casa Lorenzo e o Dynamo é apresentada por meio do preenchimento das listas. O Dynamo executa o algoritmo na interface do

Por meio da imagem 76 pode-se observar que obtivemos êxito. Os quantitativos de cimento foram calculados automaticamente pelo algoritmo resultando em 17 sacos de 50 quilos de cimento necessários para a elevação da alvenaria estrutural.

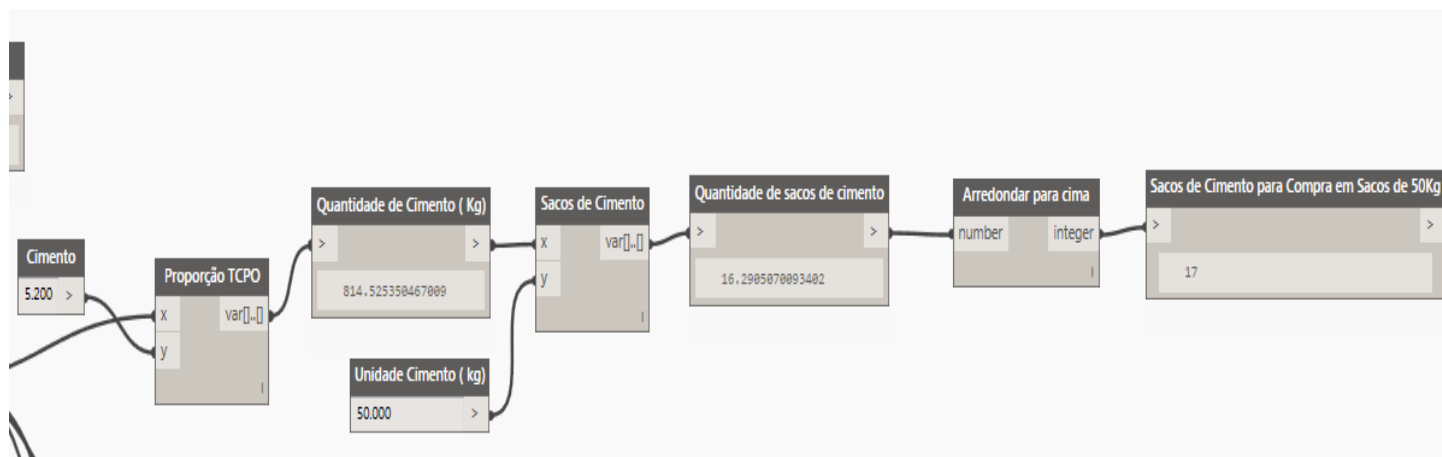


Figura 76 - Resultado do Quantitativo de Sacos de Cimento para Compra.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Observa-se na figura acima que o nodo “Quantidade de Cimento (Kg)” apresenta a informação de 814,52 quilos de cimento necessários para a construção da alvenaria. Como é do conhecimento geral, o cimento é vendido em sacos de 50 quilos. Portanto, incluímos no nodo “Sacos de Cimento” uma nova variável no cálculo de proporção entre a quantidade de quilos de cimento e a unidade de sacode cimento de 50 kgs.

Na próxima etapa do fluxograma este cálculo é feito por meio do nodo “Quantidade de sacos de cimento”. No teste da casa Lorenzo pode-se observar o dado de 16,29 sacos de cimento para a construção da alvenaria. Como se sabe esse valor não está de acordo com o mercado, pois não se compra 16,29 sacos de cimento. Por esta razão, é necessário outro cálculo que aproxime este valor ao número inteiro superior mais próximo. O nodo “arredondar para cima” realiza esta

atividade. Portanto, o resultado aproximado obtido é de 17 sacos de 50 quilos de cimento para compra, apresentado no nodo “Sacos de Cimento para Compra”.

Conforme mostra o fluxograma apresentado na figura 75, e considerando a regra de arredondamento adotada, pode-se verificar que o teste do aplicativo proposto nesta tese está correto.

Os resultados apresentados para a cal hidratada, areia média e blocos de concreto seguiram os mesmos procedimentos adotados para o cimento. Por esta razão não discutiremos passo a passo o cálculo do quantitativo dos mesmos nas unidades nacionais.

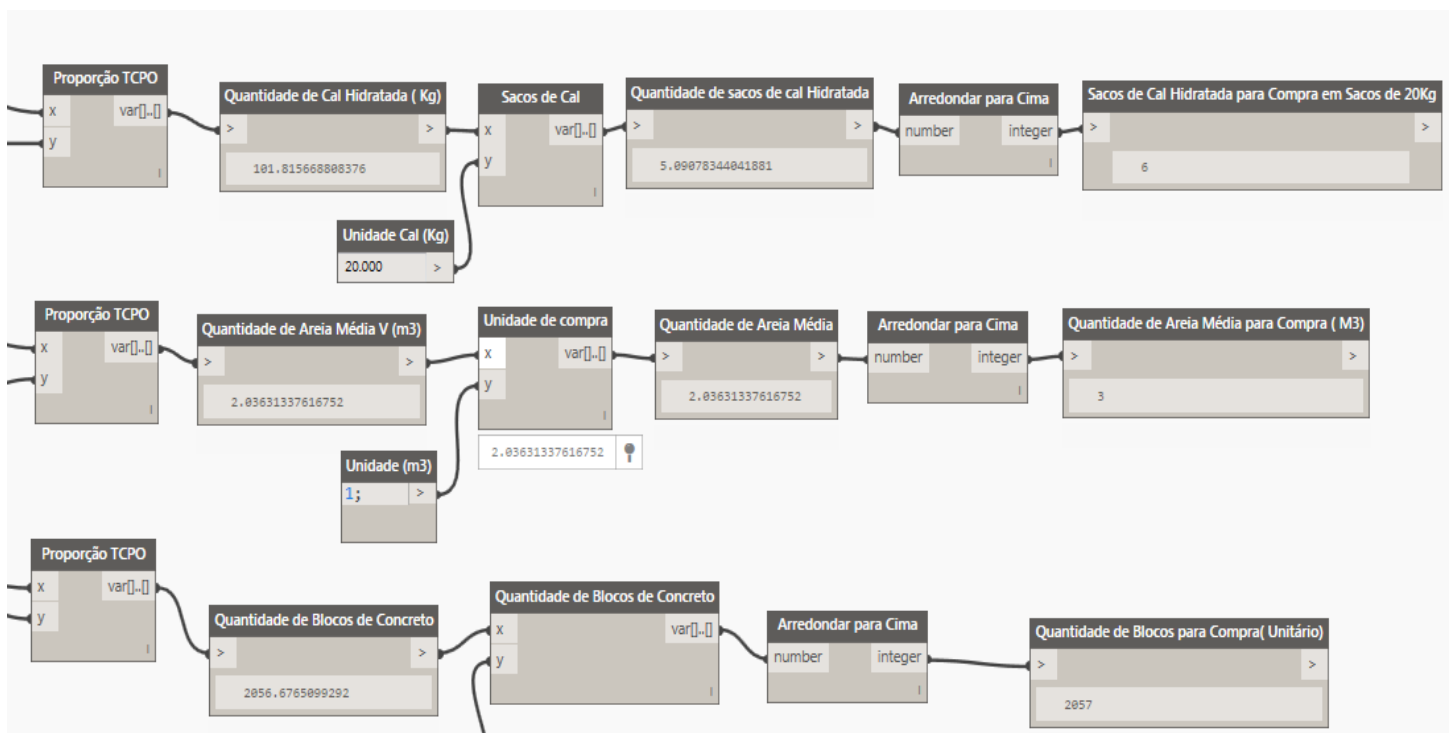


Figura 77 - Resultados dos quantitativos de compra.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

A figura 77 mostra o teste do algoritmo utilizando o modelo da Casa Lorenzo de acordo com os parâmetros acima citados. Nela se observa os resultados

alcançados, isto é, os quantitativos dos materiais de construção nas unidades nacionais.

A imagem 77 mostra que serão necessários 6 sacos de 20 quilos de cal hidratada, 3 m³ de areia média e 2057 unidades de blocos de concreto para a construção das paredes estruturais.

No caso da cal hidratada, o cálculo é semelhante ao apresentado no parâmetro do cimento, conforme mostra a imagem abaixo.

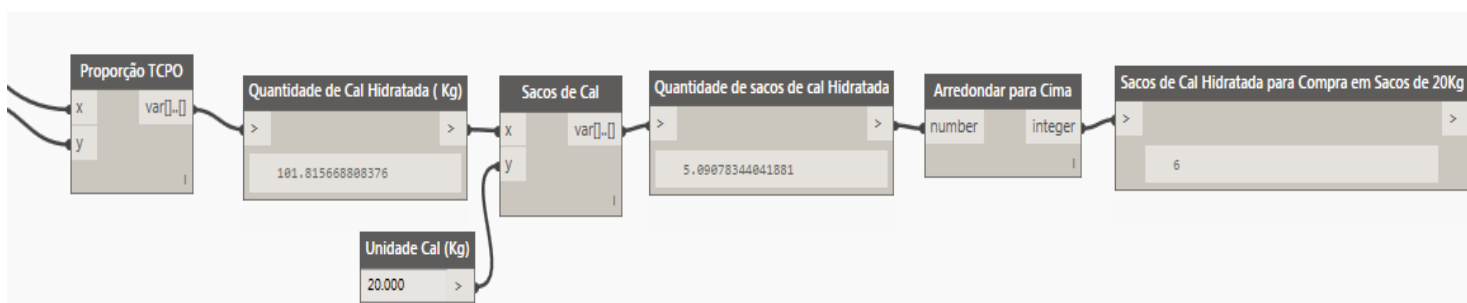


Figura 78 - Quantidade de Sacos de Cal Hidratada.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Como se pode observar na figura acima, o nodo “Quantitativo de cal hidratada por quilo” resulta em 101,81 quilos de cal hidratada. Como é do conhecimento geral, no mercado nacional, a cal é vendida em sacos de 20 quilos. O próximo nodo Sacos de Cal arredonda para o inteiro superior mais próximo a informação dos quantitativos em quilos.

O nodo “Quantidade de sacos de cal” apresenta o resultado dos sacos de cal hidratada ainda em número fracionados. Como é do conhecimento geral, não existe no mercado a possibilidade de comprar sacos fracionados. Portanto o arredondamento deste resultado deve ser realizado por meio do nodo Arredondar para cima.

Portanto, o nodo Sacos de cal hidratada para compras apresenta o valor adequado para a aquisição nacional: 6 sacos de 20 quilos.

O teste do aplicativo para areia média e blocos de concreto também foi bem sucedido. Os resultados obtidos mostrados pelo Dynamo indicam que o cálculo está correto. Portanto o teste do algoritmo alcançou o resultado positivo.

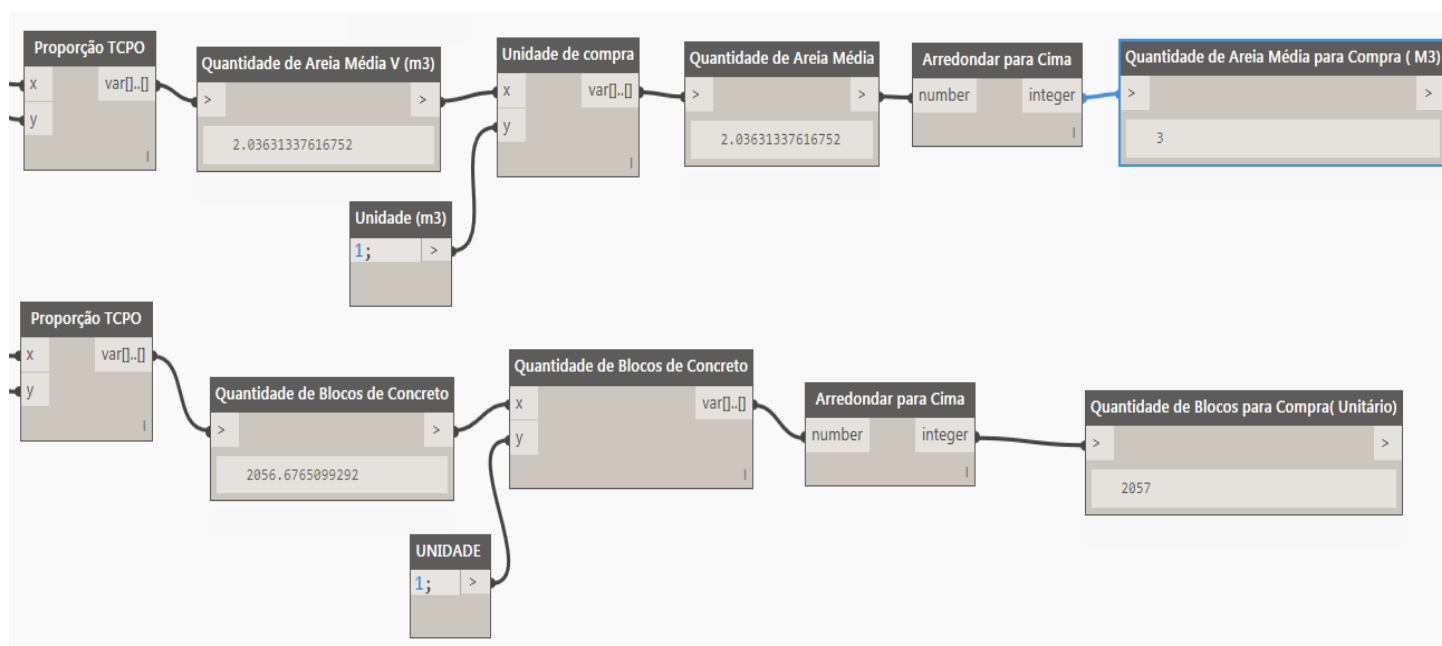


Figura 79 - Quantidade de compra areia e blocos de concreto nas unidades nacionais.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

A figura 79, no fluxograma do Dynamo, os quantitativos obtidos de 3 m³ de areia média e 2057 unidades de bloco de concreto necessários para a construção das paredes.

Os resultados do teste do algoritmo utilizando a casa Lorenzo mostram que os cálculos dos quantitativos de materiais nas unidades do mercado nacional foram realizados adequadamente. A contribuição original ao conhecimento desta tese consiste na elaboração de um novo algoritmo e sua implementação no Dynamo. A hipótese desta tese foi demonstrada promissora por meio do teste do algoritmo utilizando a casa Lorenzo.

Teste 2: Casa Stella

O segundo teste de implementação do algoritmo foi realizado utilizando o modelo casa Stella, elaborado no Revit. Este modelo de habitação possui a área de 125 m², quase o dobro da casa Lorenzo.

O que se pretende demonstrar, é que, por meio de dois modelos diferentes de casas, pode-se alcançar os resultados esperados, ou seja, os quantitativos de materiais de construção nas unidades nacionais. Portanto, ao testar o aplicativo em dois objetos distintos verifica-se que o mesmo está funcionando corretamente.

Trata-se de uma moradia popular de baixo custo. Esta casa contém 3 quartos, 1 banheiro, 1 cozinha, sala de estar e jantar, conforme mostra a Figura 78.

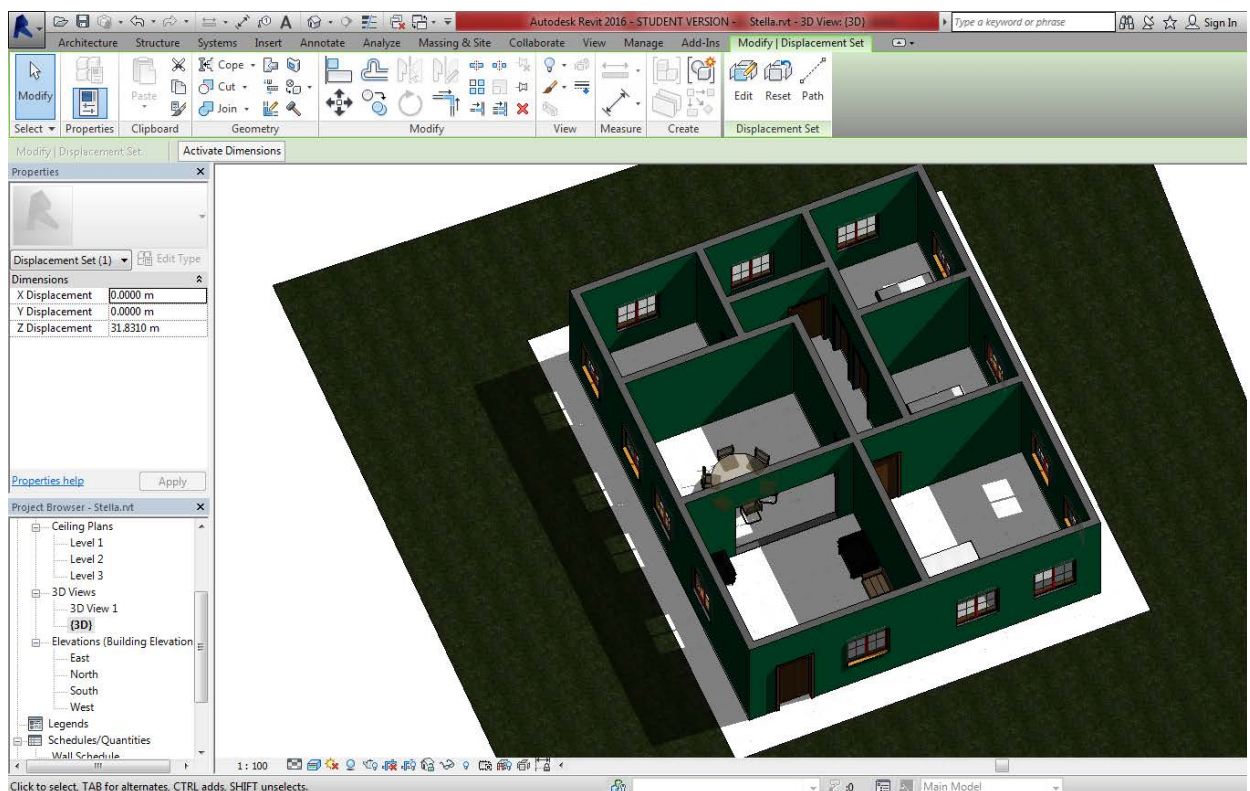


Figura 80 -Modelo da casa Stella.

Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

Semelhantemente ao mencionado no teste da casa Lorenzo, a arquitetura não está sendo analisada. Portanto, esta seção enfatizará nos dados necessários e nas representações técnicas para permitir a compreensão do modelo.

As duas casas dos testes são da mesma categoria de habitação popular de baixo custo. Conforme afirmamos em relação a casa Lorenzo, o modelo da casa Stella está sendo utilizado como um segundo teste dos procedimentos propostos no algoritmo.

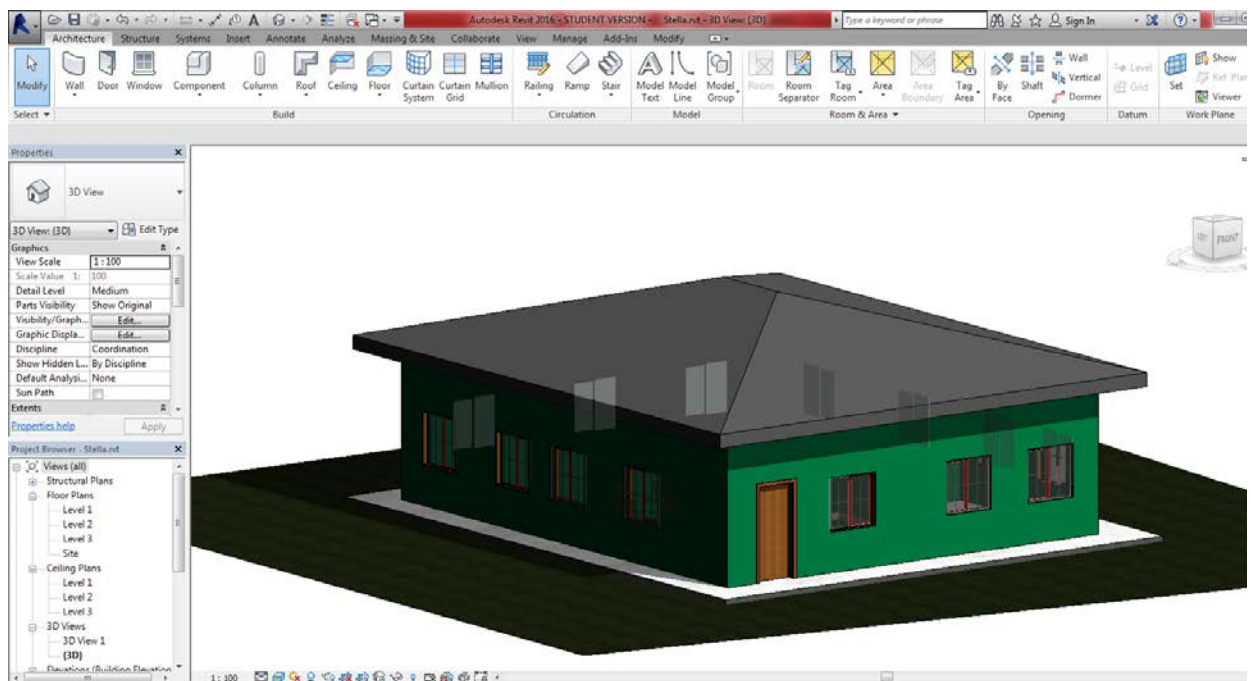


Figura 81 - Modelo da casa Stella.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

A figura 81 apresenta o modelo da casa Stella, exemplo da categoria de habitação popular de baixo custo nacional. O objetivo principal deste capítulo é o teste da implementação do algoritmo. Nota-se que a casa Stella tem algumas características diferentes da casa Lorenzo, tais como a metragem e o zoneamento dos ambientes. Estas diferenças têm por objetivo verificar se o algoritmo funciona em diferentes projetos.

A modelagem desta casa seguiu os mesmos princípios da casa Lorenzo, apresentada anteriormente. Por isto, esta seção se restringirá a apresentar as informações essenciais e para a compreensão do teste realizado.

Nas imagens acima foi apresentado o modelo tridimensional que não apresenta cotas, anotações, ou outra informação essencial para a sua replicabilidade. Portanto, apresentamos aqui também planta baixa, cortes e fachada.

As representações bidimensionais da casa Stella são extraídas no Revit a partir do modelo tridimensional único. Nos sistemas BIM essas representações, planta-baixa, corte, e fachada são visualizações do modelo tridimensional original. A representação da planta-baixa facilita a compreensão das dimensões, espaçamentos e zoneamentos, conforme mostra a figura a seguir.

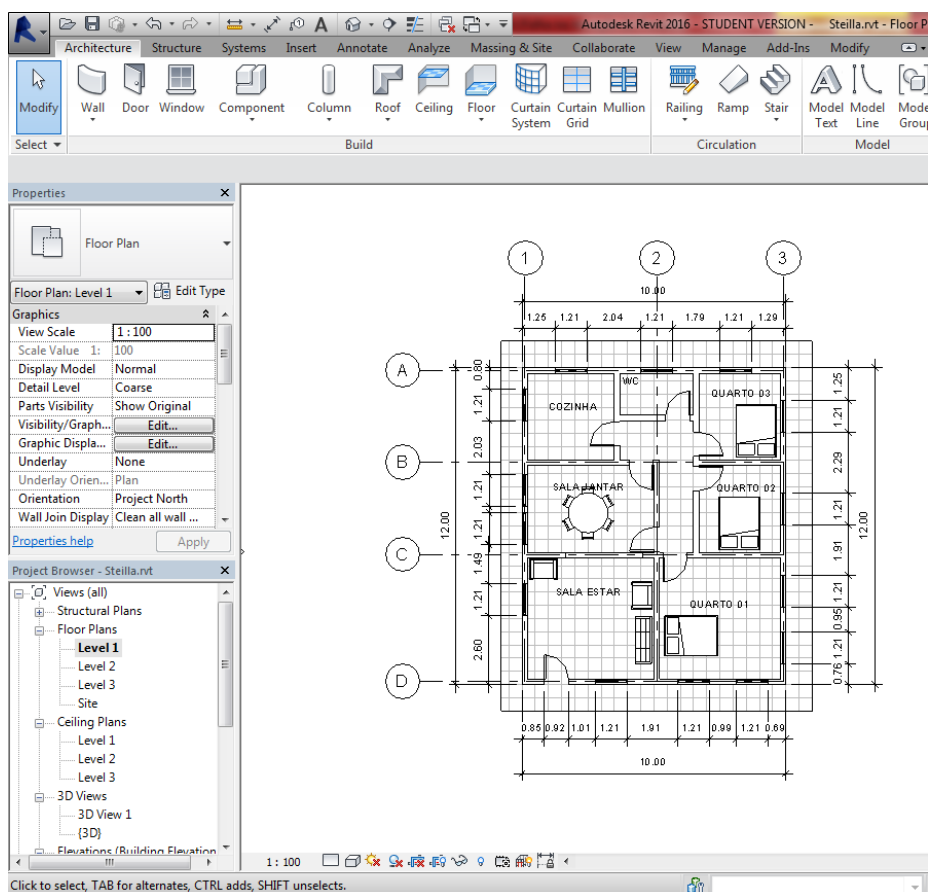


Figura 82 - Planta-baixa da casa Stella.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

Como se pode observar na figura 82, a planta baixa da casa Stella apresenta uma organização espacial diferente daquela apresentada na casa Lorenzo. Não apenas com referencia a área total, a casa Stella possui um organograma de funções melhor distribuído, incluindo as relações dos ambientes e suas ligações.

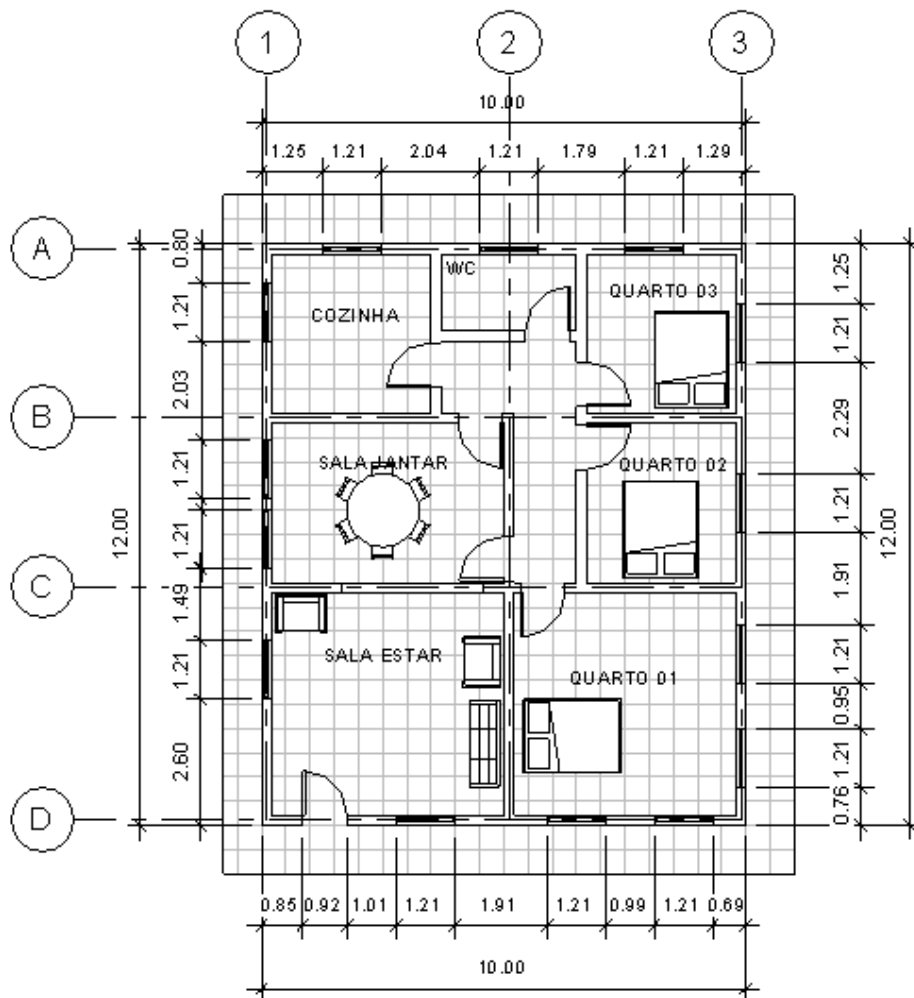


Figura 83 - Planta-baixa da casa Stella
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

A representação vetorial das alvenarias, os eixos e as cotas na planta-baixa definem a arquitetura na Casa Stella. A modelagem da casa pode ser iniciada a partir dessas informações.

A Figura 84 apresenta o corte transversal da casa Stella.

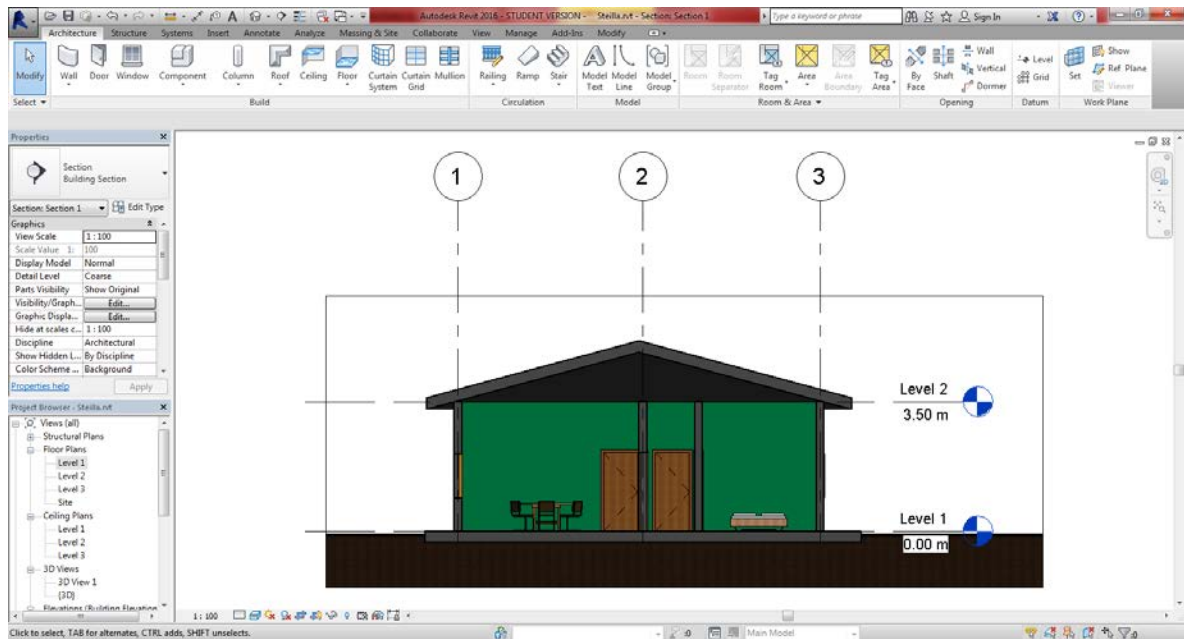


Figura 84 - Corte transversal da casa Stella
Fonte - Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

Como se pode observar por meio da Figura acima, o pé-direito de 3.50 metros da casa Stella é definido pela posição dos níveis 1 e 2. Esta mesma altura também havia sido definida na casa Lorenzo pelo limitador de nível. Portanto a alvenaria está conectada ao nível 01 e 02.

A representação bidimensional da fachada se limita a acrescentar as informações dos elementos da edificação e de seus componentes construtivos como janelas.

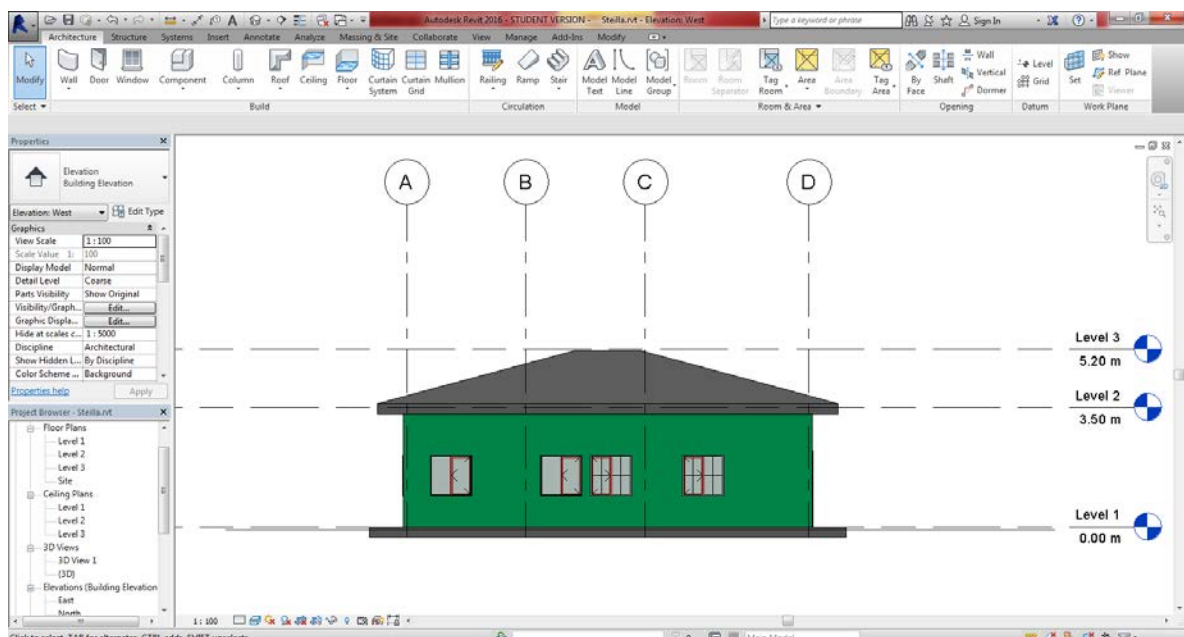


Figura 85 - Fachada externa da casa Stella
 Fonte - Modelo da autora elaborado Revit 2016.

Em seguida procedemos ao teste da implementação do algoritmo. O passo a passo deste teste havia sido apresentado na seção referente a casa Lorenzo. Portanto, o teste da casa Stela será descrito de forma mais sucinta.

Primeiramente acessamos o Dynamo clicando na aba Add-in no Revit. Neste sentido, a seta azul 01 indica a sua localização.

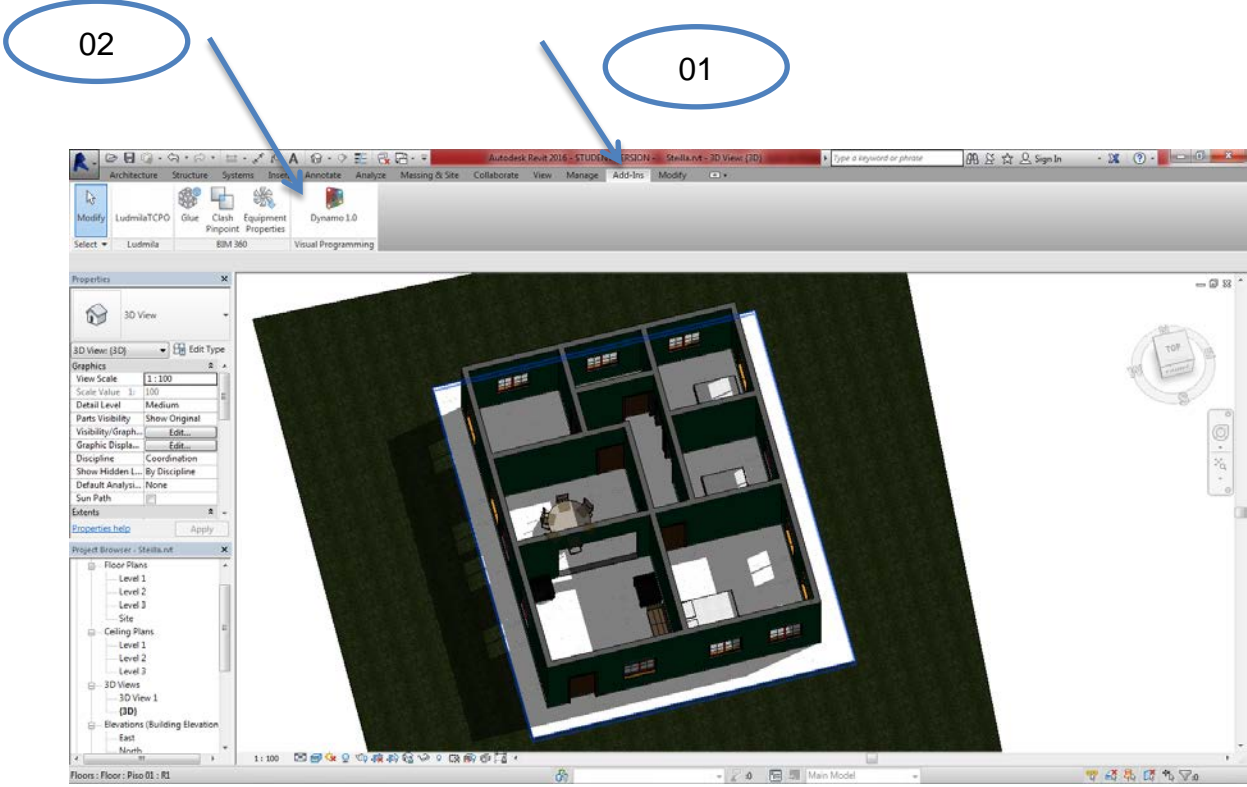


Figura 86 - Acesso direto Dynamo-Revit
Fonte - Modelo da autora elaborado no Revit 2016.

Um clique simples na aba *Add-in* no Revit permite a visualização da barra de ferramentas na qual se encontra o botão de inicialização do Dynamo. Após a visualização do Dynamo na aba se faz necessário um segundo clique no botão de inicialização, indicado pela seta azul 2.

A relação direta entre o Dynamo e o Revit que já foi apresentada em capítulo anterior, não será tema de análise novamente nesse capítulo. A figura a seguir mostra à esquerda a interface do usuário no Revit e à direita o Dynamo, representando essa vinculação direta entre os mesmos. A figura abaixo ilustra esta inter-relação entre as duas interfaces.

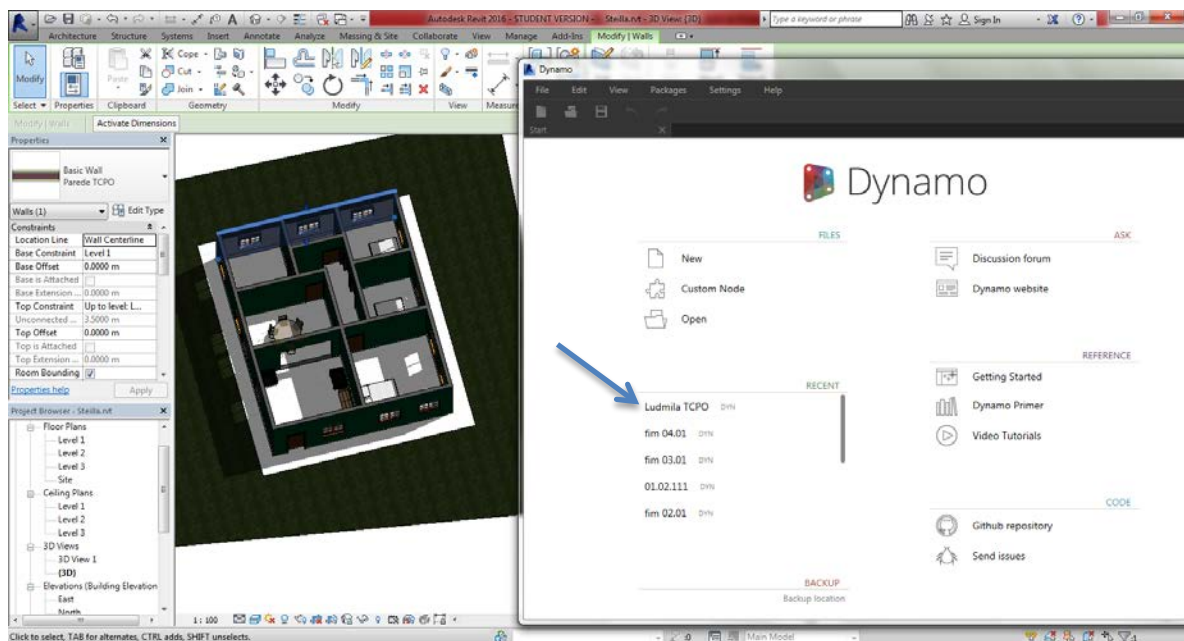


Figura 87- Acesso ao Dynamo
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

A figura acima mostra que o Dynamo está integrado a interface do Revit. Continuando com o teste da implementação do algoritmo, abre-se o arquivo Ludmila TCPO que contém o fluxograma apresentado anteriormente na seção Métodos de Investigação.

O algoritmo ao ser aberto no Dynamo não contém nenhum dado em seus nodos. Os nodos vazios são explicados pelo fato de que ainda não há o vínculo entre o Dynamo e o arquivo ativo no Revit. Em outras palavras, ainda não extraiu nenhuma informação a partir da interface do Revit, conforme pode ser visto na figura a seguir.

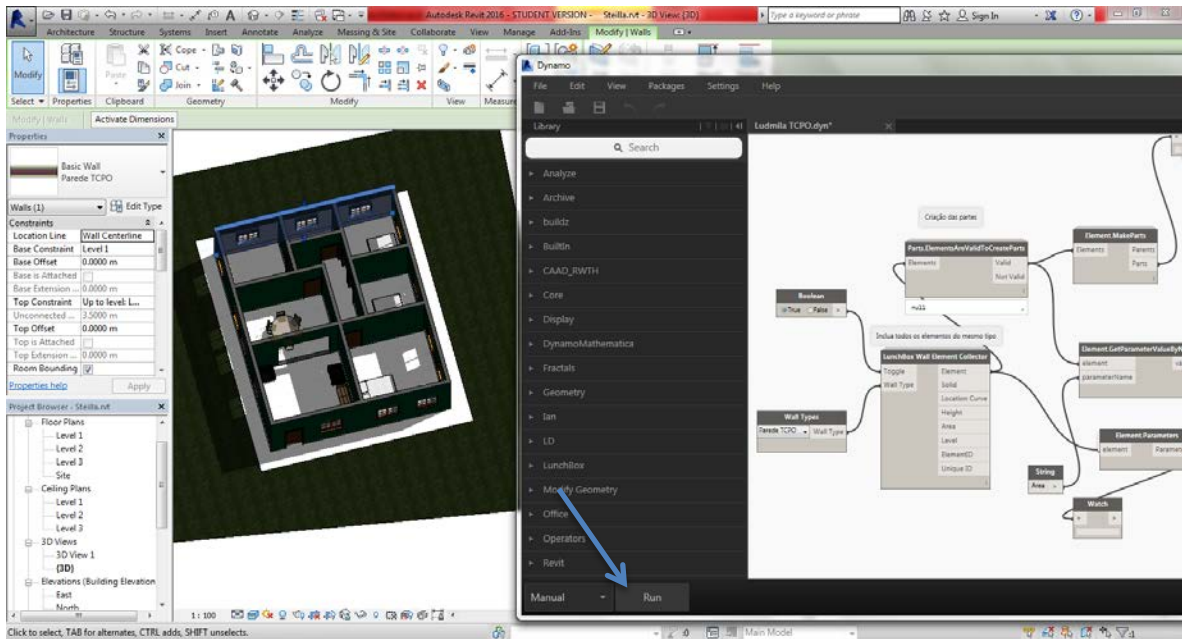


Figura 88 - Teste da implementação do algoritmo na casa Stella Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

No sentido de fazer a conexão entre o fluxograma no Dynamo e o modelo ativo no Revit, deve-se pressionar o botão “Run”.

Observe-se que há uma correspondência entre o modelo tridimensional contido na janela do Revit, à esquerda, e os seus parâmetros apresentados na janela do Dynamo por meio de um fluxograma, à direita.

É importante observar também que modificações feitas em uma janela implicam na atualização da outra. Assim sendo, por exemplo, as modificações feitas nas dimensões do modelo resultariam na atualização do cálculo dos quantitativos na janela do Dynamo.

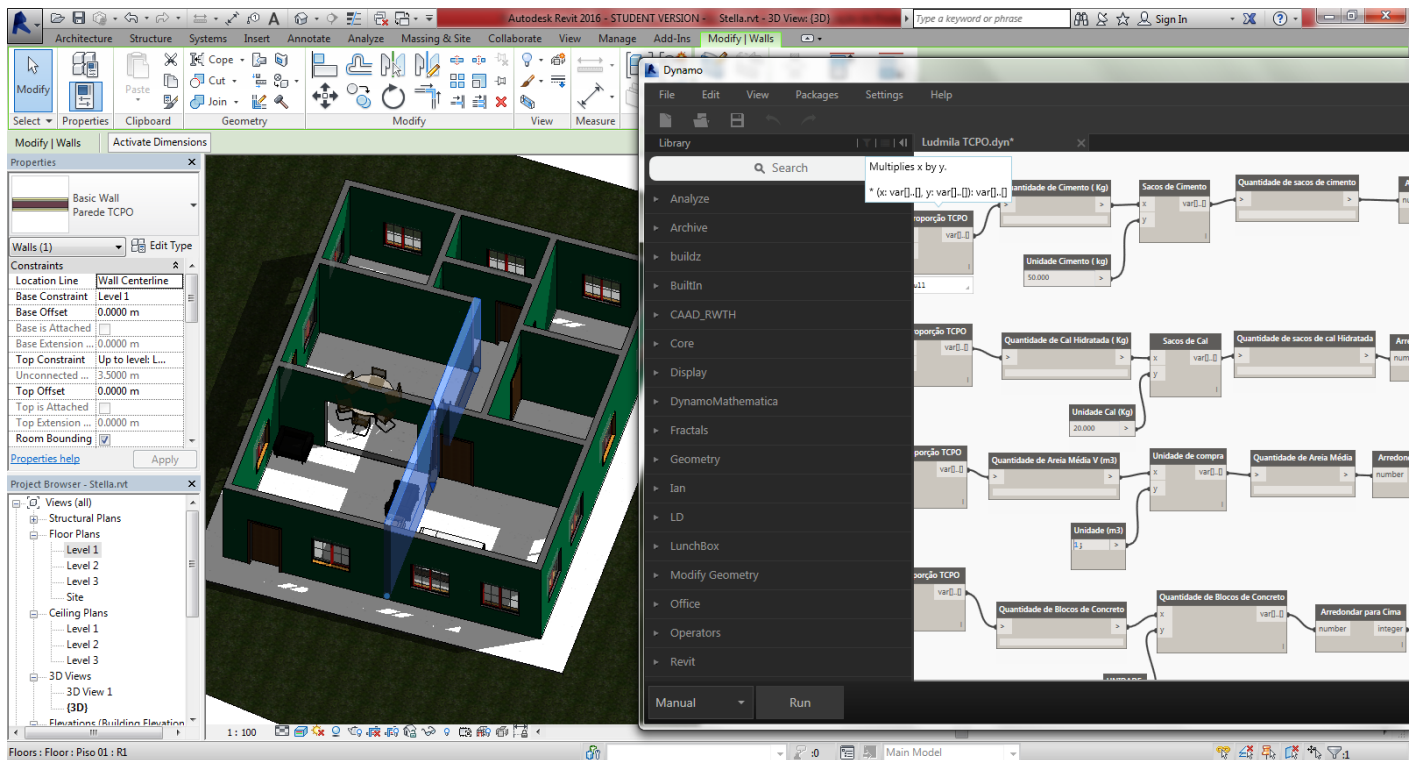


Figura 89 - Conexão direta Dynamo-Revit
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

O resultado esperado do teste na casa Stella é de que após a execução do algoritmo se extraia automaticamente os quantitativos de materiais nas unidades do mercado nacional.

O objetivo do teste semelhantemente ao que foi feito na casa Lorenzo é demonstrar a adequação dos resultados do algoritmo às unidades dos materiais no mercado nacional. Conforme pode ser observado por meio da seta azul abaixo o referido vínculo foi estabelecido.

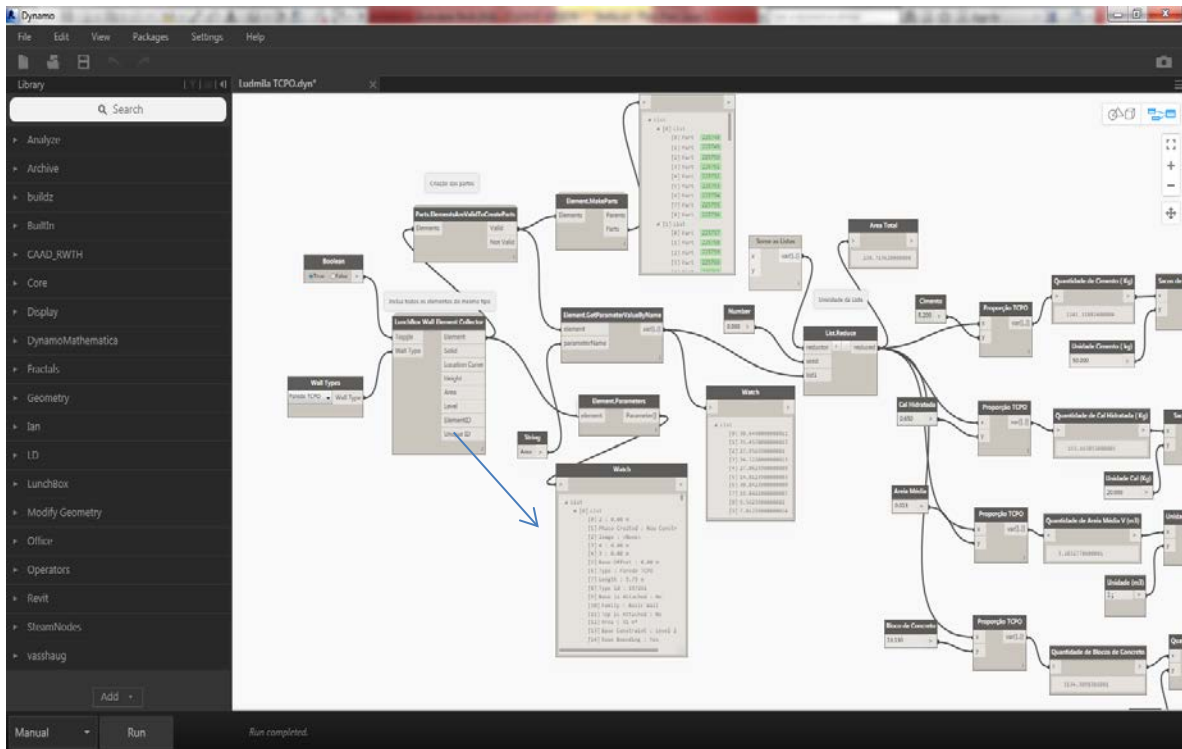


Figura 90 - Nodos preenchidos depois da execução do aplicativo.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Após a execução da implementação do algoritmo, os nodos são preenchidos com dados extraídos pelo Dynamo, automaticamente, do arquivo do modelo aberto no Revit. A título de exemplo, o nodo da lista dos parâmetros da parede TCPO (*Watch*) é apresentado por meio da figura abaixo.

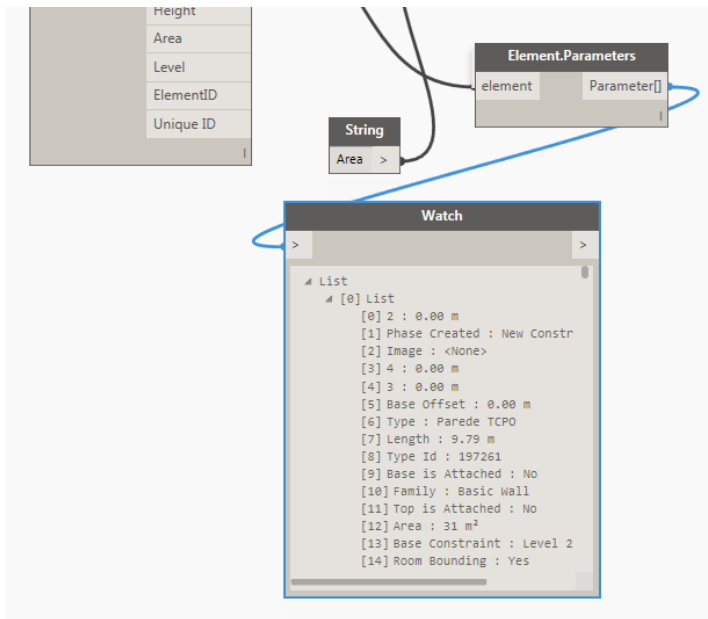


Figura 91 - Lista dos parâmetros da parede TCPO na casa Stella.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

A figura 91 apresenta a lista de todos os parâmetros da parede TCPO no Dynamo.

Devido ao fato de que discorreremos pormenorizadamente nas seções anteriores sobre o método e aplicação dos dados no Dynamo, nesta seção apenas nos concentramos nos resultados do teste da implementação do algoritmo na casa Stella. Como resultado, os quantitativos dos materiais obtidos estão de acordo com aqueles previstos pelos cálculos propostos, como se pode observar na figura abaixo.

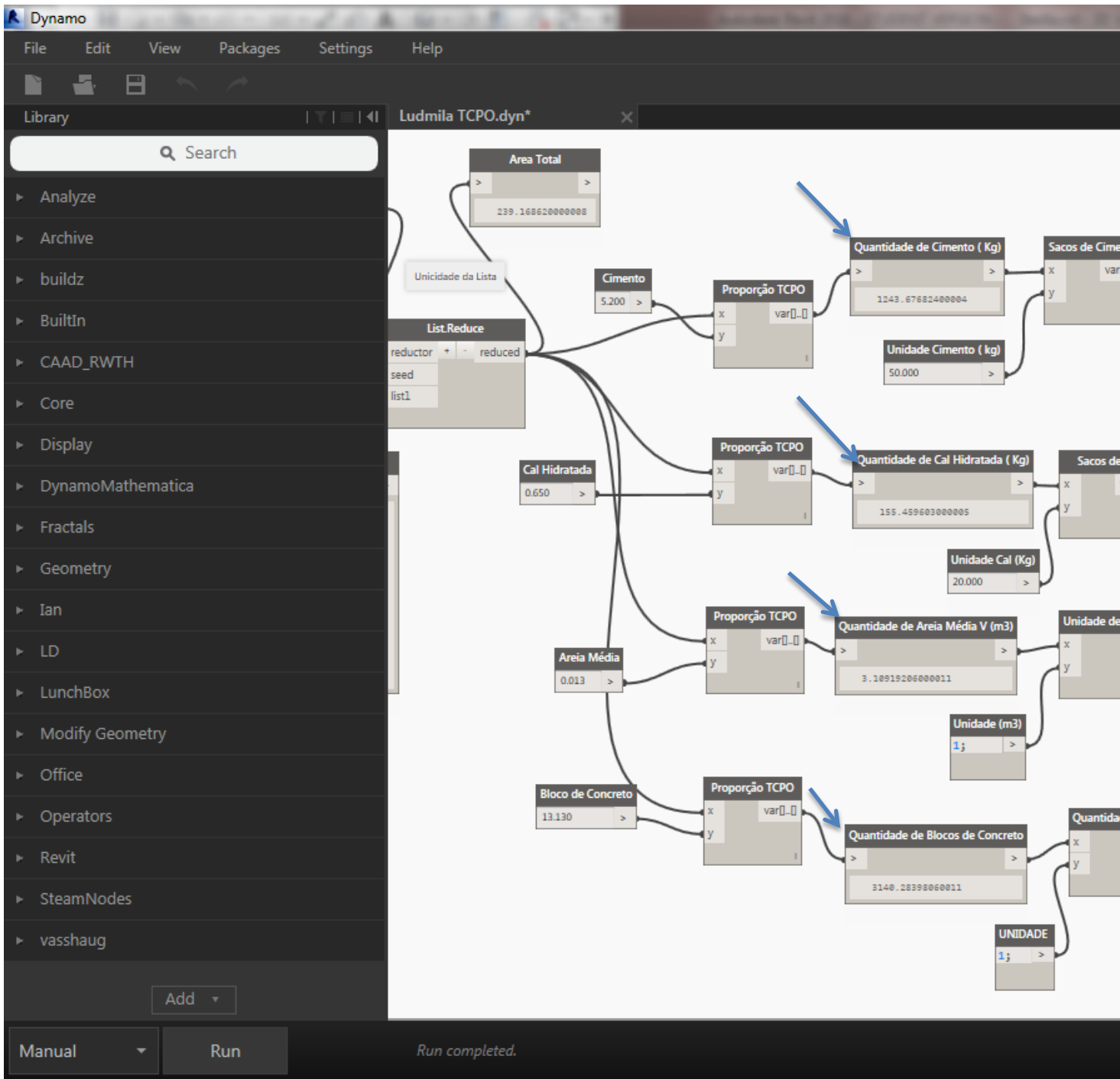


Figura 92 - Quantidades de materiais de acordo com a TCPO.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Como se pode observar, as setas na Figura 92 indicam os nodos denominados quantitativos cimento, areia, cal hidratada e bloco de concreto os quais foram preenchidos automaticamente pelo Dynamo. Portanto, o algoritmo executou a

primeira etapa do fluxograma ao apresentar a informação dos quantitativos de materiais. No entanto, as quantidades de materiais apresentadas nos nodos estão em quilo, m³ ou número de unidades.

No sentido de prosseguir com o teste da implementação do algoritmo, o cálculo dos sacos de cimento serão apresentados. O objetivo do algoritmo é apresentar de forma automatizada o quantitativo de sacos de cimento necessários para a construção das paredes. Mas para chegar ao resultado final, vários procedimentos ainda são necessários. Por esta razão apresentamos a Figura 89, a seguir.

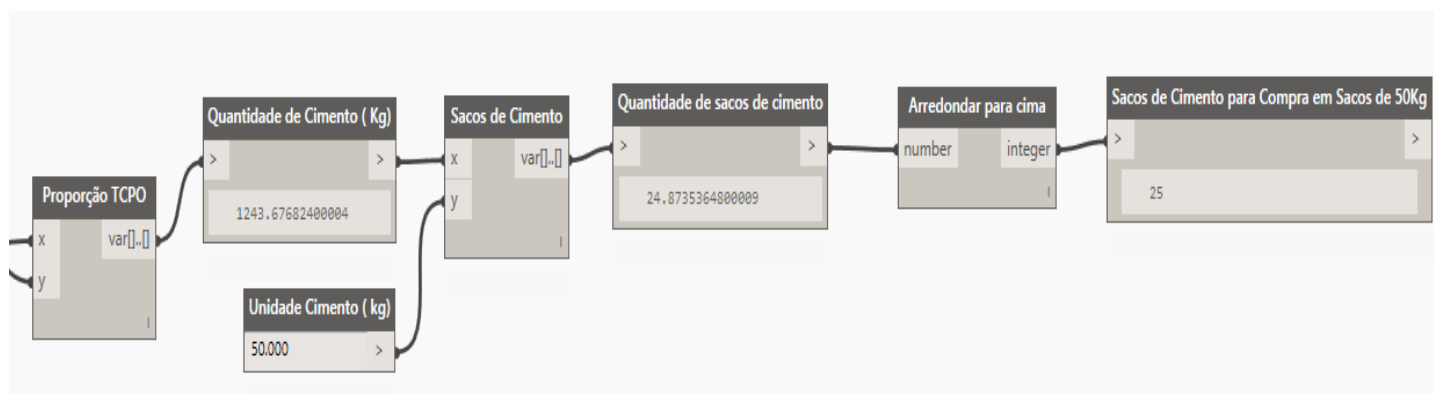


Figura 93 – Cálculo da quantidade de cimento.
Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

No teste da casa Stella obteve-se o resultado de que é preciso 1.243,67 quilos de cimento para construir as paredes. Mas esta informação não está adequada para a aquisição, porque não está baseada em saco de cimento de 50 quilos. Portanto, o nodo “Sacos de Cimento” transforma a quantidade em quilos para sacos de 50 quilos.

O resultado obtido do nodo “Quantidade de sacos de cimento” apresenta o valor de 24,87 sacos de 50 quilos. Contudo não há como comprar esta quantidade fracionada de 0,87 saco. Portanto, é necessário arredondar este número para o inteiro superior mais próximo. Concluindo, 25 é o número de sacos de cimento para a compra no mercado nacional que se apresenta no nodo “Sacos de cimento para a compra em Sacos de 50 quilos”.

Os testes dos outros materiais, cal hidratada, areia média e bloco de concreto serão apresentados a seguir.

Como se observa na Figura 94, a sequência de passos para calcular a quantidade dos sacos de cal hidratada se assemelha aos procedimentos relacionados aos quantitativos de sacos de cimento.

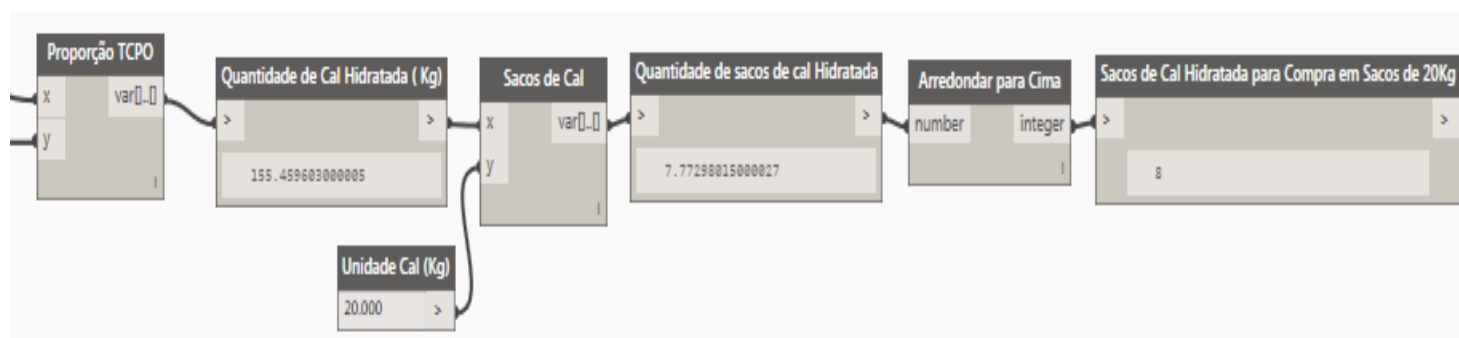


Figura 94 – Cálculo da quantidade de cal hidratada
Fonte - Modelo da autora elaborado no software Autodesk Dynamo 2016.

O resultado do teste da implementação do algoritmo na casa Stella apresenta o nodo Quantidade de cal Hidratada com 155,45 quilos que serão necessárias para a construção das paredes.

A adequação desta informação para compra no mercado nacional deve ser feita utilizando a unidade de cal hidratada em sacos de 20 quilos no nodo Sacos de Cal, segundo a proporção da TCPO. O resultado deste cálculo, 7,77 é apresentado no nodo seguinte denominado quantidade de sacos de cal hidratada. No entanto, este número fracionário deve ser arredondado para o inteiro mais próximo acima: 8. Isto é feito por meio do nodo seguinte intitulado Sacos de cal Hidratada para compra em sacos de 20 kg, conforme apresentamos no fluxograma do Dynamo.

No teste da casa Stella, utilizando o mesmo raciocínio, o cálculo da areia média e de blocos de concreto para a construção das paredes é feito por meio do Dynamo, cujo fluxograma é apresentado na figura a seguir:

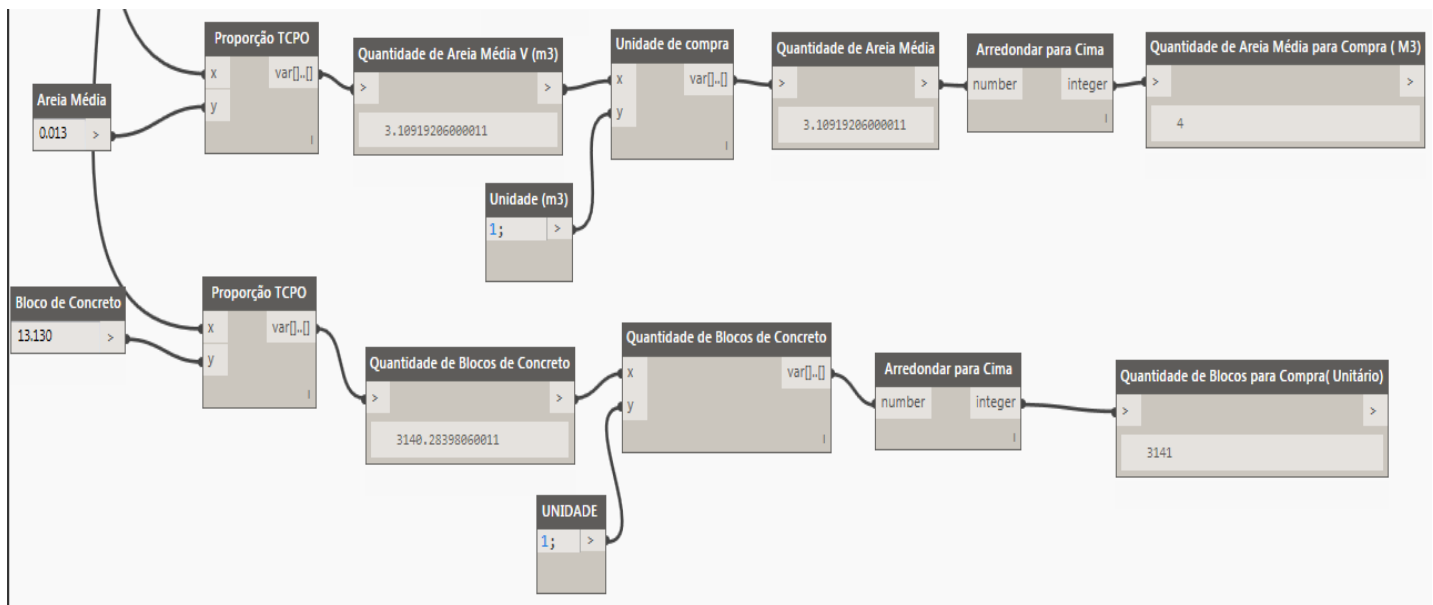


Figura 95 – Cálculo da quantidade de areia e blocos de concretos.
 Fonte - Modelo da autora elaborado no Dynamo 2016.

Como se pode observar, os procedimentos utilizando os nodos que contêm o cálculo de areia média e dos blocos de concreto foram apresentados anteriormente no teste da casa Lorenzo. Portanto, nesta seção, apenas os resultados dos cálculos dos quantitativos de materiais das paredes da casa Stella serão comentados. O resultado do nodo de quantitativo de areia média necessário para a construção da casa Stella é de 3,10 m³. O nodo seguinte perfaz o arredondamento deste número para o inteiro acima mais próximo, isto é, 4 m³.

Por último, em relação aos blocos de concreto, o respectivo nodo Quantidade de blocos de concreto informa que são necessários 3.140,28 unidades. Novamente, considerando que o mercado nacional não trabalha com frações de materiais de construção, é preciso arredondar o número encontrado para o inteiro superior mais próximo, ou seja, 3.141 unidades de blocos de concreto.

Após a realização dos testes na casa Lorenzo e Stella, verificamos que por meio da implementação do nosso algoritmo nos sistemas BIM, pode-se obter a informação adequada ao mercado nacional.

Estes dois testes do aplicativo resultante da implementação do algoritmo nas casas Lorenzo e Stella forneceram dados importantes para a comprovação da hipótese desta tese de que é possível produzir os quantitativos de materiais de construção nas unidades adequadas ao mercado nacional.

A contribuição original ao conhecimento desta tese reside na criação de um novo algoritmo para preencher a referida lacuna encontrada no sistema BIM, Revit. Até o presente, a falta de informação adequada com relação aos quantitativos de materiais e suas unidades para compra no mercado nacional tem dificultado o planejamento e contribuído para aumentar os custos e tempo de construção, afetando o dia-a-dia dos arquitetos, construtores e trabalhadores deste setor.

5. CONCLUSÃO

Conforme consta da Introdução e Revisão Bibliográfica desta tese, os sistemas BIM compreendem todo o ciclo da edificação, ou seja, da concepção passando pela construção, manutenção até a demolição. No sentido de permitir que o modelo arquitetônico possa ser executado, ele deveria fornecer, teoricamente, todas as informações necessárias para a construção.

A conceituação mais antiga dos sistemas BIM (Eastman,1975) afirmava que os mesmos deveriam fornecer aos usuários os quantitativos dos materiais necessários para a construção, com informações suficientes para a sua aquisição. No entanto, conforme argumentamos na seção Problemática, esta promessa feita na origem dos sistemas BIM padrão não foi ainda plenamente cumprida, particularmente em relação aos quantitativos adequados às compras de materiais de construção no mercado nacional. Como esta expectativa não foi atendida até o presente por meio dos sistemas BIM disponíveis, o algoritmo que desenvolvido nesta tese é inovador, pois supre uma lacuna no cenário da construção nacional.

O resultado da aplicação do questionário descrito no início desta tese indicou que é necessário fornecer a quantificação dos materiais de construção nas unidades utilizadas no mercado nacional. Perguntamos a um grupo de profissionais da área de construção se consideram importante a implementação de algoritmos nos sistemas BIM para possibilitar a quantificação adequada de materiais de construção nas unidades utilizadas no mercado nacional. Os resultados mostraram que a grande maioria dos respondentes considera importante o preenchimento desta lacuna detectada pela autora.

Os sistemas BIM, conforme normalmente disponibilizados pelos seus fabricantes, não fornecem ainda todas as informações necessárias para a construção, particularmente no Brasil. A hipótese no sentido de preencher a referida lacuna, foi a criação de um algoritmo dentro dos sistemas BIM que permitiria emitir os quantitativos específicos adequados para a compra de materiais de construção no mercado nacional.

A elaboração do algoritmo foi feita para que os quantitativos de materiais nas unidades nacionais fossem fornecidos automaticamente pelos sistemas BIM. Portanto, foi definido que o atributo *área* seria o parâmetro inicial para a elaboração dos cálculos requeridos para se adequar um sistema BIM em particular, o Revit, à realidade nacional.

Na elaboração do método de investigação foram tomadas algumas decisões importantes: a) a escolha de uma família de sistema de paredes no sistema BIM adotado nesta tese (Autodesk REVIT), b) a separação de camadas de informação destas paredes e c) o cálculo da proporção dos quantitativos específicos dos materiais de acordo com a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO).

No sentido de demonstrar que a nossa hipótese é promissora, utilizamos a interface de programação gráfica Dynamo para implementar o algoritmo dentro do sistema BIM escolhido, Autodesk Revit. O protótipo rudimentar de aplicativo (*loose prototype*) resultou um protótipo de aplicativo cuja funcionalidade foi testada com sucesso. Com o objetivo de testar o protótipo do aplicativo, foram modeladas duas casas no Revit para que fossem gerados os quantitativos de materiais, de cada uma delas, nas unidades nacionais.

Os resultados de nossa pesquisa indicaram, após a implementação do novo algoritmo e a sua submissão a dois testes, que a nossa hipótese é promissora, além de atender a necessidade observada por diversos profissionais da área. Constituindo-se, portanto, numa contribuição original ao conhecimento.

Por fim, demonstramos que a hipótese desta tese é promissora e que, portanto, é possível fornecer automaticamente os quantitativos de materiais nas unidades utilizadas pelo mercado nacional, por meio do Revit. Neste sentido um algoritmo foi elaborado, implementado no Dynamo e a seguir testado com sucesso para extrair dos modelos elaborados no Revit os respectivos quantitativos de materiais nas unidades nacionais, resultando em uma contribuição original ao conhecimento.

6. DESDOBRAMENTOS FUTUROS

Acredito que o algoritmo elaborado nesta tese possa ser adaptado e aplicado para extração dos quantitativos dos materiais das estruturas, das instalações e equipamentos e dos acabamentos. Como se sabe, também nesse quesito o montante gasto para executar a estruturas, instalações e acabamentos constituem parcela considerável do custo total da obra.

No âmbito desta tese a autora acredita que o desdobramento da mesma pode resultar em uma nova abordagem dos sistemas BIM direcionada ao mercado nacional.

7. ANEXOS

7.1. QUESTIONÁRIO

O questionário utilizado nesta tese contou com a participação de 21 respondentes e consistiu em pesquisa com o objetivo de avaliar se a lacuna detectada pela pesquisadora seria também considerada importante por outros profissionais da construção.

Os respondentes dos questionários confirmaram a importância do uso de um algoritmo nos sistemas BIM que permitisse a extração automática dos quantitativos dos materiais na composição dos elementos construtivos nas unidades encontradas no mercado nacional. Perguntamos aos participantes se este algoritmo contribuiria para melhorar o gerenciamento da construção no país.

A avaliação obtida por meio dos questionários mostrou-se extremamente positiva.

Modelo do questionário:



Questionário sobre a usabilidade de um algoritmo dentro de um sistema BIM.

Este questionário faz parte de uma pesquisa para o meu Doutorado em Arquitetura. Atualmente, estou reunindo participantes para uma pesquisa que consiste na avaliação da informação dos quantitativos de matérias e posterior adequação para a compra no mercado nacional. A opinião dos entrevistados serão consideradas para compreender se a falta dessa informação dificulta as tarefas da construção civil.

O objetivo geral do questionário é avaliar se a problemática detectada pela pesquisadora abrange outros participantes da construção e se a falta da informação exata traz inconveniente ao dia-a-dia dos entrevistados.

As informações serão coletadas através de questionário com perguntas rápidas e simples em que cada um dos participantes irá informar, numa escala de 0 a 5, sua opinião sobre os temas. As opiniões apresentadas pelos respondentes

confirmaram a problemática apresentada e afirmaram a necessidade da informação específica dos quantitativos de materiais e sua relação direta com as medidas de compras praticadas no mercado nacional.

É importante ressaltar que em momento algum testarei as habilidades dos respondentes quanto ao domínio de qualquer ferramenta. Desejo apenas reunir informações sobre a abrangência da problemática e avaliar se a falta dessa informação prejudica outros participantes da construção nacional.

Lembro que as declarações de cada participante serão tratadas de forma confidencial. Somente a autora da tese disporá dos dados pessoais dos entrevistados.

Esta tese de Doutorado conterá apenas informações agregadas a respeito dos resultados, de maneira a não permitir a identificação das pessoas envolvidas.

Caso você tenha interesse em participar desta pesquisa, por favor, preencha o questionário a seguir e marque as respostas de 0 a 5, sendo que o 0 indicará que o fator apontado influenciará “muito pouco”, na sua opinião, e o 5 indicará “muitas vantagens” na sua área de atuação na construção.

Agradeço desde já a sua participação e colaboração.

Atenciosamente,

Ludmila Santos de Andrade

Questionário

Análise de opinião sobre a lacuna dos quantitativos dos insumos nos sistemas de planejamento de uma obra

Profissão

Idade

Data

____/____/____

Introdução:

Gostaria de agradecer a disponibilidade e atenção para participar desta pesquisa. A sua opinião é de extrema importância para reforçar a existência de uma lacuna nos sistemas atuais de planejamento da obra. Vale ressaltar que não existe resposta certa ou errada, este questionário visa apenas obter informações sobre a lacuna dos quantitativos de insumos.

BLOCO I RELAÇÃO COM ARQUITETURA/ ENGENHARIA/ CONSTRUÇÃO

1- Trabalha há quanto tempo em construção?

- () Há mais de 15 anos
- () Entre 10 e 15 anos
- () Entre 05 e 10 anos
- () Há menos de 05

2 - Quantas vezes por semana visita obra?

- 06 vezes por semana
- 05 vezes por semana
- De 04 a 03 vezes por semana
- Menos de 03 vezes por semana
- Raramente

3 - Utiliza computadores em qual fase da construção ?

- Durante a fase de concepção da obra
- Durante a fase de planejamento da obra
- Durante a fase de construção da obra
- Durante a fase de legalização da obra
- Durante a fase de compatibilização da obra

BLOCO II RELAÇÃO CONSTRUÇÃO/DOMÍNIO DOS QUANTITATIVOS DE INSUMOS

Setores

Orçamentação

04 - Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos pode dificultar o planejamento do orçamento?

01 - Muito pouco

02 - Pouco

03 - Razoável

04 - Bom

05 - Extremamente

00 - Não sei

05 - Em sua opinião, a falta de informação sobre as medidas de compra do mercado pode dificultar o planejamento do orçamento?

<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
06 - Em sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos nas medidas de compra do mercado facilitará o planejamento do orçamento?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
Troca de informações entre os vários setores da construção	
07 - Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado pode dificultar a troca de informações entre os vários setores da construção?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
08 - Em sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado facilitará a troca de informações entre os vários setores da construção ?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
Planejamento e cronograma	

09 - Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado pode dificultar a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
10 - Em sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos nas medidas de compra do mercado facilitará a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
Controle de fluxo de entrega de materiais no canteiro de obras	
11- Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado pode dificultar a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
12 - Em sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos nas medidas de compra do mercado facilitará a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco

<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
Estimativa do tempo de construção	
13 - Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado pode dificultar a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
14 - Em sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos nas medidas de compra do mercado facilitará a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
Equívocos na entrega de materiais	
15 - Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado pode dificultar a troca de informações durante o planejamento e definição da entrega de materiais no canteiro de obra?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei

16 - Em sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado facilitará a troca de informações durante o planejamento e definição do cronograma?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
Auxílio direto para as tomadas de decisões	
17 – Em sua opinião, a falta de informação sobre os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado pode dificultar a troca de informações, prejudicando as tomadas de decisões durante as fases da obra?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Extremamente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei
18 - Na sua opinião, você claramente percebe que uma nova rotina que adotasse os quantitativos de insumos e as medidas de compra do mercado facilitará a troca de informações e as decisões durante as fases da obra?	
<input type="checkbox"/>	01 - Muito pouco
<input type="checkbox"/>	02 - Pouco
<input type="checkbox"/>	03 - Razoável
<input type="checkbox"/>	04 - Bom
<input type="checkbox"/>	05 - Excelente
<input type="checkbox"/>	00 - Não sei

Neste questionário, buscou-se a diversidade de participantes para conferir à pesquisa uma ampla base de opiniões. A informação obtida a partir do questionário demonstrou que os vários setores da construção percebem uma lacuna com referência à forma como as informações sobre o quantitativo dos materiais são manejados na arquitetura, no planejamento e na construção.

Vale lembrar que as informações pessoais sobre os participantes deste estudo serão mantidas em sigilo. Somente a autora da tese disporá dos dados pessoais dos entrevistados. A personalidade desse questionário é absolutamente confidencial. Qualquer informação identificando os respondentes não será divulgada em nenhuma circunstância.

7.2. PROTOTIPO DE APLICATIVO COM O PROGRAMMING LANGUAGE

A solução oferecida pela BIM caixa de ferramentas, como revit, é na Interface de Programação de Aplicações (API). A API fornece uma forma de usar o BIM com uma abordagem de programação. Infelizmente, o uso da API requer o conhecimento das linguagens de programação, como C# ou C , e ciência da computação conceitos, como transações e polimorfismo, que pressupõe uma considerável experiência de programação

Conforme mencionado na seção anterior, o acesso a API dos sistemas BIM é possível tanto por meio da Interface de Programação Gráfica quanto pelo *Scripting Language*.

Como nesta seção se discute a utilização do Revit API (Application Programming Interface) por meio do Scripting Language, entraremos em maiores detalhes sobre o mesmo. O Revit .NET API é acessado por qualquer linguagem de programação baseado em .NET incluindo Visual Basic. Net, C#, Python, C++ entre outros. Para o experimento desta tese o C# foi à linguagem escolhida para ilustrar o Scripting Language.

Conforme mencionamos na seção anterior acerca da implementação do algoritmo por meio da Interface de Programação Gráfica do Dynamo, verificamos

que o mesmo pode ser utilizado para executar a tarefa proposta de customização dos sistemas BIM a realidade brasileira.

Como descrito na seção de Métodos o início do algoritmo é definido pela criação das partes dos componentes da parede. A criação das partes como já destacado anteriormente é de suma importância para a distinção das partes.

O fluxograma a partir desse ponto buscará na parede a busca dos dados-dos parâmetros nos componentes das paredes para proceder a customização da extração dos quantitativos em consonância com a realidade nacional.

Ressaltamos que o processo de estruturação do algoritmo, na abordagem do Scripting Language, seguirá redundantemente as mesmas etapas utilizadas na abordagem da Interface de Programação Gráfica no Dynamo, conforme apresentado na seção anterior. Desta maneira, o algoritmo utiliza o mesmo fluxo de instruções da lógica algorítmica proposta. Portanto, a diferença entre as interfaces resulta apenas na abordagem de implementação das regras.

Contudo, a diferença principal recai na formalização dessas etapas para a execução das tarefas e do fluxograma para a solução do problema. Todo o processo do algoritmo segue a mesma premissa que utiliza a entrada, processamento e saída de dados do editor gráfico de algoritmo. Percebe-se que o processo gerativo do algoritmo na Programming Language será idêntico a Interface de Programação Gráfica no Dynamo.

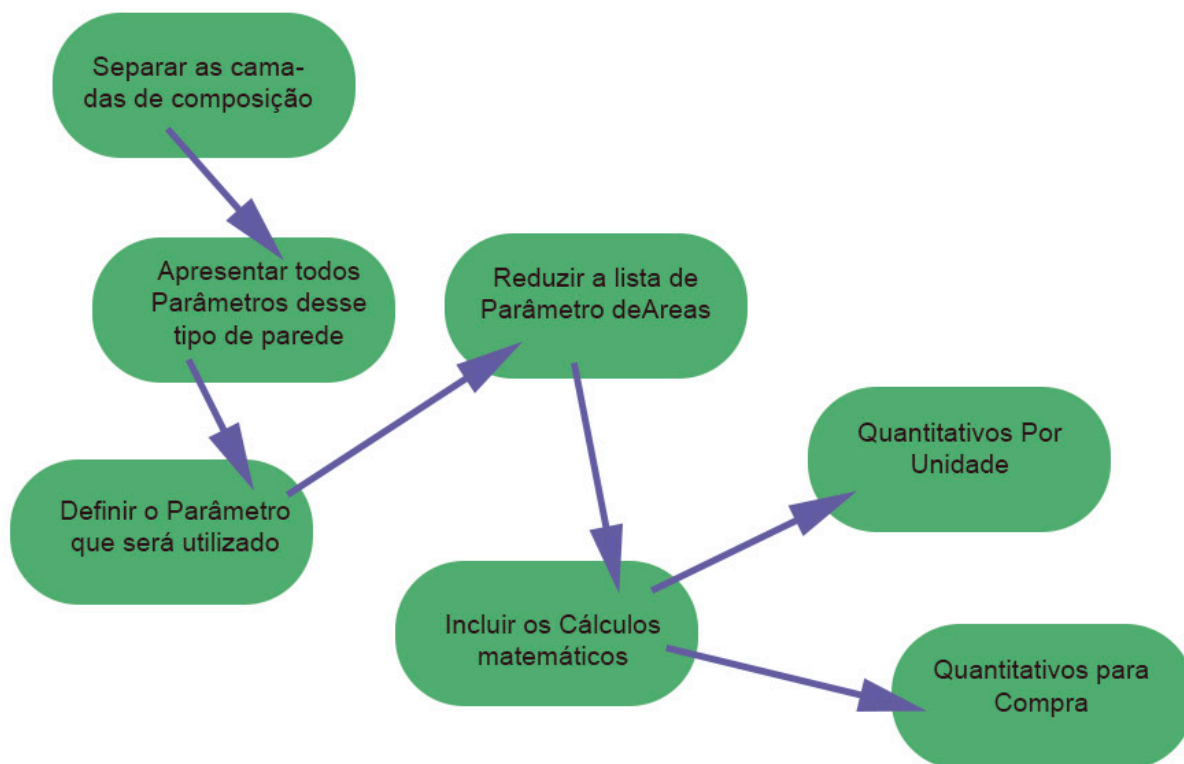


Figura 96 - Fluxograma do algoritmo
 Fonte – Fluxograma elaborado pela Autora

Pode-se observar na imagem acima o fluxo de tarefas do algoritmo continua o mesmo nas duas abordagens: *Programming Language* e na Interface de Programação Gráfica Dynamo.

Como se observa o processo gerativo do algoritmo é idêntico ao da Interface de Programação Gráfica. A alteração se denota na implementação das atividades em Linguagem de Programação. Conforme informado anteriormente, nesta tese adotou-se a Linguagem em C#.

Como mostra a figura abaixo, na interface do Community Visual Studio 2016, , as linhas iniciais típicas de acesso a API do Revit na linguagem de programação em C#.

A imagem abaixo apenas exemplifica os comandos iniciais para o acesso dos códigos fontes fornecidos pela Autodesk para a sua customização. Using Autodesk Revit.UI para ter acesso a interface do usuário e Using Autodesk.Revit.DB que

permite a exportação de dados do modelo de Revit para um banco de dados onde você pode editar os dados e importá-lo de volta para o modelo.

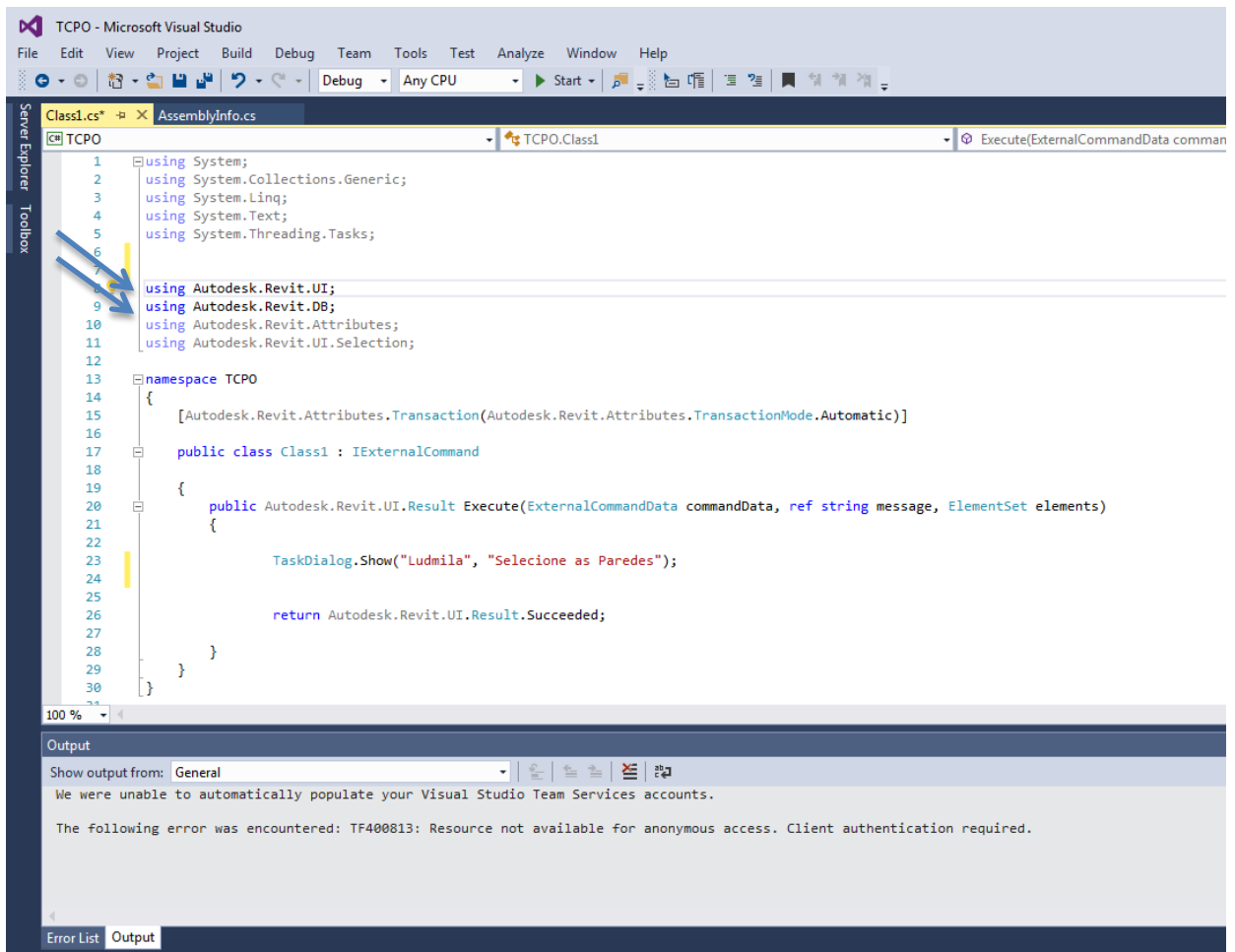


Figura 97 – Acesso a API do Revit

Fonte - Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

Como se observa na figura acima, para se dar início a construção do fluxograma é necessário antes de mais nada disponibilizar ao sistema os acessos aos comandos que serão utilizados para a implementação das novas ferramentas.

No Revit o uso da Scripting Language possibilita a criação de uma *.dll (Dynamic Link Library). Esta é uma Biblioteca de ligação dinâmica (*.dll). É um arquivo que contém as funções e comandos utilizados por uma interface que

inicializará o aplicativo. Portanto, as funções do *.dll são iniciadas pela inicialização da plataforma Revit.

A Biblioteca de ligação dinâmica mais comumente chamada de *.dll ²¹ é o formato padrão de arquivos com códigos executáveis de um programa por parte dos sistemas operacionais. Esta denominação é exclusiva do sistema operacional Windows.

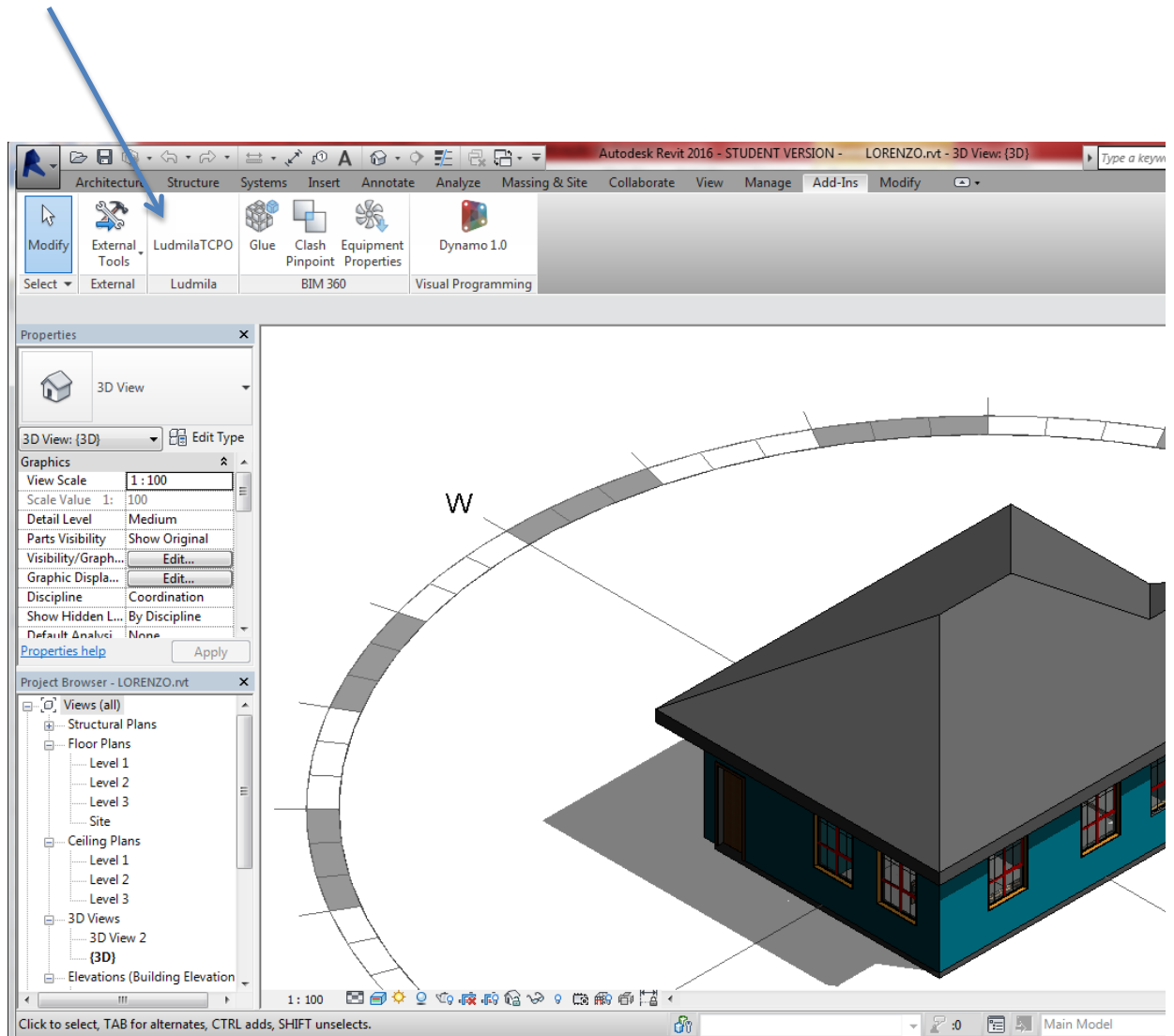


Figura 98 - Modelo da casa Lorenzo
Fonte: Modelo da autora elaborado no software Autodesk Revit 2016.

²¹ *.dll – Dynamic Link Library – é a biblioteca de ligação dinâmica que é um módulo que contém funções e dados que devem ser usados por outro módulo que iniciará os seus comandos.
(Fonte: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms682589\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms682589(v=vs.85).aspx).
Acessado em 16/12/2016.)

A partir da figura acima observa-se que no Revit a aplicação externa adicional só pode ser acessada quando este programa identifica essa a *.dll e apresenta o botão de acesso na interface do mesmo.

Como pode ser observado, ao iniciar o Revit, todas as aplicações adicionais criadas pelos usuários estarão disponíveis na interface do programa. Como mencionado anteriormente as bibliotecas dinâmicas acrescentam novas funcionalidades ao sistema padrão.

A interface de programação baseia-se nos comandos e funcionalidades do Revit padrão. Contudo, para a sua customização a API deve ser constituída por duas *.dll de referencia que permitem o acesso às funcionalidades da plataforma. Desta forma, a API do Revit é composta de duas bibliotecas de referencias de classes: (RevitAPI.dll e RevitAPIUI.dll).

Entre estas bibliotecas de referencias de classes, a RevitAPI.dll contém instruções específicas para acessar o Revit, seus documentos, elementos e parâmetros no nível do banco de dados. Na biblioteca de referencia de classes, a RevitAPIUI.dll contém o acesso necessário para customizar e manipular a interface do usuário no Revit, como pode ser observado na figura 81 abaixo

Para adicionar essas referências no documento terá que ser necessário a busca dessas referencias no arquivo de programa, Autodesk, Revit 2016 para ter acesso a essas *.dll para ter acesso aos comandos de referência dos códigos da Autodesk.

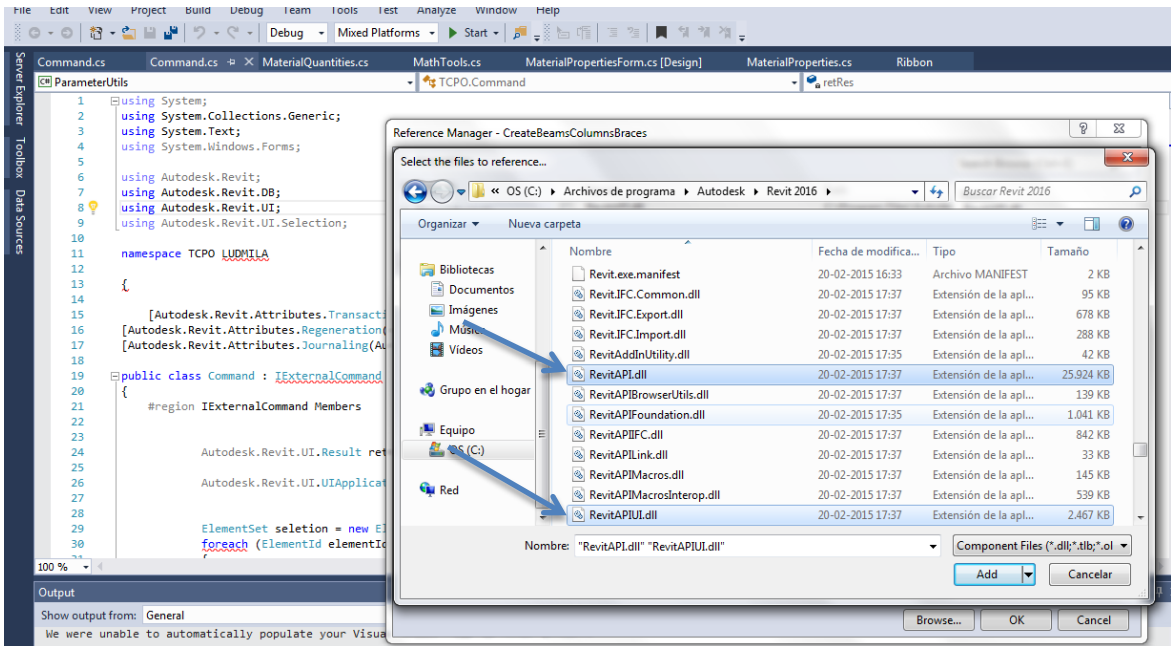


Figura 99 -Adição de referências
 Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

Depois de inseridas essas referências no documento elas se apresentaram nas referências do projeto como pode ser observada pela imagem abaixo. O Acesso da API do Revit e os códigos fontes estão prontos para serem customizados.

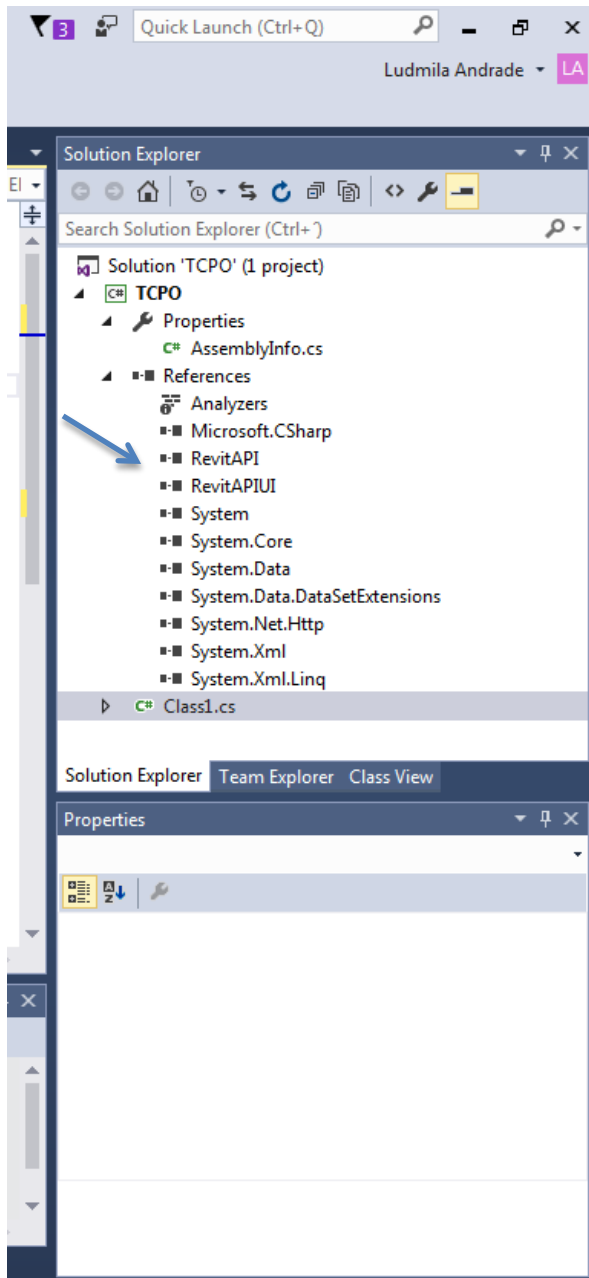


Figura 100 - Referência API

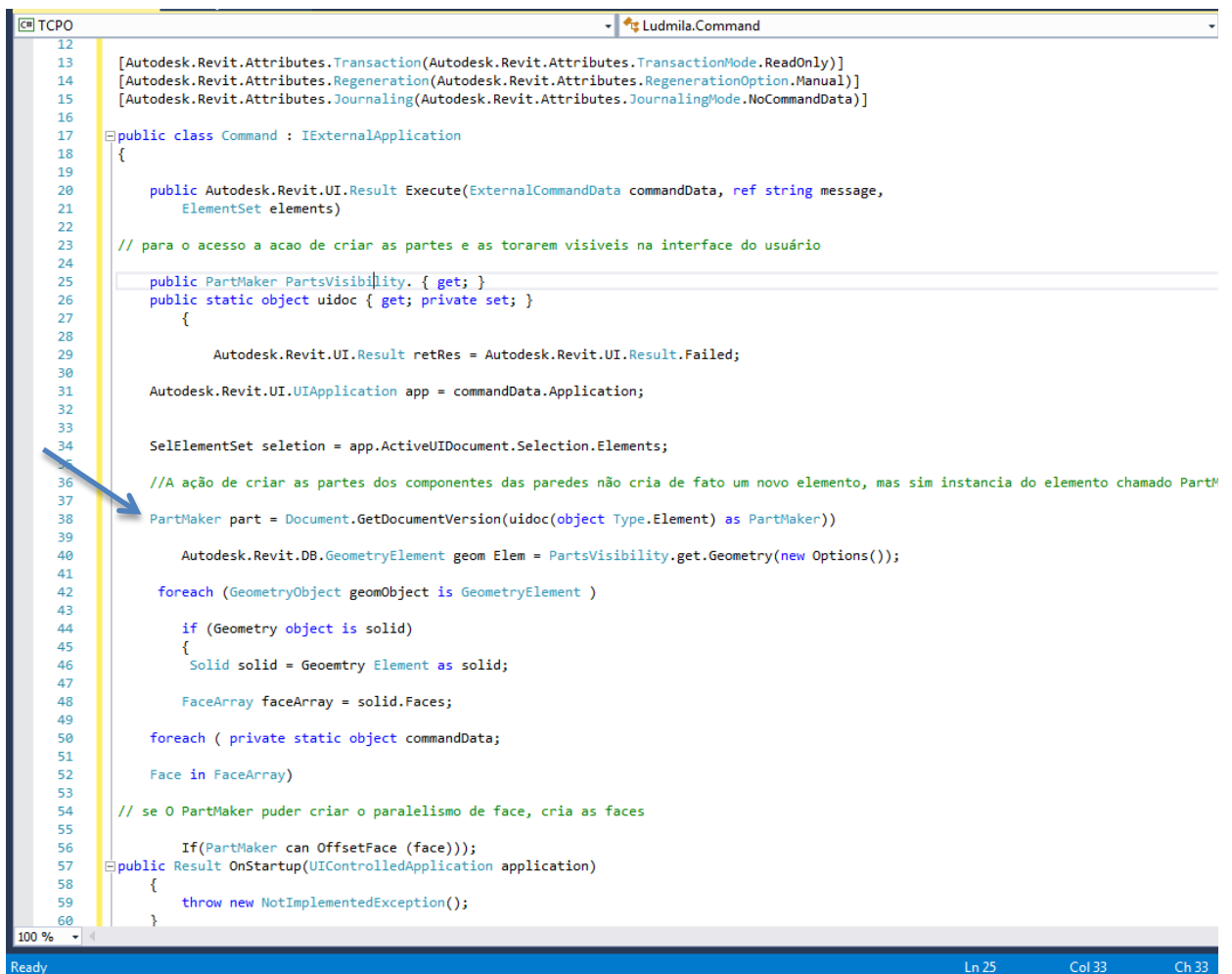
Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

A partir da figura acima nota-se que para o acesso a API do Revit é necessário vários arquivos de referencias que dão acesso ao sistema Windows como também ao sistema BIM Revit.

Vale ressaltar que o processo gerativo do algoritmo na base do *Scripting Language* inicia-se da mesma maneira que na interface de programação gráfica: a partir da etapa inicial do comando para criar as partes dos componentes da parede

Partes de componentes podem ser geradas como, por exemplo, estruturas compostas tais como paredes. Na API do Revit, componentes podem ser divididos em partes utilizando o comando PartMaker, conforme pode ser observado na figura abaixo.

Na API do Revit, elementos podem ser divididos em parte usando o comando PartUtils class. O método estático PartUtils.CreateParts() é utilizado para criar as parte de elementos. Ao criar as partes dos elementos uma ação de PartMaker é inicializada pelas regras de paralelismo que cria distinção de elementos.



```
12
13 [Autodesk.Revit.Attributes.Transaction(Autodesk.Revit.Attributes.TransactionMode.ReadOnly)]
14 [Autodesk.Revit.Attributes.Regeneration(Autodesk.Revit.Attributes.RegenerationOption.Manual)]
15 [Autodesk.Revit.Attributes.Journaling(Autodesk.Revit.Attributes.JournalingMode.NoCommandData)]
16
17 public class Command : IExternalApplication
18 {
19
20     public Autodesk.Revit.UI.Result Execute(ExternalCommandData commandData, ref string message,
21         ElementSet elements)
22
23     // para o acesso a acao de criar as partes e as torarem visiveis na interface do usuário
24
25     public PartMaker PartsVisibility { get; }
26     public static object uidoc { get; private set; }
27     {
28
29         Autodesk.Revit.UI.Result retRes = Autodesk.Revit.UI.Result.Failed;
30
31         Autodesk.Revit.UI.UIApplication app = commandData.Application;
32
33
34         SelElementSet seletion = app.ActiveUIDocument.Selection.Elements;
35
36         //A ação de criar as partes dos componentes das paredes não cria de fato um novo elemento, mas sim instancia do elemento chamado PartM
37
38         PartMaker part = Document.GetDocumentVersion(uidoc(object Type.Element) as PartMaker))
39
40         Autodesk.Revit.DB.GeometryElement geom Elem = PartsVisibility.get.Geometry(new Options());
41
42         foreach (GeometryObject geomObject is GeometryElement )
43
44             if (Geometry object is solid)
45             {
46                 Solid solid = Geomerty Element as solid;
47
48                 FaceArray faceArray = solid.Faces;
49
50                 foreach ( private static object commandData;
51                     Face in FaceArray)
52
53
54                 // se O PartMaker puder criar o paralelismo de face, cria as faces
55
56                 If(PartMaker can OffsetFace (face));
57     public Result OnStartup(UIControlledApplication application)
58     {
59         throw new NotImplementedException();
60     }
}
```

Figura 101 - Criação de Partes
Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

Na imagem acima o comando PartMaker executa a criação das partes do elemento parede. Ao executar esta ação as camadas de informação da parede se tornam distintas, mas vale lembrar ainda que fazem parte da parede original.

De acordo com o algoritmo proposto na implantação do algoritmo pelo editor gráfico a listagem dos atributos deverá ser a etapa posterior.

Seguindo o fluxograma proposto pelo algoritmo, a próxima tarefa descrita se caracteriza pela listagem dos parâmetros do componente parede. A listagem dos parâmetros das paredes segue a mesma premissa da interface de programação gráfica Dynamo.

O Revit oferece um mecanismo de busca geral para dar a cada componente o seu conjunto de parâmetros que podem ser também adicionados ou alterados. Na interface do usuário tais parâmetros também são acessíveis na caixa de propriedades do componente. A descrição de como obter e usar os parâmetros serão melhor detalhados a seguir.

Na API do Revit os parâmetros são gerenciados nas classes dos componentes. Portanto, todas as informações de cada componente são mantidas na sua composição para permitir uma extração exata de dados.

Pelo método da iteração²² processo de resolução de uma tarefa mediante operações em que sucessivamente o objeto de cada uma é o resultado da que a precede. Como exemplo a listagem dos parâmetros de uma parede que são desde o tipo de parede, a sua área, os níveis que conectam as paredes entre outros. Através dos Parâmetros do Elemento (Element.Parameters) se executa a listagem da coleção dos parâmetros do componente

Os parâmetros dos componentes são recuperados através do conjunto de parâmetros do componente (*Element ParameterSet*). A imagem abaixo ilustra como recuperar os parâmetros do componente selecionado.

²² Iteração - Desenvolvimento iterativo é uma estratégia de planejamento de retrabalho em que o tempo de busca de dados de partes de informação é pré-definido.
Fonte: <http://vivenciandoti.blogspot.com.br/> acessado em 20/11/2016

```
37
38 SelElementSet selection = app.ActiveUIDocument.Selection.Elements;
39
40
41 if (selection.Size == 1)
42 {
43
44     // operação em que sucessivamente o objeto será listado em parametros
45
46     ElementSetIterator it = selection.ForwardIterator();
47     it.MoveNext();
48     Element element = it.Current as Element;
49
50
51     List<string> parameterItems = new List<string>();
52     ParameterSet parameters = element.Parameters;
53     foreach (Parameter param in parameters)
54     {
55         if (param == null) continue;
56
57
58         StringBuilder sb = new StringBuilder();
59
60         // O nome do parametro deve ser encontrado pela sua definicao-atributos
61
62         sb.AppendFormat("{0}\t", param.Definition.Name);
63
64         //Os parametros no Revit podem ser definido por 05 tipos de memoria
65         // double, int, string, Autodesk.Revit.DB.ElementId and None.
66
67
68         switch (param.StorageType)
69         {
70             case Autodesk.Revit.DB.StorageType.Double:
71
72                 sb.AppendFormat("double\t{0}", param.AsDouble());
73                 break;
74             case StorageType.ElementId:
75
76                 // cada elemnto possui seu Id proprio
77                 // parametro se encontrado será documentad
78                 sb.Append("Element\t");
79
80                 // usando ActiveDocument.GetElement(the element id)
81                 // salve o elemento no documento ativo
82                 Autodesk.Revit.DB.ElementId elemId = new ElementId(param.AsElementId().IntegerValue);
83                 Element elem = app.ActiveUIDocument.Document.GetElement(elemId);
84
85
```

Figura 102 - Linhas de código para a listagem de parâmetros
Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

Os parâmetros no Revit sempre estão associados a um elemento, portanto como pode ser observado pela imagem acima a coleta das informações dos parâmetros deve ser seguida por uma ação contínua de busca e guarda dos dados.

Como se caracteriza na API do Revit os parâmetros são gerenciados nas classes dos componentes. A listagem dos parâmetros são possíveis de serem armazenados, equivalente ao escolher as propriedades para um determinado elemento no Revit.

Por isto, a listagem dos parâmetros se torna essencial para o comando, como pode ser compreendido pela figura abaixo:

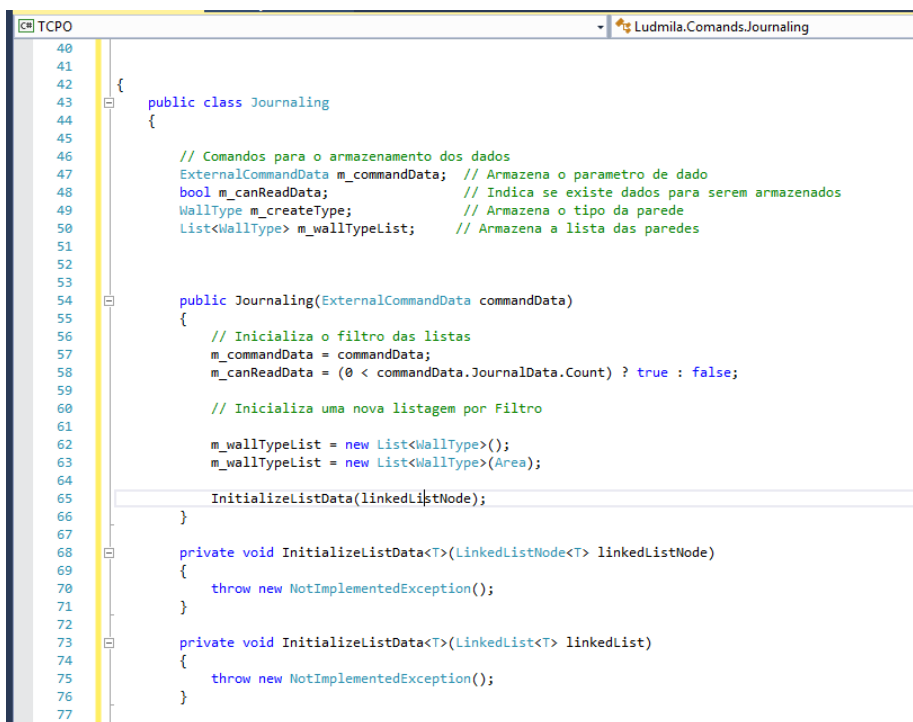
```
File Edit View Project Build Debug Team Tools Test Analyze Window Help Full Screen
Ludmila TCPO.cs*
ParameterUtils Ludmila.Command
56 case Autodesk.Revit.DB.StorageType.Double:
57
58     sb.AppendFormat("double\t{0}", param.AsDouble());
59     break;
60 case Autodesk.Revit.DB.StorageType.ElementId:
61
62     sb.Append("Element\t");
63
64
65     Autodesk.Revit.DB.ElementId elemId = new ElementId(param.AsElementId().IntegerValue);
66     Element elem = app.ActiveUIDocument.Document.GetElement(elemId);
67
68     sb.Append(elem != null ? elem.Name : "Not set");
69     break;
70 case Autodesk.Revit.DB.StorageType.Integer:
71
72     sb.AppendFormat("int\t{0}", param.AsInteger());
73     break;
74 case Autodesk.Revit.DB.StorageType.String:
75
76     sb.AppendFormat("string\t{0}", param.AsString());
77     break;
78 case Autodesk.Revit.DB.StorageType.None:
79
80     sb.AppendFormat("none\t{0}", param.AsValueString());
81     break;
82 default:
83     break;
84 }
85
86     parameterItems.Add(sb.ToString());
87 }
88
89
90
91 PropertiesForm propertiesForm = new PropertiesForm(parameterItems.ToArray());
92 propertiesForm.StartPosition = FormStartPosition.CenterParent;
93 propertiesForm.ShowDialog();
94 retRes = Autodesk.Revit.UI.Result.Succeeded;
95 }
96 else
97 {
```

Figura 103 - Lista dos parâmetros

Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

A figura acima mostra que a listagem dos parâmetros deve ser seguida da coletânea dos valores de cada parâmetros, se não houver valores associados aos parâmetros estes serão armazenados e igualmente apresentados. No caso em questão os parâmetros possuem dois tipos de armazenamentos, significando que cada tipo de dado é armazenado de maneira distinta. String com relação aos textos e Integer sendo os dados dos números.

Posteriormente a listagem de todos os parâmetros será necessária para reduzir ao parâmetro que será utilizado para os cálculos matemáticos. Como já discutido na seção anterior da Interface de Programação Gráfica o parâmetro “área” deve ser isolado da lista de todos os atributos para seguir a instrução das etapas do algoritmo.



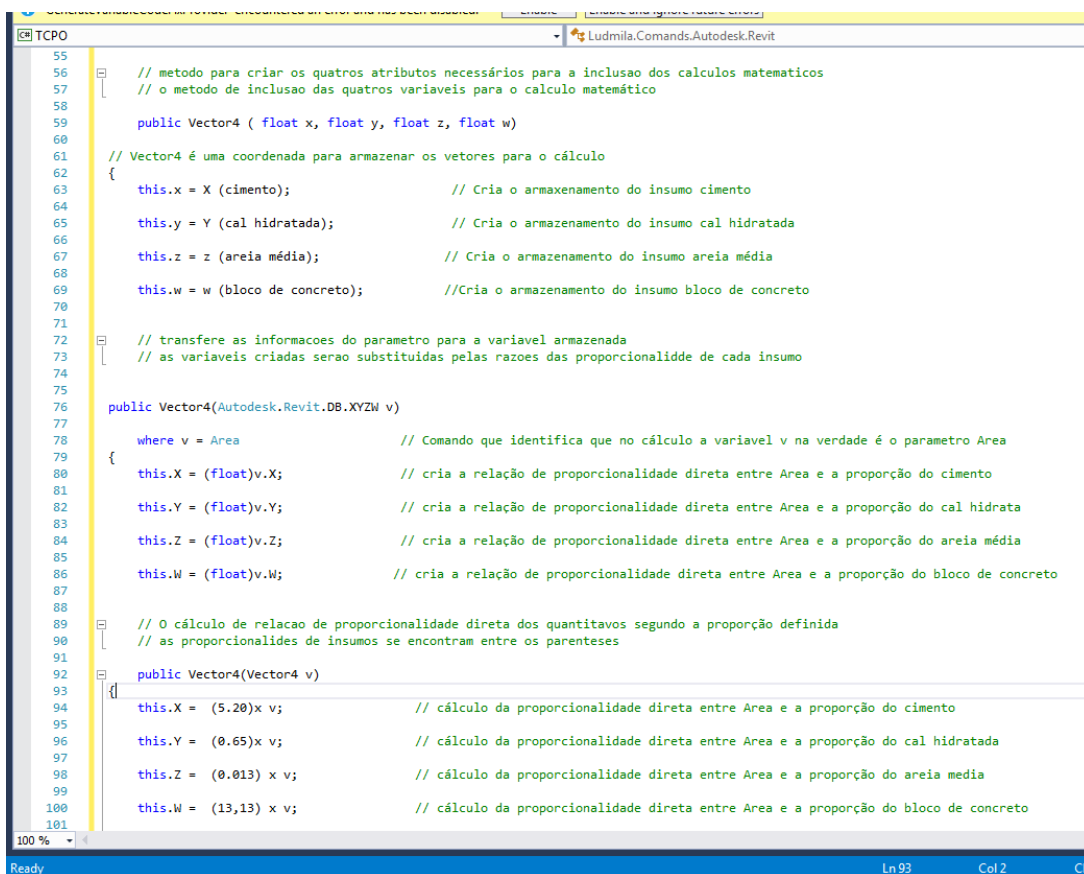
```
40
41
42
43 {
44     public class Journaling
45     {
46         // Comandos para o armazenamento dos dados
47         ExternalCommandData m_commandData; // Armazena o parametro de dado
48         bool m_canReadData; // Indica se existe dados para serem armazenados
49         WallType m_createType; // Armazena o tipo da parede
50         List<WallType> m_wallTypeList; // Armazena a lista das paredes
51
52
53
54     public Journaling(ExternalCommandData commandData)
55     {
56         // Inicializa o filtro das listas
57         m_commandData = commandData;
58         m_canReadData = (0 < commandData.JournalData.Count) ? true : false;
59
60         // Inicializa uma nova listagem por Filtro
61
62         m_wallTypeList = new List<WallType>();
63         m_wallTypeList = new List<WallType>(Area);
64
65         InitializeListData(linkedListNode);
66     }
67
68     private void InitializeListData<T>(LinkedListNode<T> linkedListNode)
69     {
70         throw new NotImplementedException();
71     }
72
73     private void InitializeListData<T>(LinkedList<T> linkedList)
74     {
75         throw new NotImplementedException();
76     }
77 }
```

Figura 104 - Filtro na Lista
Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

Como próximo passo, a inclusão dos cálculos matemáticos que já foram discutidos em duas oportunidades anteriores no método de investigação e também na implementação do algoritmo pelo editor gráfico. Não há razão para maiores detalhes sobre a geração dos cálculos matemáticos nas proporções da TCPO de acordo com as quantidades de insumos necessárias para a elevação da alvenaria estrutural.

Apenas se faz necessário sublinhar que as proporções de quantidade dos insumos com referencia ao

- cimento se dá pela proporção direta da área de paredes pela variável de 5.20;
- cal hidratada se dá pela proporção direta da área de paredes pela variável de 0.65;
- Areia média se dá pela proporção direta do volume pela variável de 0.013;
- Bloco de concreto se dá pela proporção direta da área pela variável de 13.13.



```
55
56 // metodo para criar os quatros atributos necessários para a inclusao dos calculos matematicos
57 // o metodo de inclusao das quatros variaveis para o calculo matemático
58
59 public Vector4 ( float x, float y, float z, float w)
60
61 // Vector4 é uma coordenada para armazenar os vetores para o cálculo
62 {
63     this.x = X (cimento);           // Cria o armazenamento do insumo cimento
64
65     this.y = Y (cal hidratada);     // Cria o armazenamento do insumo cal hidratada
66
67     this.z = z (areia média);      // Cria o armazenamento do insumo areia média
68
69     this.w = w (bloco de concreto); //Cria o armazenamento do insumo bloco de concreto
70
71
72 // transfere as informacoes do parametro para a variavel armazenada
73 // as variaveis criadas serao substituidas pelas razoes das proporcionalidde de cada insumo
74
75
76 public Vector4(Autodesk.Revit.DB.XYZW v)
77
78     where v = Area                 // Comando que identifica que no cálculo a variavel v na verdade é o parametro Area
79 {
80     this.X = (float)v.X;           // cria a relação de proporcionalidade direta entre Area e a proporção do cimento
81
82     this.Y = (float)v.Y;           // cria a relação de proporcionalidade direta entre Area e a proporção do cal hidratada
83
84     this.Z = (float)v.Z;           // cria a relação de proporcionalidade direta entre Area e a proporção do areia média
85
86     this.W = (float)v.W;           // cria a relação de proporcionalidade direta entre Area e a proporção do bloco de concreto
87
88
89 // O cálculo de relacao de proporcionalidade direta dos quantitavos segundo a proporção definida
90 // as proporcionalides de insumos se encontram entre os parenteses
91
92 public Vector4(Vector4 v)
93 {
94     this.X = (5.20)x v;             // cálculo da proporcionalidade direta entre Area e a proporção do cimento
95
96     this.Y = (0.65)x v;             // cálculo da proporcionalidade direta entre Area e a proporção do cal hidratada
97
98     this.Z = (0.013) x v;          // cálculo da proporcionalidade direta entre Area e a proporção do areia media
99
100    this.W = (13,13) x v;           // cálculo da proporcionalidade direta entre Area e a proporção do bloco de concreto
101
```

Figura 105 - A proporção TCPO
Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

Como as proporções já foram definidas pelo algoritmo, vale ressaltar que o incremento das formulas matemáticas se dá de forma imperativa nos comandos.

Segundo proposto pelo algoritmo, a inclusão dos cálculos matemáticos se dá como uma variável de proporcionalidade direta do insumo com relação a sua área. Como pode ser compreendido pela figura acima essa proporcionalidade se dá por meio de cálculos matemáticos de duas grandezas a área e sua proporcionalidade de insumos que encontram-se relacionadas e são diretamente proporcionais

Conforme mencionado em seções anteriores o algoritmo estabelece que os quantitativos de materiais sejam fornecidos de acordo com as medidas de compra no mercado nacional. Nesse ponto se trata da adequação dos quantitativos de insumo a maneira que são comercializados. Portanto, a quantidade exata de sacos de cimento precisa ser fornecida em números inteiros. Isto ocorre porque não há como comprar 7,68 sacos, então, este cálculo deve ser arredondado para o número real mais próximo que é o 8. Como essa questão foi amplamente discutida em seções anteriores do método de investigação e da implementação do algoritmo nessa seção apenas nesta seção descreveremos o cálculos.

```
File Edit View Project Build Debug Team Tools Test Analyze Window Help Full Screen
Ludmila TCPO.cs*
MaterialProperties Ludmila.CS.Rounding
58
59
60 static class Rounding
61 {
62     public static decimal RoundUp(decimal number, int places)
63     public static double Ceiling( double a)
64     {
65         decimal factor = RoundFactor(places);
66         number *= factor;
67         number = Math.Ceiling(number);
68         number /= factor;
69         return number;
70     }
71
72
73
74     (int)Math.Round(b, 0, MidpointRounding.AwayFromZero);
75
76
77     double[] values = { X, Y, Z, W };
78     Console.WriteLine(" Value Ceiling \n");
79     foreach (double value in values)
80     Console.WriteLine(" Arredondar para Cima",
81         value, Math.Ceiling(value));
82
83     public static double myRound(Double Value, int places = 1000)
84     {
85         Double myvalue = (Double)Value;
86         if (places == 1000)
87         {
88             if (myvalue - (int)myvalue == 0.001)
89             {
90                 myvalue = myvalue + 0.001;
91                 return (Double)Math.Round(myvalue);
92             }
93             return (Double)Math.Round(myvalue);
94             places = myvalue.ToString().Substring(myvalue.ToString().IndexOf(".") + 1).Length - 1;
95         }
96         if ((myvalue * Math.Pow(10, places)) - (int)(myvalue * Math.Pow(10, places)) > 0.49)
97         {
98             myvalue = (myvalue * Math.Pow(10, places + 1)) + 1;
99             myvalue = (myvalue / Math.Pow(10, places + 1));
100         }
101         return (Double)Math.Round(myvalue, places);
102     }
103
104
105
106
100 %
Ready Ln
```

Figura 106 - As unidades inteiras das medidas de compra
Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

A figura acima mostra a expressão matemática de arredondar uma divisão até o próximo número inteiro válido proposta pelo algoritmo descrita em linguagem de programação.

A tabela abaixo segue a transcrição semântica do algoritmo para o arredondamento. A proposição da tabela segue na intenção de esclarecer a proposição.

Como já discutido anteriormente, na seção de Métodos e Investigação, tal proposição realizada pelo algoritmo permite a compra apropriada junto ao mercado dos materiais de construção. Portanto, ao ter o conhecimento mais detalhado sobre os referidos materiais permite ao construtor *a priori* compreender melhor a construção, além de constituir um subsídio para as tomadas de decisão durante o processo de projeto.

Protótipo de aplicativo na casa Lorenzo

Em seção anterior o modelo da casa Lorenzo já foi pormenorizado explicada, por esta razão aqui apenas nos atentaremos ao protótipo de aplicativo implementação, por meio do Scripting Language.

Para iniciar o comando do aplicativo nessa abordagem primeiramente deve ser selecionada todas as paredes que farão parte do fluxograma do aplicativo.

Se não houver paredes selecionadas ao pressionar o botão “Ludmila TCPO”, um aviso será apresentado. Como se apresenta na figura seguinte.

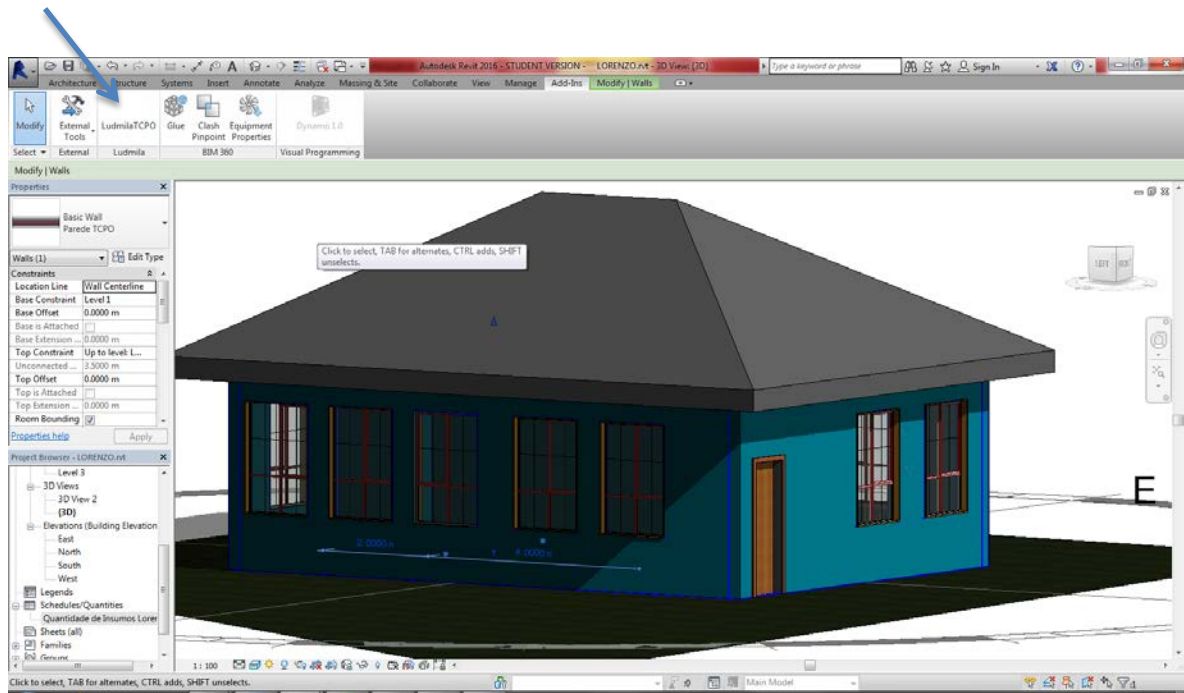


Figura 107 -Modelo casa Lorenzo
Fonte: Modelo elaborado por Andrade no Revit 2016

Como se observa a partir da figura acima a abordagem pela *Scripting Language* possibilita o acréscimo de um novo recurso denominado “Ludmila TCPO” na interface do usuário.

Ressaltamos que os dados de entrada e saída e também os cálculos são idênticos aos efetuados na interface de programação gráfica Dynamo, por meio de uma outra abordagem.

Como mencionado se não houver paredes selecionadas para o comando o aviso de selecione as paredes será exibido, como mostra a imagem abaixo

O comando necessita dessa entrada de dados. A importância de selecionar as paredes antes de iniciar o comando apenas indica que tais paredes deverão ser usadas como base de dados para a diagramação do cálculo matemático proposto pelos algoritmos.

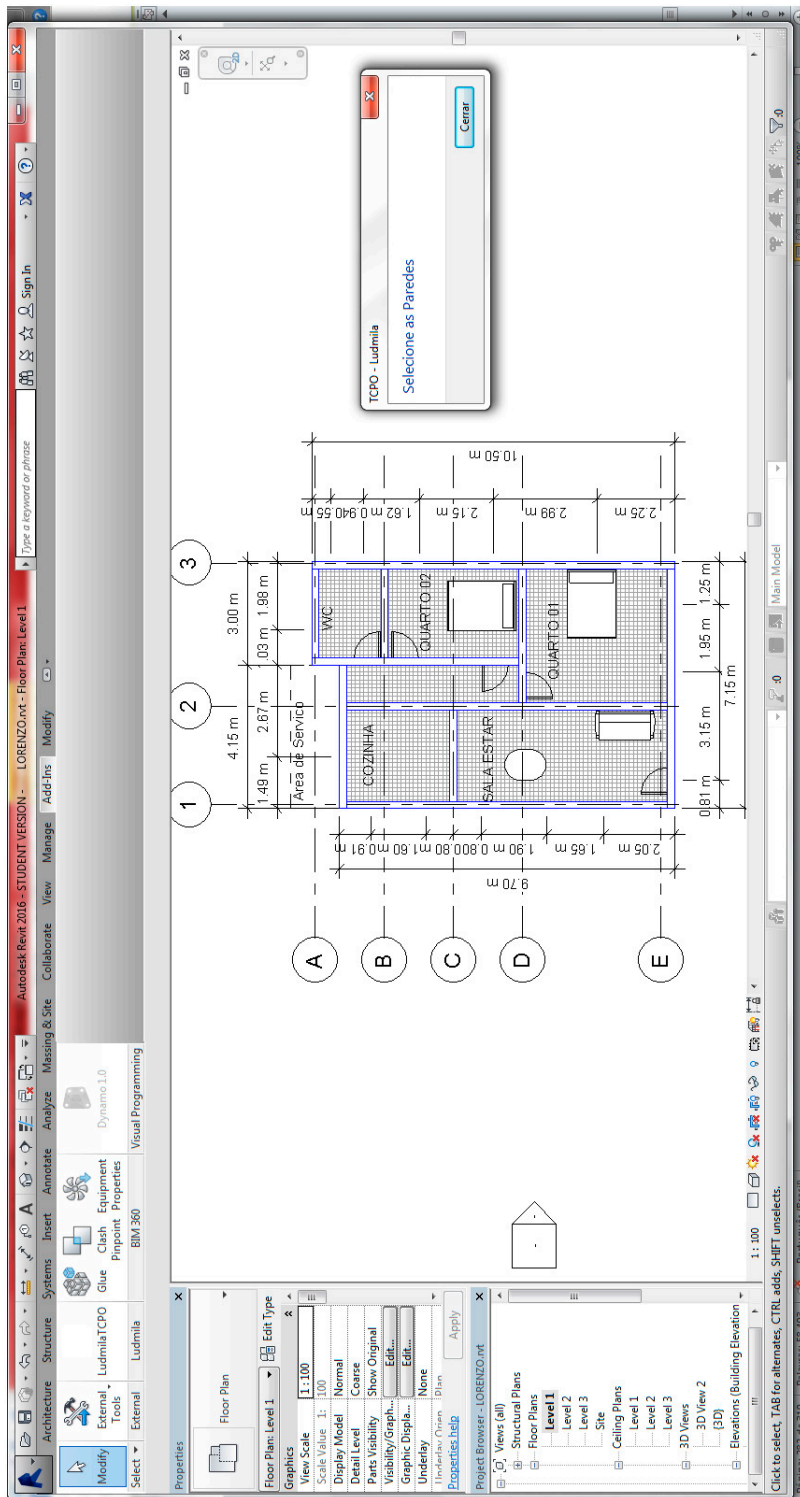


Figura 108 - Aviso de selecionar as paredes
 Fonte: Protótipo de aplicativo elaborado por Souza no Visual Studio 2016

LORENZO.nt - Schedule: Quantidade de Insumos Lorenzo

Architecture Structure Systems Insert Annotate Analyze Massing & Site Collaborate View Manage Add-Ins Modify Modify Schedule/Quantities

Modify Wall Door Window Component Column Roof Ceiling Floor Curtain Mullion Railing Ramp Stair Model Model Line Text Model Group Room Separator Room Tag Area Boundary Area Tag Area By Shaft Vertical Wall Level Set Ref Plane Show Ref Plane Set Viewer Work Plane

Build Circulation Room & Area Opening Datum Work Plane

Modify Schedule/Quantities Properties

Schedule

Schedule: Quantidade de Insumos Lorenzo

Identify Data Edit Type

View Template <None>

View Name Quantidade de L...

Dependency Independent

Phasing Show All

Phase Filter New Constru...

Fields Edit...

Filter Edit...

Sorting/Groupi... Edit...

Formatting Edit...

Properties help Apply

Project Browser - LORENZO.nt

- Level 3
- 3D Views
- 3D View 2
- (3D)
- Elevations (Building Elevation
- East
- North
- South
- West
- Legends
- Schedule/Quantities
- Quantidade de Insumos Lore
- Sheets (all)
- Families
- Groups III

Ready

Family and Type	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Area	Volume	Consumo de Cimento	Consumo de Cal Hidratada	Consumo de Areia	Consumo de Bloco	Consumo de Blocos	Quantidade de Sacos Cimento	Quantidade de Sacos de Cal	Quantidade de Blocos	Compra Sacos/Ciml	Calculo Sacos/Cal
ic Wall Parede TCPO	12.35 m²	2.59 m³	64.21	8.03	0.16	162.12	1.28	0.40	0.40	163.00	17	6
ic Wall Parede TCPO	29.22 m²	6.14 m³	151.95	18.99	0.38	383.67	3.04	0.95	0.95	384.00		
ic Wall Parede TCPO	18.31 m²	3.84 m³	95.20	11.90	0.24	240.39	1.90	0.59	0.59	241.00		
ic Wall Parede TCPO	21.59 m²	4.53 m³	112.27	14.83	0.28	283.48	2.25	0.70	0.70	284.00		
ic Wall Parede TCPO	32.48 m²	6.82 m³	168.90	21.11	0.42	426.47	3.38	1.06	1.06	427.00		
ic Wall Parede TCPO	16.12 m²	3.39 m³	83.84	10.48	0.21	211.68	1.68	0.52	0.52	212.00		
ic Wall Parede TCPO	11.95 m²	2.51 m³	62.16	7.77	0.16	156.96	1.24	0.39	0.39	157.00		
ic Wall Parede TCPO	9.03 m²	1.90 m³	46.96	5.87	0.12	118.57	0.84	0.29	0.29	119.00		
ic Wall Parede TCPO	3.42 m²	0.72 m³	17.77	2.22	0.04	44.88	0.36	0.11	0.11	45.00		
ic Wall Parede TCPO	6.85 m²	1.44 m³	35.63	4.45	0.09	89.97	0.71	0.22	0.22	90.00		
Subt: 10	181.32 m²		838.90	104.88	2.10	2118.18	16.78	5.24	5.24	2122.00		

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMOR, R.; FARAJ, I. Misconceptions about Integrated Project Databases. **ITCON**, p. 311, Setembro 2011.
- ARIDA, S. **Contextualizing Generative Design**. 2004. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Arquitetura. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts. 2004.
- BECK TECHNOLOGY. **INOVATION IN ALL DIMENSIONS**, 2012. Disponível em: <http://www.beck-technology.com/product_dp.asp>. Acesso em: 18 JANEIRO 2012.
- BERGDOLL, B.; CHRISTENSEN, P. Hand Over: Pleine Air Prefabrication/Transition Thoughts. **Moma Home Delivery**, 2008. Disponível em: <<http://www.momahomedelivery.org/>>. Acesso em: 12 Agosto 2010.
- BLAKE, P. **Form Follows Fiasco**: Why modern architecture hasn't worked. 1ª Edição. ed. [S.l.]: The atlantic monthly press, 1977.
- BLANCO, M. Gestao Remodeladada. **Construcao e Mercado**, Sao Paulo, n. 115, p. 28, Fevereiro 2011.
- BRASIL, S. F. **Relatório Final: o retaro do desperdício no Brasil**. Comisao Temporária das Obras Inacabadas. Brasília , p. 435. 1995.
- BRIDGES, A. The Challenge of Constraints: A Discussion of Computer Applications in Architectural Design. **Laboratório de Projeto de Arquitetura e Fabricação Digital - FAU/UnB**, Glasgow, 1993. Disponível em: <<http://lecomp.fau.unb.br/moodle/mod/resource/view.php?id=541>>. Acesso em: 23 Setembro 2009.
- CALDAS, L.; NORFORD, L. **Architectural Constraints in a Generative Design System**: Interpreting Energy Consumption Levels. 7th International IBPSA Conference. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2001. p. 1397-1404.
- CELANI, G. et al. **Generative Design Systems for Housing**: An Outside-in Approach. Digital Design: The Quest for New Paradigms. 23rd eCAADe Conference Proceedings. Lisboa: [s.n.]. 2005. p. 501-506.
- CELANI, G. et al. **A Gramática da Forma como Metodologia de Análise e Síntese em Arquitetura**. Caxias do Sul: [s.n.]. 2006. p. 180-195.
- COBBERS, A.; JAHN, O. **Prefab Houses**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: Taschen, 2010.

DUARTE, J. P. **Towards the mass customization of housing: The Grammar of Siza's houses at Malagueira.** Environment and Planning B: Planning and Design. [S.l.]: [s.n.]. 2005. p. 347-380.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A guide to Building Information.** Indianapolis: Wiley Publishing, 2008.

EASTMAN, C.; KUTAY, A. Transaction management in design databases. **MIT-JSME Workshop**, 1989. 334-351.

EASTMANN, C.; AUGENBROE, G. Product Modeling Strategies for Today and the Future. **CIB Workshop on the Life-Cycle of Construction IT Innovations**, Stockholm, p. 191-208, 2008.

ERNEST, Y. Sustainable Building in Brazil. **GBC Brasil**, 2013.

FERREIRA, A. B. D. H. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa.** 11. ed. Rio de Janeiro: Civilizacao Brasileira, 1971.

FERREIRA, B.; LEITAO, A. Generative Design for Building Information Modeling, Viena, v. 01º, n. 1!, p. 635 - 645, 2015.

FLÓRIO, W. **O uso de ferramentas de modelagem vetorial na concepcao da arquitetura de formas complexas.** tese de Doutorado Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Sao Paulo, p. 477. 2005.

FLORIO, W. Tecnologia da Informacao na Construcao Civil: Contribuicoes do Building Information Modeling no Processo de Projeto em Arquitetura. **III Fórum de Pesquisa FAU.MACKENZIE**, 2007. 15.

FRAMPTON, K. **História Crítica da Arquitetura Moderna.** Tradução de Jefferson Luiz Camargo. 1ª Edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

FRAZER, J. **An Evolutionary Architecture.** 1ª Edição. ed. Londres: E.G. Bond Ltd, v. VII, 1995.

GIPS, J. **Shape Grammars and their Uses: Artificial Perception, Shape Generation and Computer Aesthetics.** 1ª Edição. ed. Stuttgart: Birkhäuser, 1975.

GROSS, M.; MARK, E.; GOLDSCHMIDT, G. A Perspective on Computer Aided Design After Four Decades. **eCAADe 26**, Bélgica, p. 169 - 176, Setembro 2009.

GUIMARÃES, P. P. **Configuração Urbana: Evolução, Avaliação Planejamento e Urbanização.** 1ª Edição. ed. Rio Janeiro: Prolivros Ltda., 2004.

GUNTHER, H. **Como elaborar um questionário.** 01. ed. Brasília: Universidade de Brasília, v. 01, 2003.

HERMUND, A. Building Information Modeling in the Architectural Design Phases. **Digital Applications in Constrution**, Istambul, 16 Setembro 2009. 75-82.

KALISPERIS, L. N. CAD in Education: Penn State University. **ACADIA Quartely**, p. 22-25, 1996.

KANT, E. Understanding and Automating Algorithm Design. **IEEE Transactions of Software Engineering**, Novembro 1985. 1361.

KERLOW, I. V. **The Art of 3-D: Computer Animation and Imaging**. 1ª Edição. ed. New York: John Wiley & Sons, v. único, 2000.

KHABAZI, M. **Algorithmic Modelling with Grasshopper (Rhino Plug-in)**. 1ª Edição. ed. [S.I.]: Este livro foi publicado digitalmente estando disponível em: www.khabazi.com/flux, 2009.

KNIGHT, T. W. **Designing with Grammars**. CAAD futures Digital Proceedings. [S.I.]: [s.n.]. 1991. p. 33-48.

KNIGHT, T.; SASS, L.; KAMATH, A. V. **Visual-Physical Grammars**. CCIA'2008. [S.I.]: [s.n.]. 2008. p. 510-516.

KNIGHT, T.; STINY, G. Classical and Non-classical Computaion. **Information Technology**, v. V, n. 4, p. 355-372, 2001.

KOLAREVIC, B. **Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in The Information Age**. ACADIA XX: Reinventing The Discourse. Buffalo: State University of New York. 2001. p. 268-277.

KOLAREVIC, B. **Architecture in Digital Age: Design and Manufacturing**. Nova York: Taylor & Francis, 2003.

KRYGIEL, E.; BRADLEY, N. **Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling**. Indianapolis: Wiley Publishing, 2008.

LOGAN, B. The Structure of Design Problems, 1987. 19-53.

MADRID, J. A. Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. **BIM Forum**, Dallas, Agosto 2013.

MAILARD, M.; PHILIP, R.; STEVEN, R. O Processo de Projeto e o Computador: Realidades que Interragem Virtualmente. **Site do Curso de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais**, 2010. Disponível em: <http://www.arq.ufmg.br/eva/art012.pdf>. Acesso em: 10 Outubro 2010.

MCCORMACK, J.; DORIN, A.; INNOCENT, T. **Generative Design - A Paradigm for Design Research**. Proceedings of Futureground. Melbourne: Design Research Society. 2004. p. 5-13.

MCNEEL, R. The History of Rhino. **rhino**: rhinohistory, 2011. Disponível em: <<http://wiki.mcneel.com/rhino/rhinohistory>>. Acesso em: 21 Fevereiro 2011.

MENDES, R. G.; DE BIASI, F. M. **Lei de Licitações e Contratos Administrativos**. 21. ed. Curitiba: Zênite, 2010.

MEREDITH, M.; SASAKI, M. **From Control to Design**. 1ª Edição. ed. New York: Actar-D, 2009.

MITCHELL, W. J. **Computer Aided Design**. 1ª Edição. ed. New York: Petrocelli/Charter, 1977.

MITCHELL, W. J. **City of Bits: Space, Place and Infobahn**. 2ª edição. ed. Massachusetts: MIT Press, 1995.

MITCHELL, W. J. **A Lógica da Arquitetura: Projeto, Computação e Cognição**. Tradução de Gabriela CELANI. 1ª Edição. ed. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008.

MUCHINELLI, L. R. A. "Dilemas da conservação da Vila Operária da Gamboa no Rio de Janeiro: Proposta de intervenção física com a participação comunitária". **Docomomo**, 2009. Disponível em: <<http://www.docomomo.org.br/seminario%208%20pdfs/094.pdf>>. Acesso em: 18 Fevereiro 2011.

NBR 13531- Elaboração de Projetos de Edificações - Atividades Técnicas. ABNT. RIO DE JANEIRO, p. 10. 1995.

NBR 13532 - Elaboração de Projetos de Edificações - Arquitetura. ABNT. RIO DE JANEIRO, p. 8. 1995.

OPPENHEIM, A. N. **Questionnaire Design, Interviewing and Attitude**. 3°. ed. New York: Pinter, v. 01, 1992.

PAYNE, A.; ISSA, R. **Grasshopper: Primer**(for version 0.6.0007). 2ª Edição. ed. [S.I.]: Esse livro foi publicado digitalmente estando disponível em: <http://www.grashopper.rhino3d.com>., 2009.

SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural: materiais, execução da estrutura e controle tecnológico**. Brasília: CAIXA, 2003.

SASS, L.; RIVKA, O. Materializing Design: the implications of rapid prototyping in digital design. **Design Studies**, Londres, v. 27, n. 3, p. 325-355, Maio 2006.

SCHUMACHER, P. The Parametricist Manifesto. **The architects Newspaper**, Junho 2010. Disponível em: <http://www.archpaper.com/e-board_rev.asp?News_ID=4623>. Acesso em: 03 Julho 2010.

SEBESTA, R. W. **Programming Languages**. 3°. ed. Boston: Pearson Education, v. 01, 2013.

SENADO FEDERAL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 2007.

SHELDEN, D. R. **Digital Surface Representation and the Constructibility of Gehry's Architecture**. (2002) 340f. Tese (Doutorado em Ciência da Arquitetura). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts. 2002.

SHENG YU, H. **Parametric Architecture**. 127f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Arquitetura). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts. 2009.

SILVA, R.; AMORIM, L. Urbanismo paramétrico: emergência, limites e perspectivas de nova corrente de desenho urbano fundamentada em sistemas de desenho paramétrico. in: **VIRUS**, São Carlos: Nomads, USP, n. 3, ago. 2010. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus03/submitted/layout.php?item=2&lang=pt>>. Acesso em: 19 Agosto 2010.

SOLANO, R. S.; PICORAL, R. B. Orçamento: Indutor da qualidade dos projetos de edifícios. **Congresso Técnico Científico de Engenharia Civil**, Florianópolis, Abril 2006. 37-43.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9°. ed. Lancast: University of Lancaster, 2011.

STINY, G. Introduction to Shape and Shape Grammars. **Environment and Planning B**, v. 7, p. 343-351, 1980.

STINY, G.; GIPS, J. **Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture**. IFIP CONGRESS: Proceedings of Future. Amsterdam: C.V. Freimanp. 1972. p. 1460-1465.

STINY, G.; GIPS, J. **Algorithmic Aesthetics: Computer Models for Criticism and Design in The Arts**. 1ª edição. ed. Berkeley: University of California, 1978.

STINY, G.; MITCHELL, W. J. **The Palladian Grammar**. Environment and Planning B. [S.l.]: [s.n.]. 1978. p. 5-18.

- SUERMAN, P. C. **EVALUATING THE IMPACT OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) ON CONSTRUCTION**. FLÓRIDA: UNIVERSITY OF FLÓRIDA, 2009.
- SUTHERLAND, I. SKETCHPAD: A Man-Machine graphical Communication System, Proceedings of the AFIPS. **Joint Computer Conference**, Michigan, p. 329-346, Maio 1963.
- TAKASH, A. 3-D technology transforms design process." U.S. Army Engineering and. **<http://www.hq.usace.army.mil/cemp/milcontrans/bim.htm>** , JULHO 2007.
- TERZIDIS, K. **Computers and creative process**. Architectural Computing from Turing to 2000. Liverpool: eCAADe Conference Proceedings. 1999. p. 43-50.
- TERZIDIS, K. **Algorhmic Architecture**. 1ª Edição. ed. Oxford: Elsevier, 2006.
- WIRTH, L. **El Urbanismo como modo de vida**, 2005. Disponível em: <http://aprender.unb.br/file.php/143/Louis_Wirth.pdf>. Acesso em: 30 Setembro 2009.
- ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. 5ª Edição. ed. São Paulo: Martins Fontes, v. único, 1996.
- ZYMLER, B.; LA ROCQUE, G.; NEIVA, R. **Direito Administrativo**. 3 Edicao. ed. Brasília: Fortium Editora, 2007.