

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO

LUCAS ARAÚJO ARAÚJO

**ARQUITETURA DIGITAL:** Aplicação de Design Generativo na arquitetura

SÃO LUÍS

2024

**LUCAS ARAÚJO ARAÚJO**

**ARQUITETURA DIGITAL:**

Aplicação de Design Generativo na arquitetura

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado como requisito para  
obtenção do título de Bacharel em  
Arquitetura e Urbanismo, pela  
Universidade Estadual do Maranhão.

Orientador.: Prof. Dr. Igor Mendes  
Monteiro

SÃO LUÍS

2024

Araújo, Lucas Araújo.

Arquitetura digital: aplicação de design generativo na arquitetura.  
/ Lucas Araújo Araújo. – São Luís, 2024.

199 f.: il.

Monografia (Graduação) – Curso de Arquitetura e Urbanismo,  
Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Igor Mendes Monteiro.

1. Design generativo. 2. Design computacional. 3. Design paramétrico.  
Design algorítmico. 5. Arquitetura. I. Título.

CDU: 72.03:00042(812.1)



**ARQUITETURA DIGITAL: Aplicação de Design Generativo na Arquitetura**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, pela Universidade Estadual do Maranhão.

Orientador.: Prof. Dr. Igor Mendes Monteiro

Aprovado em: 04 / 09 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a): Prof. Dr. Igor Mendes Monteiro – Orientador



Documento assinado digitalmente  
ERICO PEIXOTO ARAUJO  
Data: 15/10/2024 10:42:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

1º Examinador (a): Prof. Dr. Érico Peixoto Araújo – 1º Examinador



Documento assinado digitalmente  
ANDREIA MESQUITA SANTOS MARQUES  
Data: 21/10/2024 21:14:25-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

2º Examinador (a): Prof.a Ma. Andréia Mesquita Santos Marques

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar, primeiramente, minha gratidão a Deus, pois reconheço que cada segundo da minha vida é fruto da sua permissão. Agradeço também à minha família, que sempre me apoiou nos momentos mais difíceis. À minha mãe, Elisiane, por buscar sempre a melhor educação e saúde que podia me oferecer; ao meu pai, Valtenir, por todo o esforço que fez por mim e pelo seu imenso carinho; à minha irmã, Luanna, por sua constante preocupação e cuidado comigo; e aos meus tios, primos, cunhado, padrinhos, madrinhas, sobrinho e sobrinha, por estarem ao meu lado e me darem o apoio necessário.

Meus sinceros agradecimentos também aos meus amigos, especialmente àqueles que mais me aconselharam e me acalmaram nos momentos de maior necessidade. Em particular, aos que me acompanham todos os dias no Discord, como Nagib Mouchrek, João Lucas e Charbel Mouchrek, agradeço à Lorena Santos por compartilhar as angústias dos trabalhos, a Gabriel Pimenta por ser a parceria que formei do curso, à Lara Barbosa por me incentivar e ajudar a concluir este trabalho, à Catalina Dörner por separar alguns momentos do seu tempo para me auxiliar, à Lula Patrícia por compartilhar as apreensões vividas durante esta etapa e, à Krislane Belfort por contribuir para a melhora da minha saúde mental.

Finalmente, agradeço à experiência na universidade, nos estágios e amigos que fiz por lá e, aos meus professores, pois sem eles, certamente, não teria chegado até aqui. A todos que, por ventura, eu tenha esquecido de mencionar, registro aqui meus mais sinceros agradecimentos. “Muito Obrigado!”

“A base de um arquiteto é saber sonhar”.

(Ricardo Legorreta)

## RESUMO

Com a evolução da tecnologia, os projetos de arquitetura que antes eram elaborados totalmente à mão, passaram a ser feitos de forma digital, através do uso do computador. O uso do computador, causou não só uma maior eficiência na elaboração de projetos mas também se tornou um forte aliado dos arquitetos ao oferecer diferentes ferramentas que são possíveis através do chamado Design Computacional, de onde se ramificam outros processos de Design: o Design Algorítmico, o Design Paramétrico e o Design Generativo. Este trabalho visa investigar a aplicação do Design Generativo na arquitetura, examinando sua evolução ao longo do tempo e sua significância no contexto contemporâneo. O trabalho se concentra na exploração do design generativo como uma ferramenta facilitadora do processo criativo arquitetônico. Para ilustrar essa abordagem, serão abordados exemplos de projetos que integraram com êxito o design generativo em suas fases de concepção. Como resultado deste estudo, pretende-se utilizar o Design Generativo em diferentes aplicações na elaboração de uma proposta para um Centro de Ciência e Tecnologia em São Luís.

**Palavras-chave** : Design Generativo, Design Computacional, Design Paramétrico, Design Algorítmico, Arquitetura.

## **ABSTRACT**

With technological advancements, architectural projects that were once entirely manually drafted are now created through digital means using computers. This shift has not only increased efficiency but also provided architects with powerful tools enabled by Computational Design, which includes Algorithmic Design, Parametric Design, and Generative Design. This study investigates the application of Generative Design in architecture, examining its evolution and significance in the contemporary context. It focuses on exploring Generative Design as a facilitator of the architectural creative process. To illustrate this approach, the study will present examples of projects that have successfully integrated Generative Design in their conceptual phases. The study aims to apply Generative Design in various contexts, culminating in a proposal for a Science and Technology Center in São Luís.

**Keywords :** Generative Design, Computational Design, Parametric Design, Parametric Design, Architecture.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - "A vida antes do AutoCAD".....	24
Figura 2 - Ivan Sutherland e o projeto Sketchpad.....	25
Figura 3 - Projeto da Space Shuttle em AutoCAD versão 2.18 em 1985.....	26
Figura 4 - Revit, um software que emprega a metodologia BIM.....	28
Figura 5 - Museu Guggenheim, de Frank Gehry, projetado "digitalmente".....	29
Figura 6 - Modelo experimental de Gaudí.....	32
Figura 7 - Um dos estudos realizados por Frei Otto.....	33
Figura 8 - Elementos de fachadas geradas por algoritmo.....	35
Figura 9 - Abu Abdullah Muhammad ibn Musa Al-Khwarizmi.....	36
Figura 10 - Fluxograma esquematizando o algoritmo de um mouse sobre a tela do navegador de internet.....	38
Figura 11 - Esquematização de uma shape grammar, lógica da gramática da forma à esquerda e lógica da aplicação de material à direita.....	40
Figura 12 - Regra que insere um "X" em um quadrado, aplicado em dois quadrados com escalas diferentes.....	41
Figura 13 - Variações de uma forma inicial a partir da variação de sua rotação e espelhamento.....	41
Figura 14 - Exemplo de vocabulário de formas.....	42
Figura 15 - Exemplo de uma relação espacial entre duas formas primitivas do vocabulário.....	42
Figura 16 - Regras de transformação no vocabulário.....	43
Figura 17 - Exemplo de gramática paramétrica: as regras definem as subdivisões sem definir a posição exata de sua inserção.....	44
Figura 18 - Gramática da forma com a utilização dos blocos de Froebel: com marcadores e pré-definida.....	45
Figura 19 - Gramática da cor: projeto de Wei-Cheng que utiliza cores para a redução da simetria dos blocos e adição de detalhes no projeto final.....	45
Figura 20 - Planta da Vila Malcontenta.....	46
Figura 21 - Planta sintetizada através da Shape Grammar.....	47
Figura 22 - Planta através da Shape Grammar.....	47

Figura 23 - Fachada de templo da ordem Toscana.....	49
Figura 24 - Centro Heydar Aliyev, Patrik Schumacher e Zaha Hadid.....	50
Figura 25 - Modelos tridimensionais de árvores gerada através de sistema - L.....	51
Figura 26 - Fluxo de Trabalho do Design Generativo.....	52
Figura 27 - Processo de Design generativo (Inspirar, gerar, explorar e fabricar).....	53
Figura 28 - Diagrama-síntese do Design Computacional.....	55
Figura 29 - Blocos na linguagem de programação visual Snap!, baseada em uma ferramenta de criar jogos chamada Scratch.....	56
Figura 30 - Gráficos de nós utilizados no Dynamo, um ambiente de programação visual inserido no programa Revit.....	58
Figura 31 - Interface de programação visual do Grasshopper.....	60
Figura 32 - Interface de programação visual do Dynamo.....	61
Figura 33 - Interface de programação visual do PARAM-O.....	61
Figura 34 - Interface do Galapagos no Grasshopper.....	63
Figura 35 - Gráficos gerados pelo Wallacei.....	65
Figura 36 - Métricas de avaliação do Projeto Rediscover da Autodesk.....	66
Figura 37 - Etapas do sistema geométrico do estudo.....	67
Figura 38 - Etapas 1,2 e3 do sistema geométrico do estudo.....	68
Figura 39 - Etapas 4, 5, 6, 7 e 8 do sistema geométrico do estudo.....	69
Figura 40 - Etapas finais do sistema geométrico do estudo.....	70
Figura 41 - Escritório da Autodesk em Toronto.....	71
Figura 42 - Galeria de Luca Giordano, no Palácio Médici.....	72
Figura 43 - Museu de Ciências e Tecnologia da PUC-RS.....	74
Figura 44 - O Cité des Sciences et de l'Industrie, tipicamente um Centro de Ciências, em Paris.....	75
Figura 45 - Exposições interativas no Museu do Amanhã, Rio de Janeiro.....	76
Figura 46 - Localização do Museu do Amanhã.....	78
Figura 47 - Corte transversal do Museu do Amanhã.....	79
Figura 48 - Corte longitudinal do Museu do Amanhã.....	79
Figura 49 - Museu do Amanhã, Santiago Calatrava.....	79
Figura 50 - Vista Explodida do Museu do Amanhã'.....	80
Figura 51 - Sistema de reaproveitamento das águas do Museu do Amanhã.....	81

Figura 52 - Fotografia do Museu de Arte Contemporânea de Niterói / Oscar Niemeyer.....	82
Figura 53 - Localização do município de Niterói.....	83
Figura 54 - Planta Baixa do Museu de Niterói (1° Piso).....	84
Figura 55 - Planta Baixa do Museu de Niterói (Subsolo).....	85
Figura 56 - Corte Esquemático do Museu de Niterói.....	85
Figura 57 - Localização de Incheon na Coréia do Sul.....	86
Figura 58 - Fachada do Museu de Incheon.....	87
Figura 59 - Planta em perspectiva (térreo) do Museu de Incheon.....	88
Figura 60 - Implantação do Museu de Incheon no lote.....	89
Figura 61 - Detalhes dos Elementos de Fachada do Museu de Incheon.....	89
Figura 62 - Detalhe da filtragem da luz nos elementos de fachada do Museu de Incheon.....	90
Figura 63 - Corte esquemático do Museu de Incheon.....	91
Figura 64 - Mapa da localização da cidade.....	92
Figura 65 - Região Metropolitana de São Luís//.....	93
Figura 66- Localização do terreno no bairro Calhau.....	93
Figura 67 - Localização do terreno no bairro Calhau.....	94
Figura 68 - Topografia do terreno.....	95
Figura 69 - Estudo de insolação e ventilação.....	96
Figura 70 - Estudo de hierarquia viária.....	97
Figura 71 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	98
Figura 72 - Índices urbanísticos do Corredor Secundário 8.....	98
Figura 73 - Programa de necessidades e pré-dimensionamento do projeto.....	100
Figura 74 - Abrindo o Rhinoceros.....	102
Figura 75 - Área de Trabalho do Rhinoceros.....	103
Figura 76- Ícone do Grasshopper no Rhinoceros.....	104
Figura 77 - Área de Trabalho do Grasshopper.....	105
Figura 78 - Tela do Grasshopper ao abrir.....	105
Figura 79 - Tela de Display do Grasshopper.....	107
Figura 80 - Inserindo componentes no Grasshopper.....	107
Figura 81 - Componente “Line”.....	108

Figura 82 - Estados dos componentes.....	108
Figura 83 - Componentes Points e Line.....	109
Figura 84 - Referenciando um ponto no Grasshopper.....	110
Figura 85 - Ponto de início e ponto de fim no Rhinoceros.....	110
Figura 86 - Componente Line selecionada no Grasshopper (à esquerda) e resultado destacado em verde no Rhinoceros (À direita).....	111
Figura 87 - Componentes Move e Construct Point.....	112
Figura 88 - Componentes Move e Construct Point.....	112
Figura 89 - Configurações do Number Slider.....	113
Figura 90 - Componente Loft.....	113
Figura 91 - Face criada pelo componente Loft.....	114
Figura 92 - Componente Extrude.....	114
Figura 93 - Parede paramétrica no Grasshopper.....	115
Figura 94 - Ação “Bake”.....	115
Figura 95 - Escolhendo um layer para o “Bake”.....	116
Figura 96 - Objeto “baked” no Rhinoceros.....	116
Figura 97 - Pré-visualização do Grasshopper.....	117
Figura 98 - Desativando pré-visualização no Grasshopper.....	118
Figura 99 - Componentes ocultados.....	118
Figura 100 - Desativando um componente.....	119
Figura 101 - Código quebrado.....	119
Figura 102 - Programação “quebrada” no Rhinoceros.....	120
Figura 103 - Agrupando componentes no Grasshopper.....	120
Figura 104 - Opções de grupo no Grasshopper.....	121
Figura 105 - Criando um cluster no Grasshopper.....	121
Figura 106 - Visualizando um cluster no Grasshopper.....	122
Figura 107 - Valor de saída convertido para Number.....	123
Figura 108 - Download da extensão “Pufferfish” para o Grasshopper no site “Food4Rhino”.....	124
Figura 109 - Arquivos compactados do Pufferfish.....	124
Figura 110 - Acessando a pasta de componentes do Grasshopper.....	125
Figura 111 - Arquivos Pufferfish na pasta Libraries do Grasshopper.....	125

Figura 112 - Arquivos GHUser do Pufferfish na pasta UserObjects.....	126
Figura 113 - Novos componentes adicionados pelo Pufferfish.....	127
Figura 114 - Localização do Galapagos no Grasshopper.....	128
Figura 115 - Conectando componentes no Galapagos.....	129
Figura 116 - Genomas (em roxo) e Fitness (em verde).....	129
Figura 117 - Linha e ponto no Rhinoceros.....	130
Figura 118 - Interface “Options” do Galapagos.....	131
Figura 119 - Interface “Solvers” do Galapagos.....	131
Figura 120 - Resultados do Galapagos.....	132
Figura 121 - Visualização de variação no Galapagos no Rhinoceros (à direita).....	133
Figura 122 - MAGNETIZING FLOOR PLAN GENERATOR no site “FoodForRhino” .....	134
Figura 123 - Seção de downloads da extensão e do arquivo modelo.....	135
Figura 124 - Tela de aviso de extensão ausente no Grasshopper.....	136
Figura 125 - Placeholder (em branco) mostrando componente ausente no Grasshopper.....	136
Figura 126 - Placeholder substituído pelo componente “Define Text Dot”.....	137
Figura 127 - Componente “House Instance”.....	137
Figura 128 - Representação da tela do Rhinoceros, com o perímetro em verde e o ponto de entrada representado por um “X”.....	138
Figura 129 - Somatório de ambientes do setor social no térreo.....	139
Figura 130 - Destaque da “RoomInstance” do setor Social.....	139
Figura 131 - Fluxograma definindo setores e conexões no térreo.....	140
Figura 132 - Componente "MagnetizingRoomsES".....	140
Figura 133 - Opções de Corredor no Componente “MagnetizingRooms_ES”.....	141
Figura 134 - Componente “Spring_System_ES”.....	142
Figura 135 - Opção de setorização formada pelo algoritmo na tela do Rhinoceros	142
Figura 136 - Fluxograma do setor social no térreo.....	143
Figura 137 - Variações de resultados para o setor social do térreo.....	144
Figura 138 - Possibilidade escolhida para ser trabalhada.....	144
Figura 139 - Continuidade da planta baixa no Revit.....	145
Figura 140 - Página do Rhino.Inside.Revit versão 1.0.....	147

Figura 141 - Instalador do Rhino.Inside.Revit versão 1.0.....	147
Figura 142 - Árvores gigantes no Supertree Grove, bosque artificial em Cingapura .....	148
Figura 143 - Estruturas paramétricas no Grasshopper.....	149
Figura 144 - Parâmetros (acima) e variações da estrutura (abaixo).....	149
Figura 145 - Área externa da cafeteria no Revit.....	150
Figura 146 - Aba do Rhino.Inside.....	151
Figura 147 - Botões do Rhino.Inside.....	151
Figura 148 - Componentes de elementos do Revit no Grasshopper.....	152
Figura 149 - Componente Elemente Geometry.....	153
Figura 150 - Componentes de criação de elementos do Revit no Grasshopper.....	153
Figura 151 - Componentes de elementos do Revit no Grasshopper.....	154
Figura 152 - Geometria criada no Revit.....	155
Figura 153 - Cópias da estrutura.....	155
Figura 154 - Projeções das estruturas.....	156
Figura 155 - Área que se desejava minimizar (em verde).....	156
Figura 156 - Valor da área a ser minimizada.....	157
Figura 157 - Genomas e Fitness das estruturas.....	158
Figura 158 - Minimizando o fitness das estruturas.....	158
Figura 159 - Gerações pelo Galapagos.....	159
Figura 160 - Geração escolhida na tela do Rhinoceros.....	159
Figura 161 - Cobertura finalizada com Grasshopper e Rhinoceros.....	160
Figura 162 - Bake nas estruturas.....	160
Figura 163 - Cobertura finalizada com Grasshopper e Rhinoceros.....	161
Figura 164 - Estrutura dentro do Revit.....	161
Figura 165 - Bake no Revit.....	162
Figura 166 - Categoria dos elementos criados no Revit.....	162
Figura 167 - Geometria criada no Revit.....	163
Figura 168 - Secretaria isolada no Revit.....	164
Figura 169 - Tipos de estudos de Design Generativo no Revit.....	165
Figura 170 - Estudo Posicionamento de objetos no Revit.....	166
Figura 171 - Fazendo a seleção dos objetos no Revit.....	167

Figura 172 - Tela de resultados do estudo no Revit.....	167
Figura 173 - Estudo escolhido (à esquerda) e objetos criados no Revit (à direita)..	168
Figura 174 - Programação visual do estudo no Dynamo.....	169
Figura 175 - Layout final da secretaria após ajustes manuais.....	169
Figura 176 - Instalando Ladybug Tool no Grasshopper.....	170
Figura 177 - Instalador do OpenStudio.....	171
Figura 178 - Isolando a geometria em novo arquivo Revit.....	172
Figura 179 - Transportando as paredes do Revit para o Grasshopper.....	172
Figura 180 - Geometria das paredes transportadas para o Rhinoceros.....	173
Figura 181 - Parâmetros dos brises.....	174
Figura 182 - Geometria dos brises.....	174
Figura 183 - Estudo de incidência de luz solar do Ladybug Tools.....	175
Figura 184 - Aberturas da geometria.....	175
Figura 185 - Componente de geometria das aberturas.....	176
Figura 186 - Volume do ambiente.....	176
Figura 187 - Conectando o volume da geometria ao componente.....	177
Figura 188 - Conectando as geometrias dos brises.....	177
Figura 189 - Estudo de incidência de luz solar na tela do Rhinoceros.....	178
Figura 190 - Obtendo o maior valor de saída do estudo.....	179
Figura 191 - Genomas e Fitness dos brises.....	179
Figura 192 - Resultados e variações no Galapagos.....	180
Figura 193 - Resultados da seleção do Galapagos.....	181
Figura 194 - Conectando o volume da geometria ao componente.....	181
Figura 195 - Brises transportados para o Revit.....	182
Figura 196 - Planta de implantação.....	183
Figura 197 - Conectando as geometrias dos brises.....	185
Figura 198 - Planta baixa do térreo.....	185
Figura 199 - Setorização do 1º Andar.....	187
Figura 200 - Planta baixa do 1º andar.....	187
Figura 201 - Setorização do subsolo.....	188
Figura 202 - Planta baixa do Subsolo.....	189
Figura 203 - Corte Longitudinal do Projeto.....	190

Figura 204 - Corte Transversal do Projeto.....	190
Figura 205 - Fachada Leste.....	191
Figura 206 - Fachada Norte.....	191
Figura 207 - Perspectiva 1.....	192
Figura 208 - Perspectiva 2.....	193
Figura 209 - Perspectiva 3.....	193

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ZR	Zona Residencial
CS	Corredor Secundário
CAD	Computer – Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
BIM	Building Information Modeling (Modelagem de Informação da Construção)
GD	Generative Design (Design Generativo)
AAD	Algorithm-Aided Design (Desenho Assistido por Algoritmo)
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
MIT	Massachusetts Institute of Technology (Instituto de Tecnologia de Massachusetts)
PhD	Philosophy Doctor (Doutor em Filosofia)
BDS	Building Description System (Sistema de Descrição da Construção)
IA	Inteligência Artificial
VPL	Visual Programming Language (Linguagem de Programação Visual)
NURBS	Non Uniform Rational Basis Spline
GDL	Geometric Description Language (Linguagem de Descrição Geométrica)
AE	Algoritmos Evolutivos
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
MCT	Museu de Ciência e Tecnologias
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

ICOM	International Council of Museums (Conselho Internacional de Museus)
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
MAC	Museu de Arte Contemporânea de Niterói

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>1.1. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>22</b>
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	22
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>1.3. METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. UMA ABORDAGEM ACERCA DA EVOLUÇÃO DAS FERRAMENTAS DE PROJETAÇÃO ARQUITETÔNICA.....</b>	<b>24</b>
2.1.1. DO PAPEL AO DIGITAL.....	24
2.1.2. O DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR (CAD).....	25
2.1.3. A METODOLOGIA BIM.....	27
2.1.4. A ARQUITETURA DIGITAL.....	29
<b>2.2. DESIGN COMPUTACIONAL.....</b>	<b>31</b>
2.2.1. DESIGN COMPUTACIONAL X DESIGN DIGITAL.....	31
2.2.2. O USO DO DESIGN COMPUTACIONAL NA ARQUITETURA.....	31
2.2.3. DESIGN ALGORÍTMICO.....	34
2.2.4. ALGORITMO.....	35
2.2.5. ARQUITETURA ALGORÍTMICA.....	38
2.2.6. GRAMÁTICA DA FORMA.....	39
2.2.6.1. ORIGEM E CONCEITO DA GRAMÁTICA DA FORMA.....	39
2.2.6.2. ELEMENTOS DE UMA GRAMÁTICA DA FORMA.....	41
2.2.6.3. TIPOS DE GRAMÁTICA DA FORMA.....	43
2.2.6.4. APLICAÇÕES DA GRAMÁTICA DA FORMA.....	46
2.2.7. DESIGN PARAMÉTRICO.....	48
2.2.8. DESIGN GENERATIVO.....	50
2.2.9. SÍNTESE DO DESIGN COMPUTACIONAL.....	54
<b>2.3. FERRAMENTAS DE DESIGN GENERATIVO.....</b>	<b>55</b>
2.3.1. PROGRAMAÇÃO TRADICIONAL E PROGRAMAÇÃO VISUAL.....	55
2.3.2. TIPOS DE LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO VISUAL.....	57

2.3.3. SOFTWARES DE DESIGN GENERATIVO.....	59
2.3.4. ALGORITMO EVOLUTIVO.....	62
<b>3. ESTUDO DE CASO: PROJETO <i>REDISCOVER</i> E <i>DESIGN</i> GENERATIVO NO ESCRITÓRIO DA <i>AUTODESK</i> EM TORONTO.....</b>	<b>65</b>
3.1. O PROJETO <i>REDISCOVER</i> DA <i>AUTODESK</i> .....	65
3.1.1. AS ETAPAS DO SISTEMA GEOMÉTRICO.....	68
3.1.2. O SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO PROJETO <i>REDISCOVER</i> .....	70
<b>4. MUSEU DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA.....</b>	<b>71</b>
4.1. SOBRE MUSEUS.....	71
4.2. MUSEU DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA X CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA.....	73
4.3. A INTERATIVIDADE EM MUSEUS.....	75
<b>5. REFERÊNCIAS PROJETUAIS.....</b>	<b>77</b>
5.1. MUSEU DO AMANHÃ.....	77
5.2. MUSEU OSCAR NIEMEYER.....	82
5.3. MUSEU DE CIÊNCIA PARA CRIANÇAS DE INCHEON.....	86
<b>6. PROPOSIÇÃO PROJETUAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>91</b>
6.1. CONDICIONANTES PROJETUAIS.....	91
6.2. CONTEXTUALIZANDO A ÁREA.....	92
6.3. O TERRENO.....	93
6.4. TOPOGRAFIA.....	94
6.5. ESTUDO DE VENTILAÇÃO E INSOLAÇÃO.....	95
6.6. ESTUDO DE HIERARQUIA VIÁRIA.....	96
6.7. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	97
6.8. PROGRAMA DE NECESSIDADES E PRÉ-DIMENSIONAMENTO.....	99
6.9. PARTIDO ARQUITETÔNICO.....	100
6.10. TRABALHANDO COM <i>RHINOCEROS</i> E <i>GRASSHOPPER</i> .....	101
6.10.1. INSTALAÇÃO.....	101
6.10.2. INTERFACE DO <i>RHINOCEROS</i> 8.....	102
6.10.3. ACESSANDO O <i>GRASSHOPPER</i> .....	104
<b>6.10.4. TRABALHANDO COM COMPONENTES.....</b>	<b>106</b>
6.10.5. BAKING.....	115

6.10.6. OUTRAS AÇÕES IMPORTANTES NO GRASSHOPPER.....	116
6.10.7. ADICIONANDO EXTENSÕES AO <i>GRASSHOPPER</i> .....	123
6.10.8. COMPONENTE <i>GALAPAGOS</i> .....	127
<b>6.11. APLICAÇÃO DO DESIGN GENERATIVO NO PROJETO.....</b>	<b>133</b>
6.11.1. SETORIZAÇÃO UTILIZANDO GRASSHOPPER E ALGORITMO “ <i>MAGNETIZING FLOOR PLAN GENERATOR</i> ”.....	134
6.11.2. COBERTURA OTIMIZADA POR ALGORITMO EVOLUTIVO NO GRASSHOPPER.....	146
6.11.3. OTIMIZANDO LAYOUT DA SECRETARIA COM <i>REVIT</i> .....	163
6.11.4. OTIMIZANDO BRISES COM ALGORITMO EVOLUTIVO E ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR.....	170
<b>6.12. REPRESENTAÇÕES DO PROJETO.....</b>	<b>182</b>
6.12.1. IMPLANTAÇÃO.....	182
6.12.2. TÉRREO.....	184
6.12.3. 1º ANDAR.....	186
6.12.4. SUBSOLO.....	187
6.12.5. CORTES.....	189
6.12.6. ELEVAÇÕES.....	190
<b>6.13. PERSPECTIVAS.....</b>	<b>192</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>194</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>195</b>
<b>APÊNDICE 1 – CÓDIGO DAS ESTRUTURAS DE ÁRVORES DA COBERTURA</b>	<b>201</b>
<b>APÊNDICE 2 – CÓDIGO DOS BRISES.....</b>	<b>202</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção arquitetônica, por muitos anos, manteve-se atrelada a métodos tradicionais, empregando o desenho manual em papel como ferramenta primordial para o desenvolvimento de todas as etapas do projeto. Entretanto, ao longo do século passado, testemunhou-se uma transição significativa, com a adoção do desenho assistido por computador (CAD) e a introdução do conceito de *Building Information Modeling* (BIM), refletindo a incessante busca por inovação no campo do *design* arquitetônico.

Mais atualmente, uma revolução foi impulsionada pela difusão dos algoritmos generativos e pela integração da inteligência artificial. A incorporação desses algoritmos em programas dedicados à produção arquitetônica possibilita a criação de modelagens paramétricas ou generativas, capacitando profissionais a gerar resultados eficientes em todas as fases do projeto por meio de comandos simples do usuário.

No entanto, apesar dessas inovações, muitos escritórios ainda resistem em adotar plenamente processos digitais mais avançados, como o design generativo e a automação de tarefas repetitivas, perdendo a oportunidade de agilizar significativamente suas operações. A dificuldade em se adaptar a novas ferramentas, a falta de treinamento e o apego aos métodos tradicionais acabam perpetuando fluxos de trabalho que poderiam ser otimizados, limitando a exploração de soluções criativas e aumentando o tempo gasto em tarefas mecânicas. Ao não aproveitar esses recursos, muitos profissionais continuam a enfrentar desafios em termos de produtividade e eficiência, que poderiam ser resolvidos com a incorporação dessas novas tecnologias no cotidiano do projeto.

No contexto arquitetônico contemporâneo, o design generativo surge como uma ferramenta transformadora no processo de concepção. Este estudo, intitulado "Arquitetura Digital: Aplicação de Design Generativo na Arquitetura", propõe uma investigação sobre a aplicação dessas tecnologias inovadoras na criação de espaços arquitetônicos.

O objetivo central desta pesquisa é explorar as potencialidades das ferramentas de Design Generativo no estudo preliminar de um centro de Ciência e Tecnologia para São Luís. A pesquisa buscará analisar e compreender os

princípios fundamentais do design generativo na arquitetura, explorar as ferramentas e técnicas disponíveis para a aplicação dessas metodologias no projeto arquitetônico, e avaliar as vantagens, desafios e potenciais limitações dessas abordagens na criação de espaços arquitetônicos funcionais e inovadores.

A metodologia adotada incluirá uma fundamentação teórica acerca dos conceitos abordados pelo tema, trazendo casos que utilizaram ferramentas de design generativo no processo de projeto, além da exploração prática de ferramentas que possibilitem a aplicação de design generativo e paramétrico em estudos preliminares. A análise dos resultados obtidos por meio da combinação de parâmetros adotados com o uso dessas ferramentas, em conjunto com a elaboração de uma proposta arquitetônica para um Museu de Ciência e Tecnologia, contribuirá para uma compreensão do potencial e das implicações dessas tecnologias na produção arquitetônica contemporânea.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

A escolha de explorar o design generativo na arquitetura se fundamenta na necessidade de incorporar abordagens inovadoras ao processo criativo, tendo o computador como ferramenta essencial de trabalho. O design generativo proporciona uma nova maneira de pensar o projeto arquitetônico, permitindo a rápida criação de diferentes soluções complexas e adaptáveis para um determinado problema.

Além disso, a escolha de fazer uma proposta de um Museu de Ciência e Tecnologia, que não apenas serve como um espaço educacional e cultural, mas também como um centro de disseminação do conhecimento, incentivando a curiosidade e o interesse pela ciência e por tecnologia.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

Explorar as ferramentas de design generativo a fim de se elaborar um projeto arquitetônico de um Museu de Ciência e Tecnologia para São Luís.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compreender os princípios fundamentais do design generativo e uso de inteligência artificial na arquitetura;
- Aplicar o uso de design generativo utilizando as ferramentas e técnicas disponíveis para a aplicação dessas metodologias no projeto arquitetônico;
- Registrar as soluções de design generativo utilizadas, assim como as vantagens, desafios e potenciais limitações dessas abordagens na criação de projetos arquitetônicos.

### **1.3. METODOLOGIA**

Os métodos a serem aplicados no desenvolvimento deste trabalho se dividem nas seguintes etapas:

- Fundamentação Teórica;
- Estudos de casos em que se utilizou ferramentas de design generativo no processo de projeto;
- Exploração de ferramentas de design generativo no estudo preliminar do projeto e outras potenciais aplicações;
- Análise de resultados obtidos através de combinações de parâmetros adotados com a utilização das ferramentas;
- Estudo de viabilidade do projeto;
- Elaboração do projeto arquitetônico do Museu de Ciência e Tecnologia.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. UMA ABORDAGEM ACERCA DA EVOLUÇÃO DAS FERRAMENTAS DE PROJETAÇÃO ARQUITETÔNICA

Antes de explorar os conceitos de Design Computacional e Design Generativo, é importante entender como o uso do computador transformou a criação de projetos arquitetônicos. Este capítulo oferece uma visão histórica sobre a evolução das ferramentas de projeto e a introdução do computador nesse processo.

#### 2.1.1. DO PAPEL AO DIGITAL

De acordo com Tovar (2023), o desenho, para a arquitetura, é uma expressão técnica e artística que permite representar visualmente o projeto a ser criado. Apesar de muito importante até hoje, esforços têm sido feitos para se produzir tais representações de forma mais eficiente.

A forma de conceber e desenvolver as etapas de projeto arquitetônico sofreram notáveis alterações ao longo do tempo, mais recentemente, o computador se tornou uma ferramenta indispensável ao arquiteto, retirando cada vez mais o lugar das antigas pranchetas de desenho.

Figura 1 - "A vida antes do AutoCAD"



Fonte: Engenharia360<sup>1</sup>

---

1 Disponível em: <[https://web.ist.utl.pt/antonio.menezes.leitao/ADA/documents/publications\\_docs/2016\\_DesignGenerativoParaBuildingInformationModelling.pdf](https://web.ist.utl.pt/antonio.menezes.leitao/ADA/documents/publications_docs/2016_DesignGenerativoParaBuildingInformationModelling.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2024.

De acordo com Korqa (2015), o início do desenho assistido por computador (CAD) pode ser traçado a partir de 1950, quando o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) iniciou a discussão sobre a criação deste tipo de ferramenta. Em 1957 o Dr. Patrick Hanratty desenvolveu o “PRONTO”, considerado um dos primeiros sistemas CAD.

Em 1963 (MINEIRO; MAGALHÃES, 2019), Ivan Sutherland apresenta como parte de seu projeto de PhD no MIT (Massachusetts Institute of Technology), o *Sketchpad*: através desta ferramenta, já era possível tratar os desenhos como objetos diferentes e manipulá-los.

O *Sketchpad* então, representava uma alternativa ao desenho no papel, e era, fundamentalmente uma ferramenta de desenho muito similar ao processo analógico. Alguns autores como Reas e McWilliams o chamaram como “uma maneira fundamentalmente nova de se fazer design” (2010, p.29 apud Mineiro e Magalhães, 2019, p. 8)

Figura 2 - Ivan Sutherland e o projeto Sketchpad



Fonte: *Computer History Museum*<sup>2</sup>

### 2.1.2. O DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR (CAD)

Na década de 70, os softwares CAD finalmente migraram para o uso comercial, e o mais famoso programa CAD 2D desta época foi o CADAM

---

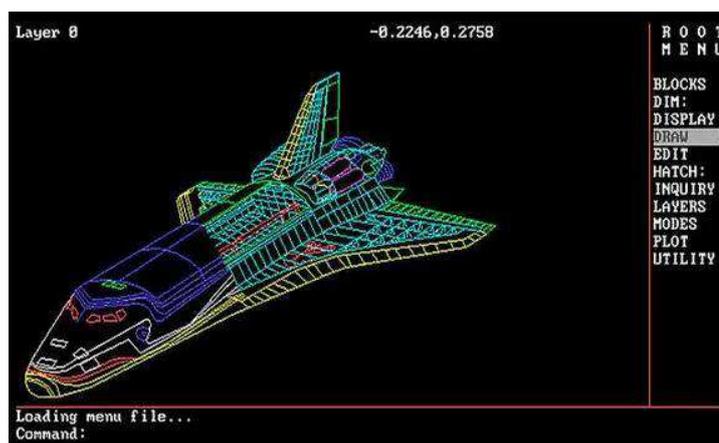
2 Disponível em: <<https://www.computerhistory.org/t dih/january/7/>>. Acesso em: 19 mar. 2024.

(desenvolvido pela companhia aeroespacial Lockheed). Então, em 1977 eles começaram a desenvolver um software chamado CATIA, que funciona até os dias de hoje (KORQA, 2015).

Ainda na década de 70 houveram maiores avanços nos softwares CAD, especialmente pelo fato do poder de processamento dos computadores estarem avançando de forma notável assim como seus preços diminuindo, possibilitando a aquisição até por pequenas empresas. Ainda de acordo com Korqa (2015), com o surgimento dos computadores de uso pessoal (*Personal Computer*) finalmente da década de 80, a empresa Autodesk cria também o Autocad em 1982.

Segundo Pentilla (2006, apud NARDELLI, 2021, p. 34) os anos 80 a 85 são os últimos momentos do projeto tradicional, tendo os anos 90 como a era em que o CAD, ao surgir e se desenvolver, daria lugar aos antigos métodos de projetar. De acordo com FERREIRA e LEITÃO (2016), com o surgimento das tecnologias CAD (*Computer – Aided Design*, Projeto Assistido por Computador em português), houve uma maior eficiência por parte dos arquitetos ao elaborar as tarefas de design de seus modelos. Porém, estas ferramentas ainda demonstraram ser pouco flexíveis quando se desejava trabalhar com geometrias mais complexas.

Figura 3 - Projeto da Space Shuttle em AutoCAD versão 2.18 em 1985



Fonte: Prototipagem Digital<sup>3</sup>

De fato, os *softwares* CAD já representam uma enorme evolução em relação à forma tradicional de se projetar utilizando a prancheta de desenho, oferecendo

3 Disponível em: <<https://prototipagemdigital.wordpress.com/2012/02/08/30-anos-autodesk-e-sua-historia/>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

uma maior facilidade de corrigir erros, uma maior automação de diversas tarefas que no fim trazem uma enorme praticidade à vida do projetista.

### **2.1.3. A METODOLOGIA BIM**

Na década de 70, o educador Charles Eastman criou a metodologia *Building Description System* – BDS ou Sistema de Descrição da Construção, que promoveu diversas discussões em busca de novas tecnologias na área da construção. Assim, em 1986 foi empregado, pela primeira vez, o termo Building Information Modeling – BIM, em português, Modelagem da Informação da Construção (Conceito BIM, 2024).

Segundo Pentilla (2006, apud NARDELLI, 2021, p. 34), com a difusão da *internet*, destacando o período de 2000 a 2005, a possibilidade de trabalho colaborativo à distância começou a se tornar mais acessível, é neste contexto que a tecnologia *BIM – Building Information Modeling* emerge, permitindo vincular atributos aos objetos, viabilizando o gerenciamento do projeto em diversos níveis de informação, permitindo desde a extração automática de cortes e elevações até a geração de planilhas, tendo todas as informações se atualizando ao mesmo tempo em que se alterava qualquer informação no projeto.

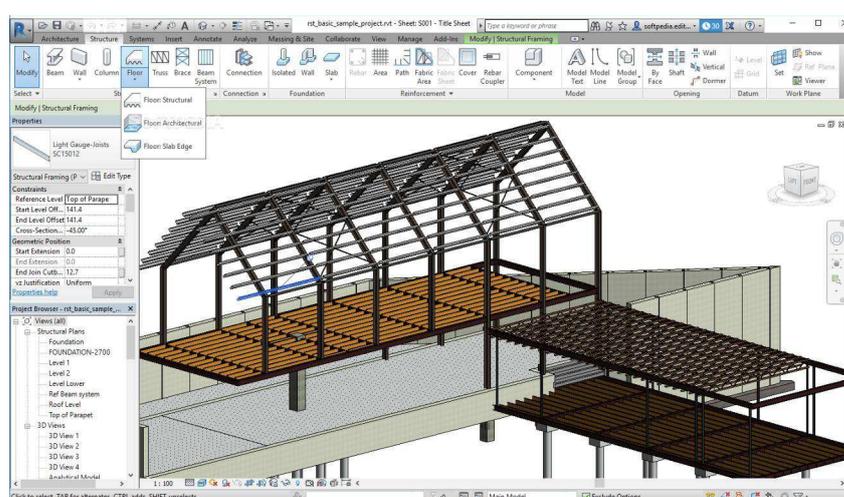
Consequentemente, enquanto o CAD foi gradualmente substituindo a forma tradicional de se projetar no papel, o BIM começa a tomar lugar do CAD, trazendo ainda mais eficiência e praticidade à vida do arquiteto, que cada vez mais pode abrir mão do dispendioso trabalho de lidar com o desenho de formas muito complexas e focar sua atenção à outros detalhes do projeto.

Isso porque, a metodologia BIM se beneficia bastante da parametrização, o que, segundo Xavier *et al.* (2023), permite ao usuário exercer diversas combinações sem a necessidade de reconstrução de todo o processo. A parametrização consiste em alterar a modelagem e características de um componente do projeto através de variáveis, que são denominadas como parâmetros, de onde se origina o nome.

No BIM, as entidades geométricas normalmente usadas nas ferramentas CAD são substituídas pelos elementos de construção que representam, com seus atributos físicos e relacionamentos correspondentes. Esses elementos são

tipicamente agrupados em famílias paramétricas, onde suas variações são ditadas por sua lógica construtiva. A lógica organizacional desse paradigma facilita a tarefa de modelagem, fornecendo os detalhes de representação necessários para cada elemento de construção e facilita as mudanças no modelo, garantindo a consistência nos elementos modelados, reduzindo assim os custos do projeto ao longo do caminho (CASTELO-BRANCO; CAETANO; LEITÃO, 2022) .

Figura 4 - Revit, um software que emprega a metodologia BIM.



FONTE: Mais Engenharia<sup>4</sup>

O BIM se trata de mais do que apenas uma ferramenta de projeção, mas também possibilita o trabalho colaborativo, eficiência energética, análises de programa e fabricação. Por fim, importa ressaltar que a metodologia BIM está em constante desenvolvimento. Além disso, destaca-se o aumento do número de países que vem adotando, como obrigatório, o uso desta metodologia na indústria da construção (Conceito BIM, 2024).

#### 2.1.4. A ARQUITETURA DIGITAL

Como afirma NARDELLI (2021), a evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) trouxe uma série de novos recursos e possibilidades inéditas à disposição dos arquitetos. O surgimento de uma “Arquitetura Digital” trouxe consigo

4 Disponível em: <<https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/software-bim-veja-quais-sao-as-plataformas-disponiveis-no-mercado/>>. Acesso em: 10 abr. 2024.

uma metodologia inusitada até então, baseada num corpo teórico exclusivo, apoiado nessas novas tecnologias e capaz de produzir uma nova categoria de objetos.

Certamente essas novas tecnologias que surgiram ao longo das décadas tornaram cada vez mais o arquiteto livre para pensar nas diversas possibilidades do projeto, reduzindo o trabalho cansativo de representar formas complexas e possibilitando uma maior facilidade e rapidez em se gerar diversas possibilidades de estudo projetual.

Essa Arquitetura Digital já traz um novo conceito de concepção projetual, que libertaram os arquitetos dos tradicionais conceitos de representação num espaço estático que é o papel, tornando todo esse processo muito mais dinâmico e interativo com quem faz uso dela, conforme NARDELLI (2021). Um bom exemplo dessa forma de projetar, é o Museu Guggenheim, pelo arquiteto Frank Gehry (Figura 5), demonstrando em sua própria forma uma liberdade maior do uso de formas.

Figura 5 - Museu Guggenheim, de Frank Gehry, projetado “digitalmente”



Fonte: NARDELLI (2021, p. 31)

Uma afirmação de Mitchel (2005 apud NARDELLI ,2021, p. 30), é de que, enquanto a arquitetura tradicional consistia em materializar os desenhos realizados sobre o papel, a arquitetura contemporânea seria a materialização das técnicas digitais que permitem a concepção de objetos com alto nível de complexidade.

Percebe-se então, que as inovações tecnológicas a favor da praticidade e eficiência causaram uma enorme mudança na forma de projetar arquitetura. Pois tornou-se cada vez mais indispensável o uso do computador e das novas tecnologias voltadas à tal uso, passando de um processo totalmente analógico para um mais digital.

Como afirmam Mineiro e Magalhães (2019), o CAD, embora ainda muito difundido e utilizado em etapas mais avançadas de projeto, ainda representa um “gargalo” para a fabricação digital, em especial para tecnologias de impressão que permitem uma maior liberdade de formas.

Com o desenvolvimento de formas cada vez mais complexas e as demandas de design para a atualidade, os softwares CAD tornaram-se cada vez mais arcaicos para a realização de tais tarefas, tendo a metodologia BIM como uma alternativa mais prática e assertiva, utilizando uma abordagem paramétrica. Além disso, o uso dessa ferramenta em conjunto com ferramentas “generativas” trouxe muito mais praticidade e eficiência para a elaboração de determinados projetos arquitetônicos.

Diante deste cenário, as práticas de design paramétrico e generativo despontam como alternativas para lidar melhor com essa liberdade formal de produção, uma vez que possuem um suporte muito maior para lidar com a criação de geometrias complexas e formas avançadas (MINEIRO e MAGALHÃES, 2019)

Como Mineiro e Magalhães (2019) afirmam, proposições recentes preveem um deslocamento do trabalho em CAD para o AAD (*Algorithm Aided Design*), que, em síntese, o *designer* passaria a trabalhar com o algoritmo, uma espécie de fórmula matemática entendida pelo computador eletrônico, gerador do desenho, sendo esses algoritmos os objetos a serem manipulados pelo projetista

As formas mais difundidas dessas práticas mais avançadas, como afirma Mineiro e Magalhães (2019), são conhecidas como design paramétrico ou design generativo. Estão se tornando cada vez mais comuns e necessárias para o arquiteto.

## **2.2. DESIGN COMPUTACIONAL**

Neste capítulo, serão tratados os conceitos de Design Computacional e suas vertentes: Design Algorítmico, Design Paramétrico e finalmente o Design Generativo. Todos estes conceitos se comunicam, tendo em comum a utilização de regras lógicas para se criar algum projeto.

### **2.2.1. DESIGN COMPUTACIONAL X DESIGN DIGITAL**

Caetano *et al.* (2019, p. 289) descreve o Design Computacional como “o uso de computação para desenvolver projetos”, enquanto o Design Digital seria “o uso de ferramentas computacionais para desenvolver projetos”. Computar algo significa calcular, determinar algo por meio de lógica matemática. Inclusive, Therzidis (2003 p. 65-73. apud Henrique, 2016 p. 12) ainda a difere do que chama de computorização: ato de entrada, processamento ou armazenamento de informações num computador ou sistema computacional. Computorização diz respeito à automatização, mecanização, digitalização e conversão.

A computação pode ser totalmente analógica, ou seja, sem realmente haver o uso de um computador, outros elementos podem computar ou, utilizando seu sinônimo, “calcular” algum resultado desejado. Já a computorização, neste caso, seria algo totalmente digital, envolvendo o uso do computador.

### **2.2.2. O USO DO DESIGN COMPUTACIONAL NA ARQUITETURA**

Hoje, a necessidade de realizar experimentos e testes físicos com modelos é colocada em questão com a capacidade de usar o computador como ferramenta de otimização e forma de buscar novas formas. Porém, entra em debate o quanto o computador seria essencial nesse processo, que pode ser ratificado nesta afirmação de Frei Otto:

*"O computador só pode calcular o que já está conceitualmente dentro dele; Você só pode encontrar o que procura em computadores. No entanto, você pode encontrar o que não pesquisou com experimentação gratuita." (OTTO s.d., apud YUNIS, 2015)*

Um importante nome que se pode citar por fazer uso da computação analógica é Gaudí (ALMEIDA e LAISSANCE, 2008), para projetar a Igreja Sagrada Família, ainda no século XIX, utilizou correntes em que se prendia suas pontas a uma superfície e, depois que se virava de ponta-cabeça e as correntes ficavam estáveis, Gaudí copiava a forma criada.

Figura 6 - Modelo experimental de Gaudí



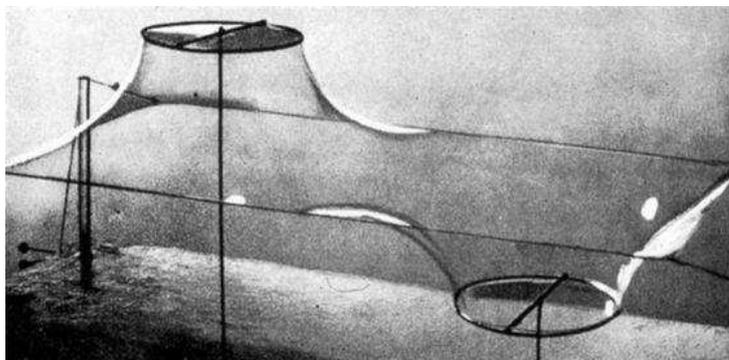
Fonte: Membrana Paramétrica<sup>5</sup> (2019)

Outro importante nome a se citar que fez extenso uso do Design Computacional de forma analógica citado por Caetano et al. (2019) é o já mencionado Frei Otto, este já na era moderna, um bom exemplo disso são os experimentos de superfície mínima realizadas por ele, em que foram estudos feitos utilizando-se desse tipo de computação:

---

<sup>5</sup>Disponível em <<https://membranaparametrica.com/otto-gaudi/>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

Figura 7 - Um dos estudos realizados por Frei Otto



Fonte: ARCHDAILY<sup>6</sup> (2015)

Esses arquitetos utilizaram técnicas conhecidas como “*Form-Finding*”, que, em tradução livre seria “Busca da forma”, segundo Boller e D’Acunto(2021), a definição desse termo seria um processo de projeto, tanto físico quanto digital, que leva à definição da forma de uma estrutura em equilíbrio estático sob determinadas condições de carga e restrições. Realmente, o que acontece é, através da mudança de algumas variáveis como, posição de algum suporte, rotação de alguma peça da estrutura, entre outras, modifica-se a forma resultante, proporcionando assim uma forma de se gerar diversos resultados e alcançar a melhor opção por ele desejada. Podendo-se chegar através disso à uma otimização da forma.

Uma afirmação interessante de Otto é: “[...] desde 1965, todos os meus edifícios foram calculados com o computador. Isso é natural e não precisa ser questionado, porque é uma prática comum hoje.” (OTTO s.d., apud Yunis, 2015). À frente de sua geração por décadas, Otto entendeu a dualidade homem-tecnologia anos antes da era da alta tecnologia decolar. E é interessante perceber que a mesma metodologia de se estudar a forma pode ser replicada em um ambiente totalmente digital, que já nos é contemporâneo, oferecendo uma maior praticidade do processo.

Hoje em dia, como já explicado, dispõe-se de ferramentas digitais, utilizando um computador, pode-se obter modelos simulados de forma muito semelhantes ao processo de computação analógica utilizada por arquitetos há tempos atrás. Esse

---

<sup>6</sup>Disponível em: <<https://www.archdaily.com/610531/frei-otto-and-the-importance-of-experimentation-in-architecture>> ISSN 0719-8884. Acesso em: 30 mar. 2024.

“design digital”, ou seja, totalmente feito utilizando ferramentas de computador, abriu portas para o uso de outros processos de projeção, são eles: o Design Algorítmico, Design Paramétrico e Design Generativo, conceitos que serão melhor explicados adiante.

### **2.2.3. DESIGN ALGORÍTMICO**

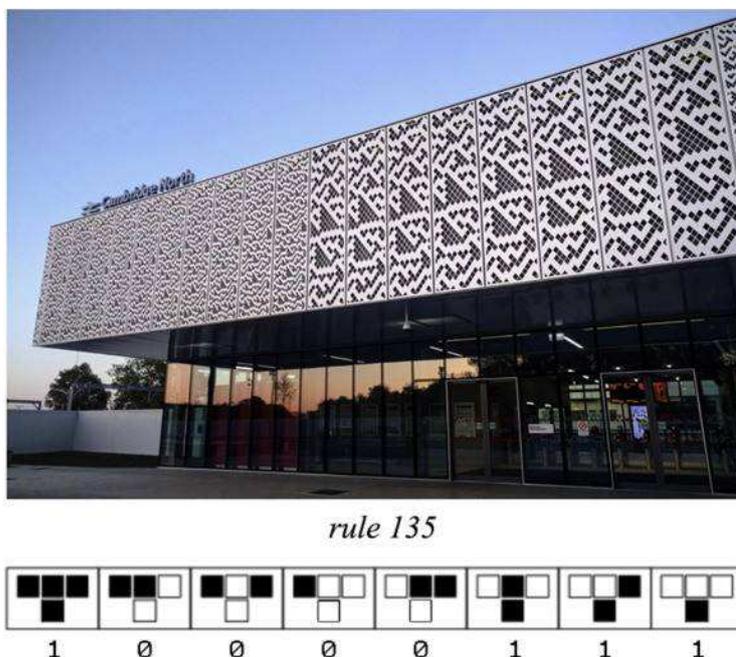
Terzidis (2003 *apud* Caetano *et al*, 2022) definiu o Design Algorítmico como uma abordagem baseada na descrição de programas de computador que "geram espaço e forma a partir da lógica baseada em regras inerente a programas arquitetônicos, tipologias, código de construção e a própria linguagem".

O uso de algoritmos na arquitetura foi motivado pela crescente complexidade dos problemas de projeto, o que exigiu que os arquitetos respondessem a um número crescente de requisitos, incluindo estéticos, de desempenho e econômicos. Assim, surgiu a necessidade de representar conceitos e regras de projeto que estavam fora da capacidade de mídia existente, dando origem a abordagens AD, onde os arquitetos recorrem a algoritmos para estender suas ferramentas de representação arquitetônica (CASTELO-BRANCO; CAETANO; LEITÃO, 2022).

Em vez de modelar diretamente na ferramenta digital, os arquitetos criam descrições algorítmicas que geram múltiplas soluções possíveis, promovendo a experimentação e integração de diversos requisitos.

O design algorítmico é um método de projeto guiado por algoritmos - um conjunto de instruções que determinam a solução para um problema - para produzir modelos arquitetônicos. Em outras palavras, um conjunto de regras é usado para definir um sistema, em vez de definir cada elemento individualmente (RAMAGE, 2024).

Figura 8 - Elementos de fachadas geradas por algoritmo



FONTE: CAETANO *et al* (2022).

Segundo Leach (2014), trata-se especificamente do emprego de linguagens de *script* (programação) que capacitam os designers a transcender as restrições da interface de software convencional de design, ampliando assim a capacidade de modelagem por meio da manipulação direta não apenas da forma, mas também do código.

Em termos gerais, a modelagem algorítmica pode ser realizada por meio de linguagens de programação, na forma tradicional em texto. No entanto, para contornar as dificuldades de programação, ferramentas como *Generative Components* e *Grasshopper* permitem o uso de códigos representados por formas visuais para automatização, o chamado Programação Visual.

#### 2.2.4. ALGORITMO

De acordo com Cormen(2012), um algoritmo é um procedimento computacional em que se toma algum conjunto de valores como entrada e que

produz algum valor ou um conjunto de valores como saída. De acordo com o Cambridge Dictionary (CAETANO *et al*, 2022), um algoritmo é um "conjunto de instruções ou regras matemáticas que [...] ajudará a calcular uma resposta para um problema". Basicamente, consiste em uma sequência finita de comandos, organizados de forma sistemática e bem definidos, a fim de se resolver um problema bem especificado ou executar uma determinada tarefa.

Acredita-se que o termo "algoritmo" seja uma referência a um famoso matemático e astrônomo muçulmano que viveu na Pérsia (atual Irã), chamado Abu Abdullah Muhammad ibn Musa Al-Khwarizmi (780 d.C.-850 d.C.). Posteriormente, a palavra teria sofrido alterações na pronúncia, para Al-Karismi, Algarismi, até chegar-se a algarismo, muito utilizado para representações numéricas nos sistemas de cálculos atualmente. Dessa mesma origem, deriva o termo algoritmo, mais usado na computação (OLIVEIRA e MANZANO, 2016).

Figura 9 - Abu Abdullah Muhammad  
ibn Musa Al-Khwarizmi



Fonte: OLIVEIRA; MANZANO (2016).

Para Oliveira e Manzano (2016), algoritmos podem ser comparados à uma receita culinária: podem ser divididos em dois blocos de ação, os ingredientes, com as informações do que será usado e suas quantidades, e o modo de preparo, em que são descritas as ações a serem tomadas e a sequência de atividades. Assim como na receita, se uma das etapas do algoritmo deixar de ser feita, o resultado será diferente do que havia sido preestabelecido.

Um programador então, seria como um cozinheiro, ele prepara o programa a ser utilizado por um usuário final, que não precisa necessariamente entender o modo como aquele programa foi feito. O papel do programador é, então, pensar em todas as etapas das tarefas e descrevê-las de maneira clara e objetiva para que seja realizado pelo computador.

Pode-se descrever um algoritmo de duas formas (BERG; FIGUEIRÓ, 2002 apud OLIVEIRA; MANZANO, 2016, p. 38): gráfica, utilizando uma diagramação de blocos; textual, utilizando uma linguagem de projeto de programação ou mesmo de uma linguagem de programação de computadores formal.

De acordo com COELHO (c2011 - c2024), os algoritmos surgem na matemática para descrever as regras para as equações algébricas, mas eles podem ser utilizados para determinar qualquer sequência de ações finitas que busquem a resolução de um problema, sendo assim, podemos aplicá-los em todas as tarefas do cotidiano, bastando apenas destrinchar as ações necessárias para se chegar a um objetivo.

COELHO (c2011 - c2024) descreve a aplicação de um algoritmo que simularia o preparo de um café, obtendo-se as seguintes etapas:

1. ferver a água;
2. colocar o pó no filtro;
3. desligar a água;
4. passar a água pelo pó de café.

O resultado dessas ações, logicamente, seria o café passado. Mas o importante é se observar que cada etapa foi necessária para se chegar a esse objetivo, assim como sua sequência determinada,

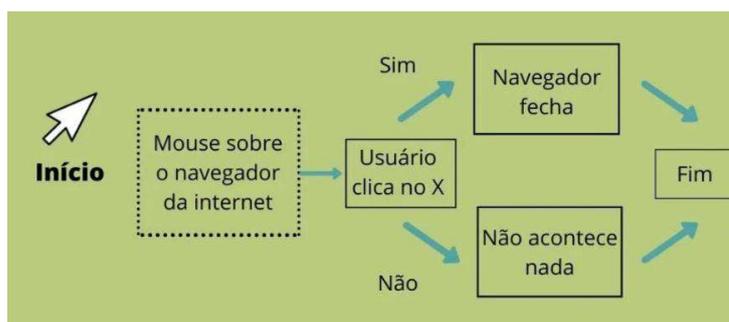
Um outro exemplo, seria de um mouse sobre um navegador de internet. O comando de fechar a tela é determinado por um algoritmo que entende que:

- se o mouse clicar no "x", a página deve ser fechada ;

- se o mouse não clicar no "x", não acontecerá nada.

Esse algoritmo pode ser visualizado no seguinte fluxograma (Figura 10):

Figura 10 - Fluxograma esquematizando o algoritmo de um mouse sobre a tela do navegador de internet



Fonte: COELHO (c2011 – c2024).

Neste processo, pode ser visualizado os dados de entrada (input), processamento e dados de saída (output):

**Entrada(input):** Ação realizada, como o clicar do mouse;

**Processamento:** Avanço para o próximo bloco, cada setinha poderia ser interpretada como uma ação sendo processada;

**Saída(output):** Cada resultado de uma ação, como o navegador fechar ou não acontecer nada.

Os algoritmos estão constantemente presentes em nossas vidas cotidianas, cada ação que fazemos em nossos celulares, computadores e os mais diversos aparelhos digitais utilizam algoritmos para executar determinada tarefa desejada por nós.

## 2.2.5. ARQUITETURA ALGORÍTMICA

Segundo Júnior (2011), a arquitetura algorítmica é a forma de desenvolver um projeto arquitetônico de maneira similar à resolução de um problema, função de

um algoritmo. Essa resolução é feita através de um conjunto de operações lógicas que podem ser implementadas através de um computador ou não.

Então, assim como no desenvolvimento de um algoritmo em si, podemos ter as entradas (*inputs*) e as saídas (*outputs*) do nosso projeto. As entradas são feitas a partir de um banco de dados que pode ser composto por números, cálculos, relações matemáticas, objetos paramétricos etc., as saídas são os resultados gerados a partir do processamento dessas entradas.

O uso de algoritmos possibilita um processo generativo para o projeto, possibilitando a obtenção de resultados inéditos para a etapa em que é aplicada. Além disso, podem gerar respostas satisfatórias para resolver problemas ainda pouco definidos.

## **2.2.6. GRAMÁTICA DA FORMA**

Para explorar mais o conceito de arquitetura algorítmica e introdução ao conceito de Design Generativo, pode-se explorar os conceitos de gramática da forma, que, como o nome sugere, cria variedades de formas a partir de regras.

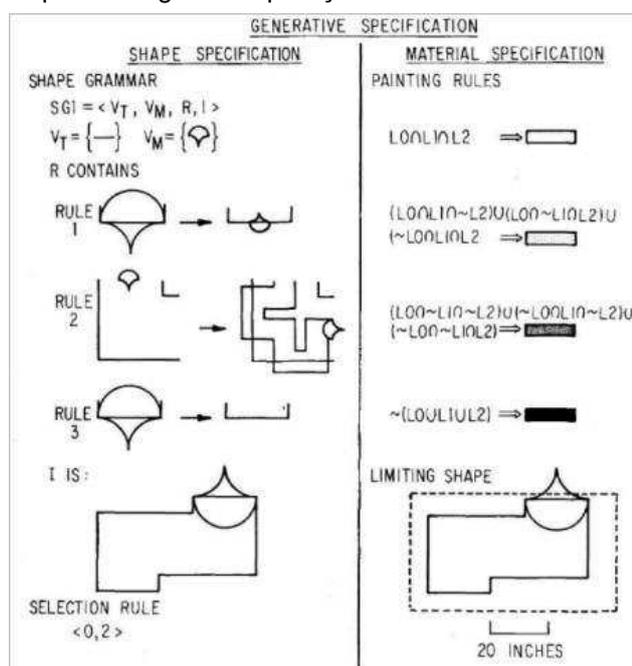
### **2.2.6.1. ORIGEM E CONCEITO DA GRAMÁTICA DA FORMA**

Segundo Pinheiro (2019), a gramática da forma (em inglês *Shape Grammar*) é uma expressão utilizada para sistemas generativos baseados em regras cujas operações irão criar um repertório através da modificação da forma.

Os primeiros a desenvolverem o conceito de gramática da forma foram George Stiny e James Gips na década de 1970, baseados no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do linguista Noam Chomsky (1957) (CELANI et al, 2008). Este último, utilizou como referência as estruturas gramaticais das composições de palavras. Cada palavra é composta por letras dos alfabetos (símbolos) que são capazes de gerar infinitas sentenças a partir de suas combinações (OLIVEIRA et al, 2023).

Baseados nesses conceitos, Stiny e Gips realizaram experimentos que implementariam tais lógicas na concepção de obras de arte, mais especificamente na escultura e na pintura. O intuito era de otimizar os processos criativos através da aplicação de determinadas regras que pudessem gerar resultados de maneira já preestabelecida pelos autores (STINY; GIPS, 1971 apud OLIVEIRA et al, 2003).

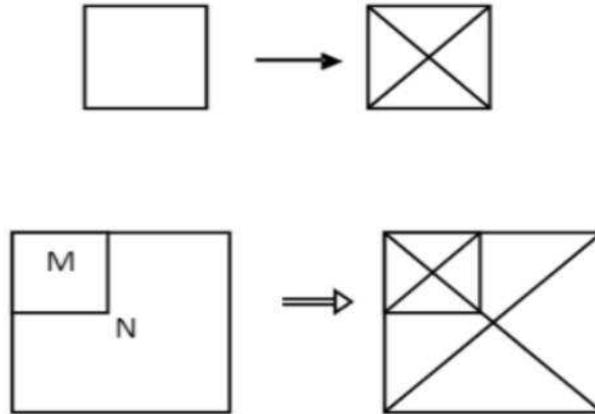
Figura 11 - Esquemática de uma shape grammar, lógica da gramática da forma à esquerda e lógica da aplicação de material à direita.



Fonte: STINY, G; GIPS J., 1971, .127.

De acordo com Celani et al.(2006) as principais operações utilizadas nas regras de uma gramática da forma são as de translação, a rotação, o espelhamento e a roto-translação. Além disso, é possível também adicionar e remover formas e aplicar a transformação escalar, para que uma mesma regra possa ser aplicada a figuras semelhantes, porém de diferentes tamanhos, pode-se ver esta aplicação na figura a seguir (Figura 12):

Figura 12 - Regra que insere um "X" em um quadrado, aplicado em dois quadrados com escalas diferentes



Fonte: CELANI et al.(2006).

A gramática da forma trata-se então de um processo generativo, em que, a partir de determinadas regras, é possível se chegar a um resultado e, com a alteração dessas regras, pode-se chegar em diversos resultados diferentes derivados desta mesma forma inicial. Pinheiro (2019) traz um exemplo do livro *Shape - talking about seeing and doing* (Figura 13):

Figura 13 - Variações de uma forma inicial a partir da variação de sua rotação e espelhamento

$\dot{b}$	$\dot{d}$	$\dot{p}$	$\dot{q}$	
b d	beb	deb	peb	qeb
p q	bed	ded	ped	qed
	bep	dep	pep	qep
	beq	deq	peq	qeq

Fonte: Stiny, G. (2006)

### 2.2.6.2. ELEMENTOS DE UMA GRAMÁTICA DA FORMA

Celani et al.(2006) descreve que uma gramática da forma é desenvolvida a partir da definição dos seguintes elementos:

1. **Vocabulário de formas:** Um conjunto finito de formas primitivas que farão parte da gramática. Podem ser bidimensionais ou tridimensionais.

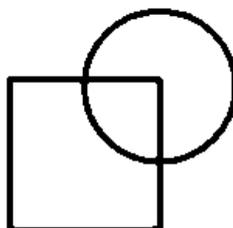
Figura 14 - Exemplo de vocabulário de formas



Fonte: CELANI et al.(2006)

2. **Relações espaciais:** Combinações desejadas entre as formas primitivas.

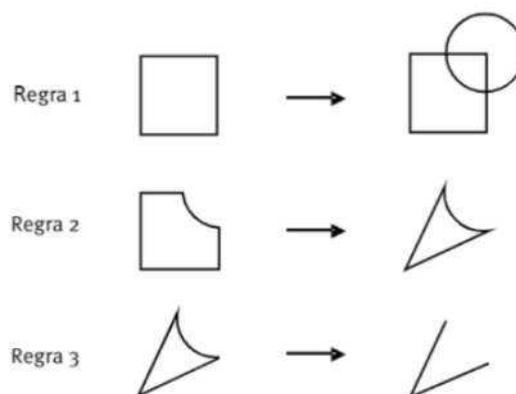
Figura 15 - Exemplo de uma relação espacial entre duas formas primitivas do vocabulário



Fonte: CELANI et al.(2006)

3. **Regras:** A partir das relações espaciais, são definidas regras de transformação do tipo  $A \rightarrow B$  (ao encontrar A, substituir por B). Essas regras podem ser do tipo aditivas, subtrativas, intersectivas (operações booleanas), de escalamento (operações euclidianas) e etc (OLIVEIRA, 2023).

Figura 16 - Regras de transformação no vocabulário



Fonte: CELANI et al.(2006)

4. **Forma inicial** para dar início à aplicação de regras, sendo necessário selecionar uma forma inicial, pertencente ao vocabulário de formas.

Após a definição desses elementos, inicia-se o processo de iteração, isto é, a aplicação sucessiva de regras sobre a forma inicial selecionada, até obter-se a composição desejada.

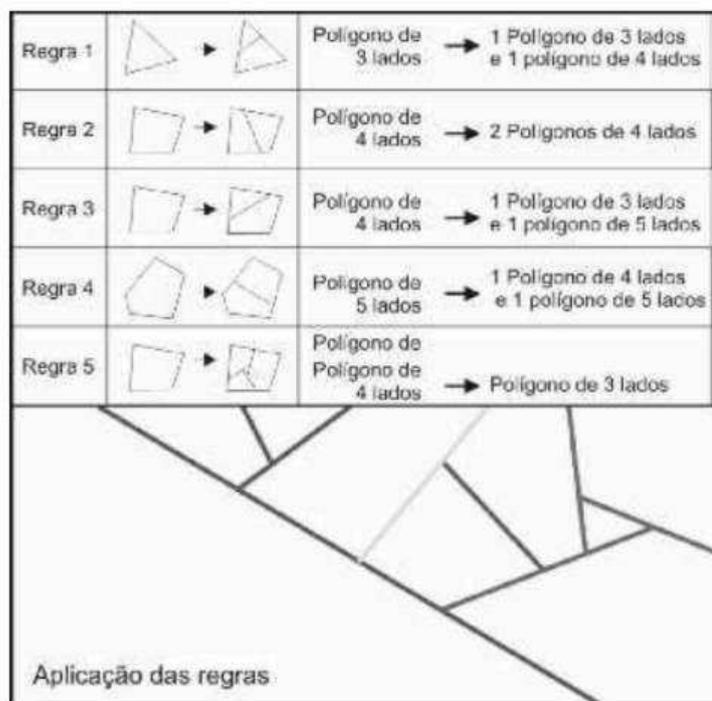
### 2.2.6.3. TIPOS DE GRAMÁTICA DA FORMA

Ainda de acordo com Celani et al.(2006), à medida que este sistema se desenvolvia, novas incrementações foram surgindo, dando origem à diferentes tipos de gramática da forma, são eles:

**Gramática da forma analítica:** A primeira abordagem analítica foi introduzida por Stiny (1977), visando a criação de um conjunto de regras capaz de gerar desenhos de janelas tradicionais chinesas. Essa abordagem baseava-se na subdivisão sucessiva de retângulos.

**Gramática paramétrica:** As primeiras definições de gramática da forma já indicavam a possibilidade de deixar certos parâmetros em aberto, a serem definidos durante a implementação. Com isso, torna-se viável estabelecer uma gramática da forma paramétrica, capaz de gerar uma vasta gama de resultados, como ilustrado no exemplo (Figura 17).

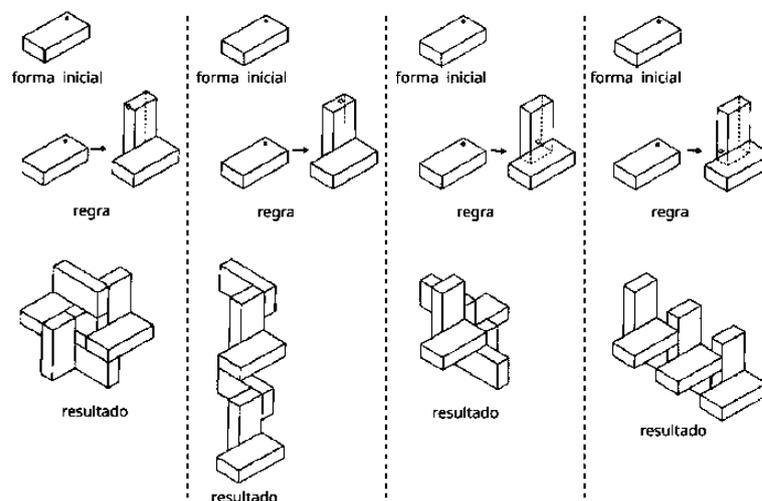
Figura 17 - Exemplo de gramática paramétrica: as regras definem as subdivisões sem definir a posição exata de sua inserção



Fonte: Stiny (1977)

**Gramática predefinida (*set grammar*):** Um tipo de gramática determinística, onde a mesma regra ou sequência de regras é aplicada repetidamente. Os resultados gerados por esse tipo de gramática apresentam sempre certa regularidade. Esse conceito foi especialmente aplicado no artigo em que Stiny introduz a gramática da forma tridimensional, utilizando os blocos de Froebel (STINY, 1980 apud CELANI et al., 2006, p. 188), conforme ilustrado na figura 18:

Figura 18 - Gramática da forma com a utilização dos blocos de Froebel: com marcadores e pré-definida



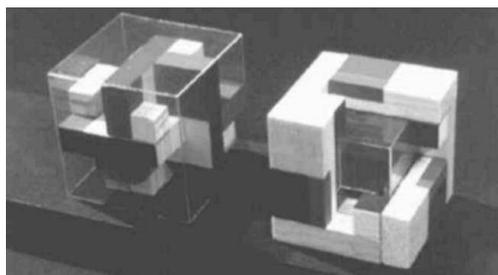
Fonte: Pinheiro (2019), adaptado pelo autor

**Gramática com marcadores:** marcas são aplicadas às formas para reduzir sua ordem de simetria, restringe a maneira como as regras podem ser aplicadas, mas por outro lado, permitem maior controle sobre os resultados. O exemplo da imagem X utilizou marcadores.

**Gramática da cor:** desenvolvida por Terry Weissman Knight (1993, 1994), essa variação da gramática da forma utiliza cores no lugar de marcadores. A maior vantagem é que elas podem ser utilizadas para a aplicação posterior de "regras de decoração", nas quais elementos extras podem ser inseridos nas áreas coloridas.

#### 2.2.6.4. APLICAÇÕES DA GRAMÁTICA DA FORMA

Figura 19 - Gramática da cor: projeto de Wei-Cheg que utiliza cores para a redução da simetria dos blocos e adição de detalhes no projeto final



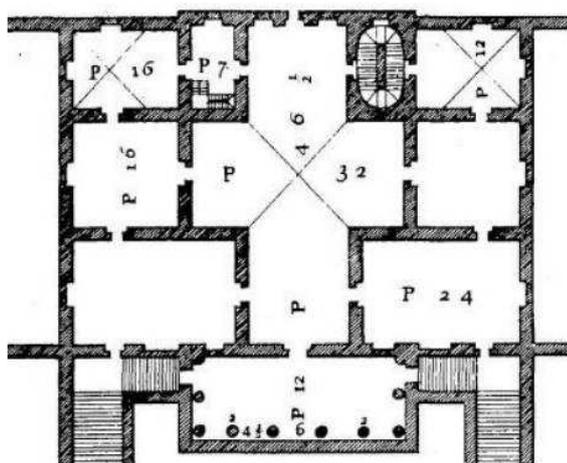
Fonte: CELANI et al (2006).

Apesar de ter sido inicialmente pensada para a aplicação na escultura e pintura, posteriormente foi-se percebendo que sua aplicação poderia ser adotada em outras áreas, como na arquitetura, já que há autores que defendem que a arquitetura pode ser expressada como uma linguagem (CYPRIANO, 2008).

Esse método de análise formal foi empregado no estudo estilístico do projeto das vilas do arquiteto italiano Andrea Palladio (STINY; MITCHEL, 1978 apud CELANI et al., 2006 p. 190), dos jardins do Taj Mahal (STINY; MITCHEL, 1980a e b apud CELANI et al., 2006), e notáveis outros. Celani (2006) ainda enfatiza sua utilização na geração de formas arquitetônicas e reforça que possui grande potencial pedagógico, em especial no desenvolvimento de projetos em equipes, já que cada integrante poderia inserir sua própria regra no projeto.

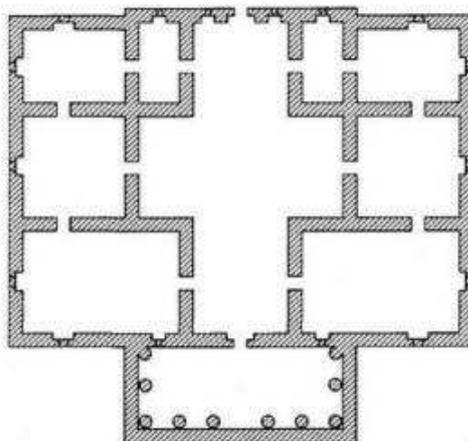
No caso das vilas de Palladio, mais especificamente no estudo da Villa Malcontenta, George Stiny e Willian Mitchell extraíram o raciocínio lógico por trás de sua concepção geométrica, e, através da aplicação dessas regras lógicas, foi possível encontrar uma semelhança formal, caracterizando a “Gramática de Palladio” (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Através disso então, seria possível reproduzir a essência do trabalho de Palladio através da adoção destas regras lógicas.

Figura 20 - Planta da Vila Malcontenta



Fonte: OLIVEIRA (2023).

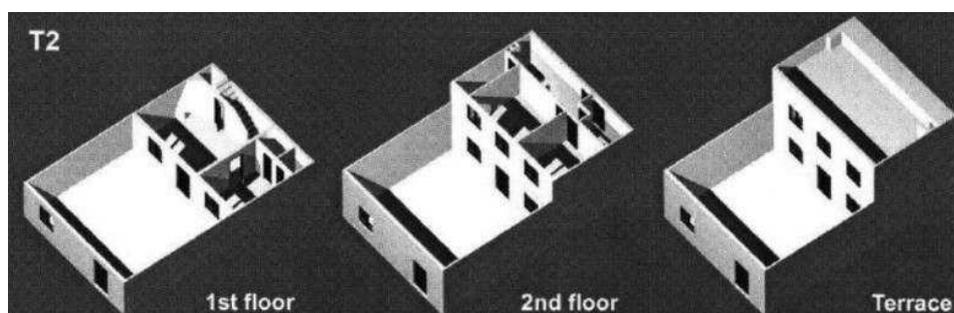
Figura 21 - Planta sintetizada através da Shape Grammar



Fonte: OLIVEIRA (2023).

Outro interessante estudo foi o trabalho de José Pinto Duarte, que elaborou uma teorização geral a respeito da gramática de projeto de Álvaro Siza, com o recorte na obra da Quinta da Malagueira, de 2001. Ao total, no projeto de Álvaro, foram criados 1.200 habitações com mais de 35 layouts diferentes, José Pinto Duarte então estudou essas variações a fim de aplicar um algoritmo que pudesse combinar os diferentes elementos para se obter um melhor layout para um possível novo morador (OLIVEIRA, 2023).

Figura 22 - Planta através da Shape Grammar



Fonte: OLIVEIRA (2023).

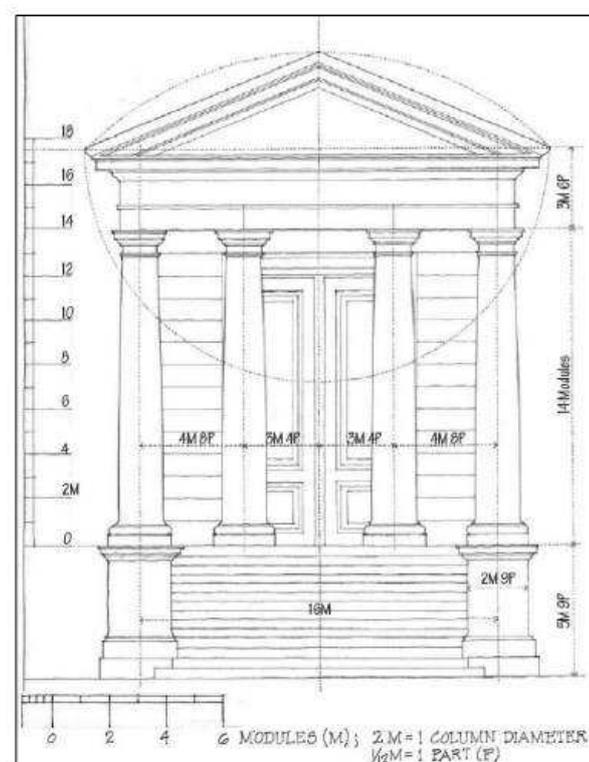
Pode-se concluir então, que o processo generativo pode facilitar a experimentação e exploração de resultados, a partir da combinação de regras que determinam variações de um mesmo objeto.

### **2.2.7. DESIGN PARAMÉTRICO**

De acordo com Liu *et al* (2023), a origem do design paramétrico pode ser traçada a partir da década de 1980. Segundo o autor, o design paramétrico é o processo de descrever formas geométricas, espaços, malhas e estruturas através do ajuste de parâmetros, onde se obtém projetos que atendem aos requisitos específicos deste através desses ajustes. Kolarevic (2003, apud Caetano *et al*, 2019, p. 292) definiu design paramétrico como um processo através do qual “os parâmetros de um projeto específicos são declarados e não sua forma”.

É interessante notar que não se trata de uma prática moderna ou de uso exclusivo de computadorização (uso do computador eletrônico), como afirmam Júnior e Silva (2020), os antigos gregos já utilizavam de “parâmetros” ou fórmulas matemáticas em sua arquitetura. As edificações produzidas pelos gregos na Antiguidade Clássica (e depois durante o Renascimento, pelos renascentistas) eram definidas através de regras de composição estabelecidas através de relações matemáticas (Figura 23).

Figura 23 - Fachada de templo da ordem Toscana



Fonte: Silva; Júnior (2020)

Em suma, é um processo que consiste em se trabalhar manipulando os parâmetros dos algoritmos para se determinar diversos aspectos de um projeto, sendo capaz não somente de gerar geometrias complexas, mas também é capaz de otimizar estruturas, performance, e estéticas de uma obra, por exemplo. Se, no Design Algorítmico o usuário manipula os algoritmos diretamente no código para se trabalhar o projeto, no design paramétrico o mesmo trabalha apenas nos parâmetros mais refinados que o interessam.

A vantagem deste tipo de design é que as alterações feitas nos parâmetros irão refletir em mudanças no projeto em tempo real, oferecendo assim uma maior flexibilidade para que o arquiteto possa fazer testes antes de se determinar um resultador que melhor lhe atenda.

A partir do século 21 (LIU *et al*, 2023), o design paramétrico gradualmente tornou-se uma tendência global, sendo cada vez mais utilizado nas áreas da arquitetura, design de produtos, processos industriais e produção e gerenciamento

de informação. Futuramente, prevê-se que, com o advento da inteligência artificial e outras tecnologias, o design paramétrico se tornará cada vez mais desenvolvido e largamente utilizado.

Em 2008, Patrik Schumacher, considerado o pai do “Parametricismo” (HAMAD e HUSSEIN, 2020) apresenta o Manifesto Parametricista (LEE, 2015). O Parametricismo, segundo Schumacher (2021, apud Hamad e Hussein, p. 201), se trata não apenas do estilo de um projeto, mas pode mudar a forma de como as pessoas pensam nessa obra e irá afetar a percepção das pessoas.

Figura 24 - Centro Heydar Aliyev, Patrik Schumacher e Zaha Hadid



Fonte: HAMAD e HUSEIN (2020)

O parametricismo então, está mais para uma ideologia, por isso o uso do sufixo “ismo”, pois não se trata apenas de se utilizar parametrização para se criar um projeto, mas sim um princípio de design que já estabelece a forma de se projetar (LEE, 2015).

### 2.2.8. DESIGN GENERATIVO

O conceito de design generativo, embora mais difundido atualmente, tem seus princípios lógicos e modelos matemáticos sendo explorados há bastante tempo (MINEIRO; MAGALHÃES, 2019). Na década de 1970, Mitchell (1975 apud Caetano *et al*, 2022) descreve Design Generativo como dispositivos capazes de gerar potenciais soluções para um problema. De acordo com SARUHASHI (apud Santos

et al, 2023, p.2), “O design generativo é um processo que utiliza ferramentas computacionais para a geração algorítmica da forma”). Segundo Bernal *et al.* (2015), DG é um ciclo iterativo de aplicação e avaliação de regras, ou seja, o projeto inicial sofre iterações por operações que implicam em transformações geométricas e topológicas evoluindo até o projeto resultante.

É um processo que se assemelha a metáforas biológicas, em que um “código genético” é capaz de gerar uma ampla família de objetos similares. Esse código genético, nesse caso, é um algoritmo (KOLAREVIC, 2003). Pode-se citar, como alguns dos **processos generativos** mais conhecidos: aplicações de gramática da forma, lógica generativa do Sistema de Lindenmayer (Sistemas-L, Figura 25), autômatos celulares e inteligência em enxames.

Figura 25 - Modelos tridimensionais de árvores gerada através de sistema - L.



Fonte: Wikimedia Commons<sup>7</sup>

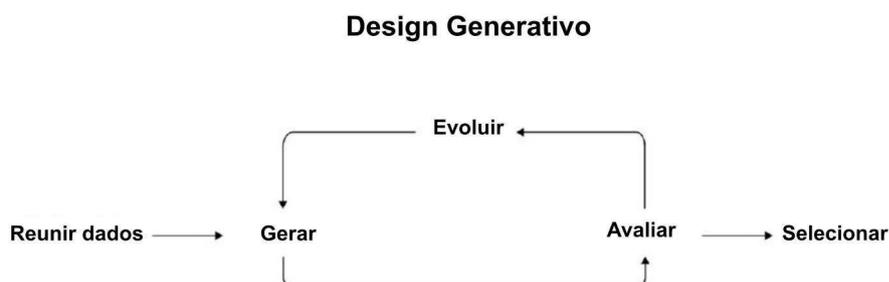
Já segundo RAMAGE (2024), O design generativo é um processo de design iterativo que usa entradas definidas pelo usuário para produzir vários conceitos de design que atendam a metas específicas. As entradas são regras e parâmetros que definem os requisitos de projeto, semelhante ao projeto paramétrico. Com o design generativo, o usuário também insere métricas de sucesso que avaliarão os resultados. A inteligência artificial (IA) e a computação em nuvem geram dezenas ou até centenas de opções de design, classificadas por essas métricas.

---

<sup>7</sup> Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fractal\\_weeds.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fractal_weeds.jpg)> ISSN 0719-8884.>  
Acesso em: 11 abr. 2024.

A Autodesk (2024) define o fluxo de trabalho do Design Generativo em: 1. gerar um amplo espaço de design de possíveis soluções por meio de um sistema de geometria sob medida; 2. avaliar cada solução por meio de metas mensuráveis; 3. Evoluir gerações de projetos por meio da computação evolutiva. O esquema pode ser visualizado na figura a seguir:

Figura 26 - Fluxo de Trabalho do Design Generativo



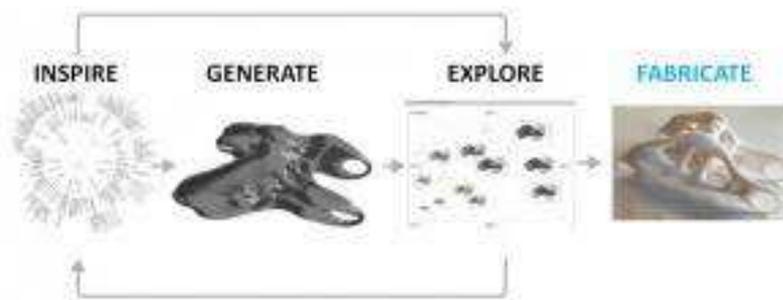
Fonte: Autodesk<sup>8</sup>, adaptado pelo autor (2024).

Entende-se então, que o design generativo é baseado em um processo que, através de algoritmos, alterados por meio de parâmetros (paramétrico) determinados pelo usuário, consegue gerar diferentes resultados para um determinado objetivo. Para a arquitetura, assim como as mais diversas áreas de Design, pode-se obter diversos resultados para os mais variados objetivos gerados através de parâmetros inseridos no algoritmo. Podemos visualizar também este processo, de maneira mais simplificada, através do seguinte diagrama:

Segundo MA *et al* (2021), pode-se resumir a metodologia de projeto que utiliza o design generativo da seguinte forma: primeiramente, o objetivo projetual é inserido no programa de computador, juntamente com os algoritmos apropriados e condicionantes de projetos já bem definidos. Então, modelos são gerados, iterados e permutados para a tomada de decisões do projetista. Finalmente, o projetista pode modificar os parâmetros no algoritmo e nos condicionantes de projeto para ajustar seus resultados até que os objetivos sejam alcançados. Podemos, simplifiadamente, visualizar este processo de criação através da Figura 27:

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

Figura 27 - Processo de Design generativo (Inspirar, gerar, explorar e fabricar)



Fonte: Você sabe o que é Design Generativo? – Por Dentro da Autodesk Brasil<sup>9</sup>. (2024).

Enquanto que o CAD, como já mencionado, tem uma tendência maior de se trabalhar em etapas mais avançadas do projeto, o *design* generativo se torna mais adequado às fases mais iniciais de projeto, auxiliando na concepção do mesmo (Krish, 2011, apud Mineiro e Magalhães, 2019). Isso porque, uma de suas grandes vantagens é de poder oferecer variações de uma criação de forma rápida, bastando apenas ajustar alguns parâmetros, também chamadas de variáveis, na linguagem da programação, para que esta criação se modifique.

O design generativo não se trata apenas da geração de formas através de algoritmos, mas também é aplicável em outras etapas do projeto, através de simulações geradas pelo computador a partir do conteúdo inserido, para a mais diversa finalidade. Também torna-se necessário entender que essa metodologia torna necessária estabelecer interrelações entre conhecimentos técnicos, matemáticos e outros, teóricos – conceituais, inerentes à área do design (MINEIRO E MAGALHÃES, 2019).

Apesar disso, é importante compreender que essas tecnologias digitais não devem substituir a relação física que ocorre com os materiais de desenho tradicionais, limitando um processo criativo e que, na verdade, dominar tais ferramentas só possibilita alcançar novas possibilidades Xavier *et al.* (2023).

O design generativo só tende a somar com o arquiteto, lhe proporcionando o poder de realizar uma grande possibilidades de estudos através do computador e

<sup>9</sup> Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/por-dentro-da-autodesk-brasil/2016/07/18/voce-sabe-o-que-e-design-generativo/>>. Acesso em: 22 ago. 2024.

decidir quais são as opções que mais lhe agrada. O computador ainda é apenas uma ferramenta facilitadora, o ser humano continua sendo o grande responsável pela criação.

### 2.2.9. SÍNTESE DO DESIGN COMPUTACIONAL

Como visto, os termos Design Algorítmico, Design Paramétrico e Design Generativo são conceitos que estão dentro do escopo do Design Computacional, este podendo ser digital ou analógico, sendo esta última forma sendo explorada há muito tempo, podendo-se citar Antoni Gaudí como arquiteto experimentador desse princípio de design, ainda no século XVIII.

Naturalmente, estes conceitos se relacionam e, apesar de serem muito similares, apresentam suas especificações, que, em suma, de acordo com Liu *et al* (2023):

**Design Algorítmico:** é um processo generativo, utiliza algoritmos para se gerar algum resultado. Se este processo utilizar parâmetros, então poderá ser considerado também um processo paramétrico de design. Já uma definição de Caetano *et al.*(2019) diz que é uma abordagem GD caracterizada por uma correlação identificável entre o algoritmo e seu resultado.

**Design Paramétrico:** utiliza parâmetros que podem ser facilmente ajustados pelo usuário, é um processo iterativo, permitindo mudanças em tempo real e modificações que se refletem em todo o projeto.

**Design Generativo:** é um processo iterativo, iterações na computação são repetições até se chegar em um resultado. Se utiliza de parâmetros e algoritmos, como também de inteligência artificial. Resumidamente, diversas possibilidades nas etapas de projeto são geradas a fim de se obter a melhor opção.

Figura 28 - Diagrama-síntese do Design Computacional



Fonte: RAMAGE (2024), adaptado pelo autor.

## 2.3. FERRAMENTAS DE DESIGN GENERATIVO

Este capítulo abordará algumas das ferramentas que tornam possível a aplicação de Design Generativo em projetos de arquitetura.

### 2.3.1. PROGRAMAÇÃO TRADICIONAL E PROGRAMAÇÃO VISUAL

Para se criar, editar algoritmos e “dar comandos” ao computador, normalmente é necessário que se faça isso através de uma linguagem que o mesmo possa interpretar. Tradicionalmente, essa linguagem de programação é feita através de texto. O programador se utiliza de alguma linguagem de programação disponível no mercado, a exemplos: C, C++, C#, *Java*, *Python*, *Ruby*, entre muitas outras existentes.

Porém, isso exige um bom conhecimento específico de programação, sendo muito difícil, na maioria das vezes, para um usuário comum, fazer uso desta. É aí que se destaca uma forma mais amigável de lidar com programação: utilizando linguagem de programação visual, em inglês, *Visual Programming Language (VPL)*.

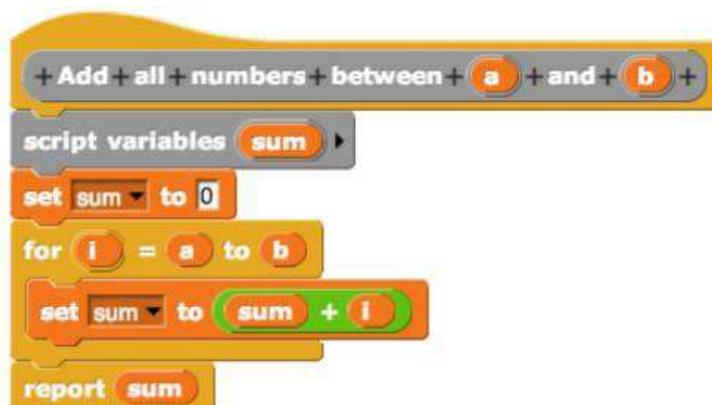
De acordo com Bragg e Driskill (1994), em computação, uma linguagem de programação visual, também conhecida como linguagem diagramática,

programação gráfica ou programação em blocos, é uma linguagem de programação que permite o usuário criar programas através da manipulação de elementos gráficos ao invés da manipulação direta em texto, que é a forma mais tradicional.

Uma linguagem de programação visual permite programar com expressões visuais, arranjos espaciais de texto e símbolos gráficos. Muitas são baseadas em “caixas e setas”, onde essas caixas são tratadas como entidades, conectadas por setas, linhas ou arcos que representam suas relações.

As linguagens de programação visuais podem ser classificadas de acordo com seus tipos e extensão da expressão visual utilizada, em linguagens baseadas em ícones, linguagens baseadas em formas e linguagem de diagramas. São os ambientes de desenvolvimento que fornecem os elementos gráficos ou icônicos que podem ser manipulados para que o usuário construa seu programa.

Figura 29 - Blocos na linguagem de programação visual Snap!, baseada em uma ferramenta de criar jogos chamada Scratch



Fonte: Wikipédia<sup>10</sup>(2023).

No geral, como ressalta Reppening (2017), o objetivo deste tipo de linguagem é tornar a programação mais acessível para iniciantes e dar suporte aos programadores em diferentes níveis. Sua forma de ser visualizada remetem à diagramas de lógica facilmente legíveis.

<sup>10</sup> Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Linguagem\\_de\\_programacao\\_visual](https://pt.wikipedia.org/wiki/Linguagem_de_programacao_visual)>. Acesso em: 13 de maio de 2024. Acesso em: 10 de maio de 2024.

Em contrapartida, a programação visual normalmente não escala tão bem em comparação com a escrita: quanto mais complexo se torna o trabalho, mais desorganizado pode ser tornar o código, dificultando assim sua leitura. Cabe ao programador saber organizar da melhor forma possível.

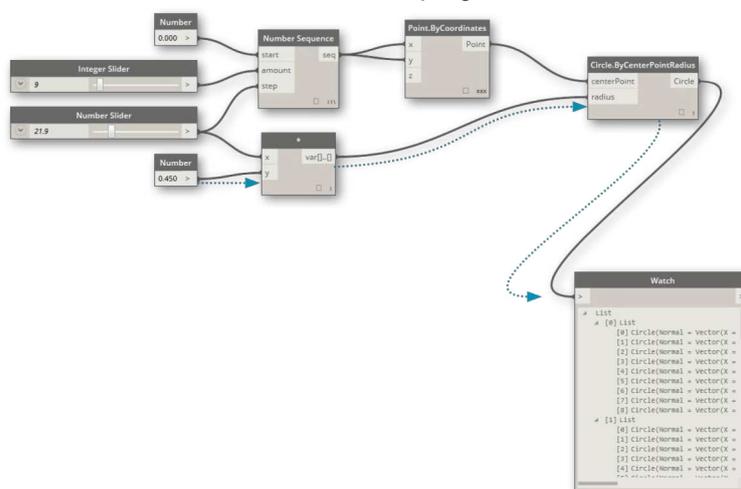
### 2.3.2. TIPOS DE LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO VISUAL

Assim como existem diversas linguagens de programação escritas, também existem diversas formas de linguagem de programação visual, e variadas maneiras como estas se organizam visualmente e podem ser manipuladas. Normalmente, isso vai depender do próprio ambiente onde ela está inserida, que pode ser dentro de um outro programa ou aplicativo.

A seguir, está uma lista com alguns tipos de linguagem de programação visual:

- Programação baseada em blocos: Popularizado por plataformas como *Scratch* e *Blockly*, usado em ferramentas educacionais e para introdução à programação.
- Fluxogramas: Amplamente utilizado em softwares de engenharia e projeto de sistemas para representar algoritmos e processos.
- Interfaces de arrastar e soltar (*drag-and-drop*): Comumente utilizadas em ferramentas de desenvolvimento de interfaces gráficas voltadas para o usuário e ambientes de desenvolvimento para criar interfaces de usuário.
- Gráficos de nós: Frequentemente usada em linguagens de programação visuais, desenvolvimento de jogos e sistemas de fluxos de dados.

Figura 30 - Gráficos de nós utilizados no Dynamo, um ambiente de programação visual inserido no programa Revit



Fonte: DynamoBIM<sup>11</sup> (2024)

- Programação de fluxo de dados: Popular em computação paralela, processamento de sinais e ambientes de programação visual.
- Programação Icônica: Usado em vários contextos para simplificação de tarefas de programação, geralmente associada com o desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis.
- Máquinas de estado: Largamente empregada em desenvolvimento de jogos, sistemas de controles e sistemas de modelagem reativos.
- Programação baseada em planilhas: Encontrado em aplicativos de criação de planilhas eletrônicas e alguns ambientes de programação educacionais.
- Programação baseada em linha do tempo: Comum em programas multimídia e de animação para sequenciar eventos em determinado tempo.
- Programação espacial: Aplicado em certos ambientes de modelagem 3D interativos.
- Programação baseada em formas: Utilizado em aplicativos onde os comandos do usuário e as interfaces gráficas desempenham um papel importante, como a aplicações de entrada de dados.

11 Disponível em: <[https://primer.dynamobim.org/pt-br/01\\_Introduction/1-2\\_what\\_is\\_dynamo.html](https://primer.dynamobim.org/pt-br/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html)>. Acesso em 10 de maio de 2024.

Como ressalta Verma (2020), os benefícios de um arquiteto utilizar programação visual, além de ser mais amigável para não-programadores, é: maior produtividade, por permitir mudanças em tempo real; criação de uma diversidade de opções de design; automatização de tarefas repetitivas; criar simulações, tais como de insolação, ventilação etc.; maior adaptação ao contexto atual, pois, com um mundo cada vez mais tecnológico e programado, essa é uma necessidade cada vez mais emergente.

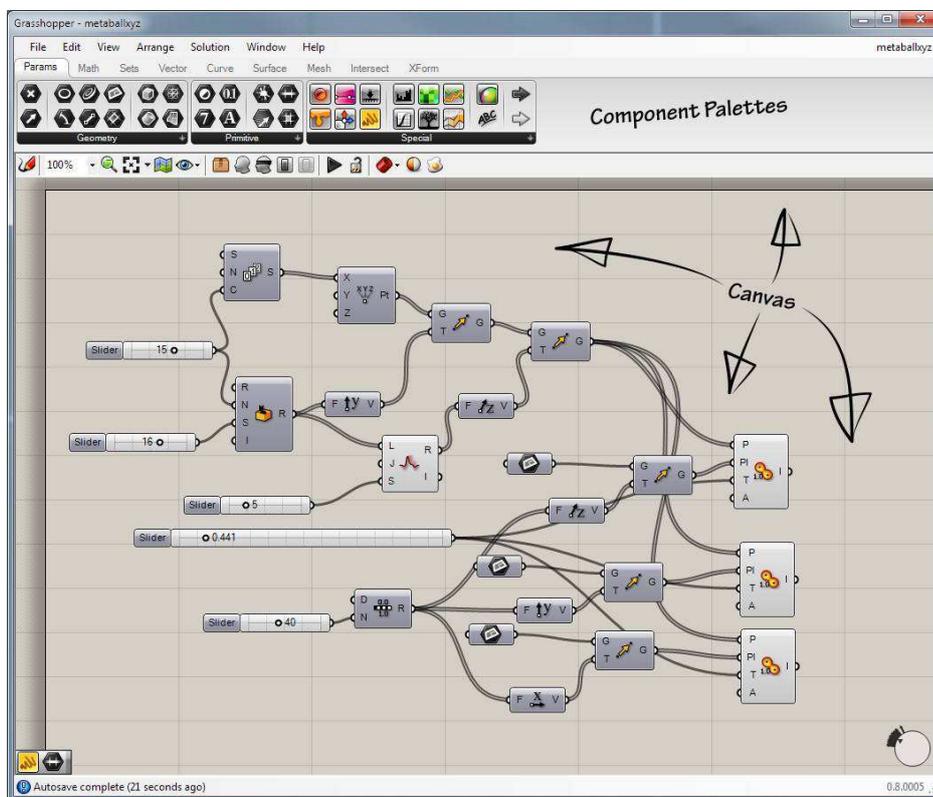
### 2.3.3. SOFTWARES DE PROGRAMAÇÃO VISUAL

Normalmente, utiliza-se o design generativo em etapas específicas do projeto já dentro de um software específico para arquitetura.

**GRASSHOPPER:** Um dos softwares mais utilizados na áreas de Design e Arquitetura contemporâneas. Seu uso na indústria incluem modelagem paramétrica para arquitetura e fabricação, engenharia estrutural, projetos de paisagismo, simulações de iluminação, conforto térmico, análises bioclimáticas etc.

O *Grasshopper* na verdade se trata de um *plug-in*: uma extensão de um programa, neste caso, o Rhinoceros, um software CAD, também chamado apenas de “Rhino”, que utiliza como geometria nativa as NURBS (Non Uniform Rational Basis Spline.) Um NURBS consiste em uma representação matemática de uma geometria tridimensional que pode descrever de forma precisa qualquer forma a partir de uma linha bidimensional, um círculo, uma curva ou de forma orgânicatridimensionais mais complexas (MCNEEL, 2011 *apud* Júnior, 2020). O Grasshopper foi criado por David Rutten na Robert McNeels & Associates, tendo sua primeira versão sendo lançada em 2005 como “Explicit History” (PROJET, [s.d.]). Permite, através de linguagem de programação visual, a criação em tempo real de diversos objetos, como geometria, diagramas, simulações etc.

Figura 31 - Interface de programação visual do Grasshopper



Fonte: Verma(2020)<sup>12</sup>

**DYNAMO:** De acordo com Verma (2020), foi originalmente pensado para a dinâmica industrial, mas logo foi estendido a outras aplicações, incluindo estudos de população e estudos de recursos e planejamento urbano.

*Dynamo* é uma ferramenta de script visual da Autodesk, desenvolvida por Ian Keough para funcionar com interoperabilidade com o *Revit* (ERIK, 2020) e com o *Vasari* (KORQA, 2015), que permite aos usuários importar e exportar dados de seu modelo 3D, Excel ou até mesmo arquivos de imagem para preencher a interface de script. O programa exibe geometrias complexas permitindo que os projetistas analisem visualmente seus projetos e façam as modificações apropriadas.

12 Disponível em: <<https://www.novatr.com/blog/visual-programming-in-architecture>>. Acesso em 19 de maio de 2024.



A inteligência artificial, é a capacidade de programas e dispositivos de realizar tarefas utilizando algoritmos que simulam o raciocínio humano com base em padrões aprendidos (“Inteligência Artificial: o que é IA e como funciona”, [s.d.]). O conceito de IA foi formalmente introduzido em 1956, durante uma conferência no Dartmouth College, nos Estados Unidos, pelo cientista da computação John McCarthy.

A inteligência artificial já é empregada em praticamente todos os dispositivos digitais atuais, de forma a melhorar resultados fornecidos por programação. Um exemplo seria vídeos recomendados em uma rede social baseada nos gostos do usuário.

Aprendizado de máquina é um subcampo da inteligência artificial onde algoritmos melhoram com dados, sem programação explícita, buscando uma inteligência mais próxima à humana. Existem três categorias principais: supervisionada (rótulos e exemplos), não supervisionada (sem rótulos, busca de estrutura) e por reforço (interação com ambiente dinâmico para otimização). Através do aprendizado de máquina, o algoritmo simplesmente é capaz de “evoluir”, sendo capaz de fornecer resultados cada vez mais otimizados e melhorados.

O aprendizado de máquina e a constante evolução da inteligência artificial estão moldando profundamente a vida moderna. Segundo Badwin (2022), existe uma crítica central à importância e a esse avanço da inteligência artificial, sobre o quanto uma máquina é capaz de substituir as capacidades e criatividade humana.

#### **2.3.4. ALGORITMO EVOLUTIVO**

De acordo com Floreano e Matussi (2008), os Algoritmos Evolutivos (AE) surgem no âmbito da ciência da computação, inseridos na área da inteligência artificial, com o propósito de emular computacionalmente o processo evolutivo descrito pela Teoria de Darwin. Estruturados em torno de quatro pilares fundamentais - população, diversidade, hereditariedade e seleção - destacam-se

pela sua capacidade de reproduzir artificialmente os mecanismos evolutivos que propiciam o comportamento adaptativo.

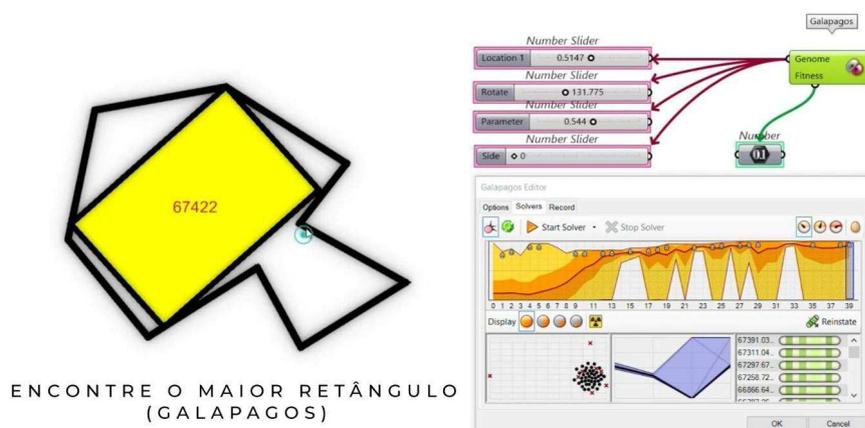
Semelhante à natureza, este processo se caracteriza pela interação e integração de um vasto conjunto de espécies e suas variações, em busca de um equilíbrio com o ambiente por meio de uma competição pela sobrevivência dos mais adaptados. Essa abordagem é central na aplicação dos AE, visando a encontrar soluções que abordem e satisfaçam de forma simultânea os diversos objetivos inerentes a um problema específico (FLOREANO e MATTIUSI, 2008).

Numerosos algoritmos constituem simulações de processos naturais, os quais, uma vez descobertos pela mente humana, não são criados e controlados por esta, mas sim capturados, codificados e executados por sistemas computacionais (TERZIDIS, 2006).

Os AE empregam conceitos de mutação, seleção e herança, nos quais os indivíduos povoam (população) um contexto específico, e os mais aptos, conforme os princípios biológicos da teoria da evolução, são determinados como o melhor resultado "*fitness*" (RUTTEN, 2013). Basicamente, um AE consiste em uma população de soluções codificadas (indivíduos), manipuladas por um conjunto de operadores e avaliadas por meio de alguma função de aptidão (COELLO et al., 2007).

**GALAPAGOS:** Criado por David Rutten, arquiteto graduado pela Universidade Tecnológica de Delft, o Galapagos é um *plug-in* padrão do Grasshopper, projetado para lidar com problemas de otimização e design complexos, caracterizados por múltiplas variáveis. Este recurso incorpora dois solucionadores genéricos: um baseado em algoritmos genéticos e outro em algoritmos de recozimento simulado (RUTTEN, 2013).

Figura 34 - Interface do Galapagos no Grasshopper



Fonte: Parametric House<sup>15</sup> (2024)

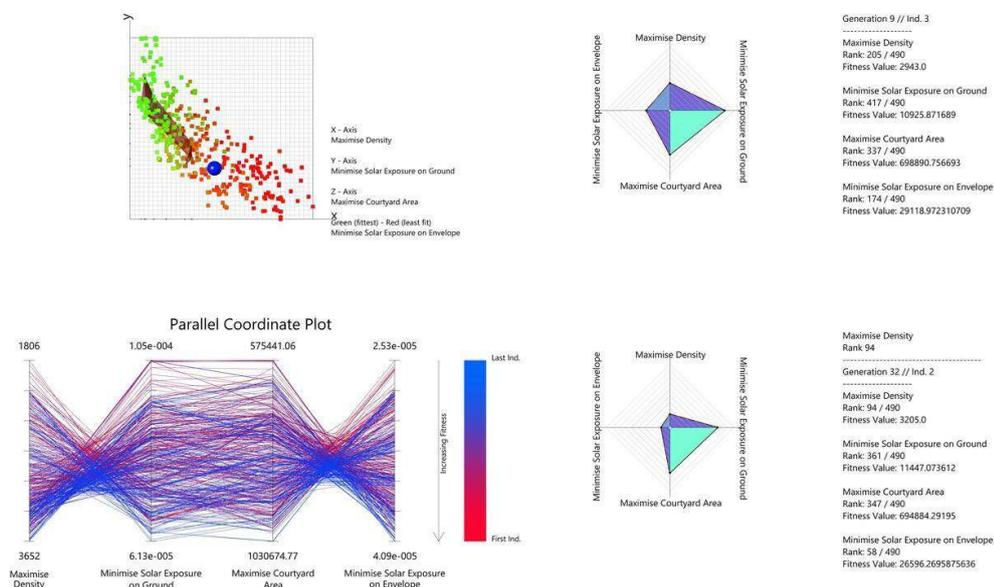
O Galapagos permite obter os resultados otimizados definidos a partir de alguma regra estabelecida, como por exemplo, menor distância entre dois ambientes em uma planta baixa.

**WALLACEI:** Inicialmente concebida como uma ferramenta analítica por Mohammed Makki, a Wallacei evoluiu com a contribuição dos pesquisadores Milad Showkatbakhsh e Yutao Song, transformando-se em um mecanismo evolutivo que capacita os usuários a realizar simulações evolutivas. Além disso, permite que os usuários selecionem, reconstruam e produzam qualquer fenótipo da população resultante da simulação, conforme descrito pelos desenvolvedores em seu manual, o Wallacei Primer 2.0 (MAKKI, 2019). Também está disponível para ser utilizado no Grasshopper.

Ao contrário de seu antecessor, o Wallacei viabiliza uma abordagem multi-objetivos, o que amplia a capacidade de lidar com diversos intervenientes dentro do mesmo algoritmo.

<sup>15</sup> Disponível em: <<https://parametrichouse.com/galapagos-rectangle/>>. Acesso em: 19 de maio de 2024.

Figura 35 - Gráficos gerados pelo Wallacei



Fonte: Fórum do Rhinoceros<sup>16</sup> (2024)

### 3. ESTUDO DE CASO: PROJETO *REDISCOVER* E *DESIGN* GENERATIVO NO ESCRITÓRIO DA *AUTODESK* EM TORONTO

Como já mencionado, o Design Generativo oferece uma nova abordagem de projeção na arquitetura, sendo o computador uma ferramenta auxiliar no desenvolvimento do projeto. Neste capítulo, explora-se o Projeto *Rediscover*, realizado pela empresa *Autodesk*, em que diversas qualidades de seu escritórios foram trabalhados de modo a serem otimizados utilizando o Design Generativo.

#### 3.1. O PROJETO *REDISCOVER* DA *AUTODESK*

O Projeto *Rediscover* surgiu como uma reavaliação do Projeto *Discover*, o primeiro passo da *Autodesk* na aplicação do design generativo para arquitetura, engenharia e construção (AEC). Esse projeto foi realizado para o novo escritório da *Autodesk* no distrito *MaRS*, em Toronto - Canadá, com o objetivo de criar um

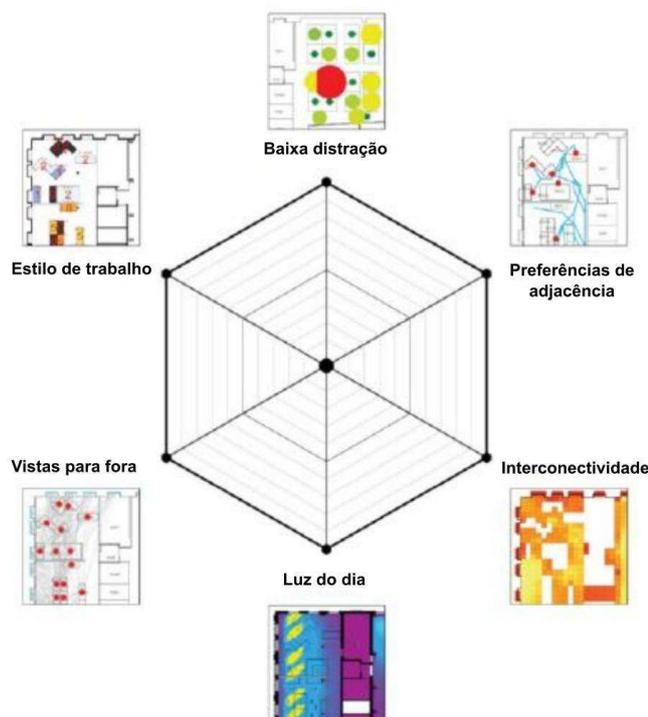
<sup>16</sup> Disponível em: <<https://discourse.mcneel.com/t/wallacei-x-announcement-an-evolutionary-and-analytic-engine-for-grasshopper/77031/8>>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

ambiente de trabalho otimizado que fosse um exemplo prático de design gerado automaticamente.

O projeto original utilizou o *Dynamo*, uma ferramenta de programação visual para o *Revit*, em conjunto com o *Refinery*, um motor de otimização também desenvolvido pela *Autodesk*. A equipe de pesquisa da *Autodesk* revisitou a abordagem inicial do Projeto Discover, implementando melhorias e reajustes para incorporar ferramentas mais recentes, permitindo um fluxo de trabalho mais robusto e acessível.

O Project Rediscover tem seis métricas diferentes que avaliam cada design: baixa distração; preferências de adjacências; interconectividade; luz do dia; vistas para fora e estilos de trabalho (Figura 36).

Figura 36 - Métricas de avaliação do Projeto Rediscover da Autodesk



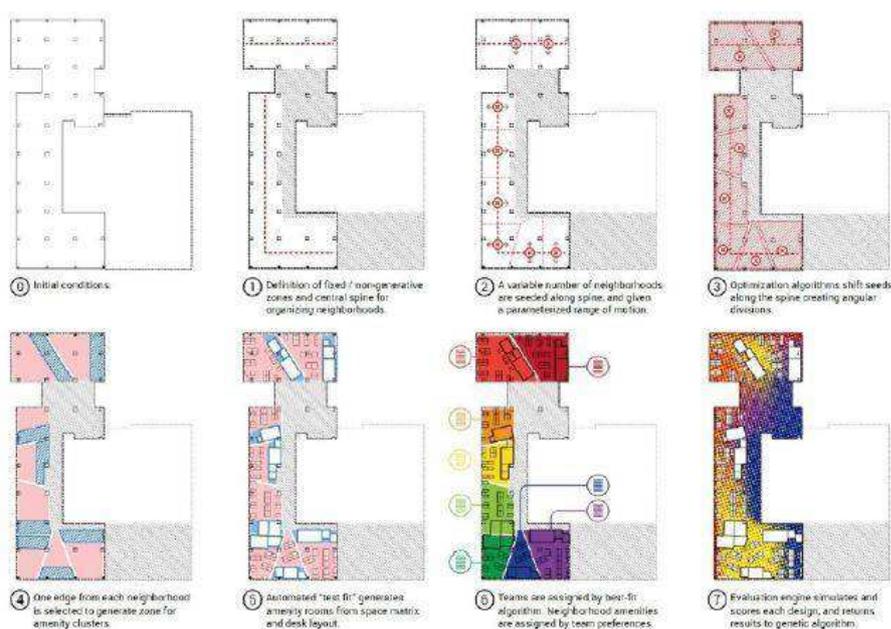
Fonte: Autodesk<sup>17</sup>, adaptado pelo autor (2024).

17 Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

A complexidade do projeto residia na necessidade de equilibrar múltiplas variáveis qualitativas humanas (como as preferências de estilo de trabalho, a interação social entre os colaboradores, e a maximização da iluminação natural) com variáveis mensuráveis (como quantidade de irradiação solar, quantidade de ruído e quantidade de “produtividade”). O design generativo permitiu que milhares de configurações fossem analisadas rapidamente, identificando as que melhor atendiam aos critérios e às restrições definidas.

Nos esquemas da figura a seguir, pode-se acompanhar as etapas de refinamento de estudo do sistema geométrico: (0) incorporar restrições; (1) definir zonas geradoras e não geradoras; (2-3) subdividir o espaço em vizinhanças; (4) gerar 'barras de amenidade'; (5) gerar 'ajuste de teste'; (6) designar equipes; (7) Avalie a solução.

Figura 37 - Etapas do sistema geométrico do estudo



Fonte: Autodesk<sup>18</sup>, adaptado pelo autor (2024).

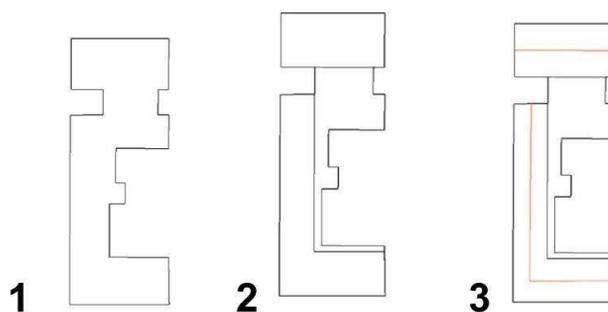
18 Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

### 3.1.1. AS ETAPAS DO SISTEMA GEOMÉTRICO

Neste subtópico, descreve-se o processo de criação do sistema geométrico dos estudos do projeto do escritório. Ao observar bem, é a descrição de um algoritmo que foi utilizado no projeto arquitetônico.

O ponto de partida é definir o contorno do piso e a localização das janelas, informações que podem ser carregadas de um software como o *Revit* ou configuradas manualmente. Em seguida, o espaço é dividido em áreas específicas para facilitar o design generativo, utilizando regiões que são posteriormente subdivididas para criar "adjacências".

Figura 38 - Etapas 1,2 e3 do sistema geométrico do estudo



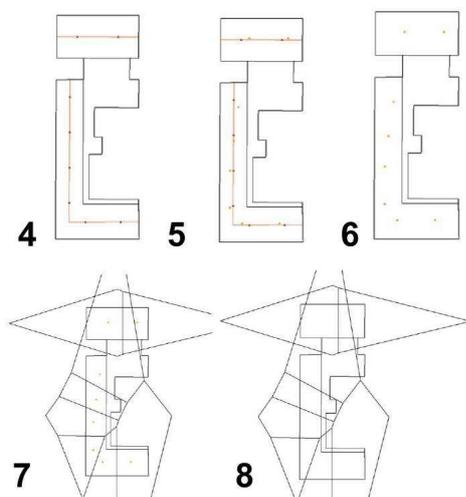
Fonte: Autodesk<sup>19</sup>, adaptado pelo autor (2024).

Essas regiões são definidas por eixos centrais, que são ajustados com base em parâmetros de entrada, permitindo pequenas variações para otimização. Após isso, uma partição com padrão geométrico é aplicada, que segmenta o espaço em diferentes regiões. Essas vizinhanças são então refinadas cortando a geometria baseada nos limites definidos anteriormente.

---

<sup>19</sup> Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

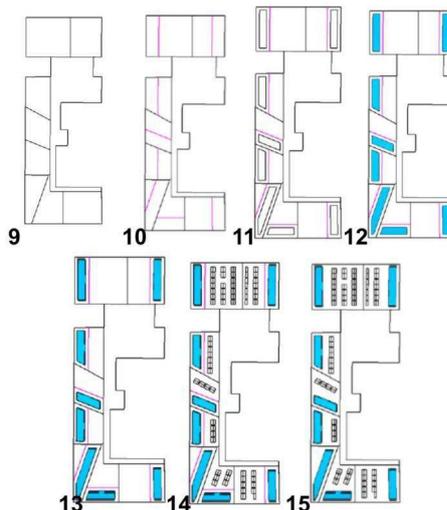
Figura 39 - Etapas 4, 5, 6, 7 e 8 do sistema geométrico do estudo



Fonte: Autodesk<sup>20</sup>, adaptado pelo autor (2024).

Depois, as “áreas de conforto” são estabelecidas, e as mesas são organizadas de maneira a evitar obstáculos como colunas. Por fim, o *layout* final é obtido ao remover as linhas de divisão das vizinhanças, criando um espaço funcional e otimizado.

Figura 40 - Etapas finais do sistema geométrico do estudo



Fonte: Autodesk<sup>21</sup>, adaptado pelo autor (2024).

20 Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

21 Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

### 3.1.2. O SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO PROJETO REDISCOVER

Com base nos 24 parâmetros de entrada, o sistema de geometria no Dynamo é capaz de gerar milhares, senão milhões, de quantidade de layouts diferentes para o escritório. O papel do sistema de avaliação é usar métricas para pontuar cada design, permitindo que o *designer* explore diferentes opções e encontre soluções ideais, considerando as compensações entre métricas concorrentes.

O resultado foi um ambiente de escritório que não só atende às necessidades operacionais da empresa, mas também serve como uma referência de sucesso para a aplicação do design generativo na arquitetura. O Projeto *Rediscover* demonstra como essa abordagem pode ser usada para criar espaços que são tanto funcionais quanto esteticamente agradáveis, ao mesmo tempo em que maximizam a eficiência.

Figura 41 - Escritório da Autodesk em Toronto



Fonte: Autodesk<sup>22</sup> (2024)

## 4. MUSEU DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

---

<sup>22</sup> Disponível em: <<https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Hands-Project-Rediscover-Generatively-Designing-Autodesk-Toronto-Office-2020>>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

Neste capítulo, será tratado o tema Museu de Ciência e Tecnologia, que servirá de referência para a elaboração da proposta do projeto utilizado como apoio à metodologia de aplicação do Design Generativo.

#### 4.1. SOBRE MUSEUS

Segundo Kiefer (2001), os museus são tão antigos quanto a própria história da humanidade. Desde que o ser humano começou a colecionar e guardar para si os seus deuses e objetos de valor em salas construídas especialmente para esse fim.

A palavra museu tem origem no grego antigo *Museion*, que significa “santuário dos templos dedicados às musas, que recebem doações, oferendas...”. Mas é no período do Renascimento, no século XVIII, que se desenvolve uma maior paixão por criar essas espécies de gabinetes de objetos exóticos. Tendo o Palácio Médici, em florença na Itália, considerado como o primeiro museu privado da Europa.

Figura 42 - Galeria de Luca Giordano, no Palácio Médici



Fonte: Wikipédia<sup>23</sup>

---

<sup>23</sup> Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Palazzo\\_Medici\\_Riccardi#O\\_museu\\_dos\\_M%C3%A9dici\\_e\\_a\\_%C3%A9poca\\_contempor%C3%A2nea](https://pt.wikipedia.org/wiki/Palazzo_Medici_Riccardi#O_museu_dos_M%C3%A9dici_e_a_%C3%A9poca_contempor%C3%A2nea)>. Acesso em: 27 de maio de 2024.

Um museu, em sua essência, serve primariamente para apresentar ao público coleções de materiais a fim de disseminar conhecimento. Segundo a definição do *Council of Museums* (ICOM), conceituado órgão internacional:

“O museu é uma instituição permanente, sem fins lucrativos, a serviço da sociedade e do seu desenvolvimento, aberta ao público e que adquire, conserva, investiga, difunde e expõe os testemunhos materiais do homem e de seu entorno, para educação e deleite da sociedade”.([http>//icom.museum](http://icom.museum), apud Lapa, 2011 p.9)

Polout (2013) define museu a partir da enumeração de suas funções. São destacados 5 usos: colecionar, conservar, estudar, interpretar e expor. Já o museólogo holandês Peter Van Mensch utiliza apenas 3: preservar, estudar, transmitir.

Quanto à temática e ao tipo de acervo que os museus oferecem, existem diferentes classificações. Segundo uma classificação de tipologias museais registrada pela Universidade Federal de Pelotas (2024), destaca-se algumas dessas:

- Museus Históricos
- Museu de História Natural
- Museus de Ciência e Técnica
- Museus Etnográficos
- Museus de Arte

Assim como novas tendências de museus que contam com:

- Museus temáticos, monográficos
- Espaços musealizados
- Museus Virtuais, digitais, cibermuseus
- Museus planetários

## 4.2. MUSEU DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA X CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Tradicionalmente, um museu apresenta exposições físicas, como já dito, apresentando um material e o expondo para o público. Com o decorrer do tempo e com as inovações tecnológicas surgindo, as formas de apresentar esses materiais para o público foram se diversificando, fugindo um pouco da conceituação tradicional de um museu. É portanto, por conta disso, que pode-se diferenciar um Museu de Ciência e Tecnologia de um Centro de Ciências e Tecnologia, ou, simplesmente, Centro de Ciências.

Figura 43 - Museu de Ciências e Tecnologia da PUC-RS



Fonte: Museu de Ciências e Tecnologia | PUCRS<sup>24</sup>

Segundo Danilov (1982, p.2, apud MASSABKI, 2011, p. 13), os Centros de Ciências se desenvolveram a partir de outras instituições mais antigas, como os museus de ciência, os da técnica, da indústria, os ligados à área da saúde e os museus de ciência e tecnologia.

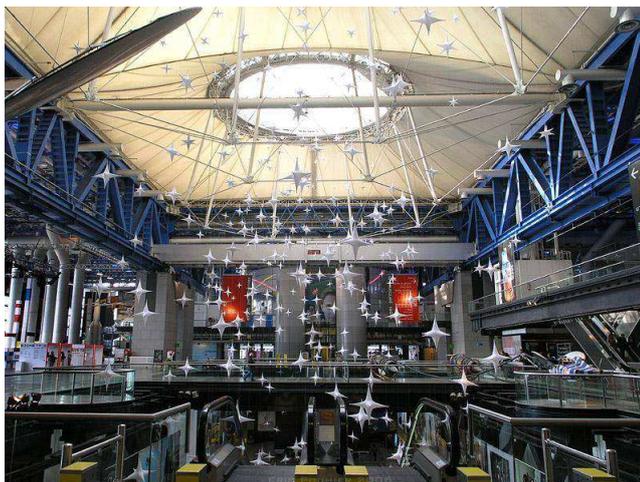
A característica mais fundamental de um Centro de Ciências é que, diferentemente de um museu, esse não necessariamente precisa lidar com exposições materiais, mas trabalham muito em cima do “imaterial”, sendo focados mais na experiência do usuário. As áreas do conhecimento abordadas costumam

---

<sup>24</sup> Disponível em: <<https://www.pucrs.br/mct/institucional/>>. Acesso em: 5 de maio de 2024

ser a física, a química, a biologia, a geologia, a astronomia, a matemática, a engenharia e a medicina (MASSABKI, 2011).

Figura 44 - O Cité des Sciences et de l'Industrie, tipicamente um Centro de Ciências, em Paris.



Fonte: Wikipédia<sup>25</sup>

Se, num primeiro momento, a tendência dos museus era de fornecer equipamentos próprios aos visitantes (como os reprodutores de áudio com fones de ouvido, que funcionam como guias eletrônicos), com a popularização das novas tecnologias, cada vez mais o usuário utiliza seu próprio equipamento, aliviando o museu de custos logísticos e de manutenção.

Um Centro de Ciência e Tecnologia, oferece a divulgação científica e o estímulo às carreiras da área científica, através de uma abordagem multidisciplinar integrando ciência, tecnologia e arte e recorrendo amplamente às técnicas interativas de caráter experimental (MASSABKI, 2011).

### 4.3. A INTERATIVIDADE EM MUSEUS

---

<sup>25</sup> Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Cit%C3%A9\\_des\\_Sciences\\_et\\_de\\_l%27Industrie](https://en.wikipedia.org/wiki/Cit%C3%A9_des_Sciences_et_de_l%27Industrie)>. Acesso em: 28 de maio de 2024.

À medida que novas tecnologias surgem, os museus e Centros de Tecnologia podem oferecer uma interatividade maior do público com o material. Sendo justamente essa exploração do uso de tecnologias um diferencial atrativo para o espaço.

Massabki (2011), afirma que, além da popularização da *internet* nos últimos tempos, a praticidade fornecida por *smartphones* e *tablets* fizeram com que se adotasse o uso dessas tecnologias nos espaços de museus. Ao oferecer informações complementares, como textos, imagens e links, e ao coletar dados do público, foi possível criar websites personalizados que os visitantes podem acessar mesmo fora do ambiente do museu.

Várias ferramentas podem ser adotadas, como telas interativas em que o usuário pode tocar, imersões totais em que o usuário utiliza aparelhos de realidade virtual ou também através da projeção de imagens no ambiente, semi-imersão através do uso de realidade aumentada.

Figura 45 - Exposições interativas no Museu do Amanhã, Rio de Janeiro



Fonte: Vivi na Viagem<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Disponível em: <<https://vivinaviagem.com/visita-ao-museu-do-amanha/>>. Acesso em: 28 de maio de 2024.

De acordo com Lapa (2011), a interatividade amplia a conexão entre o indivíduo e a máquina, possibilitando um diálogo entre eles. Além disso, permite ao usuário exercitar sua capacidade de seleção, criatividade, tomada de decisões e estabelecimento de significados. As novas condições tecnológicas estão progressivamente avançando em direção ao desenvolvimento de uma dinâmica perceptiva centrada na manipulação de formas, fazendo uso do conjunto dos sentidos humanos.

Conforme Paula e Lara (2014, apud Borges, 2009, p. 181), “dada a relevância da interação para a aprendizagem, torna-se capital reconhecer estratégias de ensino que cumpram essa função e nessa perspectiva é possível apontar a atividade experimental como uma das estratégias a ser utilizada”. A exemplo, o Museu de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - MCT/PUCRS, nesse sentido, contribui oferecendo mais de setecentos experimentos interativos.

## **5. REFERÊNCIAS PROJETAIS**

Neste capítulo, é feito o estudo de referências de projeto que sirvam de base para a elaboração da proposta a ser trabalhada na metodologia.

### **5.1. MUSEU DO AMANHÃ**

Ficha Técnica:

Local: Rio de Janeiro, Brasil

Área: 15000m<sup>2</sup>

Arquiteto: Santiago Calatrava

O Museu do amanhã fica localizado no Pier Mauá, à beira da Baía de Guanabara, na cidade do Rio de Janeiro.

Figura 46 - Localização do Museu do Amanhã



Fonte: O Globo<sup>27</sup>

A arquitetura do Museu é inspirada na cultura carioca, explorando a relação entre a cidade e o meio ambiente natural. Possui 5000m<sup>2</sup> de espaço de exposições temporárias e permanente, além de uma praça que envolve a estrutura e se estende ao longo do cais.

A exposição permanente está localizada no pavimento superior, com um pé direito de 10 metros de altura, fornecendo uma vista panorâmica da Baía de Guanabara. Sua altura foi limitada a 18 metros, para proteger a vista da baía para o Mosteiro de São Bento, Patrimônio Mundial da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura). A temática das exposições se apoia em dois grandes eixos narrativos: no campo da Sustentabilidade, perguntamos ao visitante “como poderemos viver?”; e na Convivência, “como queremos viver?”. As exposições têm como objetivo conscientizar sobre o futuro e a necessidade de adotar atitudes mais éticas nos seus 5 mil m<sup>2</sup> de área expositiva.

---

<sup>27</sup> Disponível em: <<https://infograficos.oglobo.globo.com/rio/futuro-a-beira-mar.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

Figura 47 - Corte transversal do Museu do Amanhã

Fonte: O Globo<sup>28</sup>(2024)

Figura 48 - Corte longitudinal do Museu do Amanhã

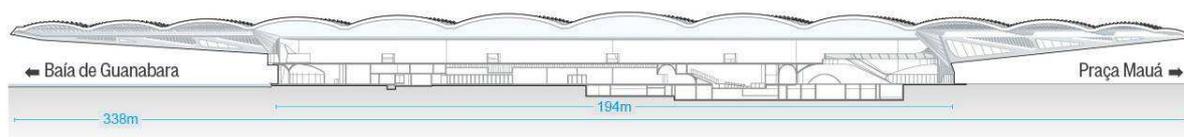
Fonte: O Globo<sup>29</sup>(2024)

Figura 49 - Museu do Amanhã, Santiago Calatrava

Fonte: ARCHDAILY<sup>30</sup>(2024).

28 Disponível em: <<https://infograficos.oglobo.globo.com/rio/futuro-a-beira-mar.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

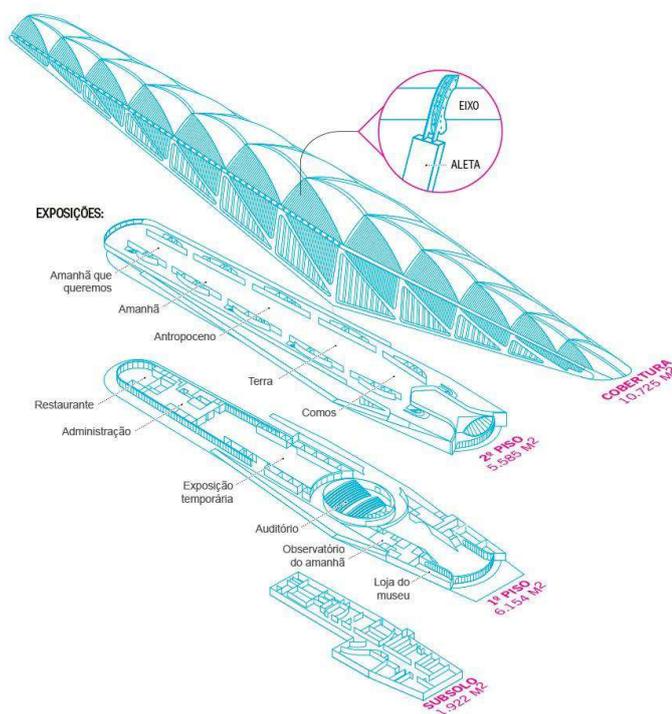
29 Disponível em: <<https://infograficos.oglobo.globo.com/rio/futuro-a-beira-mar.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

Possui um espelho d'água em torno de toda a estrutura que se expandem por quase todo o cais, se estendendo para a Baía de Guanabara, servindo para filtrar a água que está sendo bombeada a partir da baía e liberada de volta para o final do pier. Além disso, oferece a sensação de que a edificação está flutuando sobre a água.

O nível inferior do museu contém as salas funcionais e técnicas, tais como escritórios administrativos do museu, instalações educacionais, espaços de pesquisa, um auditório, uma loja do museu, um restaurante, *lobby*, arquivos, armazenamento e uma área de entrega.

O nível de subsolo possui instalações técnicas e é praticamente composto pelas instalações de bombas e do sistema responsável pelas trocas de águas.

Figura 50 - Vista Explodida do Museu do Amanhã<sup>31</sup>



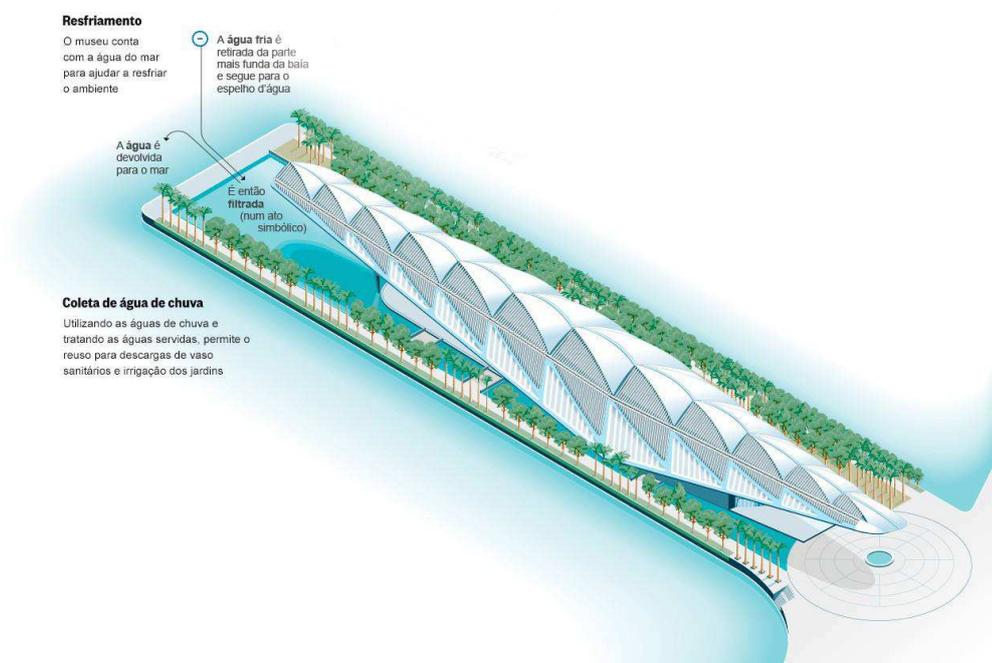
Fonte: O Globo<sup>31</sup>(2024), adaptado pelo autor

30 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/785756/museu-do-amanha-santiago-calatrava>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

O museu foi construído de acordo com as premissas da arquitetura sustentável. Como a escolha de materiais reciclados de alta durabilidade, que não agridam o ambiente e que foram produzidos próximos ao local da obra, por exemplo.

Sua estrutura metálica é capaz de se movimentar, a fim de aproveitar a luz solar e captá-la para conversão de energia elétrica, com placas fotovoltaicas. Esse componente, inclusive, tem um formato que remete às asas.

Figura 51 - Sistema de reaproveitamento das águas do Museu do Amanhã



Fonte: O Globo<sup>32</sup>(2024), adaptado pelo autor.

Deste projeto, têm-se o programa de necessidades e a funcionalidade da edificação tomada como base para a concepção projetual do Centro de Ciências e Tecnologia para São Luís.

31 Disponível em: <<https://infograficos.oglobo.globo.com/rio/futuro-a-beira-mar.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

32 Disponível em: <<https://infograficos.oglobo.globo.com/rio/futuro-a-beira-mar.html>>. Acesso em: 10 de junho de 2024.

## 5.2. MUSEU OSCAR NIEMEYER

Ficha técnica:

Arquitetos: Oscar Niemeyer

Ano: 1996

Tipo de projeto: Cultural

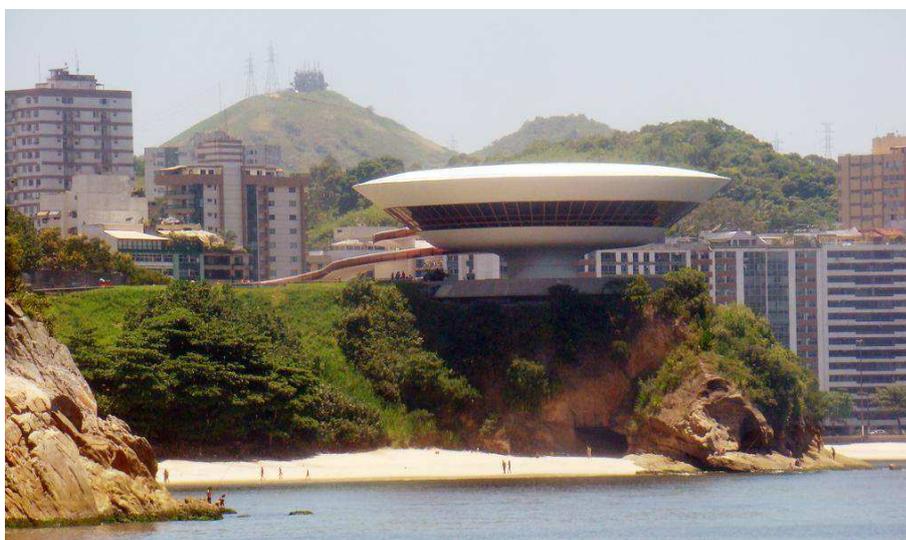
Status: Construído

Estrutura: Concreto

Localização: Niterói, Brasil

Implantação no terreno: Isolado

Figura 52 - Fotografia do Museu de Arte Contemporânea de Niterói / Oscar Niemeyer



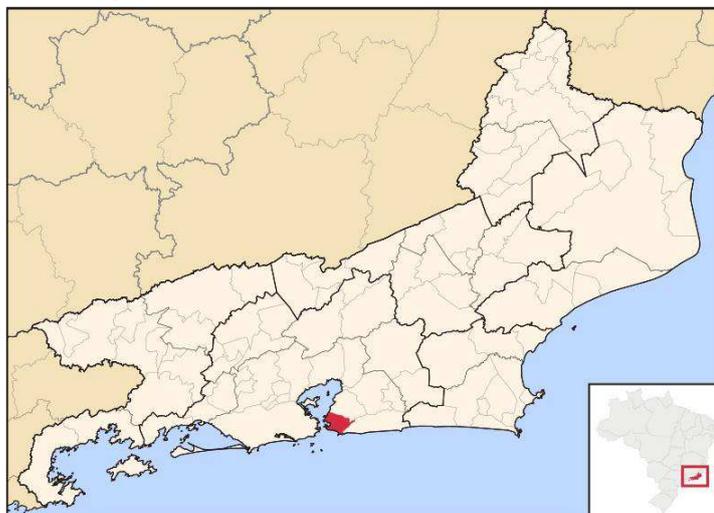
Fonte: ARCHDAILY<sup>33</sup>(2024).

O Museu fica localizado na cidade de Niterói, no estado do Rio de Janeiro.

---

33 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-81036/classicos-da-arquitetura-museu-de-arte-contemporanea-de-niteroi-oscar-niemeyer/1288030426-untitled-1>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Figura 53 - Localização do município de Niterói



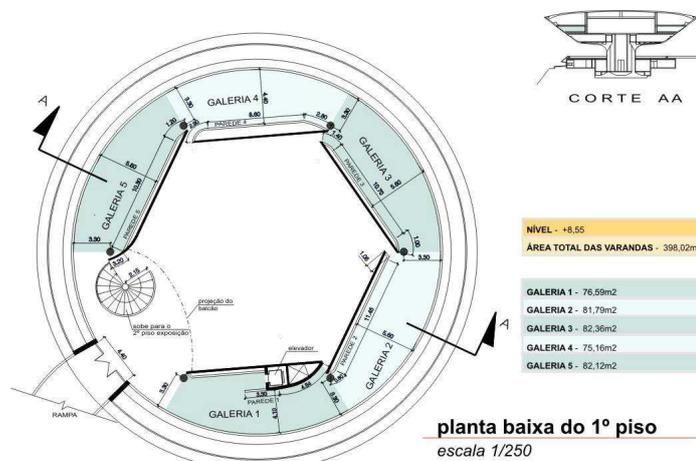
Fonte: Wikipédia<sup>34</sup>.

O Museu de Arte Contemporânea de Niterói (MAC), projetado por Oscar Niemeyer e inaugurado em 1996, é um dos marcos mais icônicos da arquitetura brasileira. Situado na Baía de Guanabara, o edifício circular de 16 metros de altura lembra um disco voador, com sua forma futurista e imponente. A construção é suportada por uma única coluna central e apresenta uma rampa sinuosa que leva os visitantes a uma sala de exposições principal, circundada por janelas panorâmicas que oferecem vistas deslumbrantes da paisagem ao redor.

---

34 Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista\\_de\\_bairros\\_de\\_Niter%C3%B3i#/media/Ficheiro:RioDeJaneiro\\_Municip\\_Niteroi.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_bairros_de_Niter%C3%B3i#/media/Ficheiro:RioDeJaneiro_Municip_Niteroi.svg)>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Figura 54 - Planta Baixa do Museu de Niterói (1º Piso)



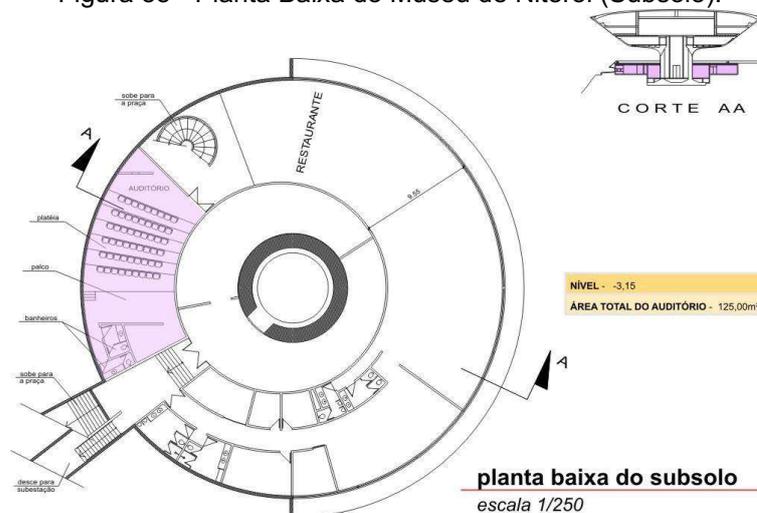
Fonte: ARCHDAILY<sup>35</sup>(2024).

A estrutura foi projetada para resistir a ventos de até 200 km/h e os vidros são inclinados em um ângulo de 40 graus, permitindo uma interação harmoniosa entre a construção e o ambiente natural.

No subsolo, encontram-se um auditório e um restaurante que também oferece vistas espetaculares da baía. A criação do MAC reflete a genialidade de Niemeyer em integrar arquitetura e paisagem, proporcionando uma experiência única e memorável aos visitantes.

35 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/01-81036/classicos-da-arquitetura-museu-de-arte-contemporanea-de-niteroi-oscar-niemeyer/1288030426-untitled-1>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

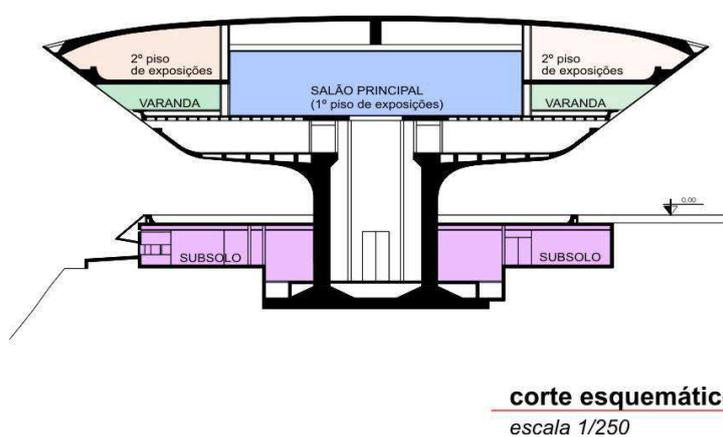
Figura 55 - Planta Baixa do Museu de Niterói (Subsolo).



Fonte: ARCHDAILY<sup>36</sup>(2024).

Niemeyer desenhou o museu como uma escultura monumental que se eleva sobre o cenário urbano de Niterói, criando uma síntese perfeita entre a arte, a engenharia e a natureza. O projeto destaca a ousadia e a inovação características do arquiteto, que sempre buscou desafiar os limites convencionais da arquitetura.

Figura 56 - Corte Esquemático do Museu de Niterói



Fonte: ARCHDAILY<sup>37</sup>(2024).

36 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-81036/classicos-da-arquitetura-museu-de-arte-contemporanea-de-niteroi-oscar-niemeyer/1288030426-untitled-1>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

37 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-81036/classicos-da-arquitetura-museu-de-arte-contemporanea-de-niteroi-oscar-niemeyer/1288030426-untitled-1>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Deste projeto, a característica mais marcante é que, apesar de ser um museu, a edificação ainda se promove como uma área de contemplação da paisagem do Rio de Janeiro, sendo a própria edificação parte integrante da mesma. Além de sua proximidade com o mar, algo também presente na referência anterior.

### 5.3. MUSEU DE CIÊNCIA PARA CRIANÇAS DE INCHEON

Ficha Técnica:

Arquitetos: HAEAHN Architecture, Seongwoo Engineering & Architects, Yooshin Architects & Engineers

Área: 14998 m<sup>2</sup>

Ano: 2011

Figura 57 - Localização de Incheon na Coreia do Sul



Fonte: Wikipédia<sup>38</sup>(2024).

O Museu de Ciência para Crianças de Incheon, projetado por *HAEAHN Architecture*, *Yooshin Architects & Engineers*, e *Seongwoo Engineering & Architects*, é uma obra situada aos pés da montanha KyeYang, em Incheon. O museu foi

---

38 Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Incheon#/media/Ficheiro:South\\_Korea-Incheon.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Incheon#/media/Ficheiro:South_Korea-Incheon.svg)>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

concebido com a ideia de se tornar um ícone local, trazendo conceitos inovadores tanto na sua arquitetura quanto na sua proposta educacional.

Figura 58 - Fachada do Museu de Incheon



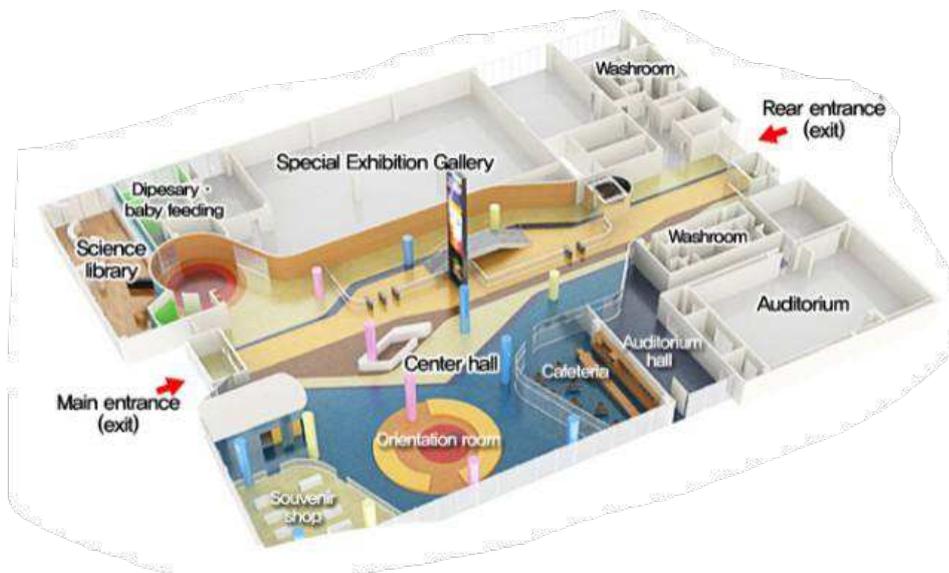
Fonte: ARCHDAILY<sup>39</sup>(2024).

A concepção do museu se baseou em quatro ícones: Sonho, Eco, Comunidade e Diversão. O ícone Sonho se reflete na forma irregular e perfurada do edifício, criando um ambiente que estimula a imaginação das crianças. O ícone Eco é representado pelos diversos espaços ao ar livre, permitindo uma experiência tridimensional e uma conexão harmoniosa com a natureza e a cidade ao redor. O ícone Comunidade se manifesta no design que facilita a interação entre o interior e o exterior do museu, promovendo um fluxo natural e contínuo de visitantes. Finalmente, o ícone Diversão é centralizado no *hall* principal, que abriga esculturas, eventos e espaços de interesse, incentivando as crianças a explorar e se divertir enquanto aprendem sobre ciência.

---

39 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/759936/museu-de-ciencia-para-criancas-de-incheon-haeahn-architecture-plus-yooshin-architects-and-engineers-plus-seongwoo-engineering-and-architects>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

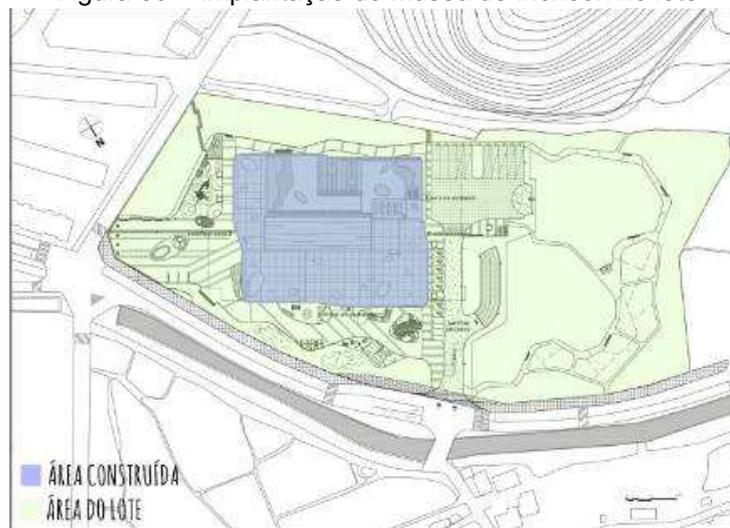
Figura 59 - Planta em perspectiva (térreo) do Museu de Incheon.



Fonte: MUSSIO; VENTURIN (2018).

A localização do museu foi estrategicamente escolhida para ficar na interseção entre áreas residenciais e uma zona de desenvolvimento limitado, aproveitando um grande terreno que oferece oportunidades únicas de interação entre a cidade e a natureza. A disposição do volume arquitetônico cria espaços externos que não apenas respeitam, mas também se integram ao entorno natural e urbano.

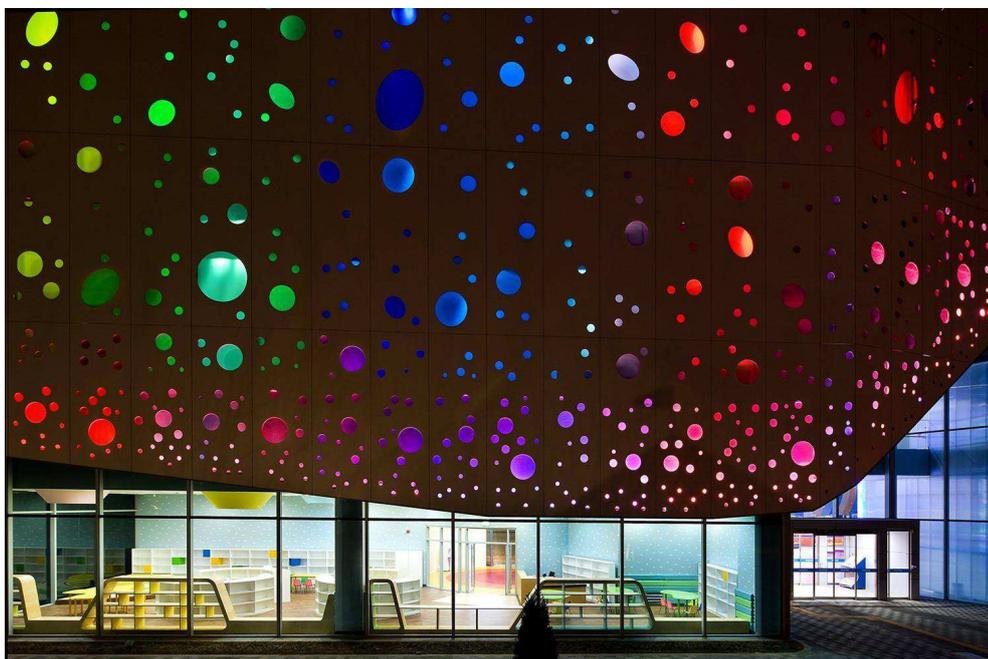
Figura 60 - Implantação do Museu de Incheon no lote



Fonte: MUSSIO; VENTURIN (2018).



Figura 62 - Detalhe da filtragem da luz nos elementos de fachada do Museu de Incheon.



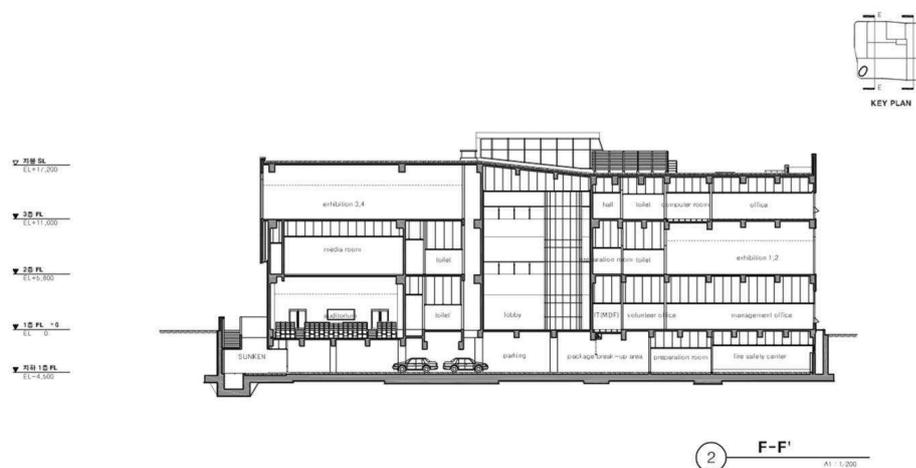
Fonte: ARCHDAILY<sup>41</sup>(2024).

Esses elementos juntos fazem do Museu de Ciência para Crianças de Incheon um marco arquitetônico e educativo, que não apenas atende às necessidades funcionais de um espaço de ciência, mas também se destaca como um ponto de encontro comunitário e um símbolo de inovação arquitetônica (ArchDaily Brasil).

---

41 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/759936/museu-de-ciencia-para-criancas-de-incheon-haeahn-architecture-plus-yooshin-architects-and-engineers-plus-seongwoo-engineering-and-architects>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Figura 63 - Corte esquemático do Museu de Incheon



Fonte: ARCHDAILY<sup>42</sup>(2024).

Deste projeto, deseja-se retirar partido de sua forma, mais “simples” e primitiva, além da utilização de diversos elementos que lhe atribuem qualidades estéticas e também funcionais, como os elementos porosos em suas fachadas que permitem a filtragem da luz.

## 6. PROPOSIÇÃO PROJETUAL E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a metodologia, decidiu-se aplicar o Design Generativo em etapas de elaboração de uma proposta do projeto do Centro de Ciências e Tecnologia para São Luís, buscando empregá-la em diferentes contextos.

### 6.1. CONDICIONANTES PROJETAIS

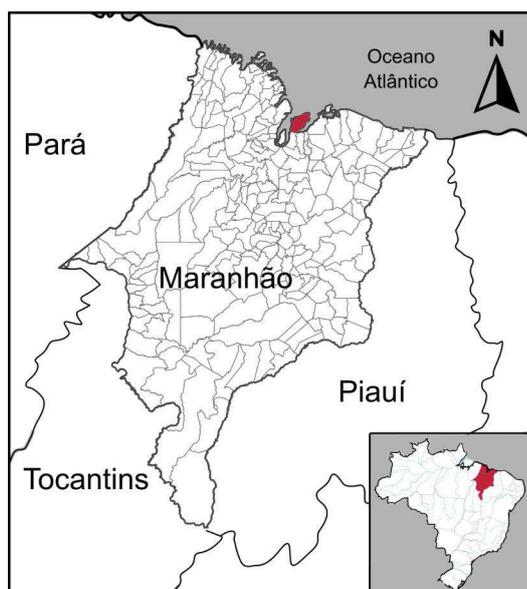
42 Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/759936/museu-de-ciencia-para-criancas-de-incheon-haeahn-architecture-plus-yooshin-architects-and-engineers-plus-seongwoo-engineering-and-architects>>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

Neste capítulo, serão abordadas as condicionantes projetuais, sendo, interessante notar que, muitas delas representam “dados” importantes a serem utilizados na programação a ser feita na metodologia.

## 6.2. CONTEXTUALIZANDO A ÁREA

O terreno destinado ao projeto está situado no município de São Luís, capital do Estado do Maranhão, especificamente no bairro Calhau. A localização é na interseção das Avenidas Litorânea e Avicênia, e é igualmente delimitada pelas Ruas dos Botos e Atlântica.

Figura 64 - Mapa da localização da cidade



Fonte: Wikimedia Commons<sup>43</sup> (2024), adaptado pelo autor.

<sup>43</sup>Disponível em: <[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Brazil\\_Labelled\\_Map.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Brazil_Labelled_Map.svg)>. Acesso em: 12 de maio de 2024.

Figura 65 - Região Metropolitana de São Luís//



Fonte: GARCIA *et al.*(2023), adaptado pelo autor.

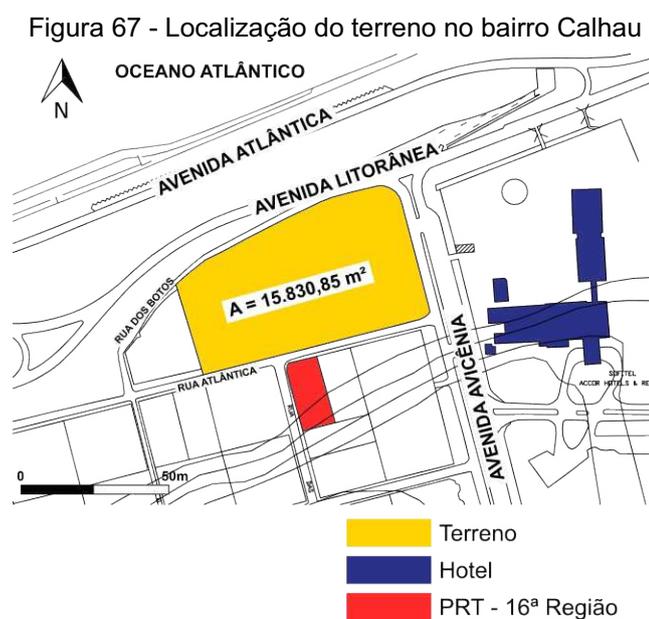
Figura 66- Localização do terreno no bairro Calhau



Fonte: INCID, 2014 Dados: SEMURH, 2001, 2012; INCID, 2013. Adaptado pelo autor.

### 6.3. O TERRENO

O terreno possui aproximadamente 15.830,85 m<sup>2</sup>. Ficando próximo de um hotel de grande porte e do prédio da Procuradoria Regional Do Trabalho - PRT 16ª Região. Além disso, o terreno se encontra próximo ao mar, possuindo uma vista privilegiada na cidade.

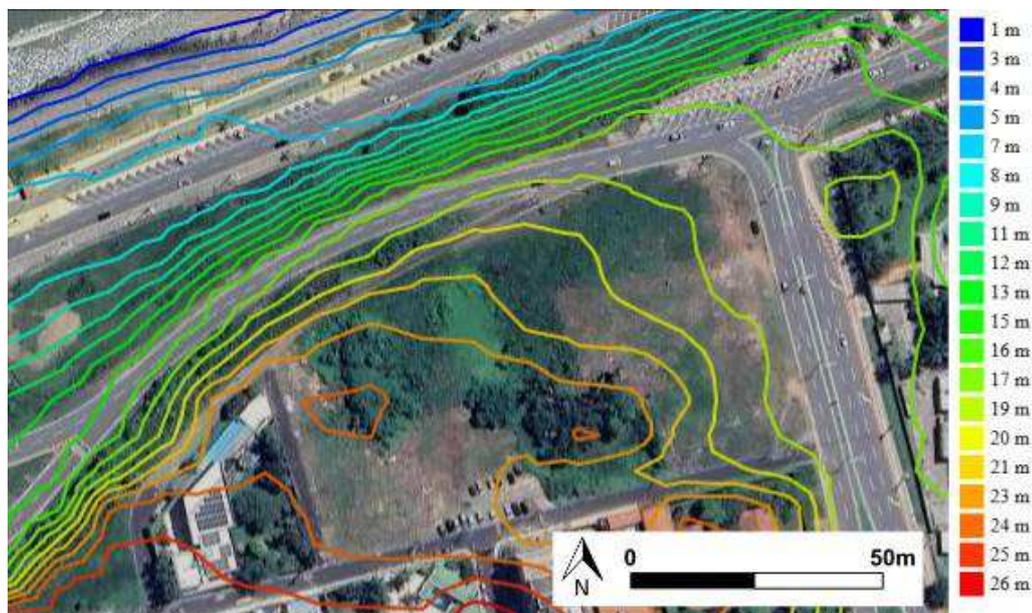


Elaborado pelo autor (2024).

#### 6.4. TOPOGRAFIA

A topografia do terreno exibe uma variação de aproximadamente 5 metros de elevação entre suas extremidades, com um declive mais acentuado na direção do mar. Essa inclinação natural cria uma perspectiva panorâmica, oferecendo uma sensação de mirante que realça a conexão visual com a paisagem circundante. A forma como o terreno se inclina suavemente em direção ao horizonte não só valoriza a vista, mas também potencializa a integração do projeto arquitetônico com o ambiente natural, proporcionando um equilíbrio harmonioso entre a construção e o entorno.

Figura 68 - Topografia do terreno



Fonte: Contour Map Creator<sup>44</sup>, adaptado pelo autor (2024).

## 6.5. ESTUDO DE VENTILAÇÃO E INSOLAÇÃO

A ventilação predominante no terreno escolhido provém das direções Nordeste. O ponto de menor insolação corresponde ao local onde o sol nasce, enquanto o ponto de maior incidência solar ocorre onde o sol se põe. Essas características climáticas influenciam diretamente o conforto térmico e a eficiência energética do projeto, orientando decisões estratégicas no posicionamento e na orientação dos espaços, de modo a otimizar tanto a ventilação natural quanto a proteção solar.

<sup>44</sup> Disponível em: <<https://contourmapcreator.urg8.ch/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2024.

Figura 69 - Estudo de insolação e ventilação



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## 6.6. ESTUDO DE HIERARQUIA VIÁRIA

O terreno em questão está estrategicamente localizado entre duas importantes avenidas: a Avenida Litorânea e a Avenida Avicênia. Essas avenidas, de grande fluxo de veículos e pessoas, atuam como importantes eixos de mobilidade na região, garantindo uma fácil e rápida conexão com outras áreas da cidade. Além disso, o terreno também é acessível por vias de trânsito mais leve, como a Rua dos Botos e a Rua Atlântica, que oferecem alternativas menos movimentadas e proporcionam uma opção de acesso mais tranquila à edificação.

Figura 70 - Estudo de hierarquia viária



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Essa configuração viária não apenas facilita o acesso ao terreno, mas também influenciou significativamente as decisões de projeto, especialmente no que diz respeito à distribuição das entradas e saídas da edificação. O posicionamento entre essas diferentes tipologias de vias permitiu uma maior flexibilidade no planejamento dos acessos, tanto para pedestres quanto para veículos, assegurando que a edificação possa ser facilmente integrada ao tecido urbano existente, além de maximizar o fluxo e a segurança de seus usuários.

## 6.7. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Conforme o Mapa de Zoneamento de São Luís, elaborado em conjunto com a Lei Municipal nº 3253, que regula o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo (1992), o prédio do Cine Monte Castelo está localizado no Corredor Secundário 8.

Figura 71 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo



Fonte: INCID, 2014 Dados: SEMURH, 2001, 2012; INCID, 2013. Adaptado pelo autor.

Com base nessa classificação, é possível definir as diretrizes e restrições que orientam a construção dessa edificação no terreno.

Figura 72 - Índices urbanísticos do Corredor Secundário 8

CORREDOR SECUNDÁRIO 8 – CS8						
Área Livre Mínima do Lote	Taxa Mínima de Permeabilidade	Recuo Frontal Mínimo	Área Total Máxima de Edificação	Gabarito Máximo	Área Total Máxima de Edificação	Gabarito Máximo
ALML	TP	RF	ATME	GM	SOLO CRIADO	
50	20	5	180	4	ATME	GM
%	%	m	%	Pavimentos	%	Pavimentos
Porcentagem da área do lote (m <sup>2</sup> )	Porcentagem da área do lote (m <sup>2</sup> )	Distância da testada do acesso principal (metros)	Porcentagem sobre a área do lote (m <sup>2</sup> )	Número de pisos utilizáveis (cobertos ou não)	Porcentagem sobre a área do lote (m <sup>2</sup> )	Número de pisos utilizáveis (cobertos ou não)
Índices para novos Parcelamentos do Solo						
Área Mínima do Lote			Testada Mínima do Lote			
800 m <sup>2</sup> (metros quadrados)			20 m (metros)			

Fonte: Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural, INCID (2015).

## 6.8. PROGRAMA DE NECESSIDADES E PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Com base no estudo das referências de projetos, especialmente no programa desenvolvido para o Museu do Amanhã, foi possível elaborar o Programa de Necessidades e o pré-dimensionamento para a concepção do projeto.

Figura 73 - Programa de necessidades e pré-dimensionamento do projeto

PROGRAMA DE NECESSIDADES E PRÉ-DIMENSIONAMENTO										
SETOR	AMBIENTE	QUANT	ÁREA IND.	ÁREA TOTAL	SETOR	AMBIENTE	QUANT	ÁREA IND.	ÁREA TOTAL	
Exposições	Exposição permanente	1	1300.00m <sup>2</sup>	1300.00m <sup>2</sup>	Administrativo e Pesquisas	Laboratório de museologia	1	40.00m <sup>2</sup>	40.00m <sup>2</sup>	
	Exposição temporária	1	500.00m <sup>2</sup>	500.00m <sup>2</sup>		Copa	1	15.00m <sup>2</sup>	15.00m <sup>2</sup>	
<b>Total Exposições</b>				1800.00m <sup>2</sup>		WC Administração	1	12.50m <sup>2</sup>	25.00m <sup>2</sup>	
Apoio	Lixo	1	16.00m <sup>2</sup>	16.00m <sup>2</sup>		Recepção Social	1	15.00m <sup>2</sup>	16.00m <sup>2</sup>	
	Gás	1	16.00m <sup>2</sup>	16.00m <sup>2</sup>		Sala de Reunião	3	17.00m <sup>2</sup>	51.00m <sup>2</sup>	
	Reserva Técnica	1	200.00m <sup>2</sup>	200.00m <sup>2</sup>		Diretoria	1	25.00m <sup>2</sup>	25.00m <sup>2</sup>	
	Sala do Gerador	1	9.00m <sup>2</sup>	9.00m <sup>2</sup>		Apoio Financeiro	1	12.00m <sup>2</sup>	12.00m <sup>2</sup>	
	DML	2	10.00m <sup>2</sup>	10.00m <sup>2</sup>		Diretor Financeiro	1	12.00m <sup>2</sup>	12.00m <sup>2</sup>	
	Cisterna/Reservatório Águas pluviais	1	30.00m <sup>2</sup>	30.00m <sup>2</sup>		Secretaria	1	90.00m <sup>2</sup>	90.00m <sup>2</sup>	
	Vestiário Feminino	1	13.60m <sup>2</sup>	13.60m <sup>2</sup>		Sala terceirizados	1	14.00m <sup>2</sup>	14.00m <sup>2</sup>	
	Vestiário Masculino	1	13.60m <sup>2</sup>	13.60m <sup>2</sup>		Depósito Geral	1	50.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>	
	Subestação	1	35.00m <sup>2</sup>	35.00m <sup>2</sup>		Prestação de Contas	1	8.50m <sup>2</sup>	8.50m <sup>2</sup>	
	Casa de Bombas	1	45.00m <sup>2</sup>	45.00m <sup>2</sup>		Arquivo	1	24.00m <sup>2</sup>	24.00m <sup>2</sup>	
	Depósito	1	35.00m <sup>2</sup>	35.00m <sup>2</sup>	<b>Total Administrativo e Pesquisas</b>				382,50m <sup>2</sup>	
	Cozinha	1	48.80m <sup>2</sup>	48.80m <sup>2</sup>	Educacional	Educativo	1	120.00m <sup>2</sup>	120.00m <sup>2</sup>	
	Dep. Cozinha	1	12.00m <sup>2</sup>	12.00m <sup>2</sup>	<b>Total Educacional</b>				120.00m <sup>2</sup>	
	Dep. Restaurante	1	15.30m <sup>2</sup>	15.30m <sup>2</sup>	Social	Hall Acesso	1	300.00m <sup>2</sup>	300.00m <sup>2</sup>	
	Copa	1	7.00m <sup>2</sup>	7.00m <sup>2</sup>		Escada Social	2	25.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>	
	Cabine	1	5.00m <sup>2</sup>	5.00m <sup>2</sup>		Recepção e Bilheteria	1	45.00m <sup>2</sup>	45.00m <sup>2</sup>	
	Camarim	Depósito Cam.	1	10.00m <sup>2</sup>		10.00m <sup>2</sup>	Foyer	1	100.00m <sup>2</sup>	100.00m <sup>2</sup>
		Segurança e servidores	1	15.30m <sup>2</sup>		15.30m <sup>2</sup>	Loja do museu	1	100.00m <sup>2</sup>	100.00m <sup>2</sup>
		CFTV/Monitoramento	1	15.30m <sup>2</sup>		15.30m <sup>2</sup>	Café	1	90.00m <sup>2</sup>	90.00m <sup>2</sup>
Brigada de Incêndio		1	10.00m <sup>2</sup>	10.00m <sup>2</sup>		Restaurante	1	200.00m <sup>2</sup>	200.00m <sup>2</sup>	
Sala Técnica		1	5.20m <sup>2</sup>	5.20m <sup>2</sup>		Antecâmara	1	2.90	2.90m <sup>2</sup>	
Carga/Descarga		1	25.00m <sup>2</sup>	25.00m <sup>2</sup>		Guarda-volumes	1	50.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>	
Ar-condicionados		1	80.00m <sup>2</sup>	80.00m <sup>2</sup>		Elevadores sociais	2	15.00m <sup>2</sup>	30.00m <sup>2</sup>	
Sala de elétrica		3	12.00m <sup>2</sup>	36.00m <sup>2</sup>	Área de mesas externas/Varanda	2	150.00m <sup>2</sup>	300.00m <sup>2</sup>		
Sala de Medição		1	23.00m <sup>2</sup>	23.00m <sup>2</sup>		Hall de Elevadores + Escada de incendio	2	25.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>	
Recebimento		1	16.00m <sup>2</sup>	16.00m <sup>2</sup>		Auditório	1	250.00m <sup>2</sup>	250.00m <sup>2</sup>	
<b>Total Apoio</b>				757,10m <sup>2</sup>	<b>Total Social</b>				1567,90m <sup>2</sup>	
<b>TOTAL</b>									4776,00m <sup>2</sup>	
Serviços	WC PNE- M/F	10	3.60m <sup>2</sup>	36.00m <sup>2</sup>						
	WC Masc	4	13.00m <sup>2</sup>	52.00m <sup>2</sup>						
	WC Fem	4	13.00m <sup>2</sup>	52.00m <sup>2</sup>						
	Primeiros Socorros	1	8.50m <sup>2</sup>	8.50m <sup>2</sup>						
<b>Total Serviços</b>				148,50m <sup>2</sup>						

Fonte:Elaborado pelo autor (2024).

## 6.9. PARTIDO ARQUITETÔNICO

Neste trabalho, adotou-se uma abordagem que visa simplificar a forma da edificação, levando em consideração a natureza e a escala significativa do projeto. O objetivo principal é desenvolver um estudo preliminar que ofereça uma proposta funcional de projeto, explorando os recursos do *Design* Generativo e demonstrando-os neste trabalho, complementados pelas ferramentas de *Design* Computacional abordadas ao longo deste estudo.

Em relação à estética, o projeto busca integrar tipologias arquitetônicas modernas, características de edificações já presentes na cidade, ao mesmo tempo em que incorpora elementos contemporâneos influenciados pelo parametricismo. Esses elementos, fruto da utilização de tecnologias computacionais avançadas, conferem ao projeto uma estética inovadora, reforçando a ideia de tecnologia e modernidade.

No aspecto da funcionalidade, o projeto inspira-se fortemente no Museu do Amanhã, como mencionado anteriormente, que serviu como principal referência conceitual. O objetivo foi replicar, dentro do possível, a maneira como a edificação se comunica com seu entorno e seus usuários, criando um diálogo eficaz entre forma, função e tecnologia. Essa abordagem permite que o projeto seja tanto uma representação visual quanto funcional de inovação, alinhando-se com os princípios discutidos ao longo deste trabalho.

## 6.10. TRABALHANDO COM *RHINOCEROS* E *GRASSHOPPER*

Para adentrar os capítulos de aplicação do Design Generativo no trabalho, é importante oferecer uma breve introdução aos *softwares* que foram diretamente utilizados nas etapas, neste caso, principalmente o *Rhinceros* e o *Grasshopper*, para que se possa oferecer um melhor esclarecimento das ações executadas dentro destes programas.

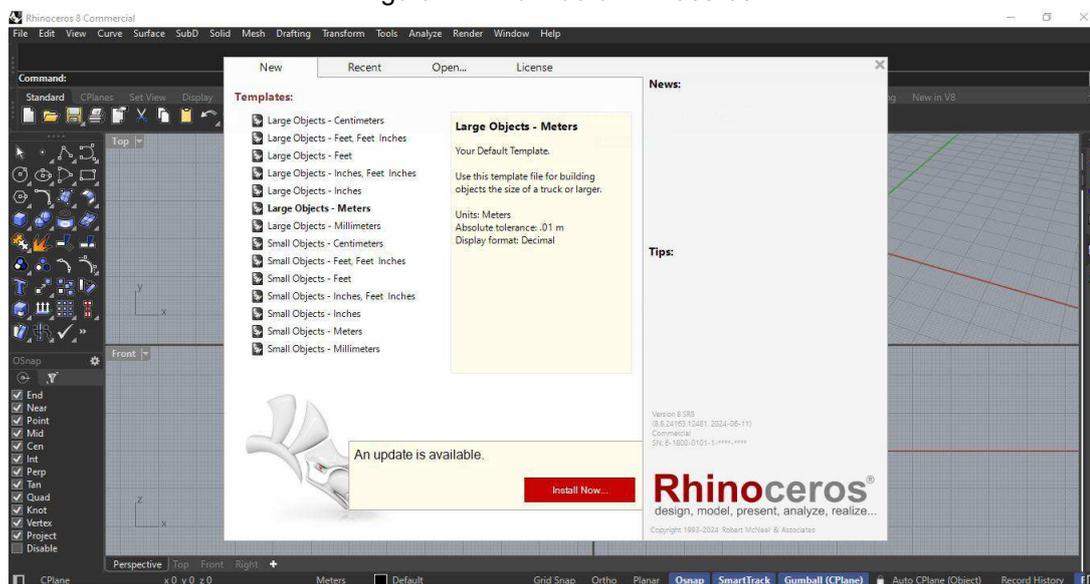
### 6.10.1. INSTALAÇÃO

Para acessar o *Grasshopper*, é necessário acessar o *Rhinoceros* primeiro, pois, como já dito, o *Grasshopper* se trata apenas de uma extensão dentro deste programa que permite a criação de programação visual para o *Rhinoceros*. Na versão do *Rhinoceros* utilizada no trabalho (*Rhinoceros 8*), a extensão *Grasshopper* já vem instalada por padrão.

### 6.10.2. INTERFACE DO RHINOCEROS 8

Ao abrir-se o *Rhinoceros*, pode-se escolher entre modelos com unidades de medidas configuradas, neste caso, escolhe-se o modelo “*Large Objects - Meters*”, para que se possa trabalhar utilizando metro como unidade de referência, o que pode ser mudado depois.

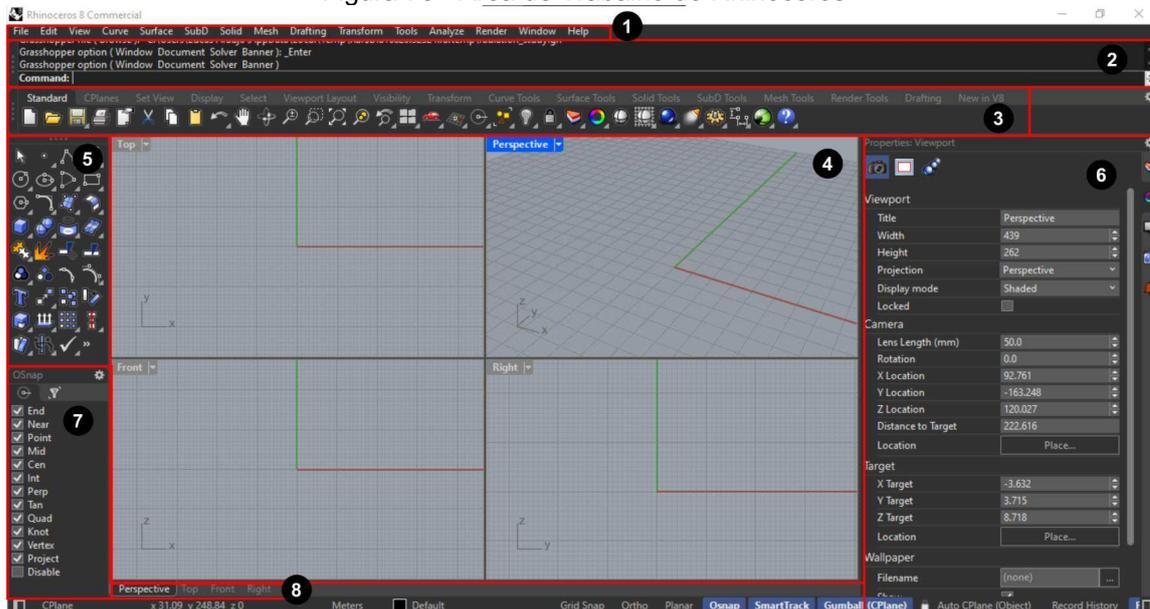
Figura 74 - Abrindo o Rhinoceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Após isso, pode-se encontrar a área de trabalho do Rhinoceros, em que se pode destacar:

Figura 75 - Área de Trabalho do Rhinoceros



- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| 1 - Barra de tarefas   | 5 - Ferramentas       |
| 2 - Barra de comandos  | 6 - Painéis           |
| 3 - Abas e ferramentas | 7 - Snaps             |
| 4 - Viewports          | 8 - Abas de Viewports |

Fonte: Própria do autor (2024).

**1- Barra de tarefas:** Contém comandos básicos da maioria dos programas, como abrir ou salvar arquivos, acessar configurações etc.

**2- Barra de comandos:** Pode-se digitar comandos e apertar o botão *Enter* do teclado para que o *Rhinoceros* execute algum deles.

**2- Abas e ferramentas:** Pode-se alternar entre essas abas para acessar diferentes ferramentas para diversas finalidades, como trabalhar com pontos, curvas, superfícies, sólidos, linhas, texto, cotas etc.

**3 - Viewports:** Espaço tridimensional que exibe o que é desenhado. Por padrão, divide-se em 4 *viewports*, bastando apenas clicar duas vezes no título de qualquer uma delas para que se maximize a mesma, repetindo o processo volta-se a exibir as 4.

**4 - Ferramentas:** Exibe ainda mais ferramentas que podem ser utilizadas para as mais diversas finalidades dentro do programa.

**5 - Painéis:** Pode-se acessar propriedades dos objetos, camadas (*layers*) utilizadas, configurações de exibição etc.

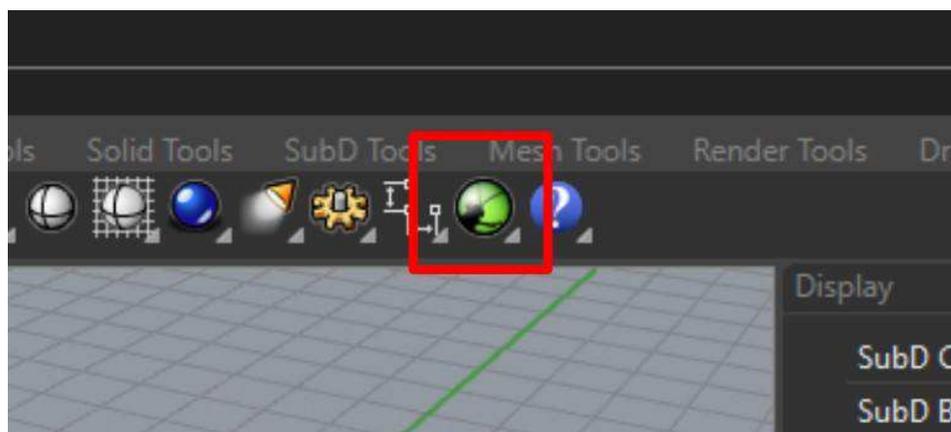
**6 - Snaps:** Pode-se ativar ou desativar o auto-ajuste ao mover-se, rotacionar e escalonar objetos entre eles.

**7 - Abas de Viewports:** Com a *viewport* maximizada, pode-se alternar entre as vistas escolhendo alguma destas abas, assim como criar uma nova vista também.

### 6.10.3. ACESSANDO O GRASSHOPPER

Para trabalhar com o *Grasshopper*, podemos acessá-lo rapidamente na aba “*Standard*” do *Rhinceros*, clicando no ícone verde com um gafanhoto dentro.

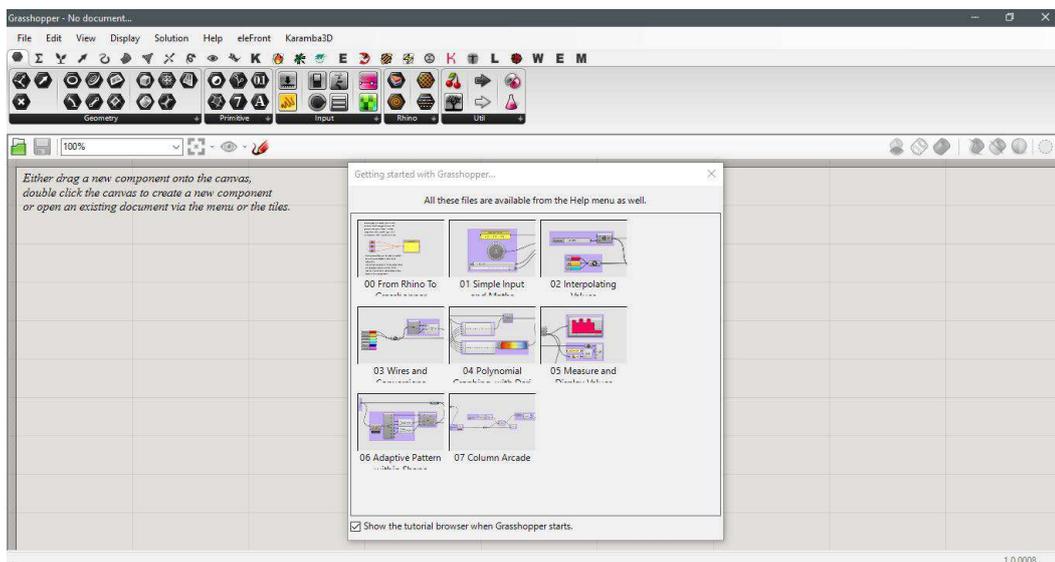
Figura 76- Ícone do Grasshopper no Rhinceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Ao abrir o *Grasshopper*, será exibida uma tela de arquivos de exemplos, que podem ser exploradas pelo usuário para aprendizado.

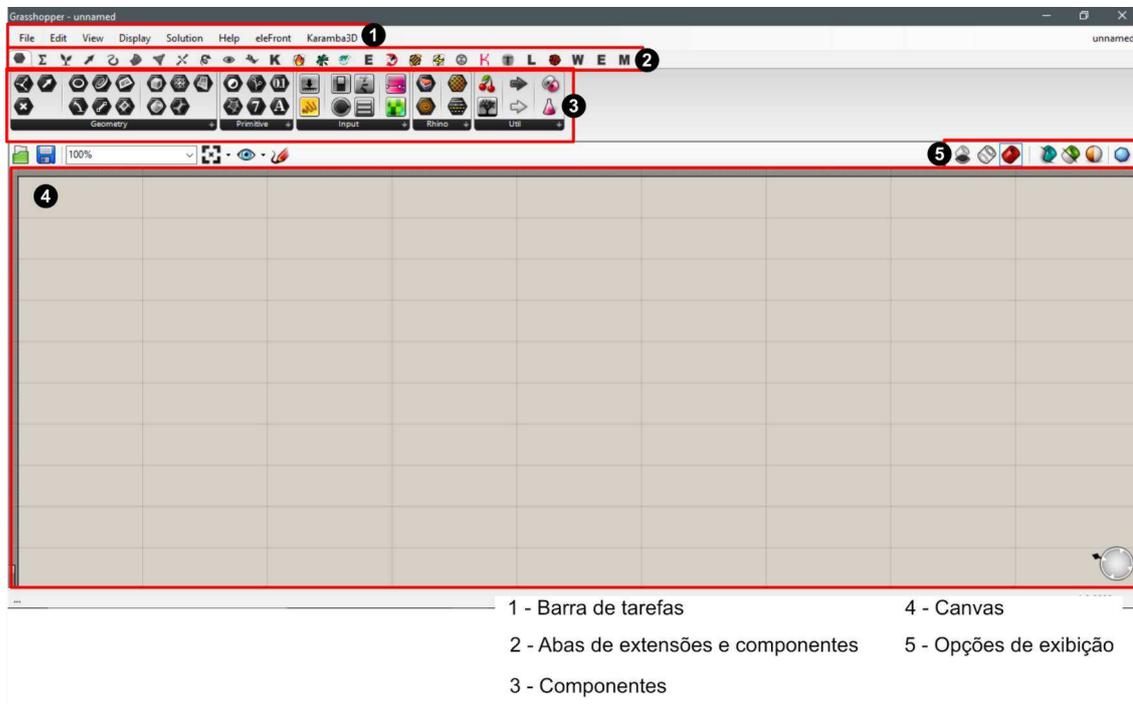
Figura 77 - Área de Trabalho do Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

De forma similar ao *Rhinoceros*, podemos destacar:

Figura 78 - Tela do Grasshopper ao abrir



Fonte: Própria do autor (2024).

**1- Barra de tarefas:** Contém comandos básicos da maioria dos programas, como abrir ou salvar arquivos, acessar configurações etc.

**2- Abas de extensões:** Pode-se alternar entre essas abas para acessar diferentes extensões e seus componentes, ao instalar novas extensões para o *Grasshopper*, novos componentes são adicionados para serem utilizados.

**3 - Componentes:** Componentes podem ser usados para executar diferentes funções, a combinação destes componentes é o que gera uma programação para criar diferentes resultados no *Rhinoceros*, como criação de geometria, diagramas, automação de tarefas, simulações etc.

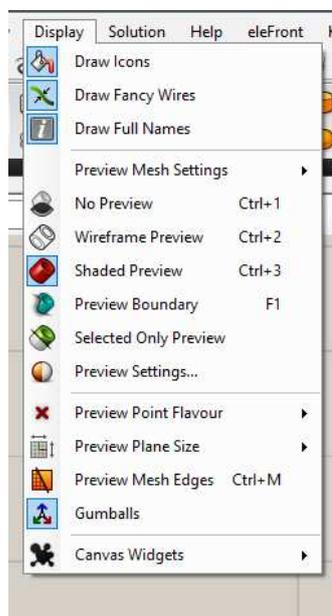
**4 - Canvas:** Espaço de trabalho onde podem ser colocados e editados os componentes.

**5 - Opções de exibição:** Altera modos de exibição dos resultados dos componentes e da programação na tela do *Rhinoceros*.

#### 6.10.4. TRABALHANDO COM COMPONENTES

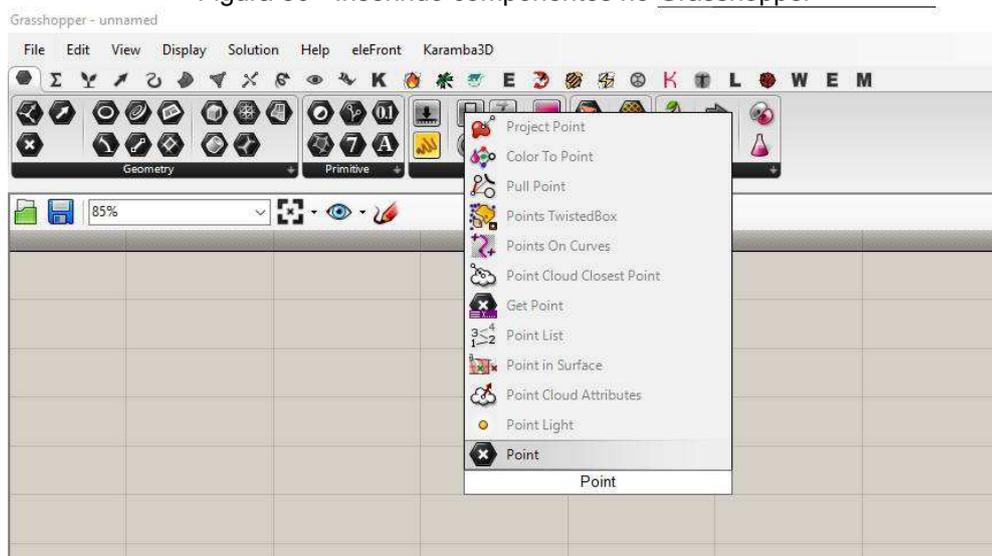
Neste trabalho, mudou-se algumas configurações do *Grasshopper* para facilitar o entendimento do usuário, ativando-se as opções “*Draw Icons*” e “*Draw Full Names*” na aba *Display* da barra de ferramentas:

Figura 79 - Tela de Display do Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

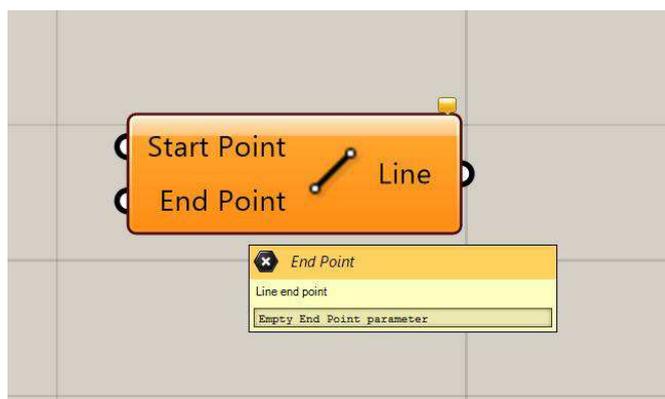
Podemos acrescentar componentes através dos ícones na barra superior da tela do *Grasshopper* ou, de forma mais prática, apenas clicando duas vezes no *Canvas* e digitando o nome do componente.

Figura 80 - Inserindo componentes no Grasshopper

Fonte: Própria do autor (2024).

Geralmente um componente precisará obter informações de entrada e resultará em informações de saída. Vamos usar de exemplo o componente “Line”, que requer um ponto de início em uma entrada e um ponto final em outra entrada, podendo ser encontrado na aba “Curve” do *Grasshopper*. Podemos deixar o mouse sobre o título de uma entrada para ver qual o tipo de parâmetro é exigido:

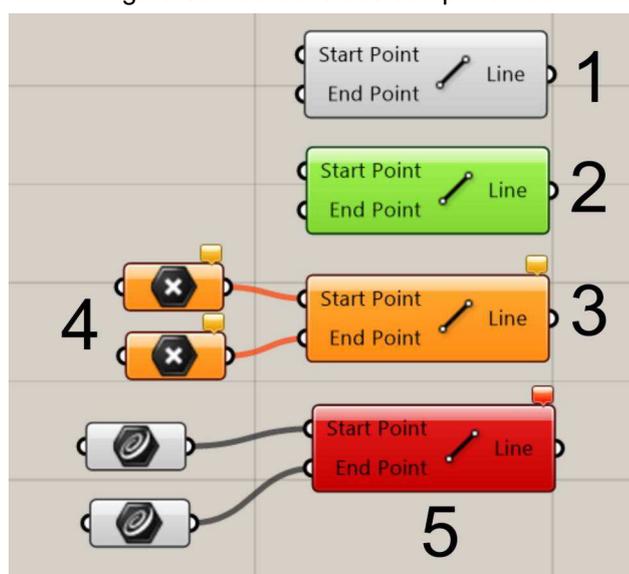
Figura 81 - Componente “Line”



Fonte: Própria do autor (2024).

Ao decorrer da configuração, podemos nos deparar com alguns estados dos componentes indicados por cores:

Figura 82 - Estados dos componentes

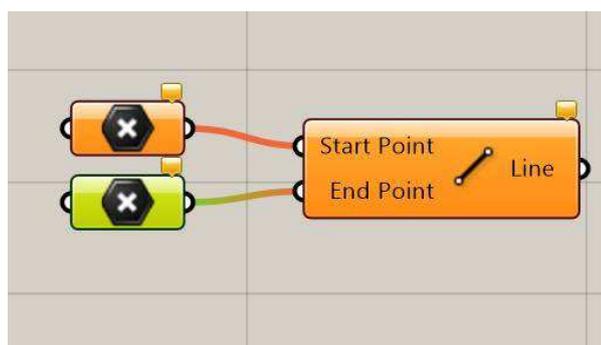


Fonte: Própria do autor (2024).

- 1 - O componente possui dados e não contém erros;
- 2 - O componente está selecionado;
- 3 - O componente requer algum dado que não foi passado;
- 4 - O componente está vazio;
- 5 - O tipo de dado de entrada está incorreto.

Continuando, precisamos fornecer um ponto para a entrada *Start Point* e outro para entrada *End Point*. Podemos utilizar componentes que servem para referenciar algum objeto no *Rhinceros*, que podem ser encontrados na aba *Params*, neste caso específico, escolhemos o componente *Point* e conectamos suas saídas às entradas do componente *Line*:

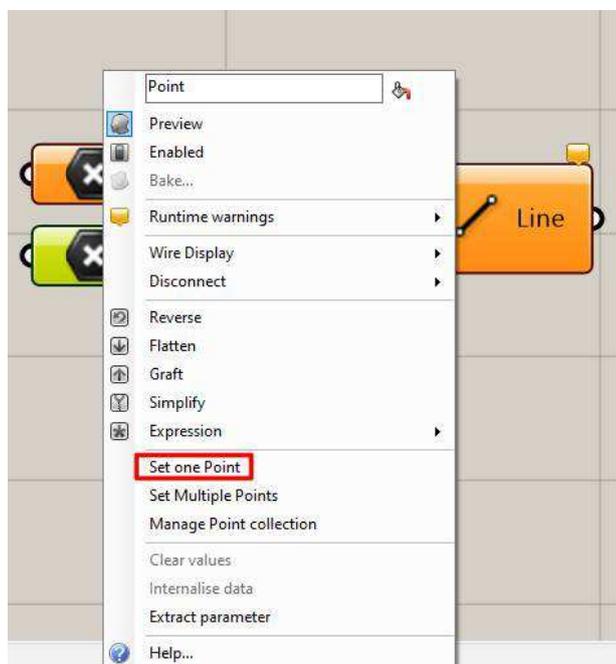
Figura 83 - Componentes Points e Line



Fonte: Própria do autor (2024).

Como já explicado, os componentes ficarão na cor laranja, por não receber os dados corretamente. O que acontece, é que precisamos escolher algum ponto no espaço do *Rhinceros* para os parâmetros *Point*. Pode-se escolher um ponto já existente no *Rhinceros* caso haja algum desenho já feito, mas também pode-se criar a partir do próprio parâmetro, apertando o botão direito do *mouse* em cima do componente e escolhendo a opção “*Set One Point*”:

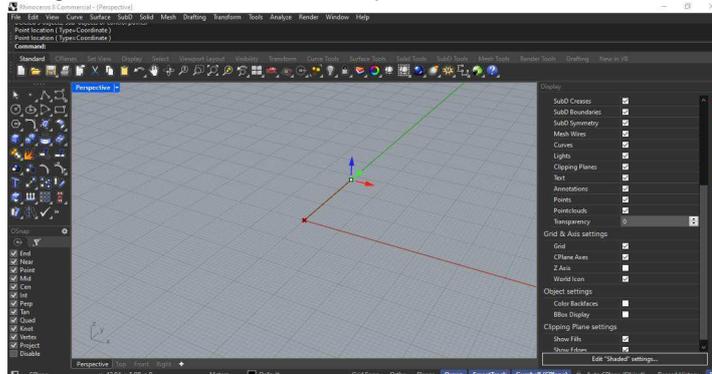
Figura 84 - Referenciando um ponto no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Isso fará com que a tela mude para o *Rhinceros* e precisamos clicar em algum lugar para definir onde será o ponto. Caso houvesse algum ponto já criado no *Rhinceros*, bastaria apenas manter este ponto no espaço do *Rhinceros* selecionado e escolher *Set one Point* que o ponto já seria escolhido para o parâmetro. Cria-se então os pontos de início e depois o ponto de saída:

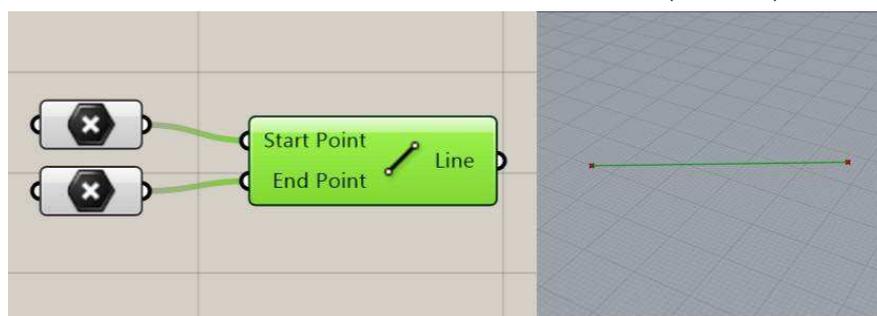
Figura 85 - Ponto de início e ponto de fim no Rhinceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Este componente então, criou uma linha a partir dos dois pontos referenciados. Pode-se perceber que é possível destacar na cor verde os dados de qualquer componente:

Figura 86 - Componente Line selecionada no Grasshopper (à esquerda) e resultado destacado em verde no Rhinoceros (À direita)



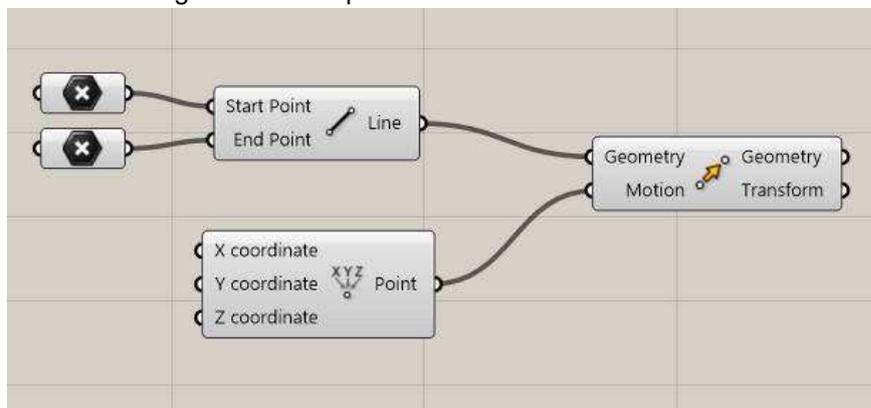
Fonte: Própria do autor (2024).

Esta pré-visualização é importante para que possamos localizar cada ação dentro de uma programação, tornando assim mais fácil organizar o código.

Para finalizar, criaremos uma parede “paramétrica”, onde é possível ajustar sua altura através de parâmetros:

1- Usamos o componente *move* na aba *Transform* para criar uma cópia movida desta linha, este componente pede uma geometria e um vetor de movimento como entrada, a geometria é nossa linha gerada através dos pontos e nosso vetor pode ser criado por outro componente chamado *Construct Point*, na aba *Vector*.

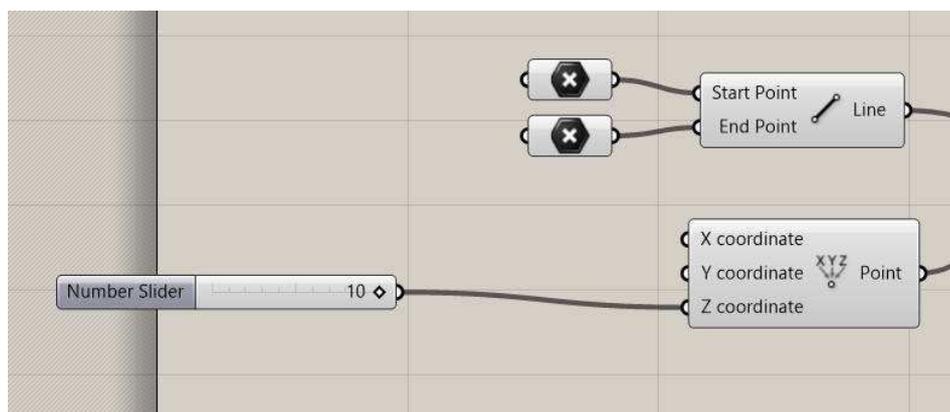
Figura 87 - Componentes Move e Construct Point



Fonte: Própria do autor (2024).

2- No componente *Construct Point* queremos mudar apenas a altura, a entrada *Z Coordinate* que define essa altura, precisa de um dado de valor numérico. Podemos fornecer esse dado de diferentes maneiras, mas, para obtermos um maior controle paramétrico deste valor, utilizamos um componente chamado *Number Slider*, que é um controlador de valor numérico que pode ser facilmente alterado:

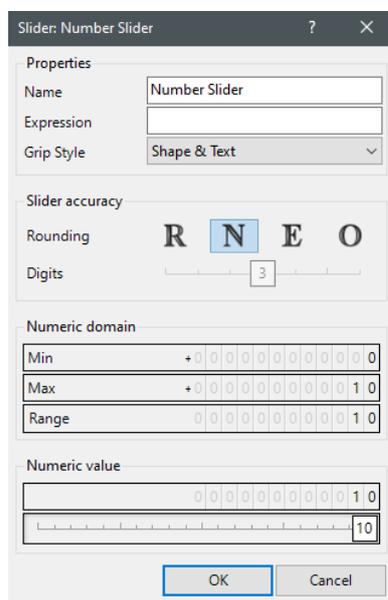
Figura 88 - Componentes Move e Construct Point



Fonte: Própria do autor (2024).

Ao clicar-se duas vezes nesse componente, podemos mudar seu valor máximo e mínimo, assim como também mudar o nome do parâmetro:

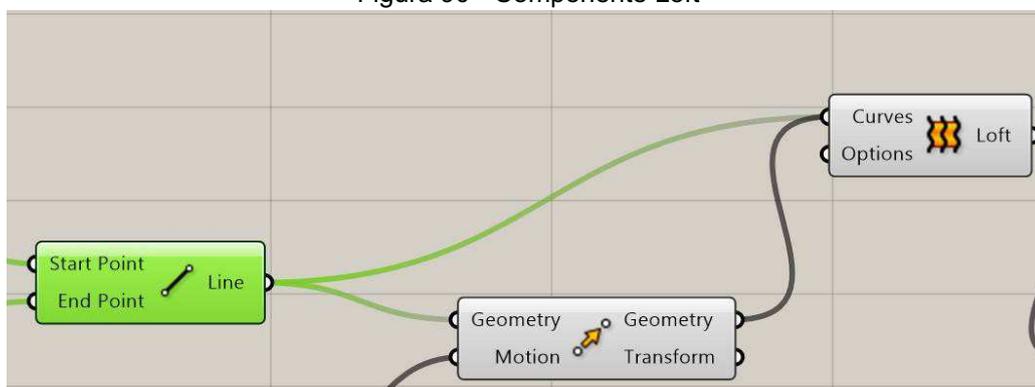
Figura 89 - Configurações do Number Slider



Fonte: Própria do autor (2024).

3- Para o passo seguinte, criamos uma superfície entre essas duas linhas, utilizando o componente *Loft* e fornecendo elas como entrada. É interessante notar que, apesar de ter apenas uma entrada de curvas, podemos adicionar diversas saídas nela, bastando apenas segurar a tecla *shift* quando for conectar uma saída em uma entrada que já esteja preenchida, assim como podemos desconectar um componente utilizando a tecla *Ctrl*:

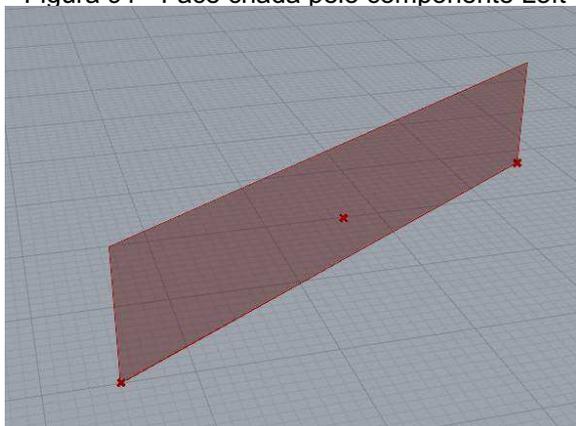
Figura 90 - Componente Loft



Fonte: Própria do autor (2024).

Este é o resultado na tela do *Rhinoceros*, apenas uma face criada entre as duas linhas:

Figura 91 - Face criada pelo componente Loft

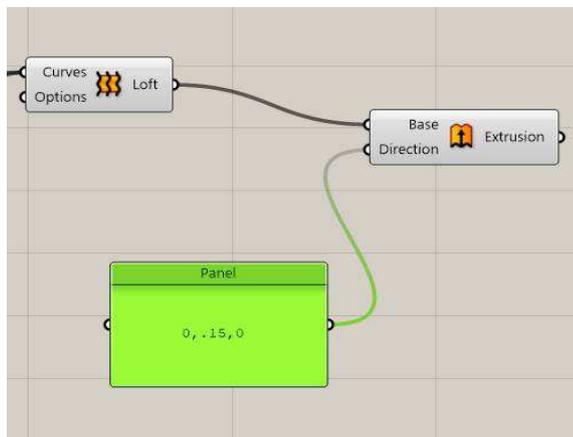


Fonte: Própria do autor (2024).

4- Então, utilizamos o componente *Extrude* apenas para criar uma espessura de 15cm na parede, este valor de entrada *Direction* também poderia ser feito de maneira similar ao que foi criado na altura, pois também pede um vetor de deslocamento, mas para facilitar, utilizou-se o componente *Panel*, que permite digitar diversos tipos de valores, como números ou textos, para serem usados de valores de entrada. Este componente também permite visualizar os valores de saída de algum outro componente, caso seja conectado em sua entrada.

Como sabe-se que um vetor é formado por 3 valores numéricos que representam “x”, “y” e “z” no espaço do *Rhinoceros*, mudou-se apenas o valor y, resultando em “0, .15, 0”:

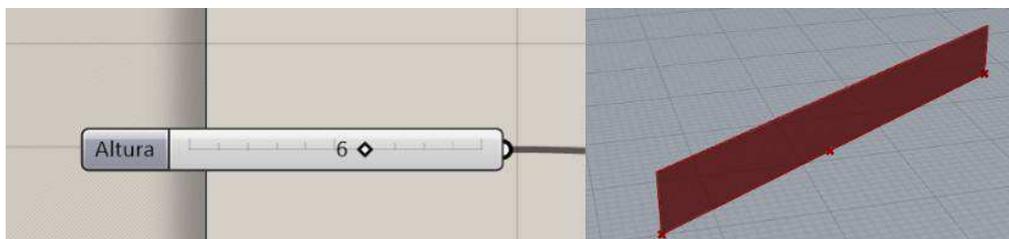
Figura 92 - Componente Extrude



Fonte: Própria do autor (2024).

E assim obtemos uma “parede paramétrica” que pode ter sua altura ajustada no *Grasshopper*:

Figura 93 - Parede paramétrica no Grasshopper

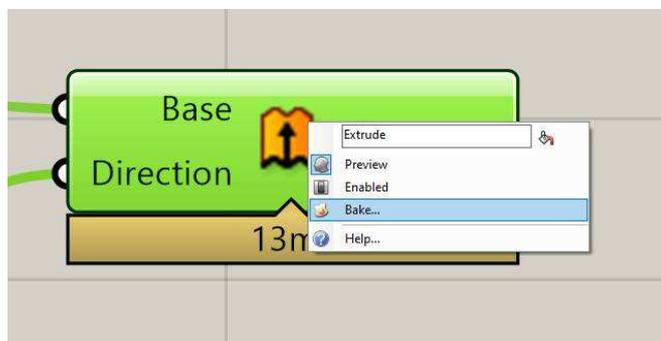


Fonte: Própria do autor (2024).

### 6.10.5. BAKING

Até esta etapa, o que vemos em vermelho, ou verde, caso selecionado, na tela do *Rhino* é apenas uma pré-visualização do que estamos criando. Para efetivamente criarmos algo dentro do ambiente do *Rhino* através do *Grasshopper* precisamos executar a ação “*Bake*”. Essa ação pode ser feita ao clicar com o botão direito do *mouse* em algum componente e selecionar esta opção, no caso da nossa parede, queremos o resultado do algoritmo até o componente *Extrude*:

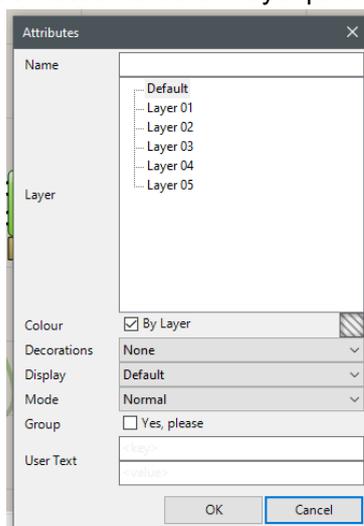
Figura 94 - Ação “Bake”



Fonte: Própria do autor (2024).

O *Grasshopper* então abre outra janela que possibilita escolher em qual layer se deseja criar o objeto:

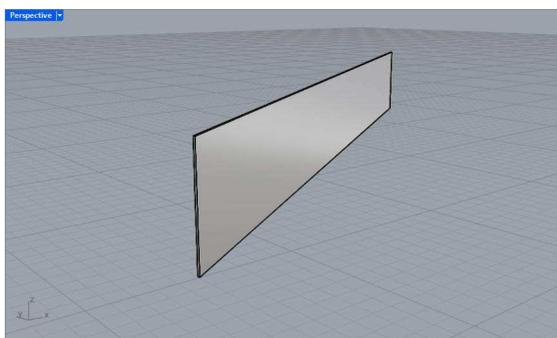
Figura 95 - Escolhendo um layer para o “Bake”



Fonte: Própria do autor (2024).

Após esta ação, temos o objeto criado dentro do Rhinoceros. É importante destacar, que este objeto agora não poderá mais ser modificado parametricamente através do *Grasshopper*, podendo ser apenas utilizado como objeto de entrada para outros componentes. Esta ação é necessária para quando precisamos exportar essa geometria para outro programa, que não tenha compatibilidade com o *Grasshopper*, ou seja, é apenas o produto final da programação.

Figura 96 - Objeto “baked” no Rhinoceros



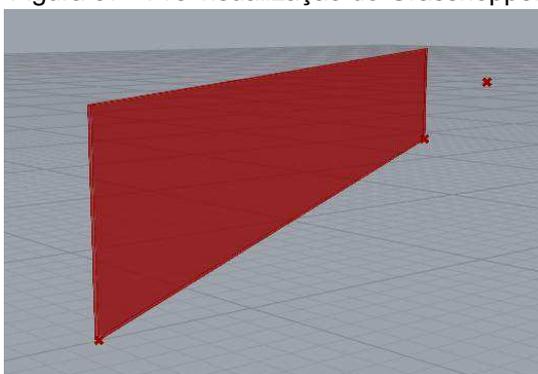
Fonte: Própria do autor (2024).

#### 6.10.6. OUTRAS AÇÕES IMPORTANTES NO GRASSHOPPER

Existem outras ações com componentes que serão importantes de destacar: Esconder o resultado de um componente e ligar ou desligar um componente.

**Mostrar/esconder pré-visualização:** Em um código grande, o resultado que queremos ver pode se tornar confuso, pois o *Grasshopper* deixa a pré-visualização de todos os objetos criados até então, na cor vermelha. No exemplo utilizado anteriormente, podemos ver os pontos representados por um “X”, linhas e todo o restante da geometria:

Figura 97 - Pré-visualização do Grasshopper

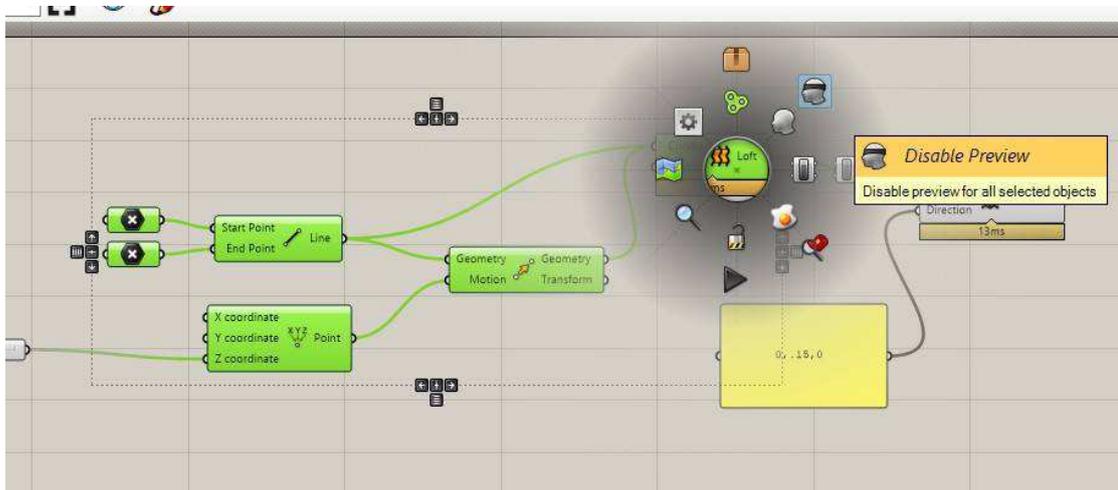


Fonte: Própria do autor (2024).

Podemos ocultar informações que não nos interessam para que a visualização fique mais limpa, podemos selecionar diversos componentes ao mesmo

tempo, clicar com o botão do meio do mouse e escolher a opção de ocultar os elementos “*Disable Preview*”, representado por uma cabeça enfaixada:

Figura 98 - Desativando pré-visualização no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Os componentes então ficam numa cor cinza mais escura, e o elementos já não serão mais visualizáveis no *Rhinoceros*. Para reexibir os objetos, basta repetir o processo e escolher a opção *Enable Preview* no mesmo menu, desta vez representado por uma cabeça sem faixa:

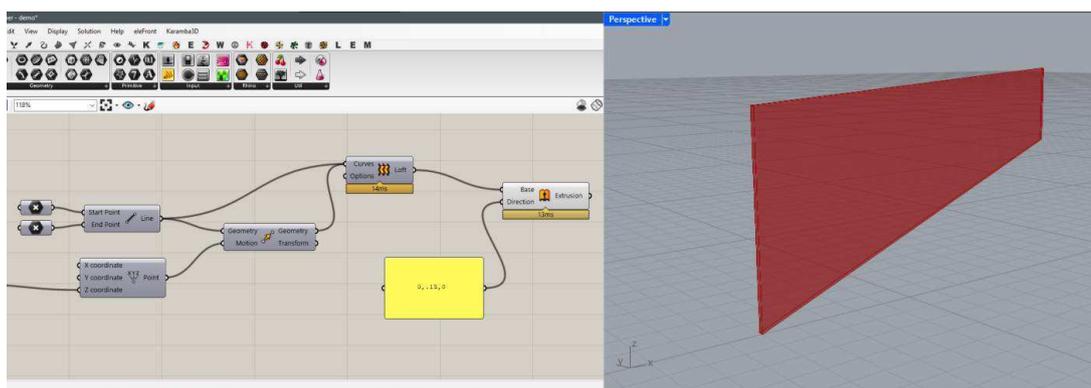


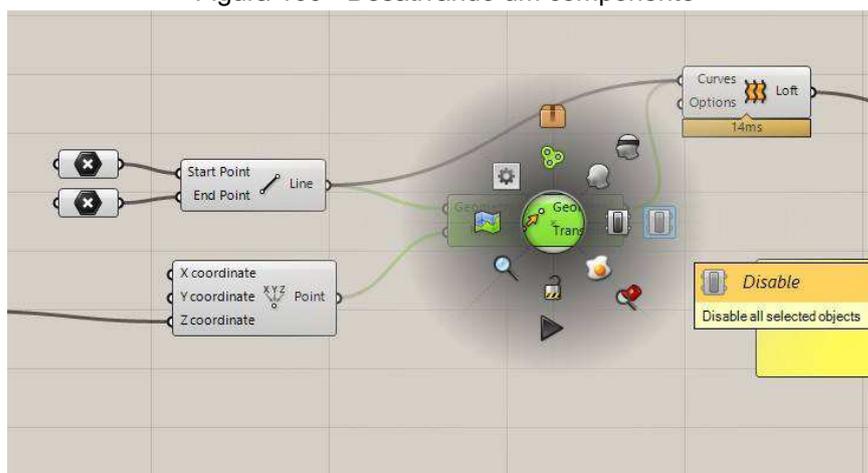
Figura 99 - Componentes ocultados

Fonte: Própria do autor (2024).

**Ligar/desligar componente:** de forma parecida ao tópico anterior, podemos fazer com que um componente deixe de ser executado no *Grasshopper*, isso pode ser útil em uma programação muito grande em que uma determinada etapa exija

muito tempo de processamento. Como a programação segue uma sequência de início e fim, o código é interrompido a partir do componente que for desativado. Podemos desativar um componente selecionando um ou vários deles, apertando o botão direito do *mouse* e escolhendo a opção *Disable*, representada por um interruptor translúcido:

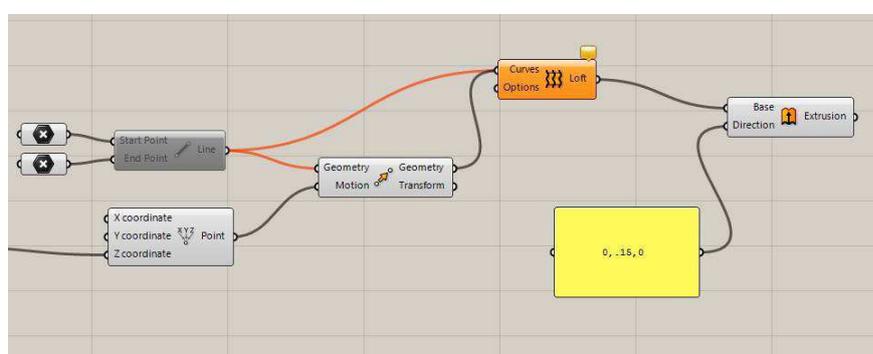
Figura 100 - Desativando um componente



Fonte: Própria do autor (2024).

As conexões na cor laranja indicam que não há passagem de informação, fazendo com que o código “quebre”. Há casos em que é necessário executar essa ação para que o algoritmo refaça o processo.

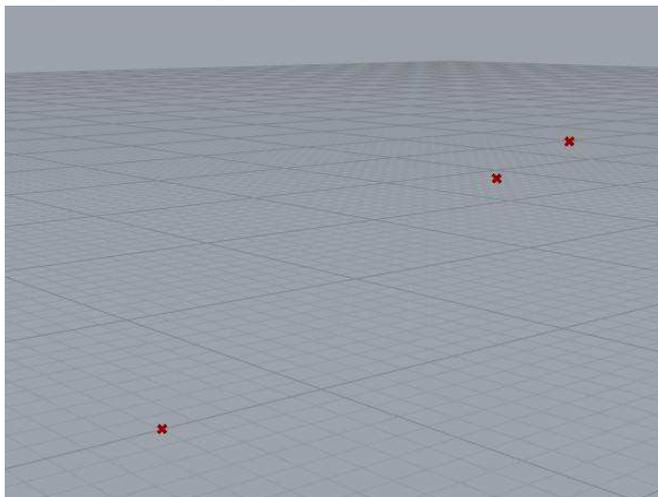
Figura 101 - Código quebrado



Fonte: Própria do autor (2024).

Podemos ver no *Rhinceros* que o processo não foi finalizado como antes, para reativar o componente, de forma similar à reexibir, basta abrir o mesmo menu e seleccionar a opção *Enable*:

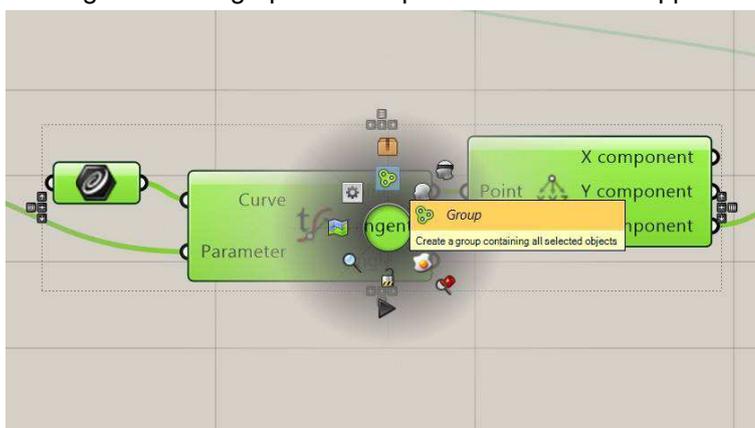
Figura 102 - Programação “quebrada” no Rhinceros



Fonte: Própria do autor (2024).

**Agrupando componentes:** podemos agrupar componentes para que o código fique mais organizado e fácil de entender. Para agrupar componentes, basta seleccionar os componentes que se deseja agrupar e clicar com o botão do meio do *mouse*, escolhendo a opção *Group*:

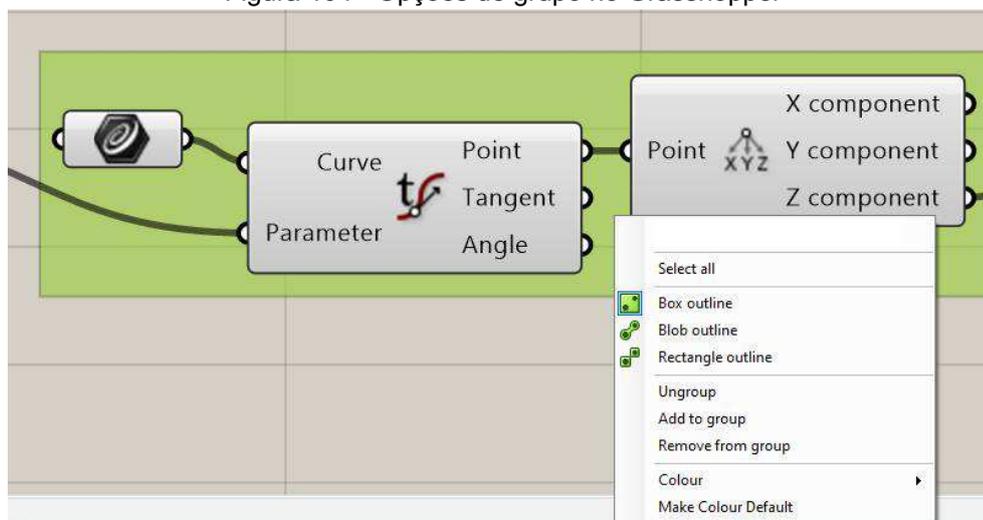
Figura 103 - Agrupando componentes no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Após isso, os componentes ficarão dentro de um retângulo colorido, podendo ser movidos todos de uma vez ao se arrastar com o *mouse* esse retângulo. Ao clicar com o botão direito do *mouse* sobre o retângulo, é possível acessar opções como desfazer o grupo (*ungroup*) e até mudar a cor:

Figura 104 - Opções de grupo no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

**Criação de *Cluster*:** pode-se “empacotar” um conjunto de componentes para que a programação fique melhor organizada. Para criar um *cluster*, selecionamos os componentes, apontamos o botão do meio do *mouse* e selecionamos a opção “*cluster*”, simbolizado por uma caixa:

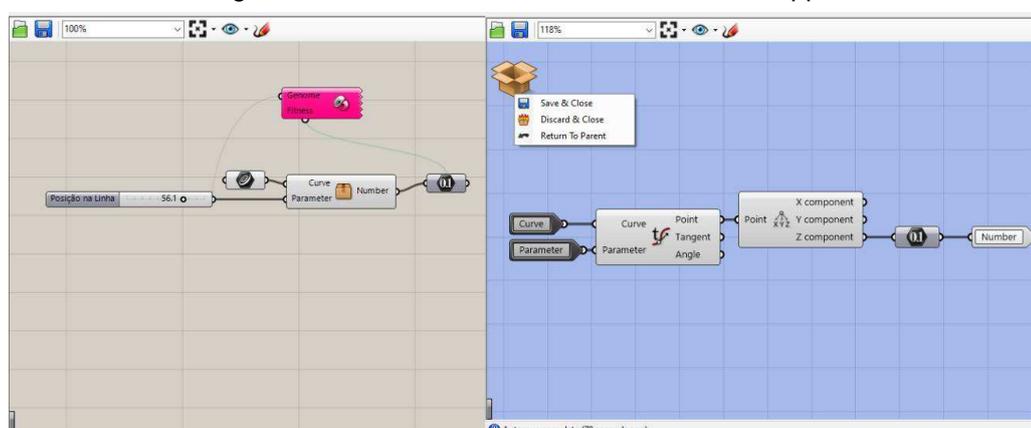
Figura 105 - Criando um cluster no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Podemos ver então, que no lugar dos componentes que selecionamos, agora existe apenas um. Ao clicarmos duas vezes em cima do componente *cluster*, podemos abrir outro *Canvas*, que mostra a programação que foi “empacotada”. Podemos sair de um *cluster* ao clicar na caixa no canto superior esquerdo do *Canvas* e selecionar alguma opção desejada. Um *cluster* pode ser desfeito ao se clicar em cima de seu componente com o botão direito do *mouse* e escolher a opção *Explode Cluster*.

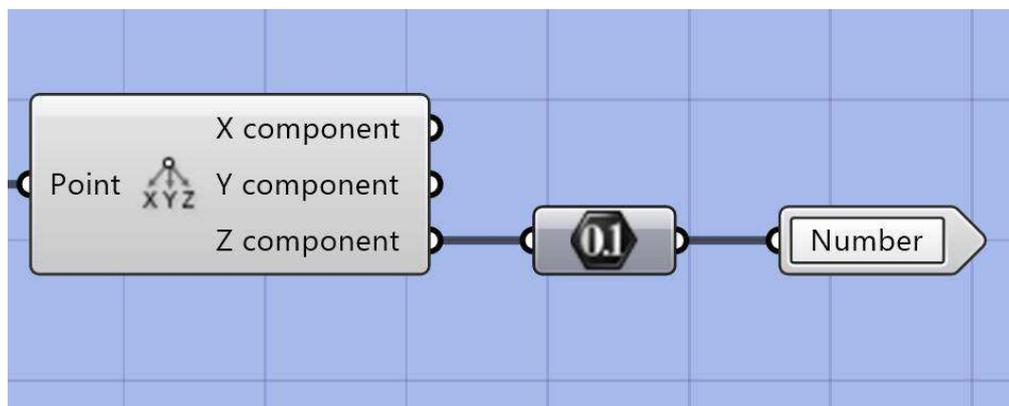
Figura 106 - Visualizando um cluster no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

É importante observar que, dentro do *cluster*, é necessário utilizar dois componentes especiais: *Cluster Input* e *Cluster Output*, os *Cluster Input* levam dados de fora para dentro do *cluster* e os *Cluster Output* levam dados de dentro para fora. É necessário que estes dados sejam correspondentes em seu tipo, para que não haja algum erro na programação. No caso deste exemplo, a saída *Z Component* estava sendo tratada como texto (*String*), então foi necessário converter esta saída utilizando o componente *Number*, para que funcionasse como entrada do componente *Number* que estava fora do *cluster*.

Figura 107 - Valor de saída convertido para Number



Fonte: Própria do autor (2024).

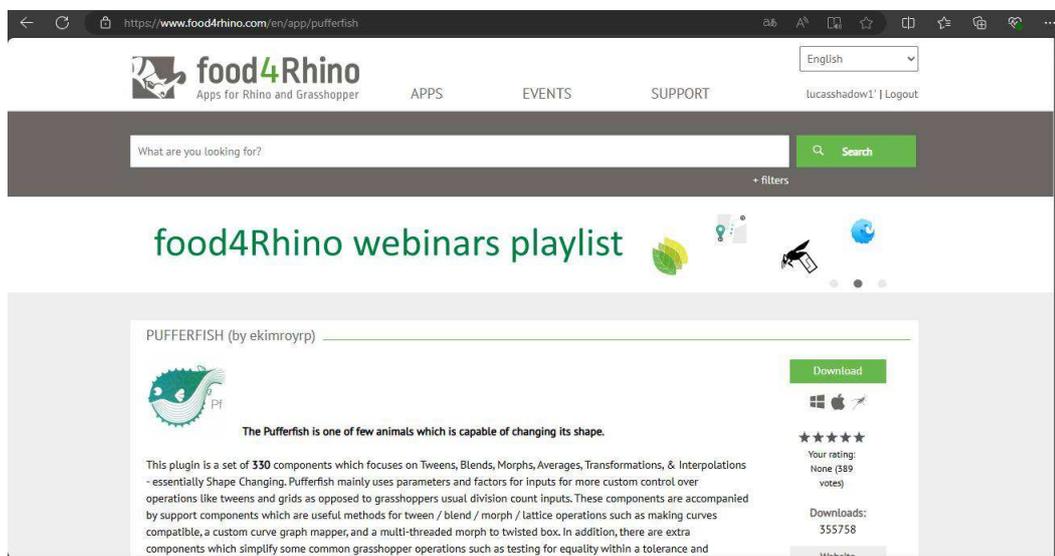
Outra observação importante também, é que somente é possível pré-visualizar algum resultado a partir do *Canvas* que estamos visualizando, caso seja necessário pré-visualizar alguma informação importante o tempo todo, é recomendável que esteja fora do *cluster* ou que se crie alguma saída especial para essa finalidade.

### 6.10.7. ADICIONANDO EXTENSÕES AO GRASSHOPPER

À medida que nos tornamos mais proficientes no uso do Grasshopper, começaremos a sentir a necessidade de componentes mais específicos para certas tarefas, além de podermos incorporar componentes que já vêm programados para executar funções especiais.

As extensões do *Grasshopper* geralmente vêm no formato de arquivos *.gha*, *.ghuser*, ou *.dll*, que contêm componentes adicionais, scripts ou funcionalidades que expandem as capacidades do software. Essas extensões podem ser baixadas de sites como *Food4Rhino*, *GitHub*, ou diretamente do site do desenvolvedor. Vamos baixar por exemplo a extensão "*Pufferfish*" no site "*Food4Rhino*".

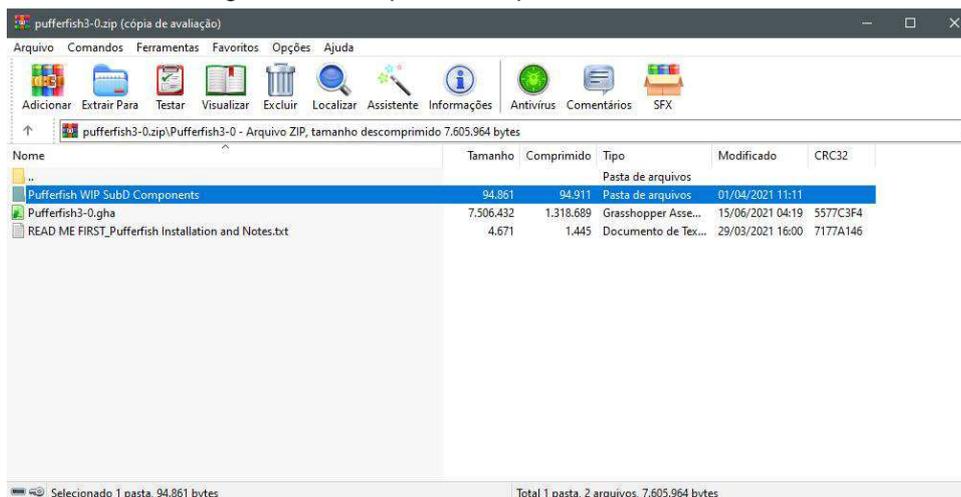
Figura 108 - Download da extensão “Pufferfish” para o Grasshopper no site “Food4Rhino”



Fonte: Própria do autor (2024).

Normalmente, as extensões vêm em um arquivo compactado (“.zip”). Basta descompactar esse arquivo em um local de sua preferência e, após isso, mover os arquivos para “.gha” (e “.dll’s” caso houver) para a pasta: *C:\Usuários\(\nome do usuário)\AppData\Roaming\Grasshopper\Libraries*.

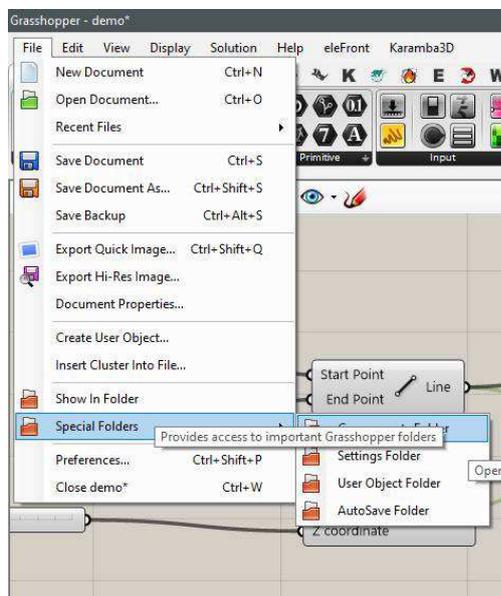
Figura 109 - Arquivos compactados do Pufferfish



Fonte: Própria do autor (2024).

Para abrir esta pasta facilmente podemos, na tela do *Grasshopper*, acessar *File > Special Folders > Components Folder*. Como mostrado na figura a seguir:

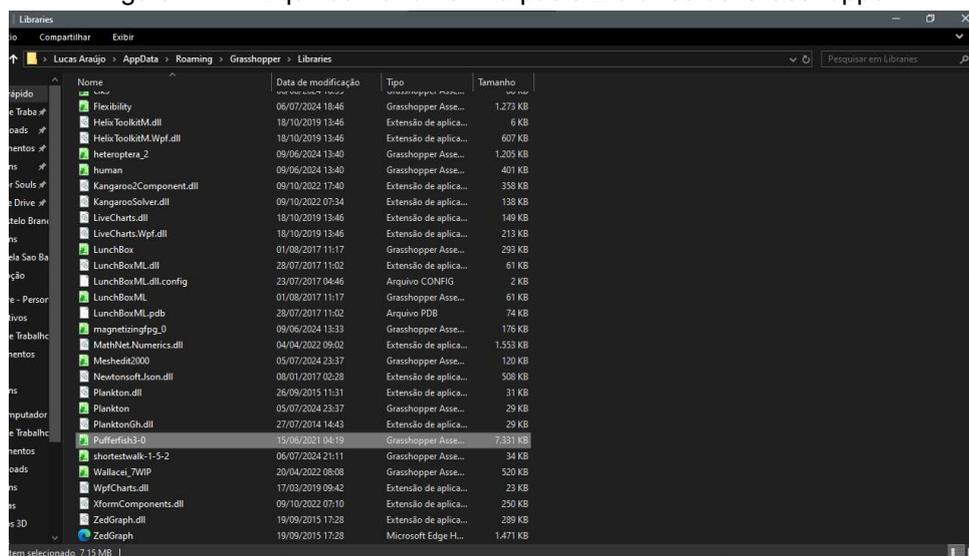
Figura 110 - Acessando a pasta de componentes do Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Então, podemos mover os arquivos “.gh” e “.dll” caso houver para esta pasta.

Figura 111 - Arquivos Pufferfish na pasta Libraries do Grasshopper

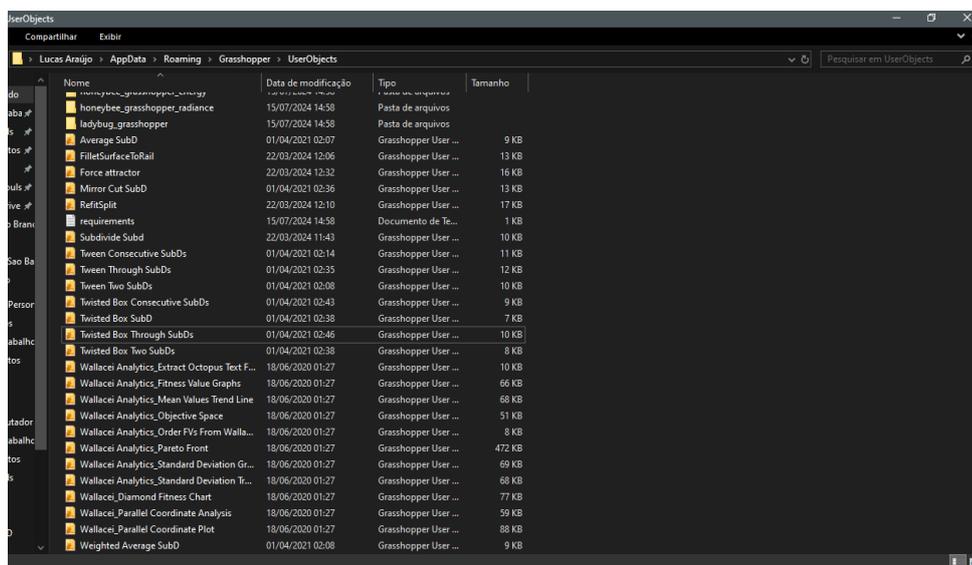


Fonte: Própria do autor (2024).

Esta extensão em específico, também vem com uma pasta com arquivos .ghuser, que devemos colocar na pasta *UserObjects*, podemos encontrar

de forma similar à pasta *Libraries* através à do *Grasshopper* em *File > Special Folders > User Object Folder*. Então movemos todos esses arquivos para dentro desta pasta:

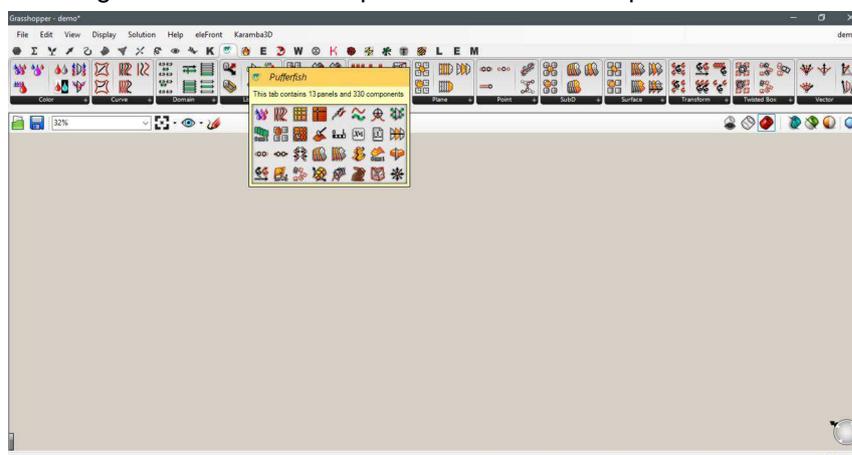
Figura 112 - Arquivos GHUser do Pufferfish na pasta UserObjects



Fonte: Própria do autor (2024).

Após o processo, se todos os arquivos foram colocados nos destinos corretos, recomenda-se reiniciar o *Rhinceros* e *Grasshopper* para começar a utilizar o novo componente. Se tudo ocorrer bem, sua aba e seus componentes já poderão ser visualizados e utilizados no *Grasshopper*:

Figura 113 - Novos componentes adicionados pelo Pufferfish



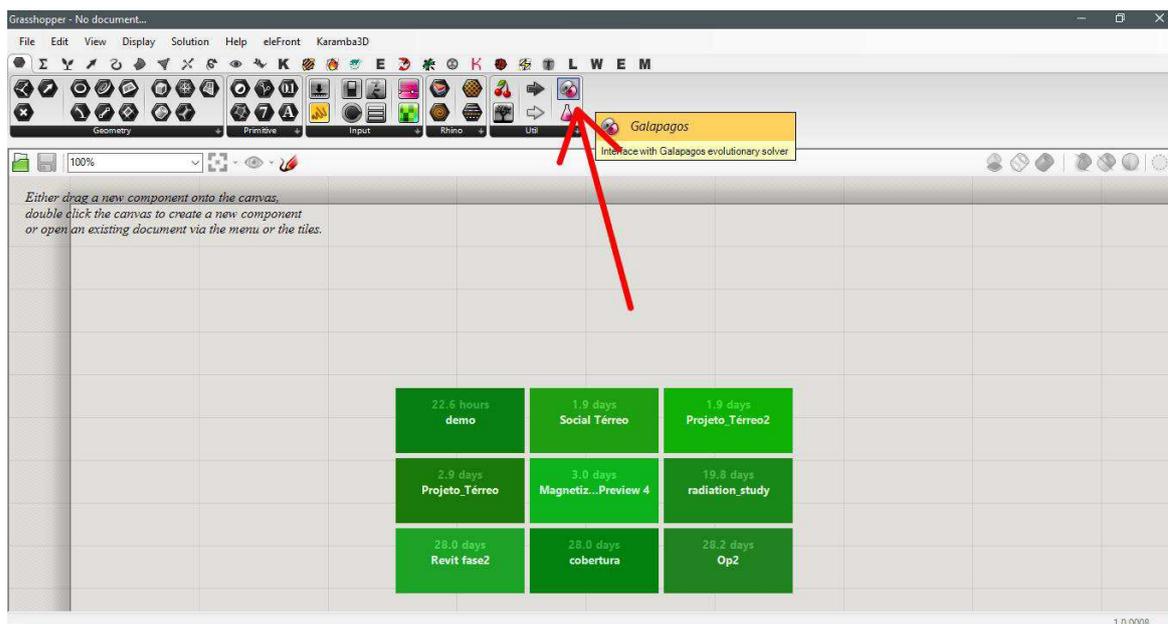
Fonte: Própria do autor (2024).

A instalação de extensões também pode ser feita ao arrastar diretamente um arquivo .gh para o *Canvas* do *Grasshopper*, porém, se houver dependências, a extensão pode não funcionar corretamente.

### 6.10.8. COMPONENTE GALAPAGOS

O *Galapagos* é um componente do *Grasshopper* que se destaca por sua capacidade de realizar otimização evolutiva. Ele é usado para encontrar soluções ideais em problemas onde múltiplos parâmetros e condições precisam ser considerados simultaneamente. Pode ser encontrado na aba *Params* do *Grasshopper*.

Figura 114 - Localização do Galapagos no *Grasshopper*



Fonte: Própria do autor (2024).

**Como Funciona:** O *Galapagos* usa algoritmos genéticos para explorar uma vasta gama de possíveis soluções para um dado problema. Esse método é inspirado nos princípios da evolução natural, onde "indivíduos" (neste caso, possíveis soluções) passam por processos de seleção, cruzamento e mutação para melhorar ao longo de várias "gerações".

**Aplicações Comuns:** No design paramétrico, o *Galapagos* é utilizado para otimizar a forma, a estrutura, ou a funcionalidade de um projeto, ajustando parâmetros como dimensões, ângulos, e materiais para alcançar objetivos específicos, como maximizar a eficiência energética ou minimizar o uso de materiais.

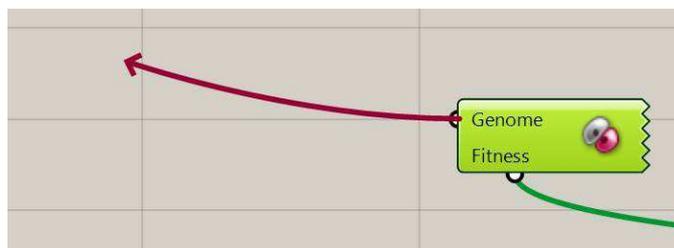
**Interface e Configuração:** Para usar o *Galapagos*, você precisa definir no componente:

**Genoma:** Um conjunto de variáveis ou parâmetros que o *Galapagos* vai ajustar. Normalmente, através de um *Number Slider*.

**Fitness:** Um critério de avaliação que o *Galapagos* usará para determinar quão "boa" é uma solução. O objetivo é maximizar ou minimizar essa função de *fitness*. Então precisamos usar um componente que guarde algum valor numérico, como o componente *Integer* ou *Number*.

No *Galapagos*, diferentemente dos outros componentes, só podemos conectar os componentes ao arrastar as conexões a partir do próprio componente do *Galapagos*:

Figura 115 - Conectando componentes no *Galapagos*

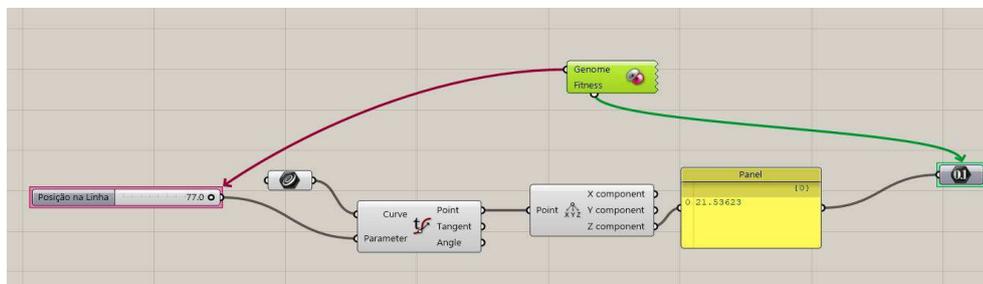


Fonte: Própria do autor (2024).

**Exemplo de problema resolvido pelo *Galapagos*:** No exemplo que vamos utilizar, temos o parâmetro "Posição na Linha" (mas podemos usar mais de uma variável), ajustável por um *Number Slider*, e queremos encontrar algum valor para esse parâmetro que resulte na maior altura do ponto nessa linha. Esse parâmetro irá alterar a posição do ponto na linha, então esse valor pode ser usado como nosso **Genoma**, já a posição Z desse ponto é o resultado que queremos obter o maior valor, então é o nosso **Fitness**. Ou seja, os Genomas são os parâmetros que

modificam algum objeto, e o ***Fitness*** é o resultado que queremos “melhorar”, vale lembrar que só podemos usar um *Fitness*, diferentemente dos genomas:

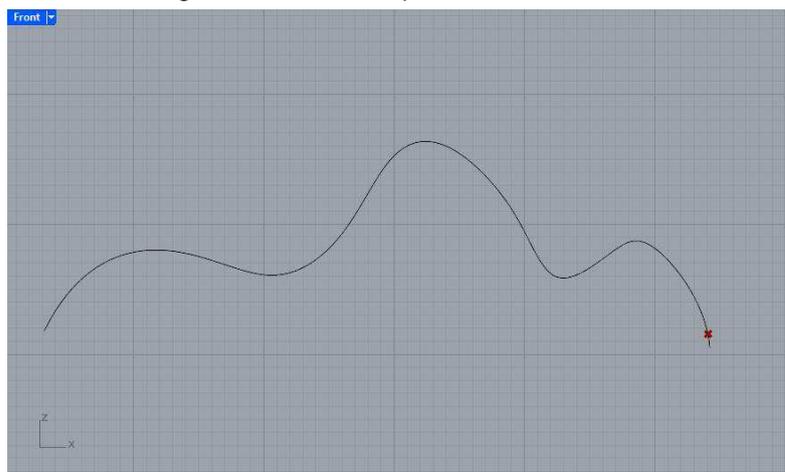
Figura 116 - Genomas (em roxo) e Fitness (em verde)



Fonte: Própria do autor (2024).

Este é o problema a ser resolvido na tela do *Rhinoceros*:

Figura 117 - Linha e ponto no Rhinoceros



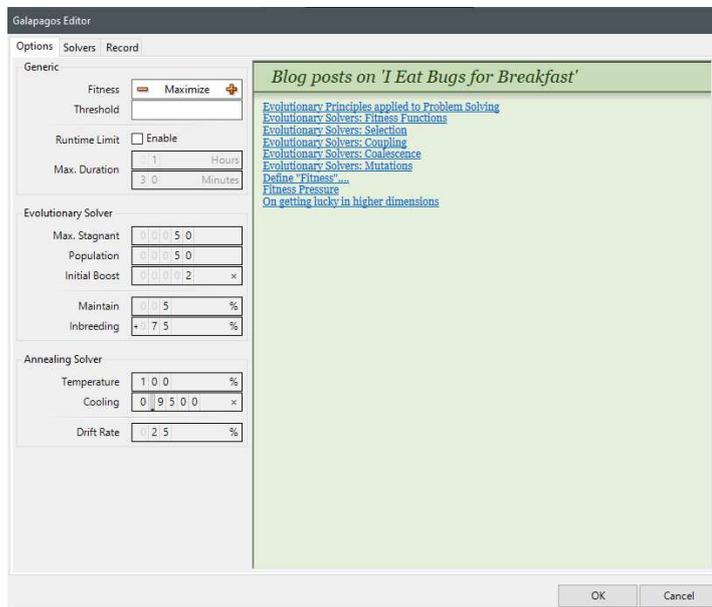
Fonte: Própria do autor (2024).

Após definirmos os genomas e o *Fitness* do nosso problema, podemos abrir a interface do *Galapagos*, clicando duas vezes em seu componente. A interface irá se abrir na aba “*Options*”. Nesta tela, podemos destacar alguns pontos importantes:

***Fitness***: Escolhemos *Maximize* se queremos o maior valor encontrado ou *Minimize* se desejamos o menor;

***Threshold***: Podemos digitar um valor que desejamos que o resultado se aproxime, se for o caso.

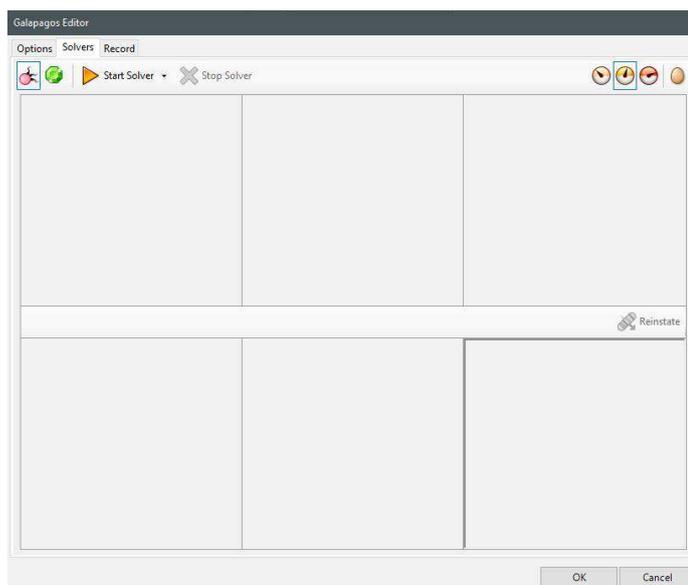
Figura 118 - Interface “Options” do Galapagos



Fonte: Própria do autor (2024).

No nosso caso, queremos encontrar o ponto mais alto, ou seja, o genoma que fará com que a “posição Z” do ponto seja maior, nosso *Fitness*. Então, podemos passar para a aba “Solvers” e iniciar o processo ao clicar no botão “Start Solver”:

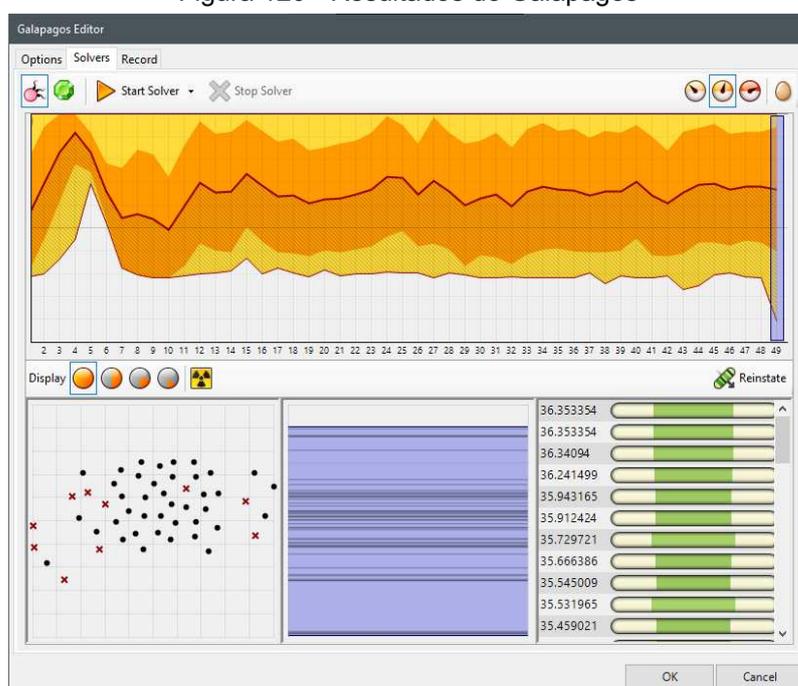
Figura 119 - Interface “Solvers” do Galapagos



Fonte: Própria do autor (2024).

Após iniciado o processo, o *Galapagos* criará testará diversos valores para os genomas, de forma com que o resultado se torne cada vez mais próximo do que foi desejado, numa espécie de processo evolutivo:

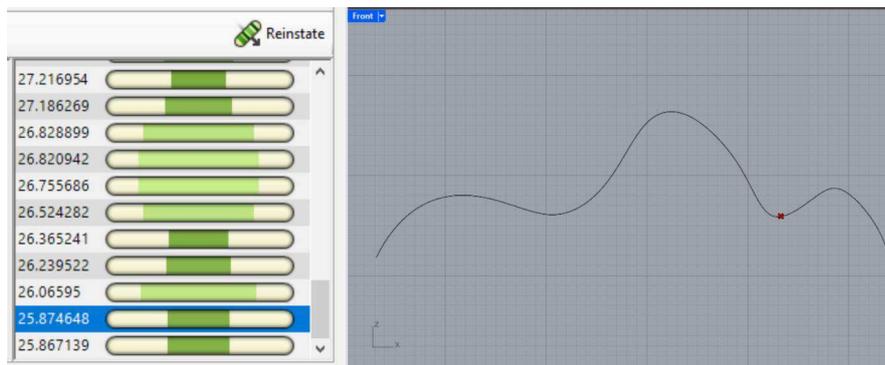
Figura 120 - Resultados do Galapagos



Fonte: Própria do autor (2024).

Neste exemplo, vemos que o *Galapagos* realizou cerca de 50 tentativas (valor padrão estabelecido na aba *Options*), e, podemos ver numa lista, todas estas tentativas, estando mais acima os “melhores” resultados para *Fitness* e o valor alcançado, neste caso, o valor 36.353354. Podemos visualizar qualquer uma dessas variações da lista ao clicar no botão *Reinstate*:

Figura 121 - Visualização de variação no *Galapagos* no *Rhinoceros* (à direita)



Fonte: Própria do autor (2024).

**Limitações:** Apesar de ser uma ferramenta poderosa, o *Galapagos* tem algumas limitações. A otimização evolutiva pode ser intensiva em termos de processamento, especialmente para problemas complexos com muitos parâmetros. Além disso, como o processo é estocástico (baseado em sorte e probabilidade), pode não garantir a melhor solução absoluta, mas sim uma solução muito próxima do ideal.

## 6.11. APLICAÇÃO DO DESIGN GENERATIVO NO PROJETO

O presente capítulo descreve a metodologia empregada na aplicação do design generativo em diferentes etapas do projeto arquitetônico.

A abordagem metodológica foi estruturada em quatro etapas distintas utilizando ferramentas como *Grasshopper* e *Revit*, com o intuito de explorar e solucionar problemas específicos de design. Podem se dividir em : Setorização do projeto com auxílio de algoritmo específico com *Rhinoceros* e *Grasshopper*; melhor distribuição de estruturas de cobertura otimizadas através de algoritmo evolutivo (*Galapagos*), também com *Rhinoceros* e *Grasshopper*; melhor distribuição de mesas em uma secretaria utilizando a ferramenta de Design Generativo nativa do *Revit* 2025 e; inclinação de elementos de fachadas (brises) otimizadas por algoritmo evolutivo (*Galapagos*) baseados na menor quantidade de luz solar calculada por outro algoritmo, também em *Rhinoceros* e *Grasshopper*.

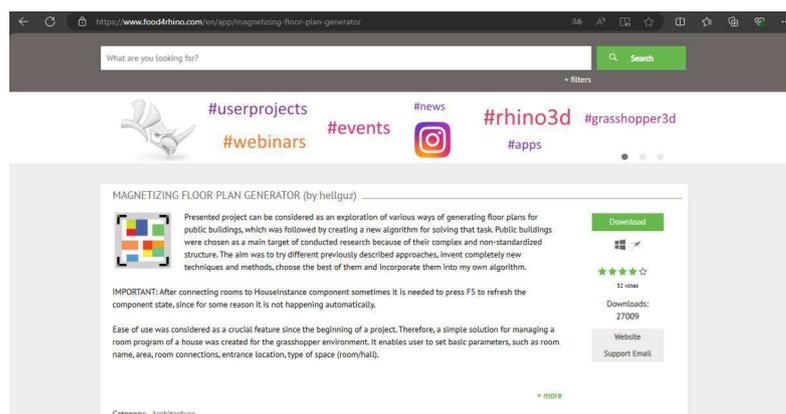
### 6.11.1. SETORIZAÇÃO UTILIZANDO GRASSHOPPER E ALGORITMO “MAGNETIZING FLOOR PLAN GENERATOR”

O objetivo desta etapa é "resolver" a planta utilizando um algoritmo no software *Rhinceros* com a extensão *Grasshopper*, que automatiza o processo a partir dos parâmetros fornecidos pelo usuário, permitindo escolher a opção que melhor atende aos requisitos do projeto. Para isso, foi adotada a extensão "*Magnetizing Floor Plans*" no *Grasshopper*, que calcula a setorização dos ambientes com base em regras específicas.

É interessante notar, que nesta etapa, o processo de geração de possibilidades é puramente formal, através do uso de regras para se gerar diferentes resultados, aplicação do conceito de Gramática da Forma, já abordado neste trabalho. As formas são geradas através de regras e processos do algoritmo, possibilitando a rápida geração de variações da forma.

A extensão pode ser baixada a partir do site "*FoodforRhino*", principal site de obtenção de extensões para o *Grasshopper*: <https://www.food4rhino.com/en/app/magnetizing-floor-plan-generator>.

Figura 122 - MAGNETIZING FLOOR PLAN GENERATOR no site "FoodForRhino"



Fonte: Própria do autor (2024).

Para facilitar o processo, também foi utilizado um arquivo modelo disponibilizado na mesma página, o "*Example Preview 2.0*". Para utilizá-lo, basta abrir o arquivo do ".3dm" *Rhinceros* e depois, ao abrir o *Grasshopper*, arrastar o

arquivo “.gh” contido no arquivo de download. Este arquivo já vem com sua programação visual pré-configurada, evitando um maior trabalho para a utilização do algoritmo, bastando apenas adaptar o a programação para funcionar com o projeto. Então, serão abordadas somente as configurações de parâmetros necessárias para se atingir as etapas realizadas neste trabalho.

Figura 123 - Seção de downloads da extensão e do arquivo modelo

Downloads

For instructions on installing Grasshopper Add-Ons, please see [FAQ](#) for details.

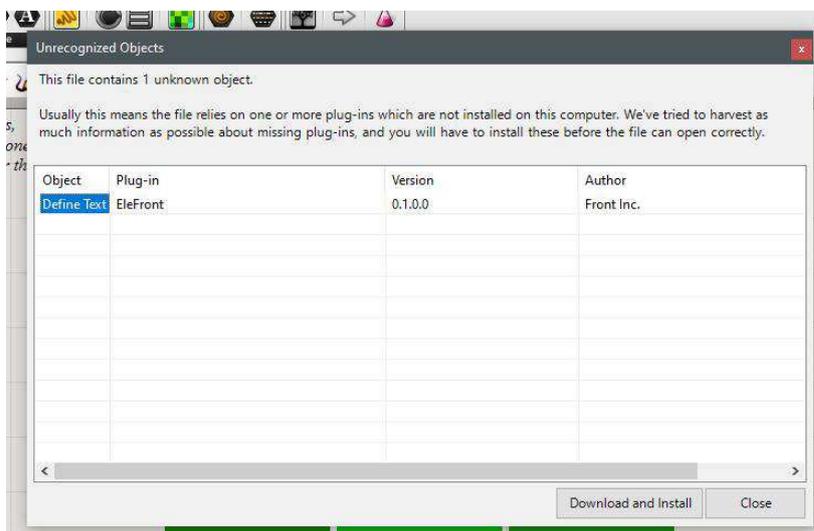
Title	Description	Platform	
MagnetizingFPG 2.0 (Rhino 7) 2023-03-29	Compiled version of MagnetizingFPG for Rhino 7	Grasshopper for Rhino 7 for Win	<a href="#">Log in</a>
Rhino 7 example file 2023-03-29	Example file for Rhino 7	Grasshopper for Rhino 7 for Win	<a href="#">Log in</a>
Magnetizing_FPG 2.0 (Rhino 5 & Rhino 6)	GHA file with all needed components. Example file also contains another component, which changes dimensions of rooms so that they better fit into given boundary. It is not tested enough yet and therefore is just in a preview state. The basics of algorithm are taken from papers by Sven Sc...	Grasshopper for Rhino 4 & 5 for Win	<a href="#">Log in</a>
Example Preview 2.0 2019-05-15	Examples for version 2.0 Example file also contains another component, which changes dimensions of rooms so that they better fit into given boundary. It is not tested enough yet and therefore is just in a preview state. The basics of algorithm are taken from papers by Sven Schneider and...	Grasshopper for Rhino 4 & 5 for Win	<a href="#">Log in</a>

Fonte: Própria do autor (2024).

**Consertando dependências:** Ao instalar o plugin, é necessário instalar outras extensões que foram utilizadas no arquivo modelo, para que a programação funcione corretamente, os componentes assim como as extensões das quais fazem parte são mostradas em uma lista ao abrir um arquivo *Grasshopper*. Essas extensões também podem ser encontradas no site *FoodForRhino*. No exemplo deste arquivo, dentro do *Cluster* nomeado “*Display*” com a programação de representação visual, o componente “*Define Text*”, que faz parte da extensão *Elefront* não foi encontrada, então o programa cria um *Placeholder*, ou seja, apenas uma representação não-operante, no lugar deste componente, para manter a estrutura da programação. Pelos testes, ao instalar a versão do *Elefront* disponível no site *FoodForRhino*, esse componente pode ser substituído por outro componente

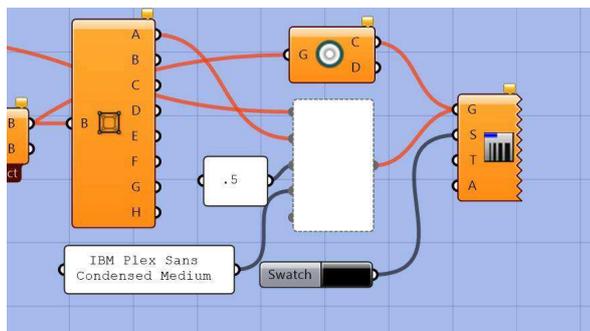
chamado “*Define Text Dot*” , bastando apenas estabelecer as mesas conexões de entrada e saída do componente.

Figura 124 - Tela de aviso de extensão ausente no Grasshopper



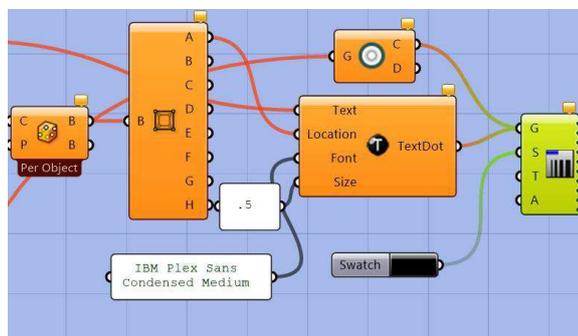
Fonte: Própria do autor (2024).

Figura 125 - Placeholder (em branco) mostrando componente ausente no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

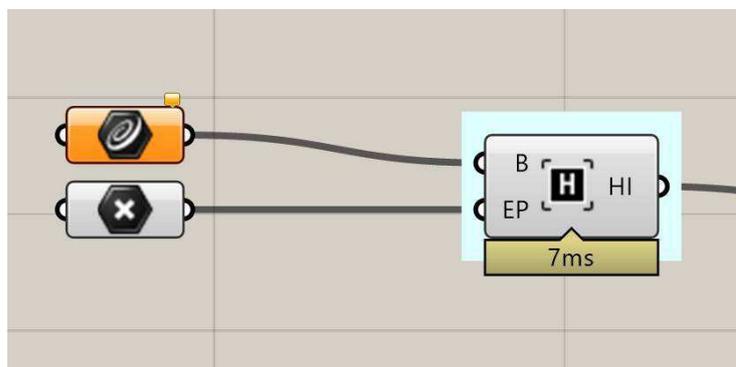
Figura 126 - Placeholder substituído pelo componente "Define Text Dot"



Fonte: Própria do autor (2024).

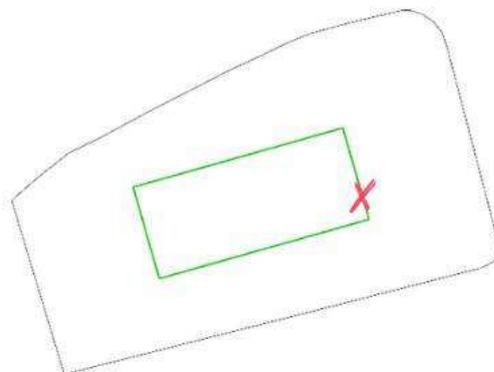
**Componentes Utilizados:** Para o funcionamento do algoritmo, utilizamos o componente "*HouseInstance*", representado por um quadrado preto com uma letra "H" dentro, que requer algumas informações de entrada (*inputs*), tais como a delimitação do perímetro (entrada B) que a edificação irá ocupar no terreno e um ponto espacial (entrada EP) que define a posição da entrada da edificação. No arquivo de exemplo, já tem-se essas entradas definidas no ambiente do *Rhinceros*, porém, é necessário excluí-las e substituir pelas informações do projeto, escolhe-se então a curva do perímetro da edificação como entrada e define-se um ponto dentro deste perímetro, a conexão pode ser vista na figura a seguir:

Figura 127 - Componente "House Instance"



Fonte: Própria do autor (2024).

Figura 128 - Representação da tela do *Rhinoceros*, com o perímetro em verde e o ponto de entrada representado por um "X"



Fonte: Própria do autor (2024).

**Criação de fluxograma:** Paralelamente, trabalha-se com os componentes "*RoomsInstances*", simbolizado por uma letra "R" dentro de um quadrado preto, que representam bolhas formadoras de um fluxograma, definindo os ambientes, suas áreas e as conexões entre eles. Em uma edificação menor, poderia-se utilizar diretamente os ambientes da edificação, mas no caso específico deste trabalho, por se tratar de uma edificação maior, optou-se por dividir primeiramente por setores

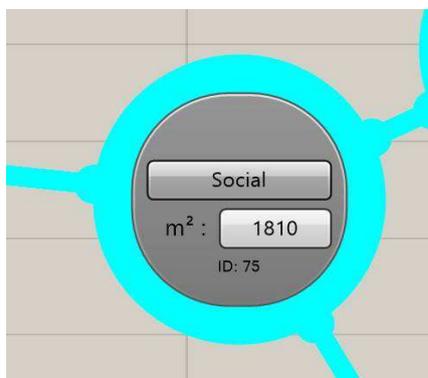
Inicialmente, realizou-se a setorização do térreo. Era necessário definir quais ambientes ocupariam cada setor no térreo e calcular o somatório das áreas que cada setor ocuparia no térreo de acordo com seus ambientes. Para o algoritmo funcionar corretamente, optou-se por uma "folga", aumentando a área final no fluxograma. Utilizando o setor social como exemplo:

Figura 129 - Somatório de ambientes do setor social no térreo

Social	Hall Acesso	1	300.00m <sup>2</sup>	300.00m <sup>2</sup>
	Escada Social	2	25.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>
	Recepção e Bilheteria	1	45.00m <sup>2</sup>	45.00m <sup>2</sup>
	Foyer	1	100.00m <sup>2</sup>	100.00m <sup>2</sup>
	Loja do museu	1	100.00m <sup>2</sup>	100.00m <sup>2</sup>
	Café	1	90.00m <sup>2</sup>	90.00m <sup>2</sup>
	Restaurante	1	200.00m <sup>2</sup>	200.00m <sup>2</sup>
	Antecâmara	1	2.90	2.90m <sup>2</sup>
	Guarda-volumes	1	50.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>
	Elevadores sociais	2	15.00m <sup>2</sup>	30.00m <sup>2</sup>
	Área de mesas externas/Varanda	2	150.00m <sup>2</sup>	300.00m <sup>2</sup>
	Hall de Elevadores + Escada de incêndio	2	25.00m <sup>2</sup>	50.00m <sup>2</sup>
	Auditório	1	250.00m <sup>2</sup>	250.00m <sup>2</sup>
	<b>Total Social</b>			

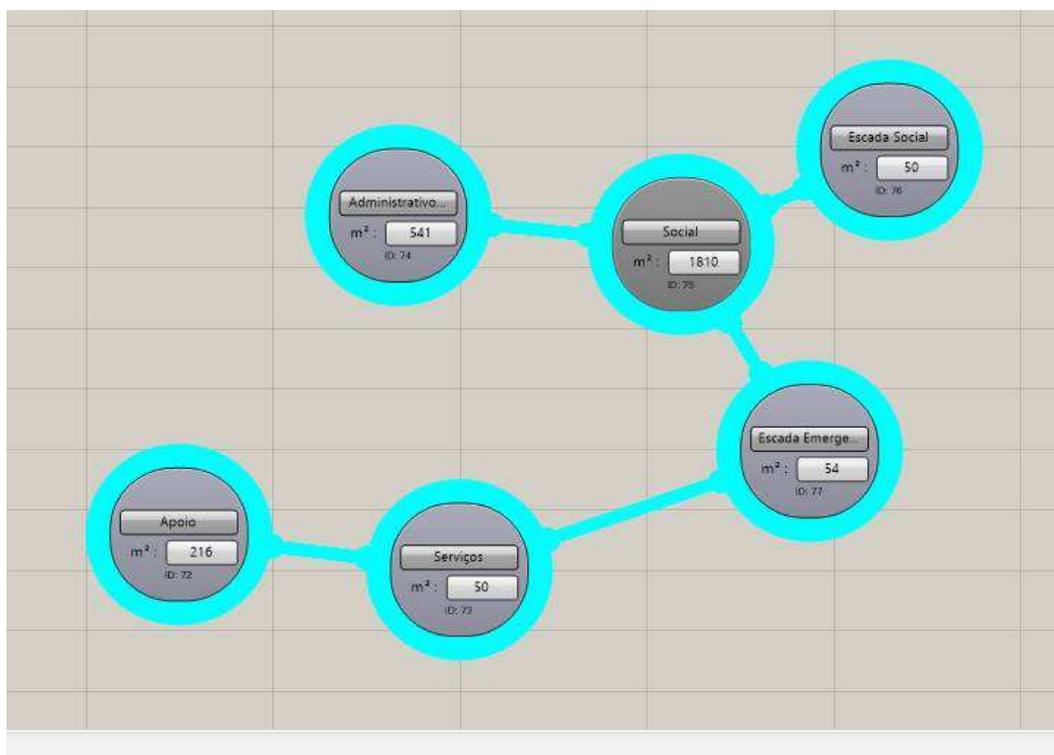
Fonte: Própria do autor (2024).

Figura 130 - Destaque da "RoomInstance" do setor Social



Fonte: Própria do autor (2024).

Figura 131 - Fluxograma definindo setores e conexões no térreo



Fonte: Própria do autor (2024).

**Geração de massas:** Conecta-se a saída do "*HouseInstance*" ao componente "*MagnetizingRoomsES*", que realiza o cálculo da setorização. As saídas deste componente são conectadas a um "*cluster*", que é uma programação aninhada, já configurada no arquivo de exemplo baixado.

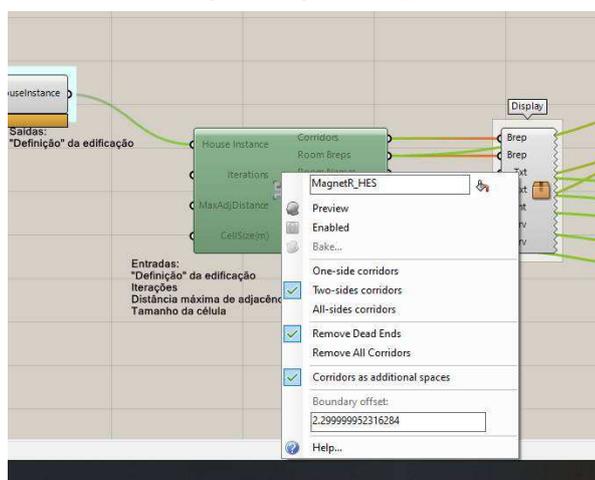
Figura 132 - Componente "MagnetizingRoomsES"



Fonte: Própria do autor (2024).

Este último componente ainda permite escolher resultados com formação de corredores entre os ambientes ou não, bastando clicar com o botão direito do *mouse* em cima do ícone no componente e marcar ou desmarcar as opção “*Remove All Corridors*”. Neste trabalho, optou-se por obter resultados sem corredores já que iria ser utilizado apenas como forma de abstração da setorização realizada.

Figura 133 - Opções de Corredor no Componente “MagnetizingRooms\_ES”



Fonte: Própria do autor (2024).

**Resultados e Visualização:** A programação do *cluster*, já configurado no arquivo baixado, resulta na visualização de informações como textos mostrando o nome dos ambientes, diferentes cores para cada ambiente, linhas de contorno e outras informações derivadas das saídas do “*MagnetizingRooms\_ES*”, que incluem:

Corredores: Geometrias

Geometria dos Ambientes: Geometria

Nome dos Quartos: Texto

Adjacências: Texto

Adjacências Ausentes: Números inteiros

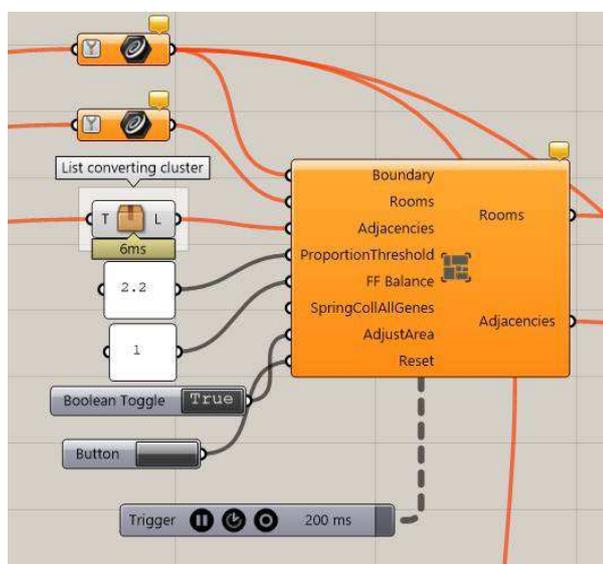
Delimitação: Curvas

## Delimitação com Deslocamento: Curvas

### Setorização do Térreo

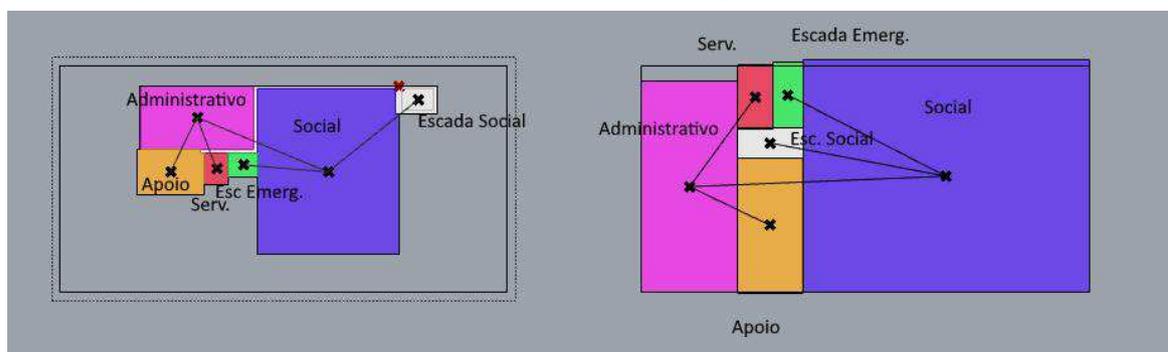
A partir dessas defini es, os resultados aparecem na tela do *Rhinceros*, visualizáveis com cores diferentes para cada setor e respeitando as áreas definidas (figura   esquerda) e, o esquema de amarra o simulado pelo componente "*SpringSystem\_ES*", que tenta encaixar proporcionalmente os ambientes dentro do perímetro (  direita).

Figura 134 - Componente "Spring\_System\_ES"



Fonte: Própria do autor (2024).

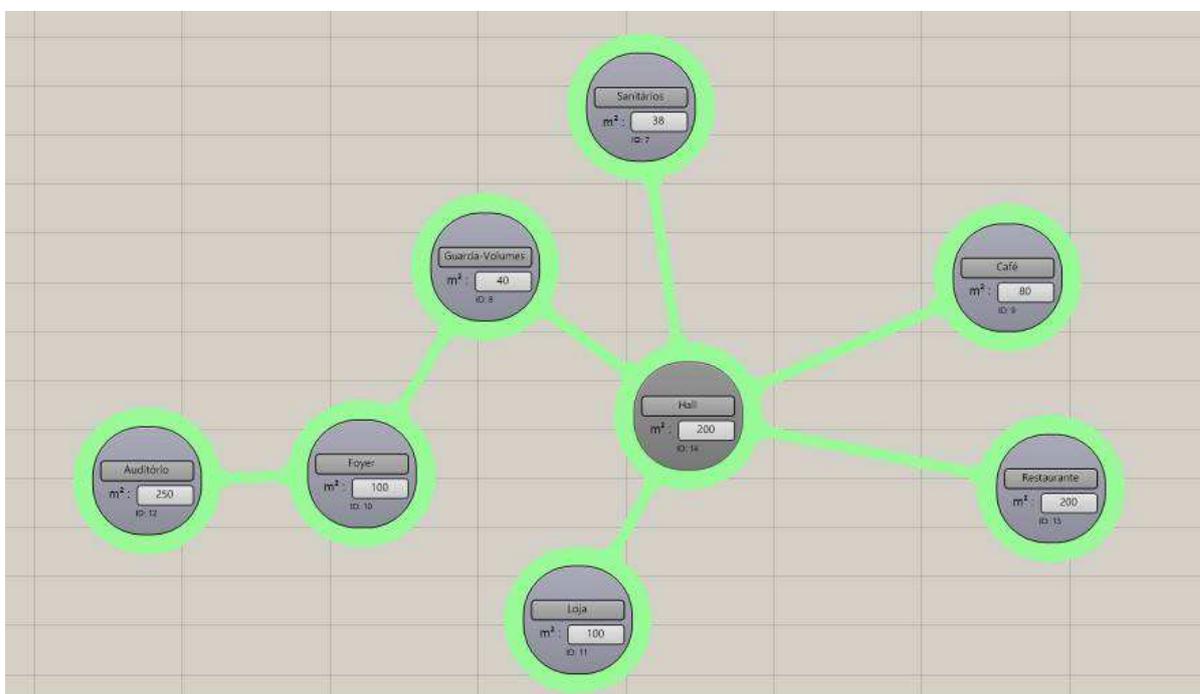
Figura 135 - Op o de setoriza o formada pelo algoritmo na tela do Rhinceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Posteriormente, bastou apenas subdividir os setores em seus ambientes que o compõem, como por exemplo, o setor administrativo no térreo era composto por: *Foyer*, auditório, escada de emergência, sanitários (masculinos, femininos e adaptado), café e restaurante. Repetindo o processo, podemos novamente chegar à abstração de uma setorização dos ambientes. Esta etapa foi repetida para a setorização de outras áreas onde se desejou utilizar também a ajuda do algoritmo para resolver a planta. O fluxograma do setor social no térreo foi definido da seguinte forma:

Figura 136 - Fluxograma do setor social no térreo

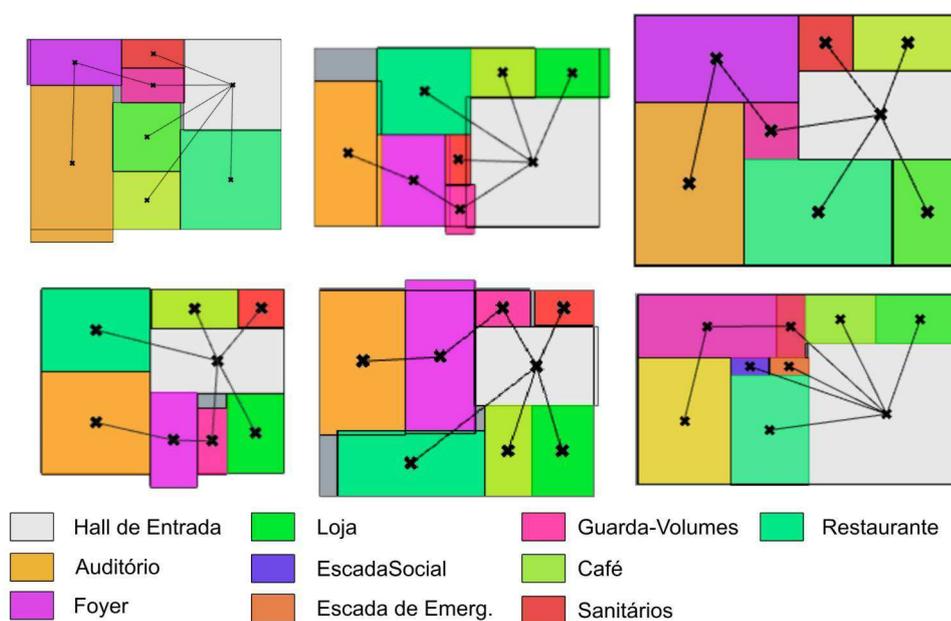


Fonte: Própria do autor (2024).

**Iterações e exploração dos resultados:** A partir dos registros realizados, manualmente através de *prints* (registros de imagem da tela do computador) pelo autor, pode-se observar diferentes possibilidades gerados a partir da mesma entrada. Durante esta etapa, um grande número de tentativas foram feitas (o que pode-se chamar de iterações), com o fluxograma definido e demais configurações, bastando apenas “ligar” e “desligar” o algoritmo, através da ativação e desativação do componente “*HouseInstance*”. O processo poderia ser mais agilizado com a aplicação da automatização do refinamento de resultados a partir de um algoritmo

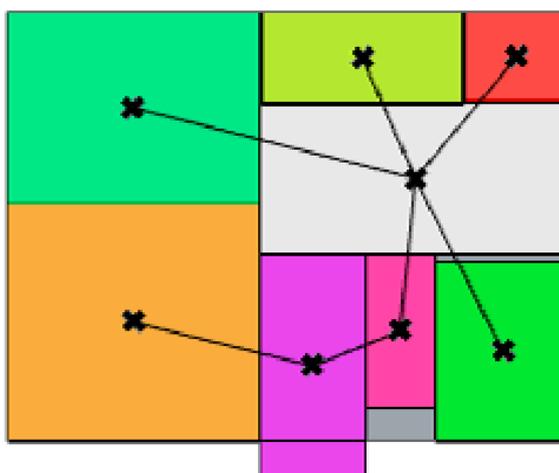
evolutivo, que não foi possível ser aplicado durante esta etapa. Então, através da observação e análise dos resultados, obteve-se uma variação que melhor atenderia às expectativas do projeto, baseado em critérios já estabelecidos, como: café e restaurante aproveitando a vista do mar, setores sociais voltados ao lado Leste e administrativos e de serviços ao Oeste.

Figura 137 - Variações de resultados para o setor social do térreo



Fonte: Própria do autor (2024).

Figura 138 - Possibilidade escolhida para ser trabalhada



Fonte: Própria do autor (2024).

Após a escolha de um resultado, prosseguiu-se com a evolução da planta baixa do projeto utilizando *Revit*, fazendo algumas poucas modificações que se julgou necessário, pois vale lembrar que se utilizou a setorização gerada apenas como abstração da forma.

Figura 139 - Continuidade da planta baixa no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

**Considerações sobre o experimento:** No decorrer do processo, houveram alguns problemas que impossibilitaram esta metodologia de se enquadrar completamente nos conceitos de Design Generativo. Um dos problemas é que o componente que foi utilizado trabalha com saídas não-determinísticas, ou seja, a mesma entrada de dados pode gerar diversas saídas diferentes. Isso impossibilitou a aplicação de um algoritmo evolutivo para se fazer o processo de seleção dos resultados, pois o algoritmo evolutivo apenas “salva” os melhores valores de entrada para se chegar à melhor saída. A seleção foi feita pelo próprio autor manualmente através de registros de imagens da tela do computador.

Outro problema encontrado foi a imprecisão ao se trabalhar com o componente e com as áreas adotadas nos setores. Muitas vezes alguns setores deixavam de ser criado na visualização, sendo destacados na cor vermelha no *Canvas* do *Grasshopper*. Para lidar com este problema decidiu-se inserir uma área

maior ou menor para certos ambientes, além de trabalhar a setorização gerada apenas como forma de abstração, ou seja, apenas como uma referência formal para prosseguir com a elaboração da planta.

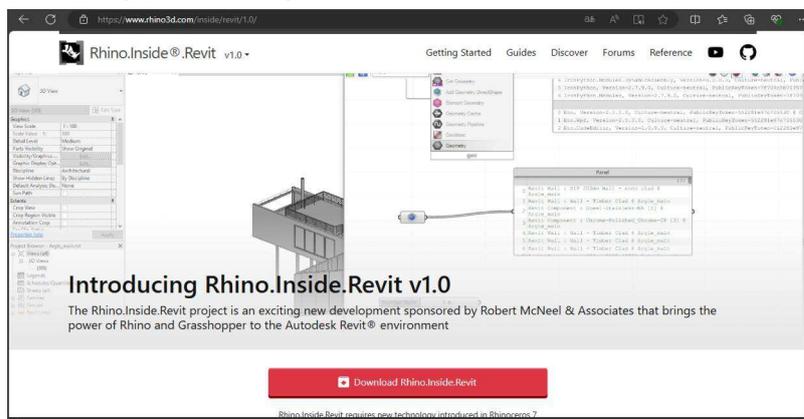
Ainda sim, se trata de um método generativo de se trabalhar, de forma similar aos conceitos de Gramática da Forma abordados neste trabalho. Apesar dos percalços ocorridos, o uso desta ferramenta contribuiu de forma significativa para uma mais rápida tomada de decisão de projeto por parte do autor. Ao possibilitar, de forma quase instantânea, a visualização de possibilidades para a setorização do projeto, ficou mais fácil avaliar o que poderia ser mudado, notando-se que o arquiteto ainda é quem possui a decisão final.

#### **6.11.2. COBERTURA OTIMIZADA POR ALGORITMO EVOLUTIVO NO GRASSHOPPER**

Nesta etapa, tem-se como objetivo otimizar um conjunto de estruturas que formam a cobertura de uma área externa da cafeteria, localizada no segundo pavimento, usando como critério a minimização da área do ambiente subtraída da área das projeções de cada estrutura, utilizando um algoritmo evolutivo para isso, o componente *Galapagos* no *Grasshopper*. No final do experimento, a estrutura foi levada para o software *Revit* e somada ao projeto que já estava sendo feito nele.

Para começar, a única extensão adicional que foi necessário nesta etapa foi a *Rhino.Inside.Revit*, oferecida pelo próprio *site* do *Rhinoceros*. O arquivo (compatível com *Revit* 2025 que foi a versão usada) pode ser baixado pelo *link*: [https://files.mcneel.com/rhino.inside/revit/dujour/RhinoInside.Revit\\_1.23.8919.31374.msi](https://files.mcneel.com/rhino.inside/revit/dujour/RhinoInside.Revit_1.23.8919.31374.msi).

Figura 140 - Página do Rhino.Inside.Revit versão 1.0



Fonte: Própria do autor (2024).

Diferentemente de outras extensões, esta é instalada diretamente através de um instalador, sendo um procedimento bem simples como de um programa comum:

Figura 141 - Instalador do Rhino.Inside.Revit versão 1.0



Fonte: Própria do autor (2024).

Após a instalação, já podemos dar continuidade ao experimento. A seguir serão divididas as etapas que foram seguidas.

**Criação das estruturas paramétricas:** Inspirado em estruturas que se baseiam na natureza, foi criado uma estrutura paramétrica que se assemelha à uma árvore, utilizando *Grasshopper*.

Figura 142 - Árvores gigantes no Supertree Grove, bosque artificial em Cingapura

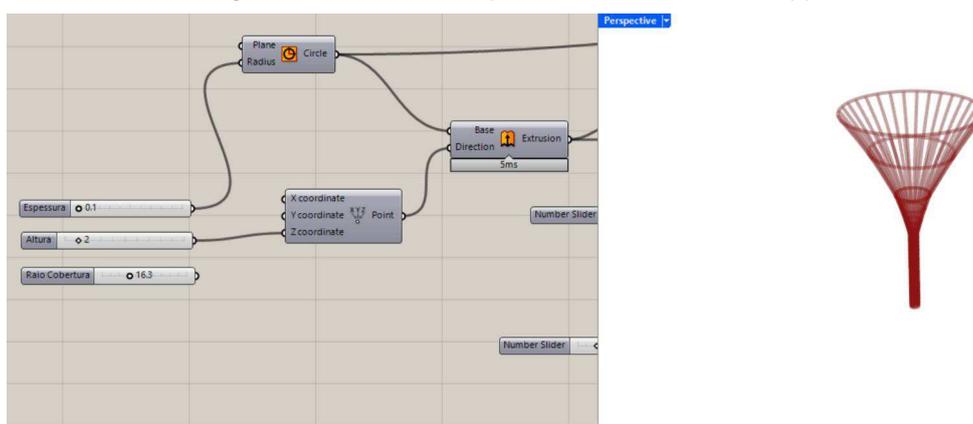


Fonte: G1<sup>45</sup>(2024).

A programação completa dessas estruturas serão disponibilizadas em anexo no final deste trabalho, apenas será destacado as etapas importantes do experimento.

O início da programação foi responsável por gerar a geometria dessas estruturas em que a espessura do tubo central, a altura do cone e o raio de abertura dele podiam ser alterados por parâmetros de *Number Sliders*:

Figura 143 - Estruturas paramétricas no Grasshopper

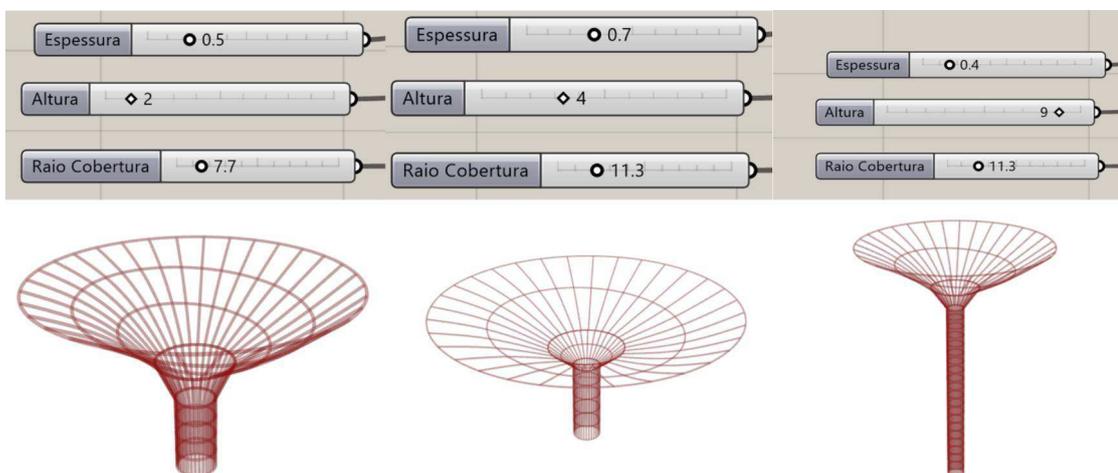


Fonte: Própria do autor (2024).

Ao se modificar os parâmetros criados, podemos ver as variações dessa estrutura:

45 Disponível em: <<https://g1.globo.com/turismo-e-viagem/noticia/2013/08/bosque-futurista-tem-superarvores-que-funcionam-como-jardim-vertical.html>>. Acesso em: 12 de agosto de 2024.

Figura 144 - Parâmetros (acima) e variações da estrutura (abaixo)

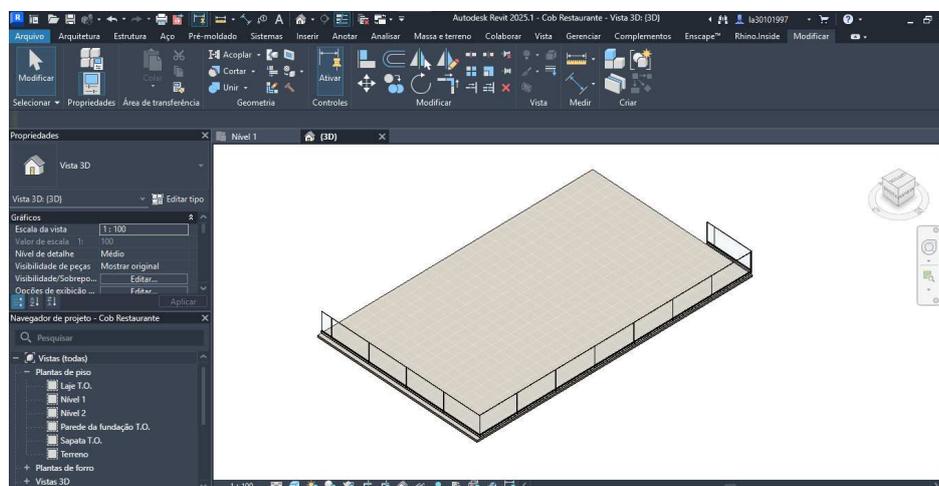


Fonte: Própria do autor (2024).

A primeira intenção, era criar uma automatização através do algoritmo evolutivo que utilizasse esses três parâmetros iniciais para se chegar à melhor variação possível para essa estrutura na área externa da cafeteria, no projeto que estava sendo feito no *Revit*. Porém, devido à complexidade da programação, escolheu-se apenas uma variação desta estrutura para ser usada e, usar como critério para o algoritmo evolutivo a minimização da área resultante da área do restaurante subtraída das áreas de projeção das estruturas.

**Interação do Revit com Grasshopper:** para trabalhar melhor a geometria dos elementos criados no *Revit*, foi necessário antes trazê-la ao *Rhinceros*, este processo foi facilitado pela extensão *Rhino.Inside*. Ao invés de levar o modelo inteiro do projeto que já estava sendo feito no *Revit*, optou-se por separar em um novo arquivo apenas o ambiente da cafeteria que teria as informações a ser utilizadas (como perímetro), pois a comunicação entre a extensão (será abordada posteriormente) ainda apresentava falhas que fechavam o programa.

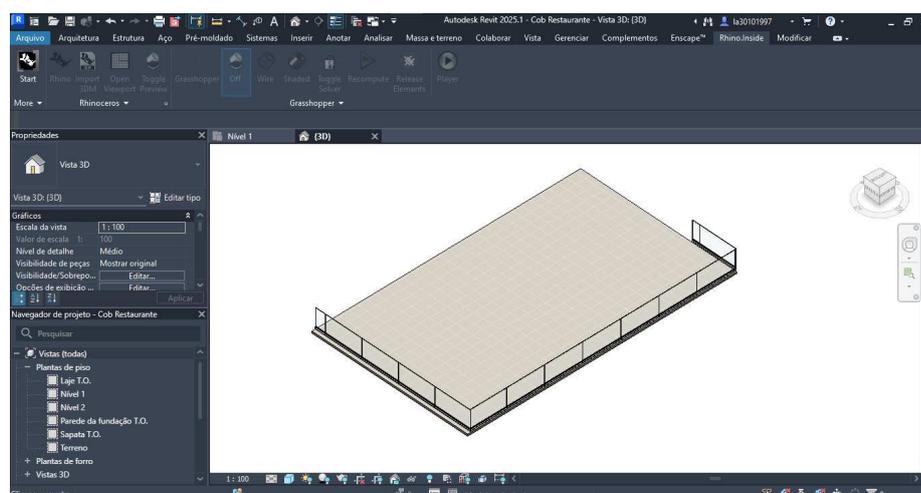
Figura 145 - Área externa da cafeteria no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

Para levar a geometria do *Revit* para o *Grasshopper* e vice-versa, precisamos, através do próprio *Revit*, navegar até a aba *Rhino.Inside*. Como a extensão ainda não foi iniciada, a única opção disponível é o botão “*Start*”, que podemos clicar para iniciar o *Grasshopper* (é necessário sempre iniciar o *Grasshopper* pelo *Revit* dessa forma quando se desejar utilizar esta integração entre os dois).

Figura 146 - Aba do Rhino.Inside



Fonte: Própria do autor (2024).

Após isso, o *Grasshopper* será iniciado, e nos deparamos com alguns botões importantes:



Fonte: Própria do autor (2024).

**Rhino:** Abre a interface do *Revit*, importante quando queremos criar objetos do próprio Rhino.

**Import 3DM:** Caso desejar abrir algum arquivo já salvo do *Rhino* para ser utilizado.

**Open Viewport:** Abre apenas uma *viewport* reproduzindo a mesma perspectiva do *Revit*.

**Toggle Preview:** Alterna a visibilidade de pré-visualização do Rhino.

**Grasshopper:** Abre a interface do *Grasshopper*.

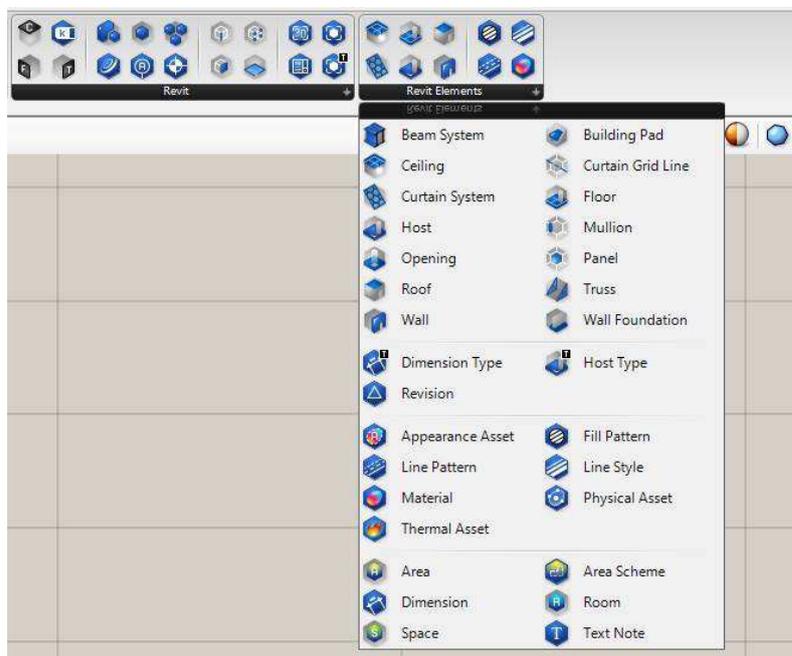
**Off:** Desliga a pré-visualização de objetos.

**Wire:** Exibe apenas as arestas da pré-visualização (estrutura de arame).

**Shaded:** Exibe a pré-visualização com sombreado e colorido.

Além disso, essa extensão também acrescentou novos componentes ao *Grasshopper*. Precisamos utilizar esses novos componentes para fazer a comunicação entre objetos do *Rhino* e *Grasshopper*. Caso desejarmos levar uma geometria do *Revit* para o *Rhino*, podemos utilizar os componentes que se encontram na aba *Params* do *Grasshopper* que armazenam esse tipo de dado. Neste caso, iremos utilizar o componente *Floor* para referenciar o piso criado no *Revit*, para escolher o piso, basta clicar com o botão direito do *mouse* sobre o componente e escolher a opção *Set new floor* e selecionar na tela do *Revit* o piso.

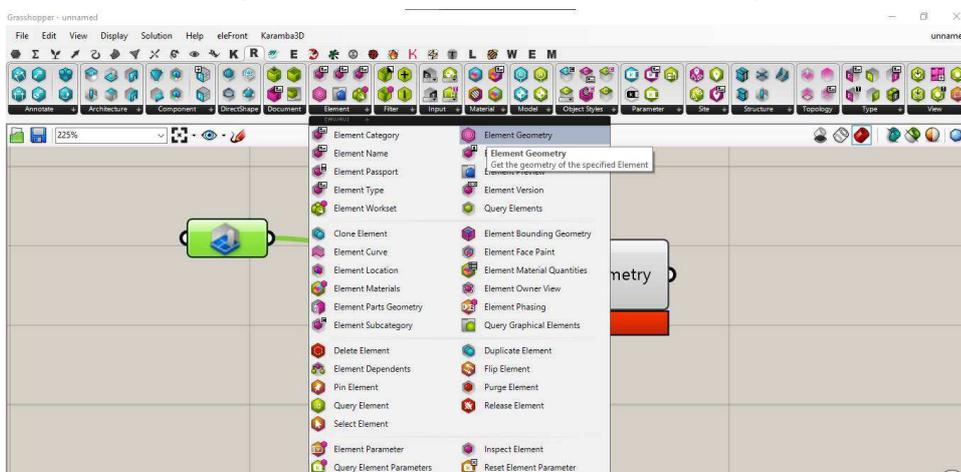
Figura 148 - Componentes de elementos do Revit no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Mas este componente apenas guarda a referência deste piso, se quisermos de fato levar a geometria para o *Rhinceros* e trabalhar de forma que o *Grasshopper* entenda como qualquer outra geometria nativa, ainda precisamos utilizar outro componente, chamado *Element Geometry*, que se encontra na aba “*Revit*”:

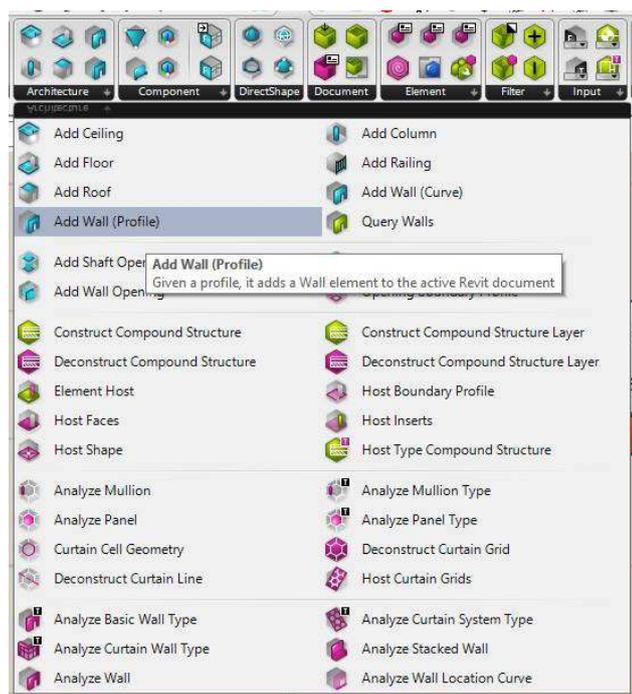
Figura 149 - Componente Elemente Geometry



Fonte: Própria do autor (2024).

É nesta aba, por sua vez, que encontramos componentes capazes de levar informações criadas no *Rhinceros* para o *Revit*, como por exemplo o componente *Add Wall (Profile)*, que cria paredes no *Revit* a partir de curvas (perfis) desenhados no *Rhinceros*.

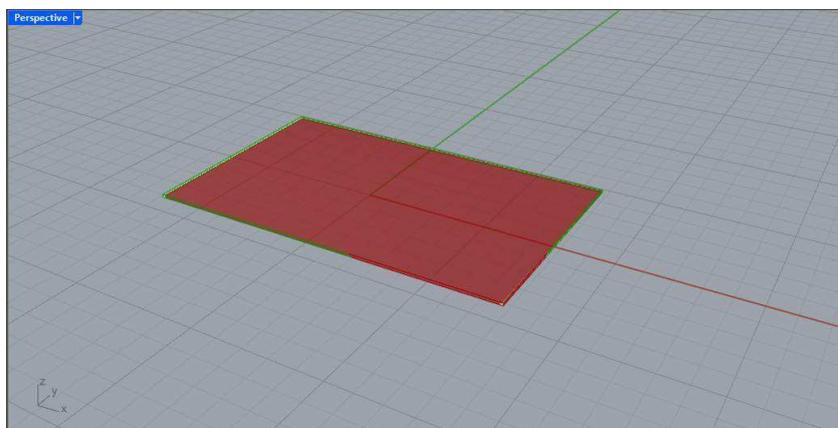
Figura 150 - Componentes de criação de elementos do Revit no Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Voltando ao experimento, ao se conectar a referência do piso ao componente *Element Geometry*, podemos ver na tela do *Rhinceros* a geometria do piso. E assim obter mais informações dele para se trabalhar dentro do *Grasshopper*, pois agora temos uma saída de geometria reconhecida por outros componentes:

Figura 151 - Componentes de elementos do Revit no Grasshopper

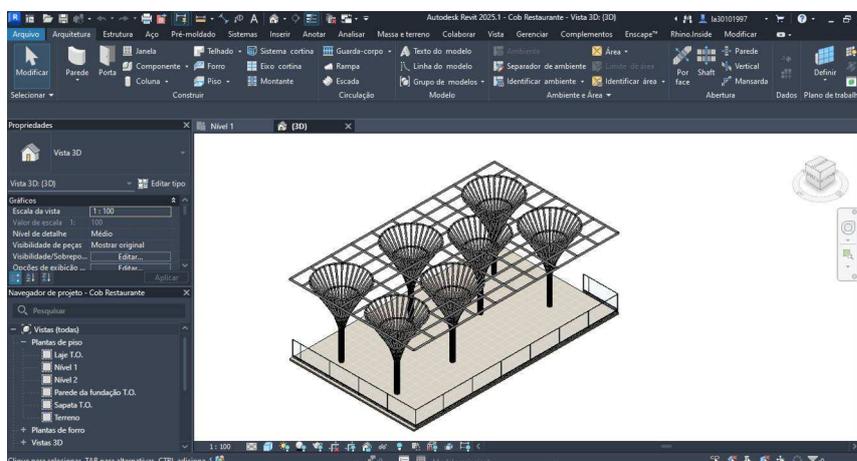


Fonte: Própria do autor (2024).

**Definindo algoritmo e critérios para otimização:** Na etapa seguinte, definiu-se que iriam ser utilizadas 7 das estruturas para serem distribuídas nesta área. Como o *Galapagos*, algoritmo evolutivo adotado, precisa de algum dado mensurável para otimizar, foi escolhido como critério a menor área resultante da área externa da cafeteria subtraída das áreas das projeções das estruturas. Em teoria, isso resultaria em um maior afastamento entre elas, mas também garantiria que se encontrassem dentro da área. Isso foi feito através de uma programação no *Grasshopper* que:

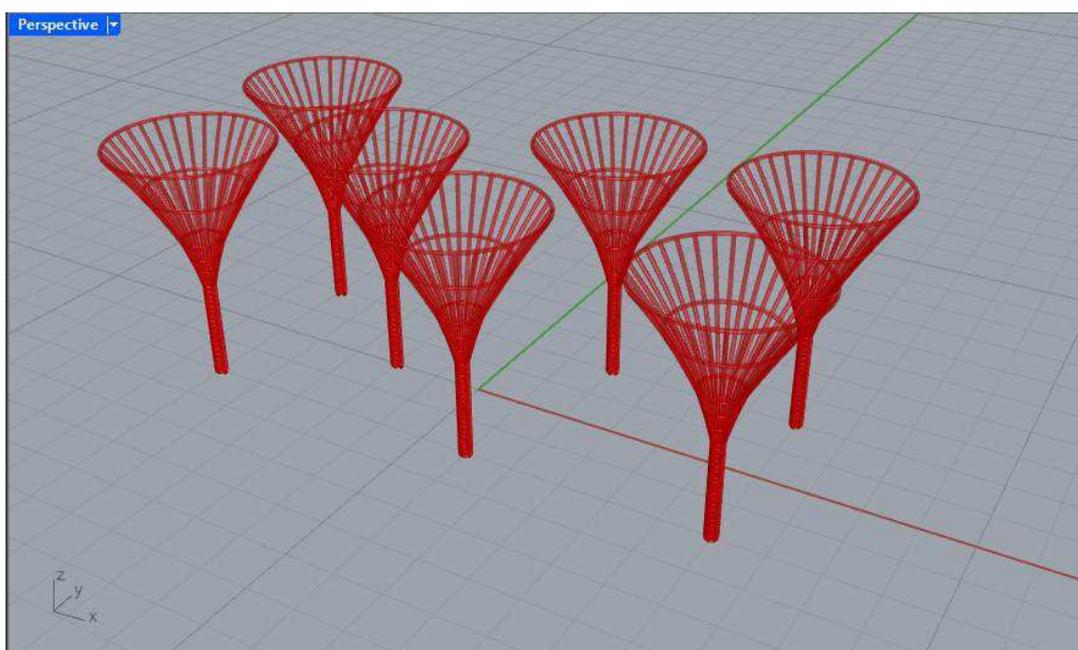
1 - criava 7 cópias (escondendo-se a primeira geometria) em posições aleatórias dentro da área definidas por parâmetros que criam uma coordenada;

Figura 152 - Geometria criada no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

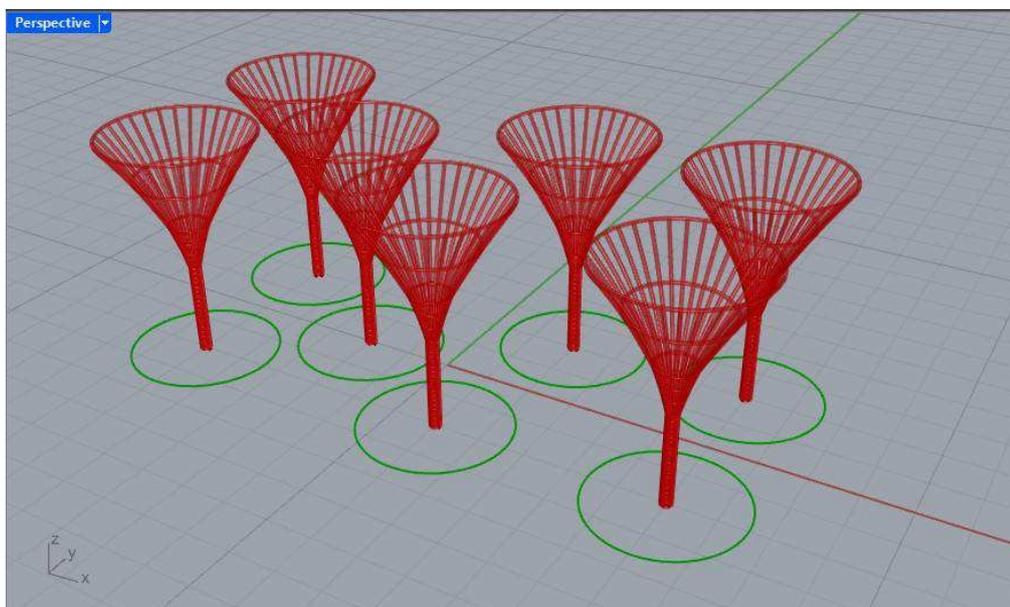
Figura 153 - Cópias da estrutura



Fonte: Própria do autor (2024).

2 - criava uma projeção de cada estrutura no nível do piso de acordo com seu diâmetro;

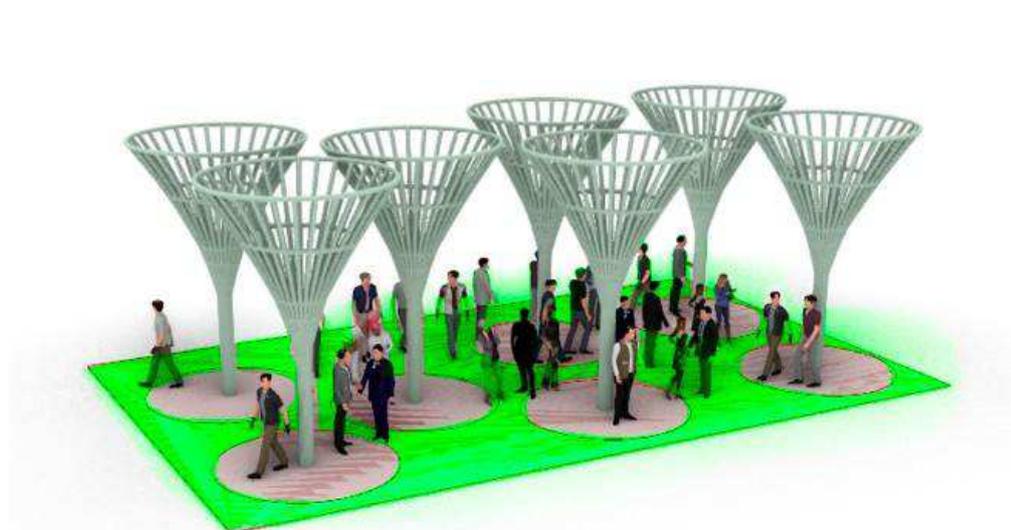
Figura 154 - Projeções das estruturas



Fonte: Própria do autor (2024).

3 - subtraía a área do piso pelas áreas dessas projeções das estruturas (resultado em verde na figura a seguir);

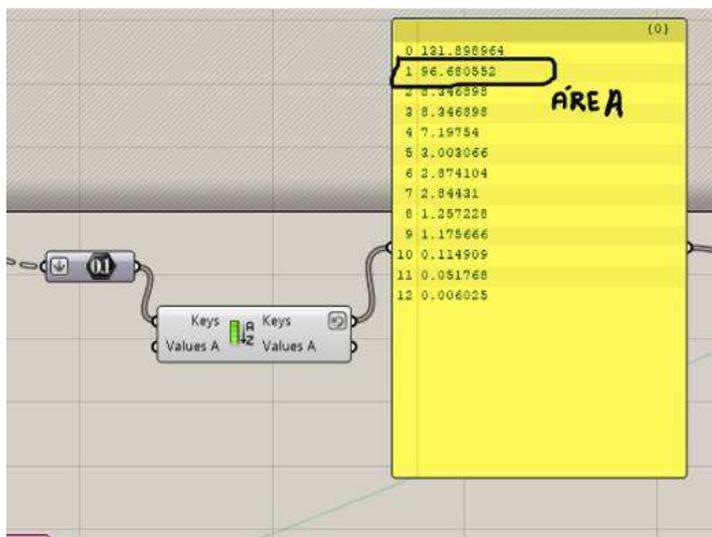
Figura 155 - Área que se deseja minimizar (em verde)



Fonte: Adaptação feita pelo autor (2024).

4 - obtenha o valor resultante desta área para poder ser trabalhada no algoritmo evolutivo.

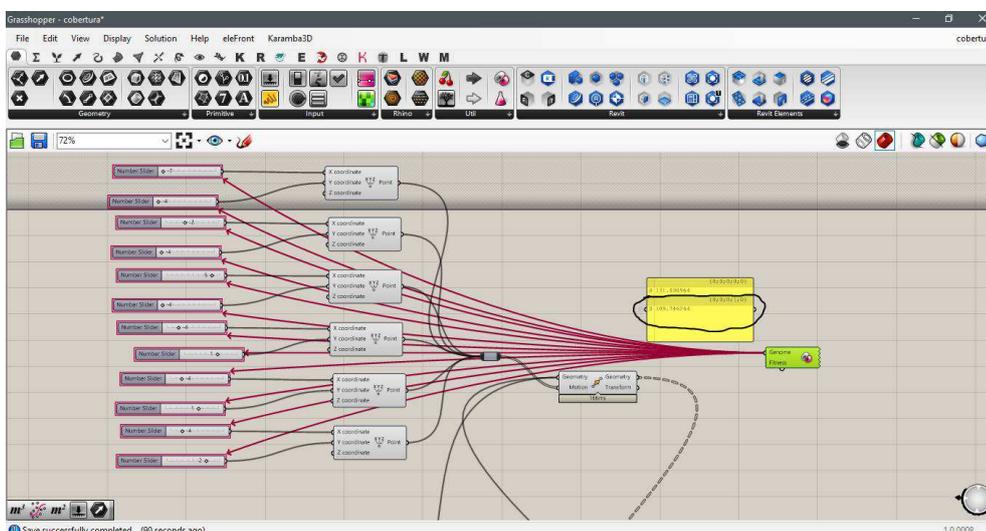
Figura 156 - Valor da área a ser minimizada



Fonte: Própria do autor (2024).

Agora, com parâmetros que definem a posição de cada uma dessas estruturas com suas projeções e o resultado que queremos otimizar, temos, respectivamente, os genomas e o nosso *fitness*:

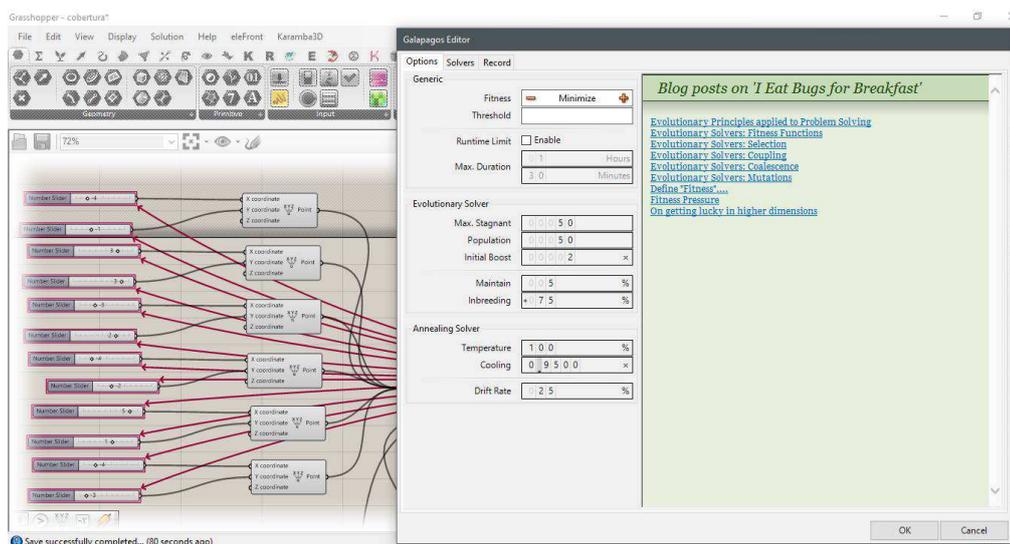
Figura 157 - Genomas e Fitness das estruturas



Fonte: Própria do autor (2024).

Otimizando resultados com *Galapagos*: Agora na interface do *Galapagos*, desejava-se minimizar o valor a ser trabalhado (*fitness*):

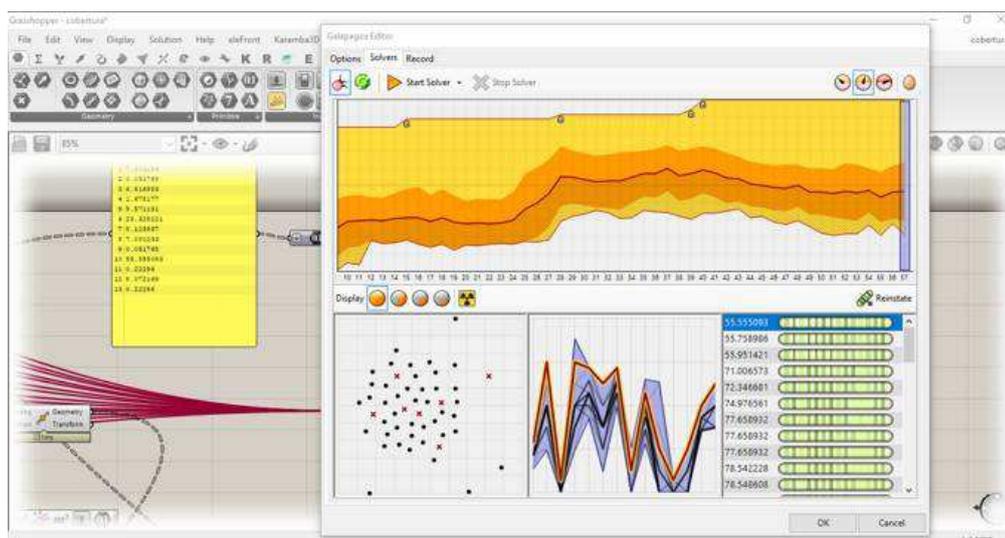
Figura 158 - Minimizando o *fitness* das estruturas



Fonte: Própria do autor (2024).

Num total de 57 gerações, escolheu-se uma que obteve aproximadamente 55,55m<sup>2</sup> como menor resultado para a área:

Figura 159 - Gerações pelo *Galapagos*

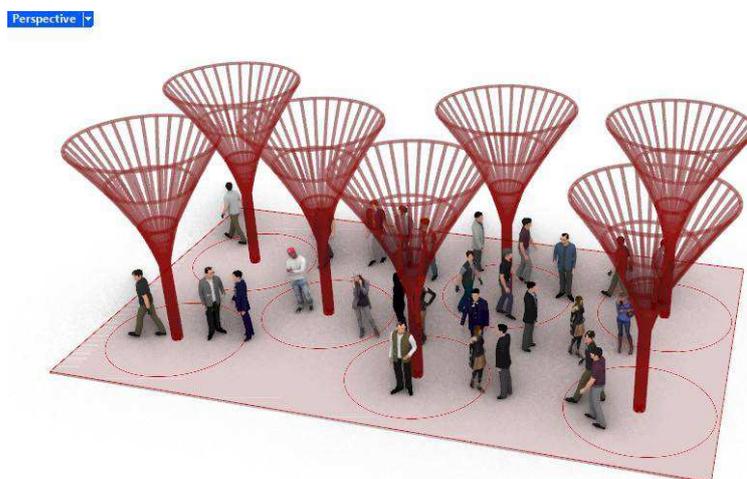


Fonte: Própria do autor (2024).

O resultado pode ser visto na tela do *Rhinceros*:

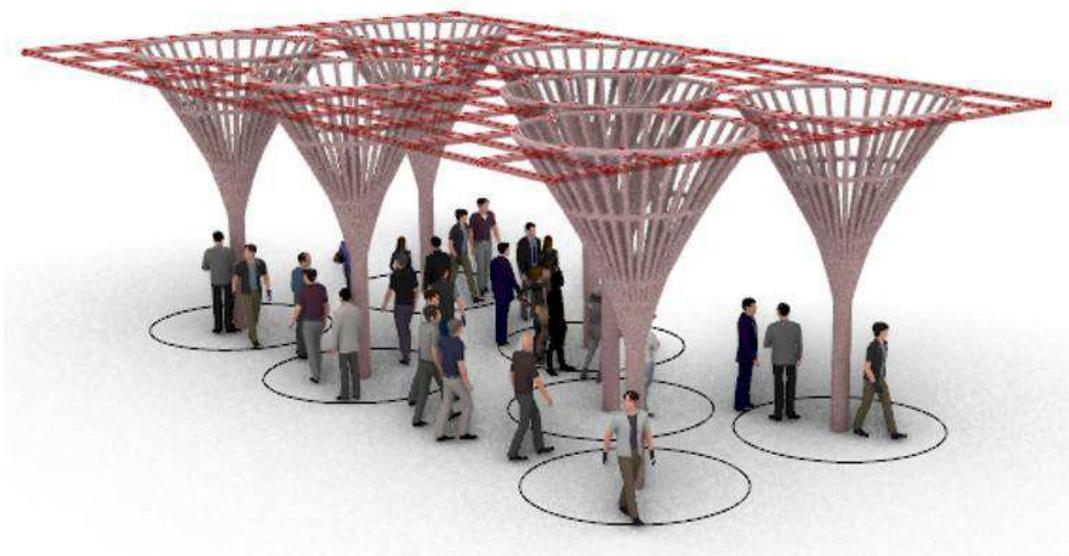
Figura 160 - Geração escolhida na tela do *Rhinceros*

Fonte: Própria do autor (2024).



**Finalizando a estrutura e levando para o *Revit*:** Para finalizar a estrutura, decidiu-se fazer uma trama que cobriria toda a área, ainda na programação:

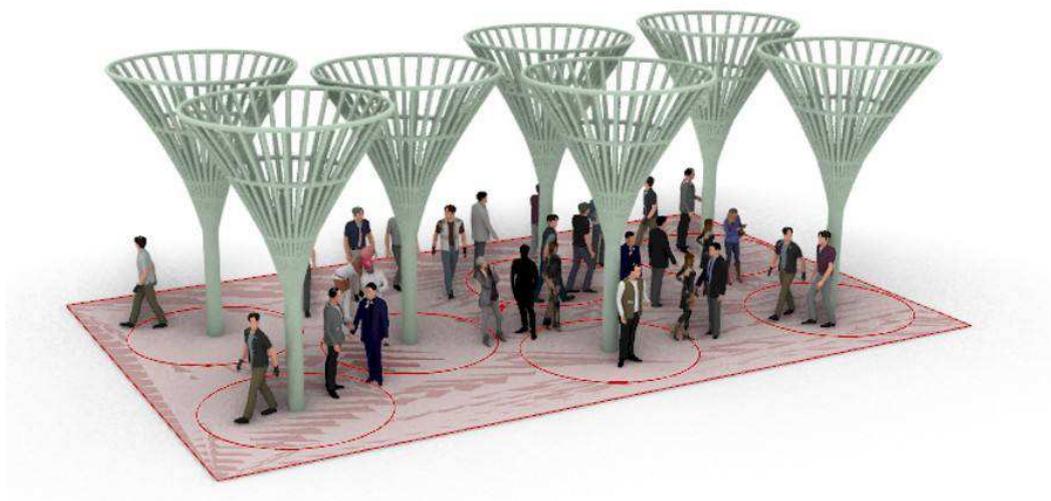
Figura 161 - Cobertura finalizada com Grasshopper e Rhinoceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Agora, bastou levar a geometria para o *Revit*, usando um componente chamado *Add DirectShape (Brep)*, para facilitar o processo, resolveu-se salvar a geometria gerada através de um *Bake* no *Rhinoceros* :

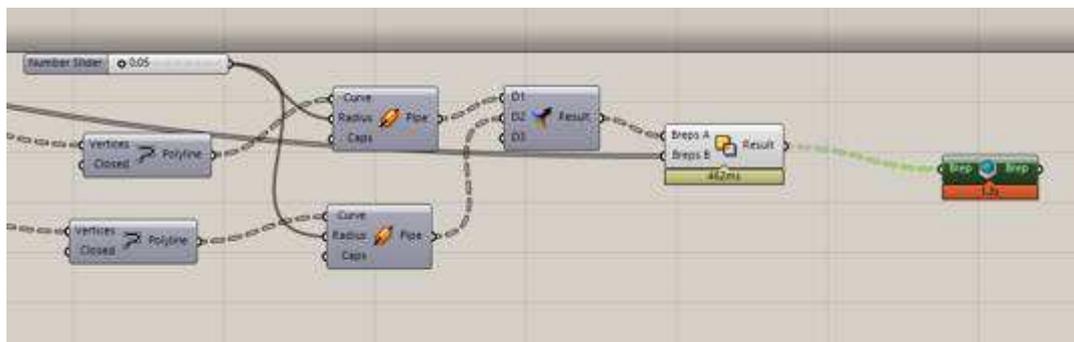
Figura 162 - Bake nas estruturas



Fonte: Própria do autor (2024).

Então, neste novo arquivo, utilizou-se o *Grasshopper* para refinar a modelagem e finalmente conectar ao componente *Add DirectShape (Brep)*:

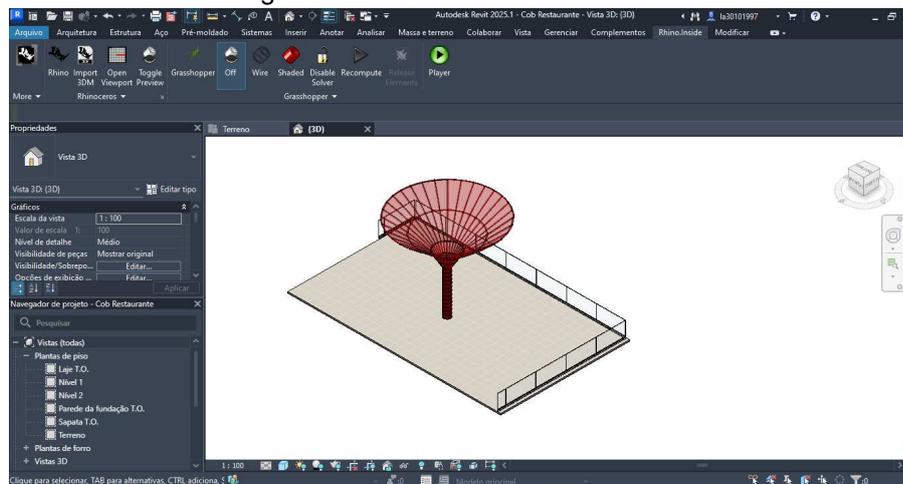
Figura 163 - Cobertura finalizada com Grasshopper e Rhinoceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Este componente, como já citado, é capaz de levar a geometria do *Rhinoceros* para o *Revit*, como mostrado no exemplo abaixo:

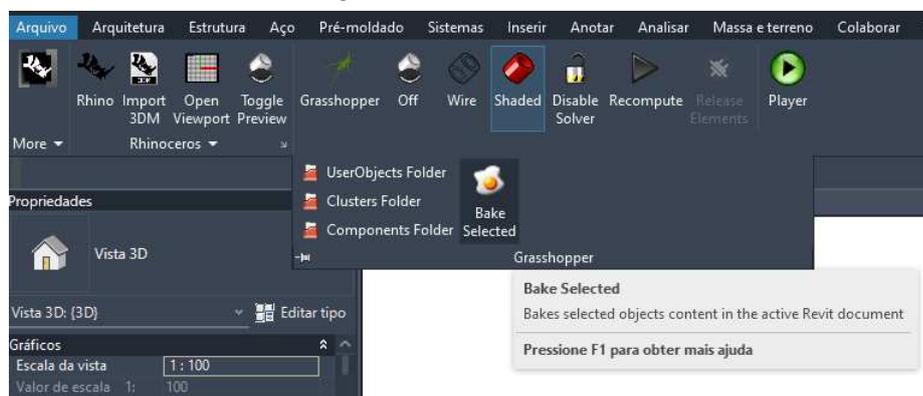
Figura 164 - Estrutura dentro do Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

De forma similar ao *Bake* no *Rhinceros*, para gerarmos a geometria dentro do *Revit*, ainda é necessário dar *Bake* dentro dele também, ao se expandir a seção *Grasshopper* na aba *Rhino.Inside* e, com alguma geometria selecionada dentro do *Grasshopper*, escolher a opção *Bake Selected*:

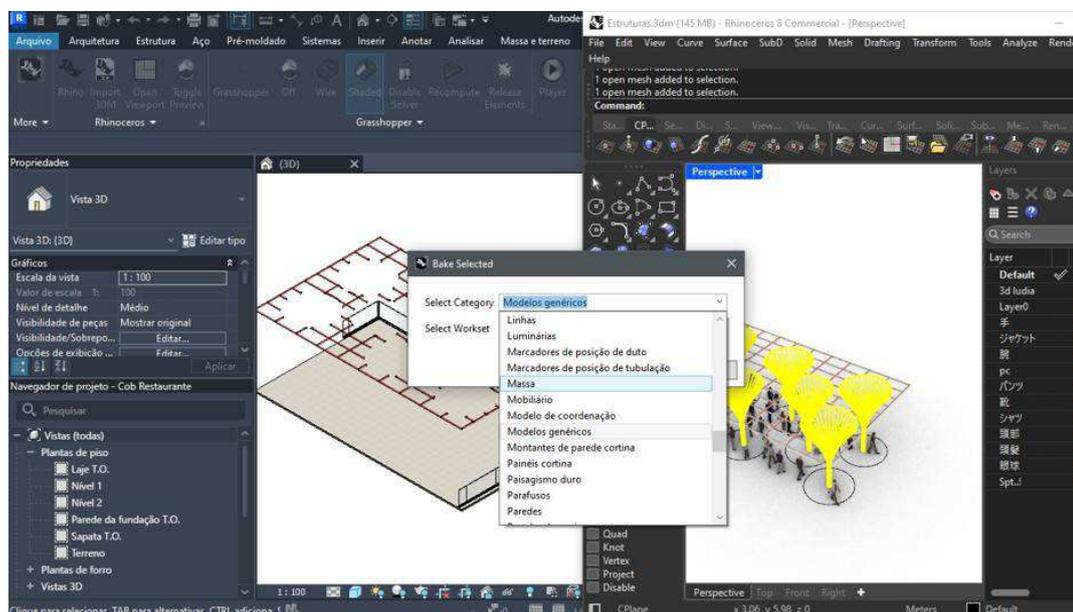
Figura 165 - Bake no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

Após isso, é necessário escolher uma categoria para a geometria a ser criada:

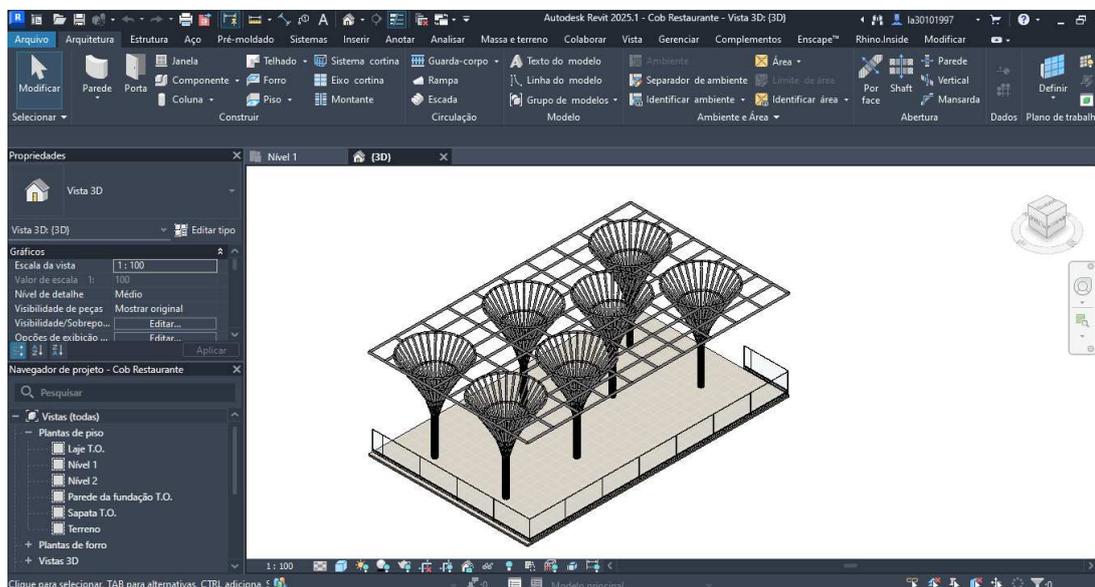
Figura 166 - Categoria dos elementos criados no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

Finalizando, a geometria então é gerada no *Revit*.

Figura 167 - Geometria criada no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

**Considerações sobre a etapa:** A vantagem de se utilizar este método é de trazer a versatilidade da programação visual do *Grasshopper* integrada de forma

mais direta ao *Revit*, associando também as vantagens de se trabalhar no ambiente BIM (Building Information Modeling), melhorando a flexibilidade e a adaptabilidade do projeto. Além disso, utilizando um algoritmo evolutivo que é facilmente aplicável através da abstração de um problema do usuário.

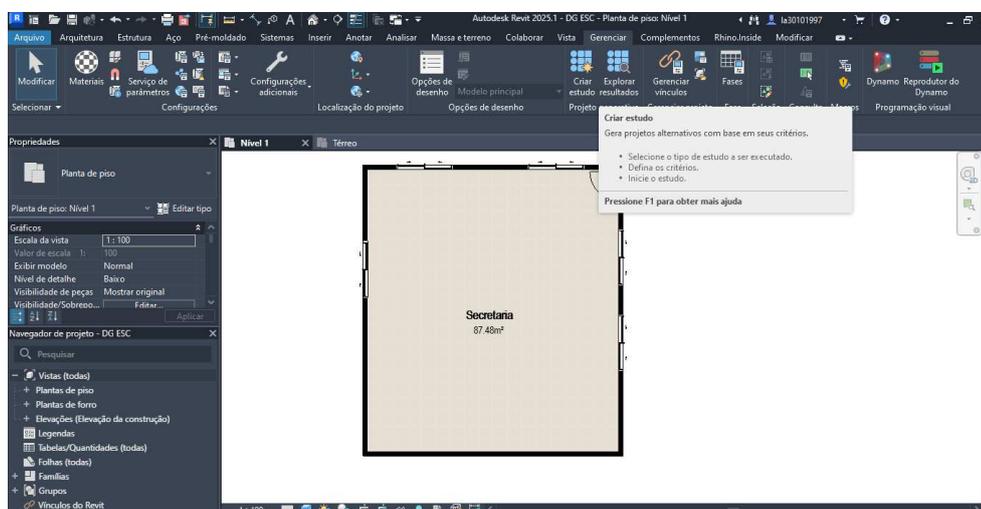
### 6.11.3. OTIMIZANDO LAYOUT DA SECRETARIA COM REVIT

Nesta etapa, resolveu-se explorar a ferramenta de Design Generativo nativa do *Revit*. A fim de comparar o funcionamento da abordagem feita através de *Grasshopper* e *Rhinoceros* com a desta ferramenta.

O problema a ser resolvido seria maximizar o número de mesas em um escritório de forma com que se mantivesse um determinado afastamento entre elas. A seguir serão descritas as etapas deste experimento.

**Isolando o arquivo da secretaria:** Durante os testes iniciais, foi percebido que o programa demorava muito tempo ao se tentar utilizar a ferramenta nativa de Design Generativo, e basicamente não chegou a iniciar. O problema pôde ser resolvido ao se criar um novo arquivo com uma cópia do ambiente a ser trabalhado, no caso, a secretaria da área administrativa no térreo:

Figura 168 - Secretaria isolada no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

**Iniciando Design Generativo e critérios no Revit:** A ferramenta de Design Generativo pode ser encontrada na aba “Gerenciar” do Revit, na seção Projeto Generativo. Ao se clicar em “Criar Estudo”, uma janela de diálogo se abrirá oferecendo alguns tipos de estudos. Neste experimento, o tipo de estudo escolhido foi o “Posicionamento de objetos de eixo”, que basicamente posiciona objetos em distâncias fixas.

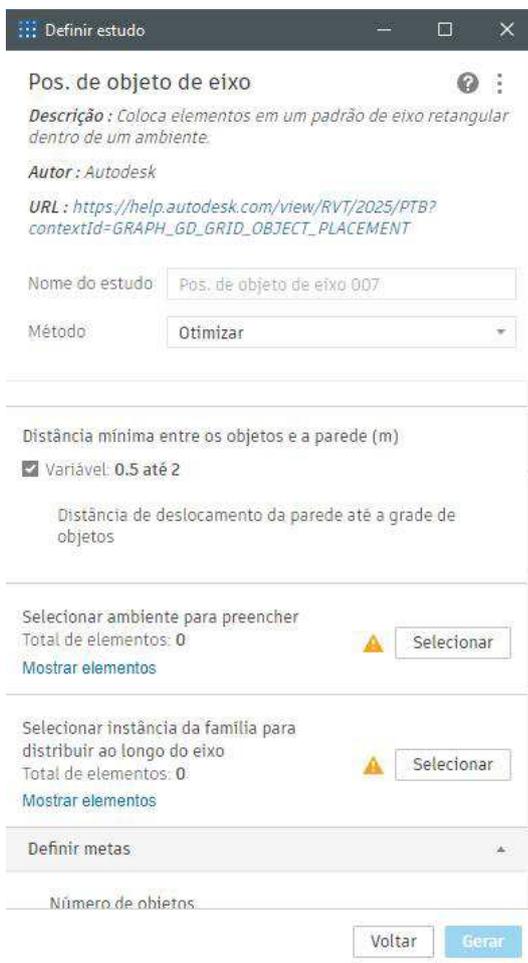
Figura 169 - Tipos de estudos de Design Generativo no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

Precisamos fornecer para este algoritmo: um ambiente, os objetos as serem posicionados (chamados de Famílias no Revit) e as regras que podem ser estabelecidas numa interface mais amigável ao usuário, a única regra ao ser alterado do original neste caso, foi a distância entre os objetos e a parede, bastando desmarcar a caixa e selecionando a distância de 1,20m neste caso.

Figura 170 - Estudo Posicionamento de objetos no Revit



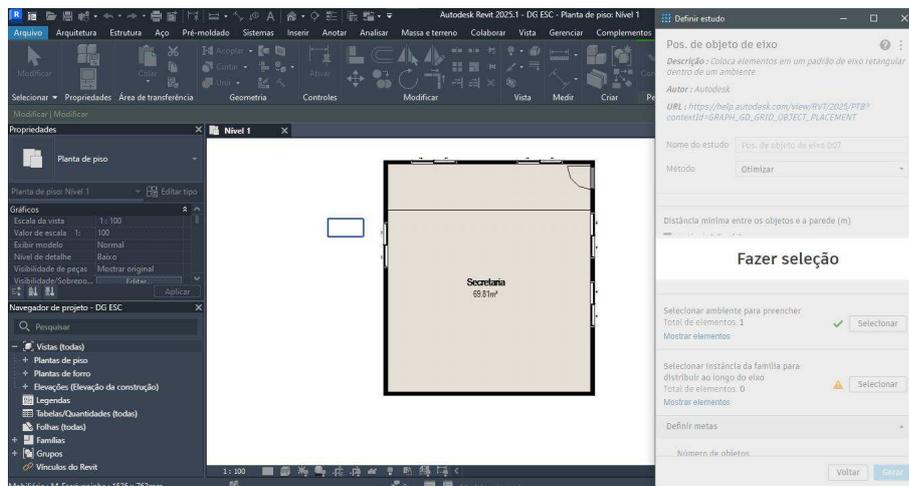
The image shows a software dialog box titled "Definir estudo" (Define study) with the following content:

- Pos. de objeto de eixo** (Axis object position) with a help icon and a menu icon.
- Descrição:** Coloca elementos em um padrão de eixo retangular dentro de um ambiente.
- Autor:** Autodesk
- URL:** [https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB?contextId=GRAPH\\_GD\\_GRID\\_OBJECT\\_PLACEMENT](https://help.autodesk.com/view/RVT/2025/PTB?contextId=GRAPH_GD_GRID_OBJECT_PLACEMENT)
- Nome do estudo:** Pos. de objeto de eixo 007
- Método:** Otimizar
- Distância mínima entre os objetos e a parede (m)**
  - Variável: 0.5 até 2
  - Distância de deslocamento da parede até a grade de objetos
- Selecionar ambiente para preencher**
  - Total de elementos: 0
  - Mostrar elementos
  - Selecionar
- Selecionar instância da família para distribuir ao longo do eixo**
  - Total de elementos: 0
  - Mostrar elementos
  - Selecionar
- Definir metas** (dropdown menu)
- Número de objetos: \_\_\_\_\_
- Voltar Gerar

Fonte: Própria do autor (2024).

Ao clicar em “selecionar”, é necessário escolher na tela do *Revit* o ambiente, repetindo o processo para os objetos, ou famílias. Para isso, é necessário ter pelo menos um objeto já posicionado no projeto:

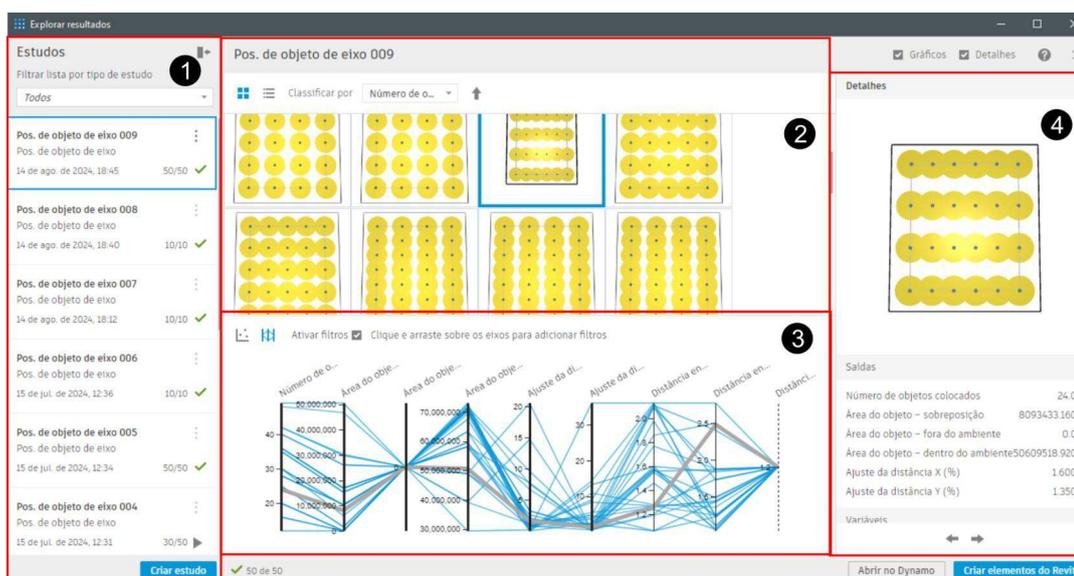
Figura 171 - Fazendo a seleção dos objetos no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

Ainda nesta janela, pode-se aumentar o número de geração de resultados, que por padrão, é 10, no experimento gerou-se 50. Após isso, basta clicar em “gerar” e, após o processamento do algoritmo, uma interface mostrando uma pré visualização e detalhes do estudo será aberta:

Figura 172 - Tela de resultados do estudo no Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

**1 - Lista de estudos criados:** caso o usuário já tenha criado outros estudos, eles serão salvos nesta lista;

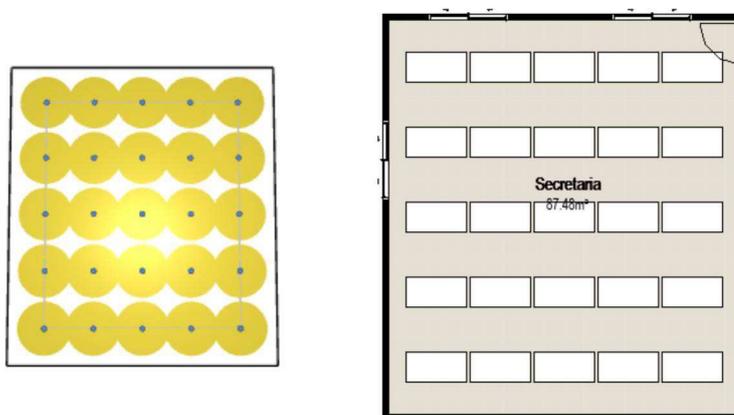
**2 - Resultados do estudo atual:** exibe uma pré visualização das possibilidades do estudo atual, sendo possível selecionar entre um deles para se gerar;

**3 - Gráficos e filtros:** Exibe os resultados de parâmetros adotados em cada variação, sendo possível filtrar os resultados ao se arrastar o mouse sobre uma linha vertical, para reiniciar os filtros, basta clicar no botão “apagar filtros”;

**4 - Detalhes do resultado:** exibe mais detalhes do resultado destacado.

Após escolher um resultado, podemos clicar em “Criar elementos do *Revit*”, que o *layout* escolhido será criado no *Revit*.

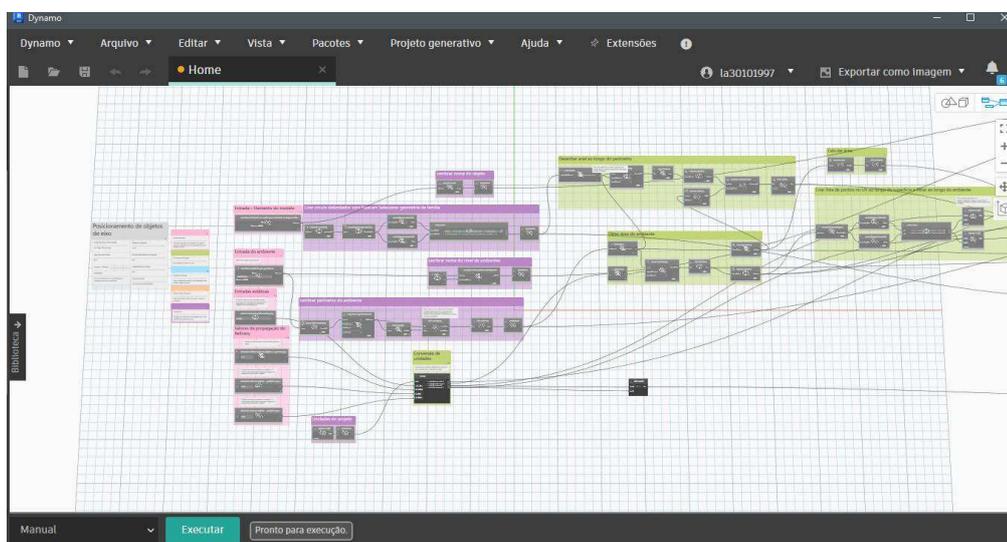
Figura 173 - Estudo escolhido (à esquerda) e objetos criados no Revit (à direita)



Fonte: Própria do autor (2024).

Ainda na interface de resultados dos estudos, encontra-se o botão “Abrir no *Dynamo*”, que abre a interface mostrando a programação visual deste estudo no *Dynamo*, ambiente de programação visual disponível no *Revit*, que possibilita a criação de diversos tipos de programação de forma similar ao que já foi abordado com *Grasshopper*.

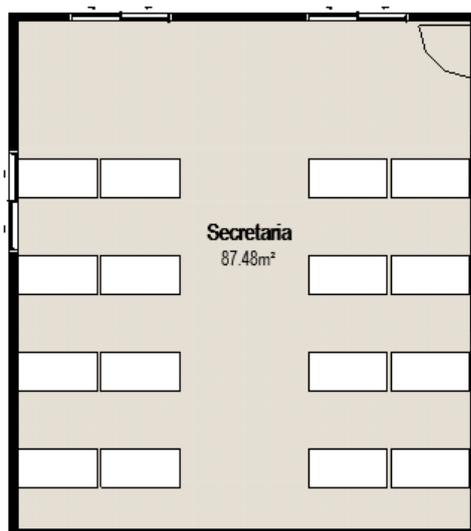
Figura 174 - Programação visual do estudo no Dynamo



Fonte: Própria do autor (2024).

Por fim, foi realizado ajustes manuais no elementos criados para que se chegasse à um resultado mais satisfatório para o projeto:

Figura 175 - Layout final da secretaria após ajustes manuais



Fonte: Própria do autor (2024).

**Considerações sobre o experimento:** Para este caso, ainda seriam necessárias mais delimitações específicas para que se chegasse à um resultado mais satisfatório, pois, ainda foi necessário realizar ajustes manuais ao final do

estudo. O objetivo deste experimento foi mostrar que *softwares* como *Revit* já procuram incorporar o Design Generativo como ferramenta disponível de forma mais amigável ao usuário.

#### 6.11.4. OTIMIZANDO BRISES COM ALGORITMO EVOLUTIVO E ANÁLISE DE IRRADIAÇÃO SOLAR

Neste capítulo, iremos utilizar ferramentas de análise e simulação integrados com o algoritmo evolutivo para escolher a melhor inclinação de brises para uma determinada quantidade de luz solar para um ambiente.

A seguir, foram divididas as etapas deste experimento:

**Instalação dos componentes necessários:** Os componentes utilizados fazem parte da extensão *Ladybug Tools*, que também pode ser baixado no site *Food4Rhino*: <<https://www.food4rhino.com/en/app/ladybug-tools>>.

Para instalar a extensão, basta arrastar o arquivo “*installer.gh*” para dentro do *Canvas* do *Grasshopper*. Após isso uma programação será exibida:

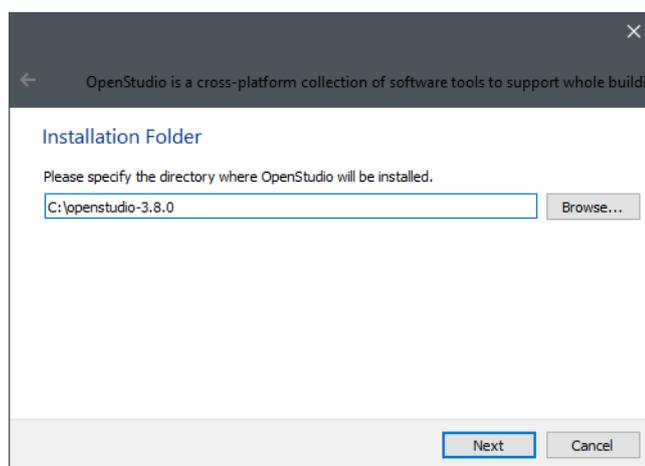


Fonte: Própria do autor (2024).

Basta então clicar nos botões dos componentes *Toggle*, alternando de *False* para *True*, nos grupos 1 e 2 respectivamente. Após o processo de instalação, basta reiniciar o *Rhinoceros* e *Grasshopper*.

Adicionalmente, precisamos instalar o *OpenStudio* e o *Radiance* para que a extensão funcione em sua totalidade. O *OpenStudio* pode ser baixado através do link <<https://openstudio.net/downloads>> , e o *Radiance*, através do link <<https://github.com/LBNL-ETA/Radiance/releases/tag/b268408a>>. Bastando escolher a versão adequada do sistema operacional. As instalações destes procedem como a instalação comum de outros *softwares*.

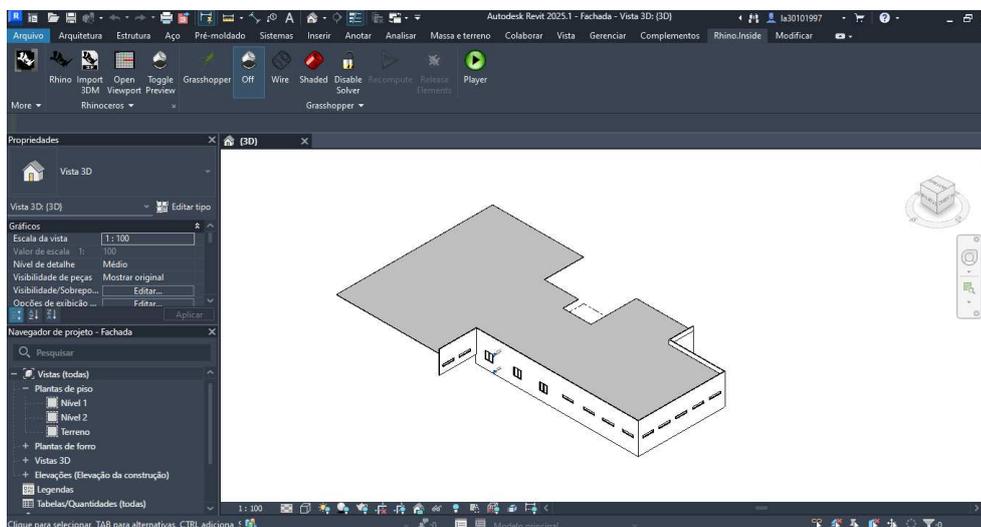
Figura 177 - Instalador do OpenStudio



Fonte: Própria do autor (2024).

**Levando a geometria do *Revit* para o *Rhinoceros*:** Para começar, foi separado em um novo arquivo do *Revit* apenas a geometria que continham as esquadrias que iriam receber os brises, copiando do arquivo original e colando em um novo:

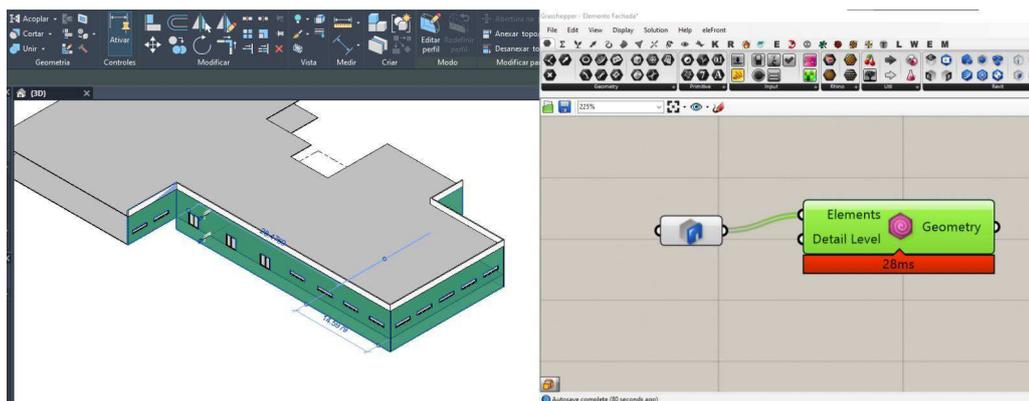
Figura 178 - Isolando a geometria em novo arquivo Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

Depois, utilizando o *Grasshopper* através do *Revit*, utilizamos os componentes *Wall* e *Element Geometry* para transportar a geometria das paredes do *Revit* para o *Rhino*. Para isso, basta selecionar todas as paredes a serem levadas no *Revit* e, ao clicar com o botão direito do *mouse* no componente *Walls*, escolher a opção *Set Multiple Walls*.

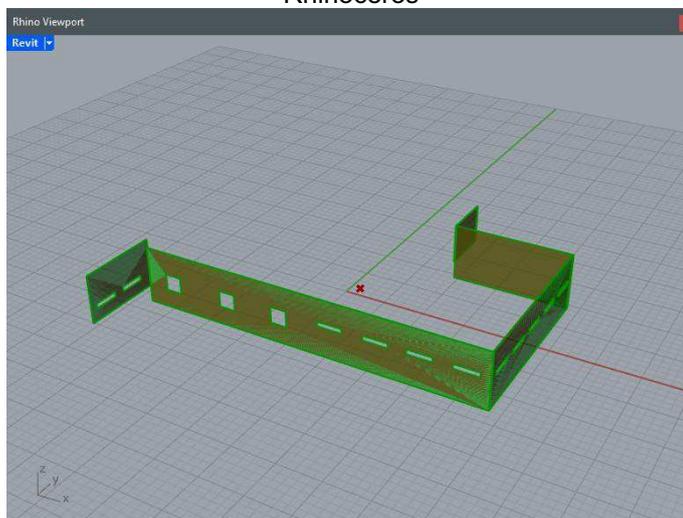
Figura 179 - Transportando as paredes do Revit para o Grasshopper



Fonte: Própria do autor (2024).

Podemos ver a geometria levada através da opção *Open Viewport* do *Rhino.Inside*:

Figura 180 - Geometria das paredes transportadas para o Rhinoceros



Fonte: Própria do autor (2024).

Para facilitar o processo, preferiu-se dar um *bake* no *Grasshopper* e salvar este arquivo do *Rhinoceros*.

Para facilitar o processo, preferiu-se dar um *bake* no *Grasshopper* e salvar este arquivo do *Rhinoceros*.

**Programando os brises:** Após salvar essa geometria, partiu-se então para a criação dos brises através do *Grasshopper*. Esta programação completa será incluída em anexo no final deste trabalho. Na figura a seguir, destaca-se os parâmetros que podem modificar os brises:

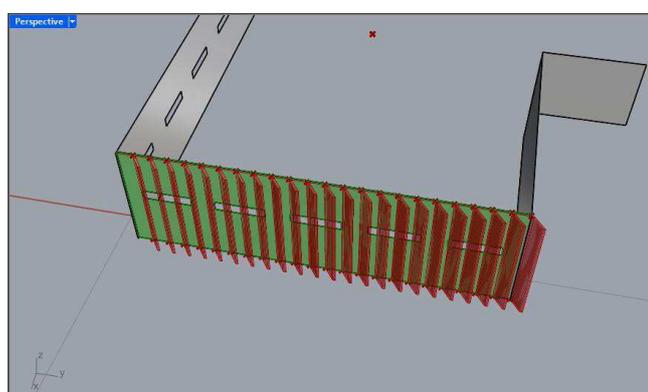
Figura 181 - Parâmetros dos brises



Fonte: Própria do autor (2024).

A geometria dos brises podem ser vistas na figura a seguir:

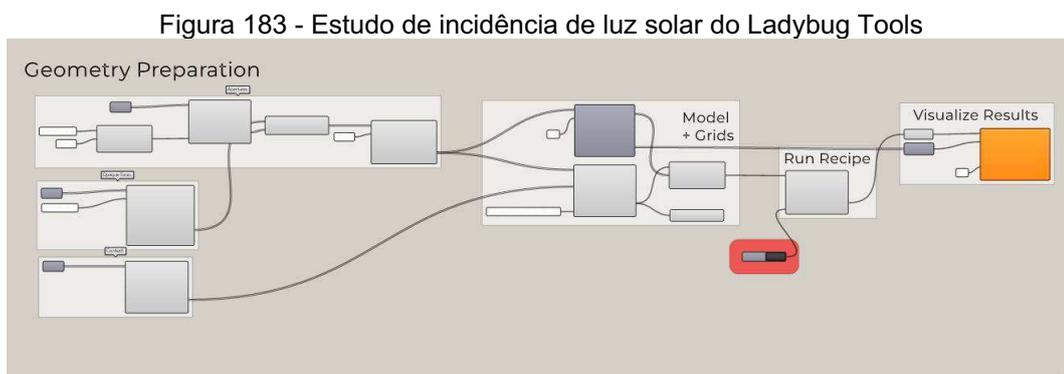
Figura 182 - Geometria dos brises



Fonte: Própria do autor (2024).

**Utilizando os componentes do análise de incidência solar do *Ladybug Tools*:** O *Ladybug Tools* conta com diversas ferramentas para estudos de incidência solar. Podemos encontrar diversas programações já feitas e disponibilizadas como arquivos de exemplo na pasta *Samples* do arquivo de instalação da extensão que foi baixado. Para este experimento, foi utilizado uma das programações mais simples, que realiza uma análise da porcentagem de luz solar em uma área.

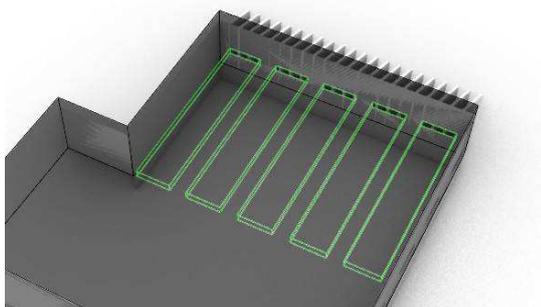
Este arquivo de exemplo pode ser encontrado em “*samples>honeybee-radiance>daylight\_factor.gh*”. Ao abrir-se o arquivo no *Grasshopper*, podemos visualizar uma programação já configurada:



Fonte: Própria do autor (2024).

A primeira modificação a ser feita para adaptar ao projeto, foi modificar o *input* do *HB Aperture (Aperture)*, que simula as aberturas de um ambiente, no nosso caso, as janelas. Para isso, criou-se paralelepípedos (sólidos) alinhados com estas aberturas para esta simulação:

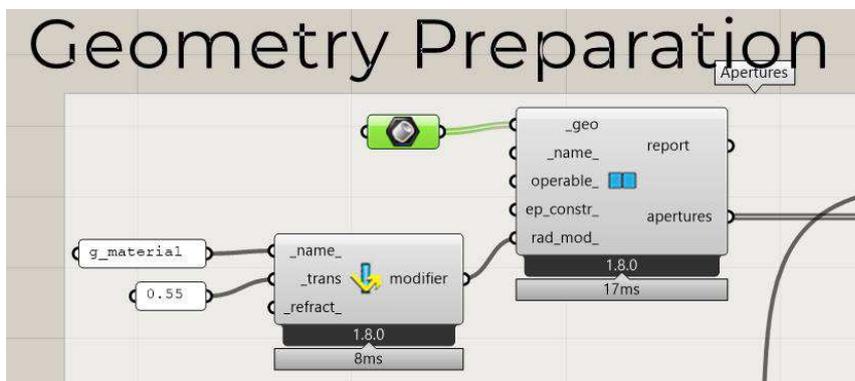
Figura 184 - Aberturas da geometria



Fonte: Própria do autor (2024).

Então, selecionamos estas geometrias para servir de entrada para o *input \_geo* do componente *HB Aperture (Aperture)*:

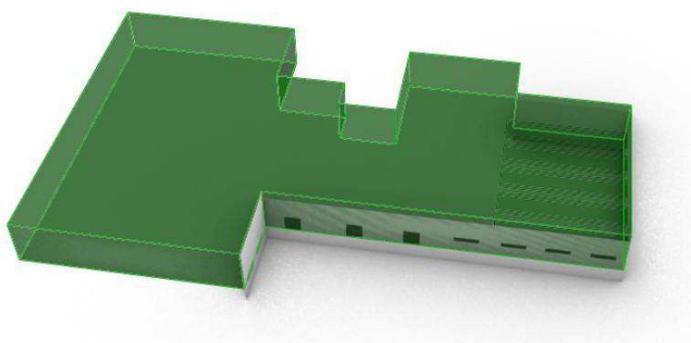
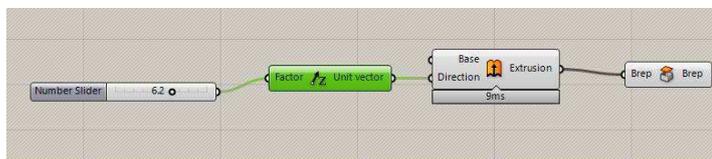
Figura 185 - Componente de geometria das aberturas



Fonte: Própria do autor (2024).

Para a segunda modificação, é necessário criar um volume do ambiente. Este volume foi facilmente criado ao se extrudar o piso até a altura do teto, e, fechar a geometria com o componente *cap holes* pelo próprio *Grasshopper*.

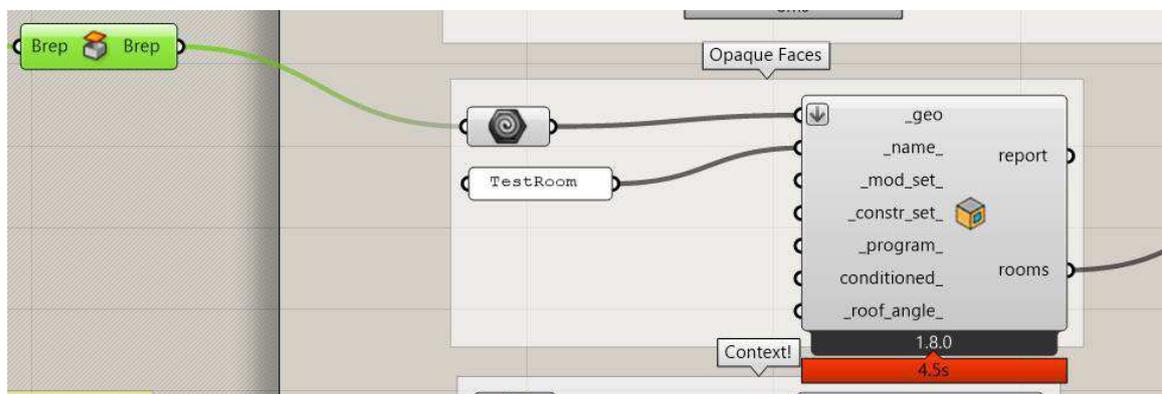
Figura 186 - Volume do ambiente



Fonte: Própria do autor (2024).

Então, podemos conectar esta geometria gerada ao *input \_geo* do componente *HB Room from Solid (RoomSolid)*:

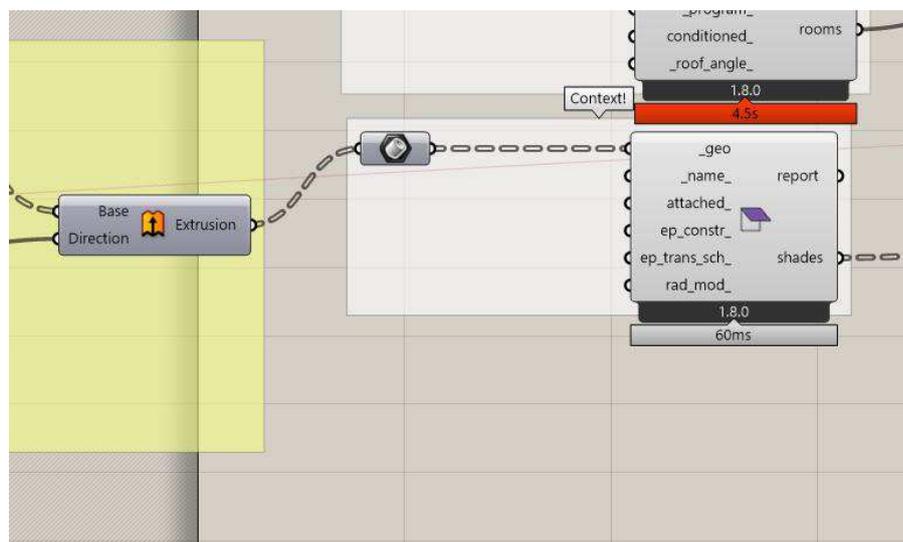
Figura 187 - Conectando o volume da geometria ao componente



Fonte: Própria do autor (2024).

Por fim, conectamos a geometria dos brises, cuja programação já foi criada no começo desta etapa, ao *input* do componente *HB Shade (Shade)*.

Figura 188 - Conectando as geometrias dos brises

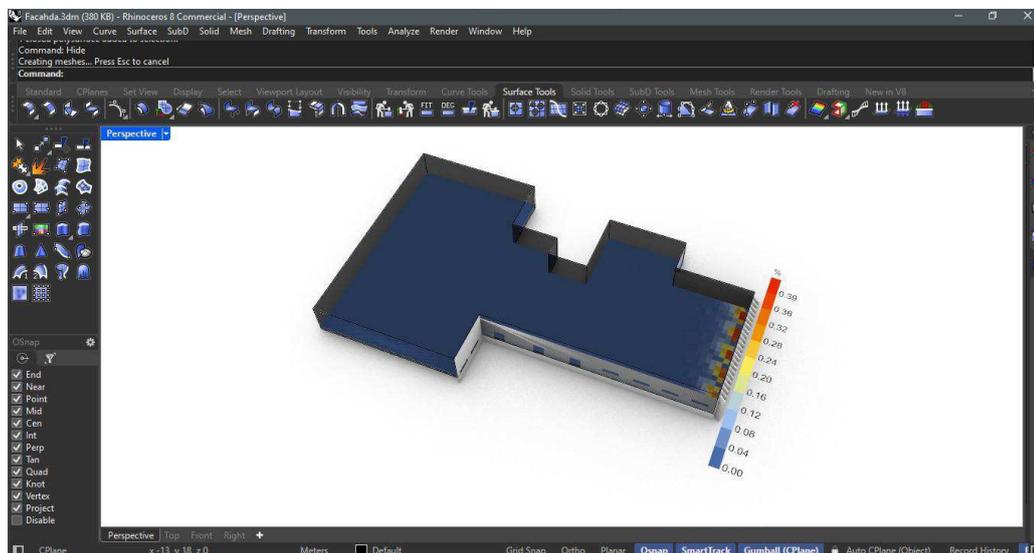


Fonte: Própria do autor (2024).

Então, já podemos “rodar” o algoritmo, ao clicar duas vezes no botão *False* no grupo “*Run Recipe*”, alternando para *True*. Finalizando o processamento, podemos ver na tela do *Rhinceros* o resultado do estudo, mostrando as regiões de incidência de luz solar acompanhado de um gráfico indicando os valores em porcentagem dessa incidência, como visto na figura 188. Caso necessário, pode-se

ocultar algumas geometrias que atrapalhando a visualização, como a do teto e do piso. No *Rhinceros*, pode-se digitar o comando *hide*:

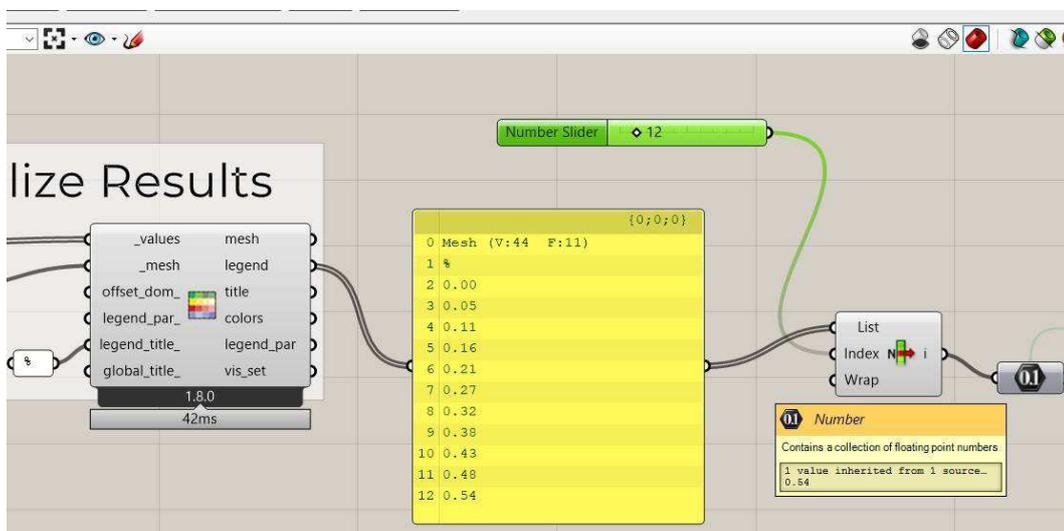
Figura 189 - Estudo de incidência de luz solar na tela do Rhinceros



Fonte: Própria do autor (2024).

No final do código, podemos ver os valores de saída que dão origem à legenda criada na tela do *Rhinceros*. Para servir de critério para o próximo passo desta experiência, isolaremos o maior valor desta legenda, pois tentaremos ajustar este valor:

Figura 190 - Obtendo o maior valor de saída do estudo



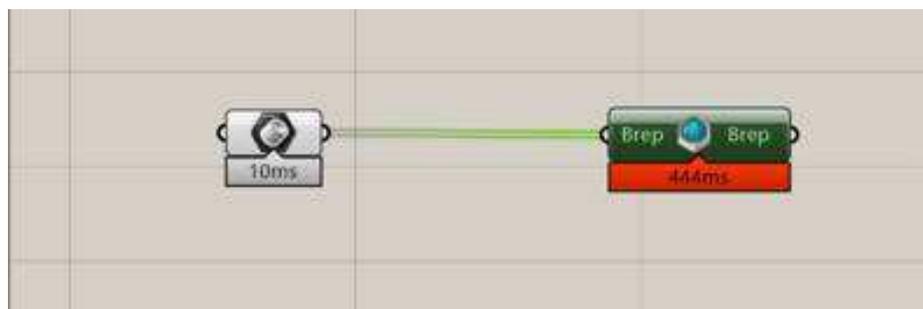
Fonte: Própria do autor (2024).





**Levando a geometria para o Revit:** Após isso, apenas repetiu-se os elementos para terminar de compor a fachada e, após isso, levar a geometria dos brises escolhidos, ao se fazer um “*bake*” e, abrindo o *Grasshopper* através do *Revit* para acessar o *Rhino.Inside*, utilizar os componentes *Brep* para referenciar a geometria e o componente *Add DirectShape (Brep)*. Como mostrado na figura a seguir (Figura 194):

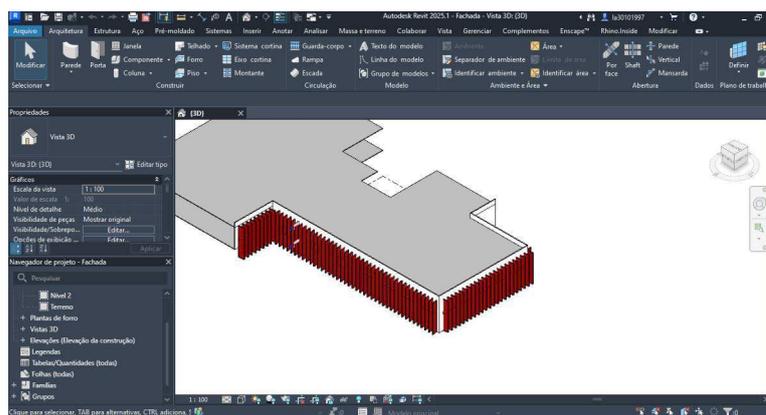
Figura 194 - Conectando o volume da geometria ao componente



Fonte: Própria do autor (2024).

No fim, basta dar um *Bake* também no *Revit*, como já foi visto em etapas anteriores e o resultado deste experimento pode ser visto na figura a seguir (Figura 195):

Figura 195 - Brises transportados para o Revit



Fonte: Própria do autor (2024).

**Considerações sobre a etapa:** O objetivo deste experimento foi mostrar a extensibilidade da programação somada ao design generativo. Isso porque, além de

conseguirmos levar a geometria de um *software* para outro, utilizamos também um algoritmo capaz de realizar simulações e análises e, através dos resultados obtidos, realizar uma otimização através da aplicação de algoritmo evolutivo, concretizando o design generativo nesta fase.

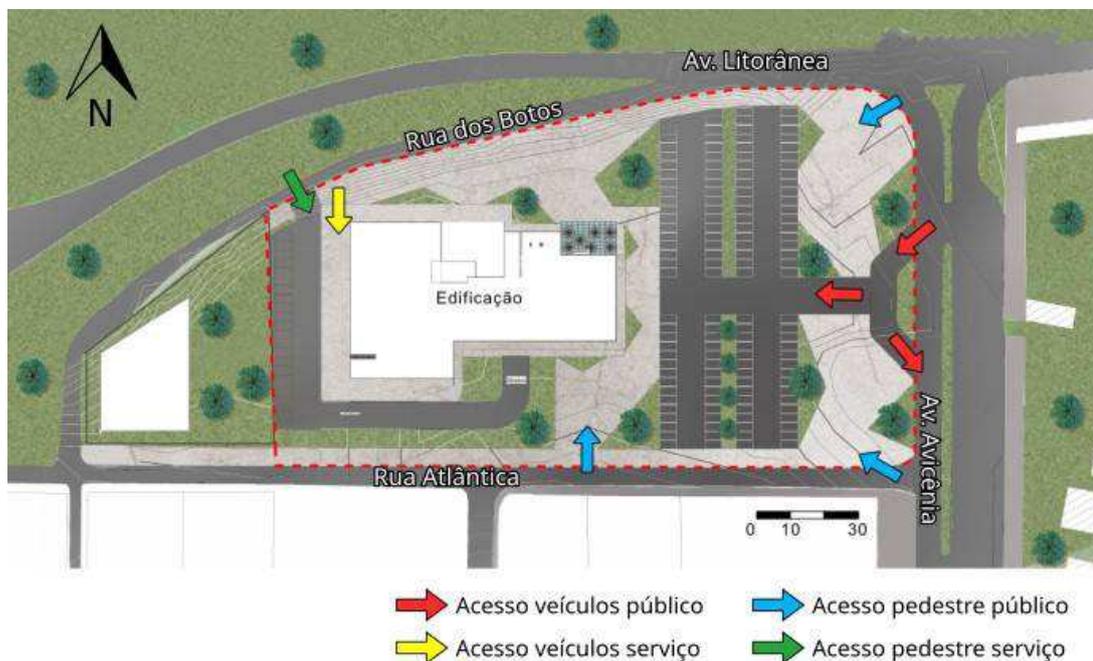
## **6.12. REPRESENTAÇÕES DO PROJETO**

Neste capítulo, aproveitou-se para explorar as representações gráficas do que resultou o projeto que foi utilizado como apoio para a aplicação do design generativo neste trabalho.

### **6.12.1. IMPLANTAÇÃO**

Na figura a seguir (Figura 196), observa-se a implantação do projeto no terreno, cuidadosamente planejada para otimizar tanto a acessibilidade quanto a funcionalidade do espaço. A concepção dos acessos desde o início levou em consideração a utilização estratégica das avenidas para o público e das vias locais e posteriores à edificação para as operações de serviço.

Figura 196 - Planta de implantação



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para facilitar o acesso de veículos ao público, a estratégia envolveu a integração com o retorno existente em uma das faixas da avenida. Isso se deve ao fato de que o acesso só é possível em um dos sentidos da via, e a conexão com o retorno existente permite um acesso mais conveniente para aqueles que se encontram na faixa oposta à edificação. Essa abordagem minimiza o impacto no fluxo de tráfego e melhora a fluidez do trânsito.

Adicionalmente, uma faixa de mão dupla foi projetada por meio de um recuo no terreno, o que promove uma desaceleração segura e contribui para um fluxo de veículos mais eficiente na avenida. Este recuo permite que os veículos reduzam a velocidade de maneira controlada ao se aproximarem da entrada principal, melhorando a segurança e o conforto dos motoristas e passageiros.

Esses aspectos, juntamente com os estudos detalhados do terreno, desempenharam um papel crucial na definição dos resultados obtidos pela aplicação do algoritmo de resolução da planta. A análise criteriosa dos acessos e do layout do terreno garantiu uma solução que atende tanto às necessidades funcionais quanto às exigências de segurança e eficiência do projeto.

### 6.12.2. TÉRREO

No térreo, projetado com o auxílio do algoritmo de resolução da planta, observam-se as seguintes divisões e funções:

**Setor Social:** Este é o principal espaço acessível ao público, com a entrada principal direcionada para a recepção. A recepção serve como ponto de contato inicial, oferecendo acesso a várias áreas de interesse, como o Café, o auditório, o restaurante e a loja. Além de facilitar a conexão com esses espaços, o setor social é estrategicamente vinculado às circulações verticais da edificação, que incluem a escada social e os elevadores, bem como a escada de emergência. Esta configuração proporciona um fluxo contínuo e eficiente entre os diferentes pontos de interesse, garantindo uma experiência agradável e prática para os visitantes.

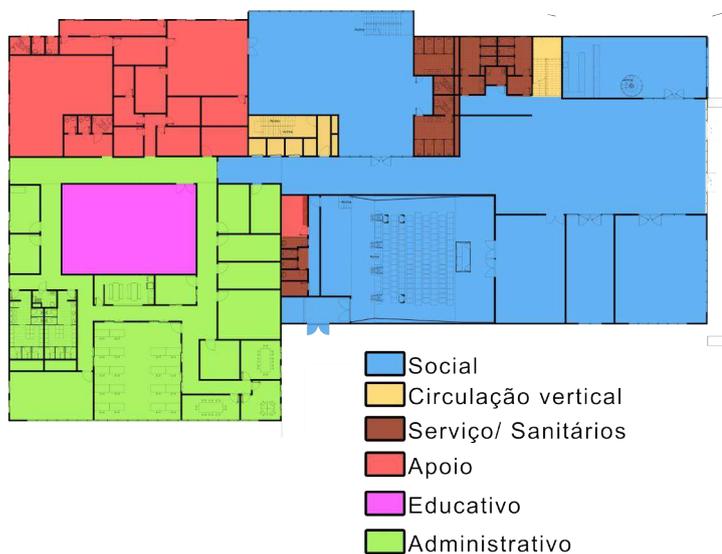
**Setores de Apoio:** Localizados em áreas mais restritas, esses setores são dedicados ao suporte das atividades e operações do Centro. Incluem áreas para serviços e suporte, que são essenciais para o funcionamento eficaz da instituição, mas não são acessíveis ao público geral.

**Setores de Serviço/Sanitários:** Concentram-se principalmente banheiros, depósitos de materiais de limpeza e outros ambientes de serviço.

**Setor Administrativo e Educativo:** Este setor é reservado para a equipe permanente e as operações administrativas do Centro. Aqui estão localizados os escritórios e áreas de trabalho dos funcionários, bem como as instalações do setor educativo, onde se concentram as atividades relacionadas ao desenvolvimento e à coordenação de programas e eventos. Esse espaço é projetado para oferecer um ambiente funcional e eficiente para a equipe que sustenta as operações do Centro.

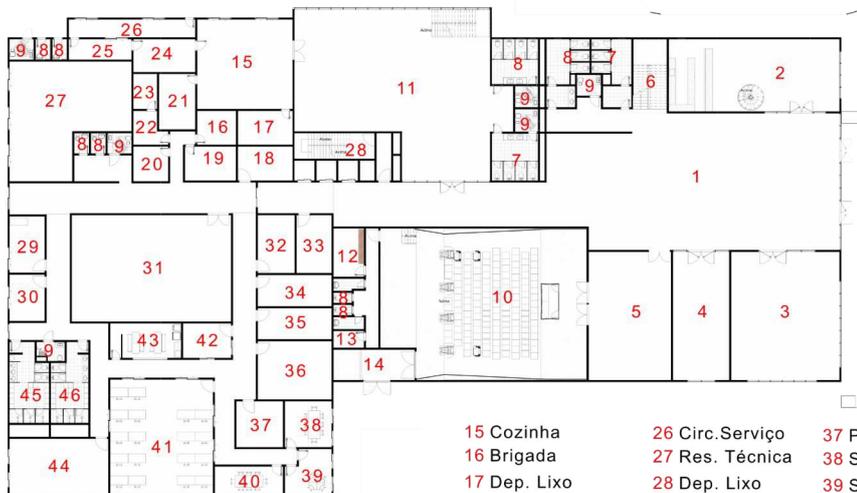
A disposição e a organização desses setores foram determinadas pela aplicação do algoritmo de resolução da planta, que levou em consideração a eficiência do fluxo de pessoas, a funcionalidade dos espaços e a segurança, resultando em um *layout* que atende às necessidades tanto dos visitantes quanto dos funcionários.

Figura 197 - Conectando as geometrias dos brises



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 198 - Planta baixa do térreo



- |                             |                    |                 |                    |                    |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 01 Hall de Entrada/Recepção | 08 WC Fem.         | 15 Cozinha      | 26 Circ.Serviço    | 37 Prest. Contas   |
| 02 Café                     | 09 WC PNE          | 16 Brigada      | 27 Res. Técnica    | 38 Sala Reunião 1  |
| 03 Loja                     | 09 WC PNE          | 17 Dep. Lixo    | 28 Dep. Lixo       | 39 Sala Reunião 2  |
| 04 Guarda-volumes           | 10 Auditório       | 18 Segurança    | 29 Rec. Serviço    | 40 Sala Reunião 3  |
| 05 Foyer                    | 11 Restaurante     | 19 CFTV         | 30 Terceirizados   | 41 Secretaria      |
| 06 Escada Social            | 12 Camarim         | 20 Automação    | 31 Educativo       | 42 Prim. Socorros  |
| 07 WC Masc.                 | 13 Depósito Audit. | 21 Estoque      | 32 Dir. Financeiro | 43 Copa            |
|                             | 14 Loja            | 22 Sala Técnica | 33 Rec. Social     | 44 Lab Museológico |
|                             |                    | 23 Sala Elt.    | 34 Apoio Fin.      | 45 Vest. Masc.     |
|                             |                    | 24 Recebimento  | 35 Diretoria       | 46 Vest. Fem.      |
|                             |                    | 25 Hidrômetro   | 36 Arquivo         |                    |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 6.12.3. 1º ANDAR

No primeiro andar, o projeto é organizado de maneira a otimizar a funcionalidade e a experiência dos visitantes, além de atender às necessidades operacionais da edificação. A disposição dos setores é a seguinte:

**Setor de Exposições:** Este andar é dedicado principalmente ao setor de exposições, que inclui tanto as exposições permanentes quanto as temporárias. Essas áreas são projetadas para oferecer flexibilidade e adequação às diversas necessidades expositivas, permitindo uma apresentação dinâmica e adaptável de obras e coleções.

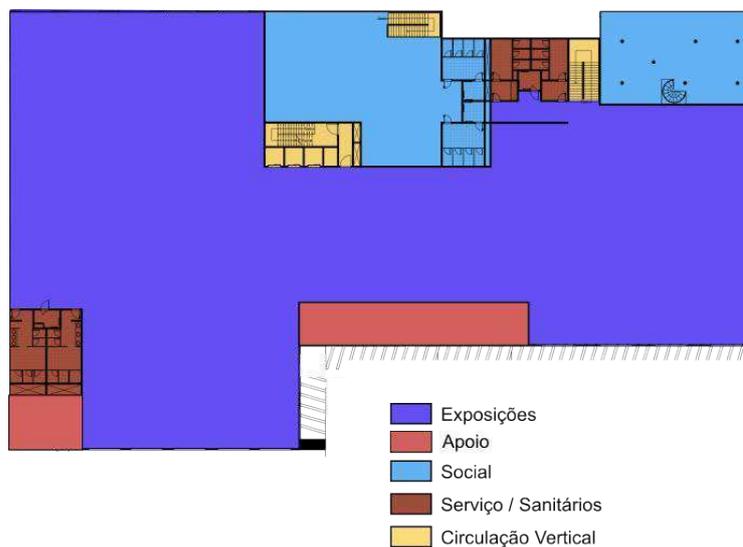
**Setores Sociais:** O primeiro andar também abriga extensões dos setores sociais, como o café e o restaurante, que se expandem para varandas com vistas panorâmicas. Essas áreas externas proporcionam aos visitantes um ambiente agradável para relaxamento e refeição, aproveitando a vista e criando um espaço de convivência ao ar livre. As varandas são projetadas para integrar-se ao espaço interno de forma harmoniosa, melhorando a experiência dos usuários.

**Setores de Apoio:** Incluem o depósito geral e a área técnica, fundamentais para o armazenamento e manutenção dos recursos necessários para o funcionamento do Centro. O depósito geral é utilizado para armazenar materiais e equipamentos, enquanto a área técnica abriga os sistemas e equipamentos de suporte, essenciais para o funcionamento eficiente da edificação.

**Setores de Serviço:** Estão localizados no primeiro andar os sanitários e as áreas destinadas à limpeza. Estes espaços são distribuídos estrategicamente para garantir acessibilidade e conveniência tanto para os visitantes quanto para a equipe, mantendo o ambiente limpo e funcional.

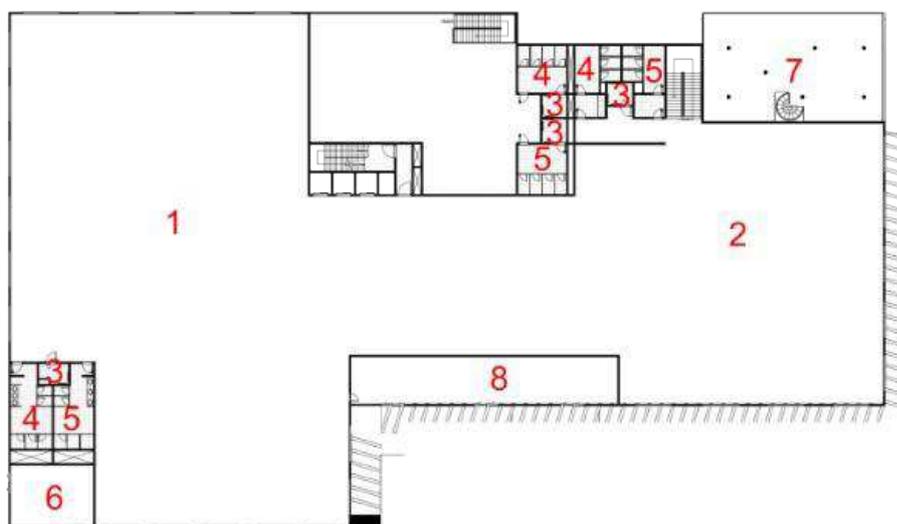
Novamente, para o desenvolvimento da planta, também se utilizou do auxílio de algoritmos que geravam opções para que se analisasse possibilidades.

Figura 199 - Setorização do 1º Andar



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 200: Planta baixa do 0º andar



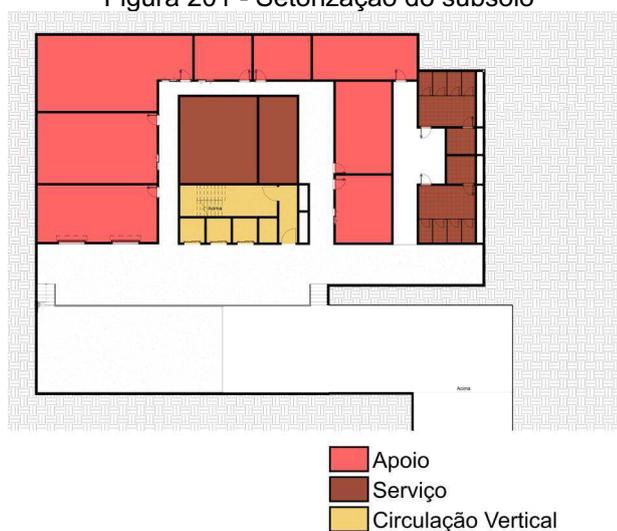
- |                          |                   |
|--------------------------|-------------------|
| 1 Exposições Permanentes | 5 WC Feminino     |
| 2 Exposições Temporárias | 6 Depósito        |
| 3 WC PNE                 | 7 Café            |
| 4 WC Masculino           | 8 Ar-Condicionado |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

#### 6.12.4. SUBSOLO

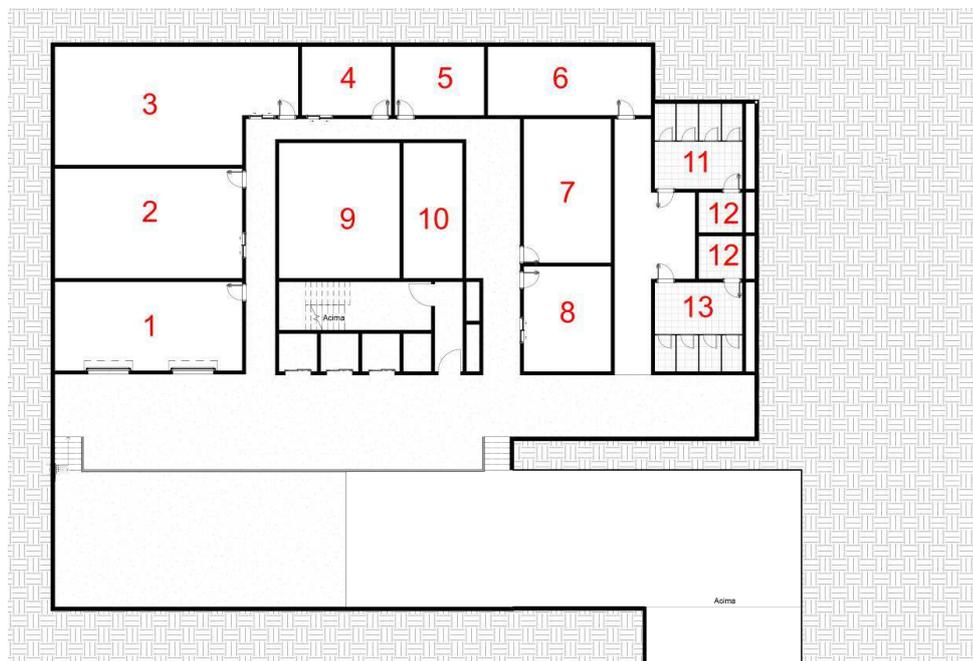
No subsolo, o projeto concentra principalmente a extensão do setor de apoio, destacando-se a área de recebimento de carga e descarga e as áreas técnicas, essenciais para o funcionamento eficiente do centro. Ao localizar essas funções no subsolo, o fluxo de pessoas nas áreas de apoio do térreo é significativamente reduzido, permitindo uma operação mais fluida e discreta. Além disso, o subsolo também acomoda setores de serviço, como sanitários e áreas de limpeza, estrategicamente posicionados para facilitar o acesso e a manutenção sem interferir nas atividades principais do edifício. A disposição espacial dessas áreas foi desenvolvida com o auxílio de algoritmos generativos, que possibilitaram a análise de múltiplas configurações, garantindo uma organização otimizada que atende tanto às necessidades operacionais quanto ao conforto dos usuários.

Figura 201 - Setorização do subsolo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 202 - Planta baixa do Subsolo



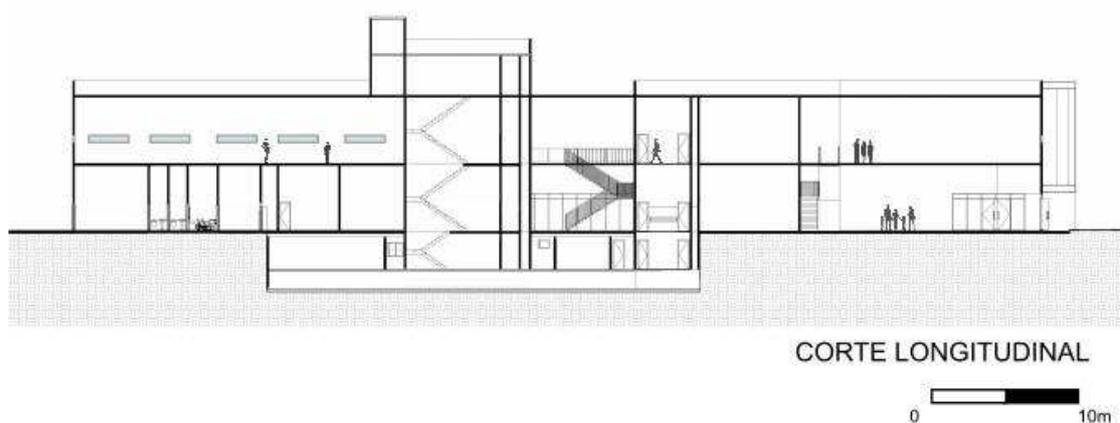
- |                         |                     |                 |
|-------------------------|---------------------|-----------------|
| 1 Carga/Descarga        | 6 Sala de Medidores | 11 WC Masculino |
| 2 Casa de Bombas        | 7 Subestação        | 12 WC Feminino  |
| 3 Reservatório Inferior | 8 Depósito          | 13 WC PNE       |
| 4 Gerador               | 9 Área Técnica      |                 |
| 5 Sala de Elétrica      | 10 Lixo             |                 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 6.12.5. CORTES

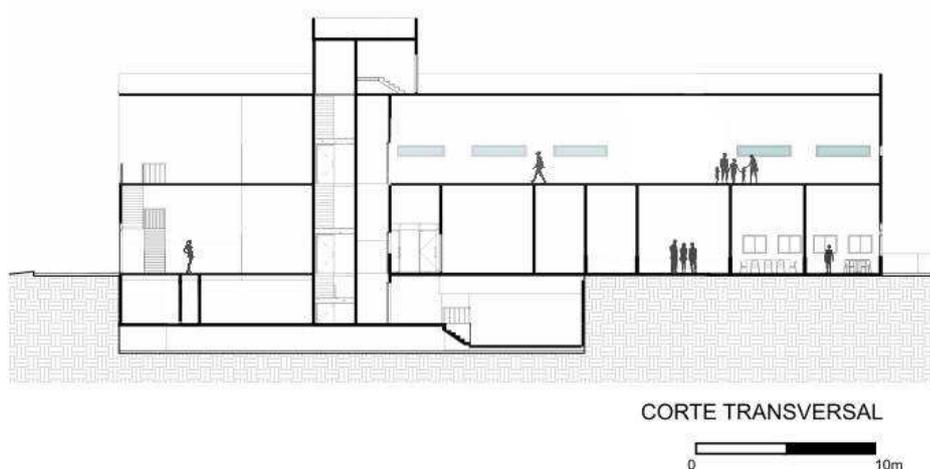
Nos cortes do projeto, percebe-se a relação de altura dos ambientes, o que gera uma sensação de amplitude para os espaços que o centro abriga. Essa verticalidade não apenas transmite monumentalidade, mas também acomoda exposições que demandam mais espaço. Além disso, os cortes destacam as conexões verticais entre os diferentes níveis, enfatizando a continuidade espacial e a integração entre os andares.

Figura 203 - Corte Longitudinal do Projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 204 - Corte Transversal do Projeto



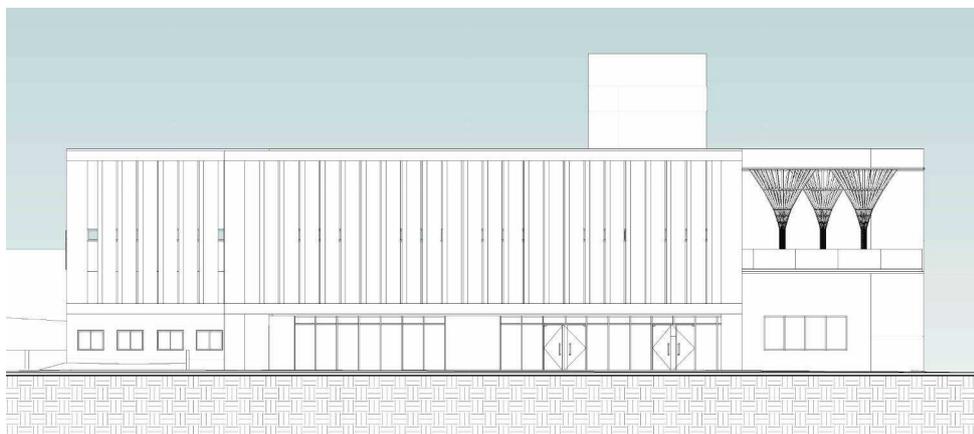
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 6.12.6. ELEVAÇÕES

As fachadas do projeto apresentam formas retangulares, aliadas à materialidade que combina concreto e vidro. Esses elementos, junto com as janelas em fita, remetem diretamente à arquitetura moderna, enfatizando linhas limpas e uma estética funcional. O design buscou criar uma aparência que evocasse tecnologia, solidez e robustez, refletindo a natureza inovadora do centro de tecnologia e inovação. Essa escolha estética busca reforçar a identidade contemporânea do edifício, mas também estabelece uma conexão visual com os

valores de modernidade e avanço tecnológico que o projeto pretende transmitir sem se distanciar do contexto da cidade que está inserido.

Figura 205 - Fachada Leste



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

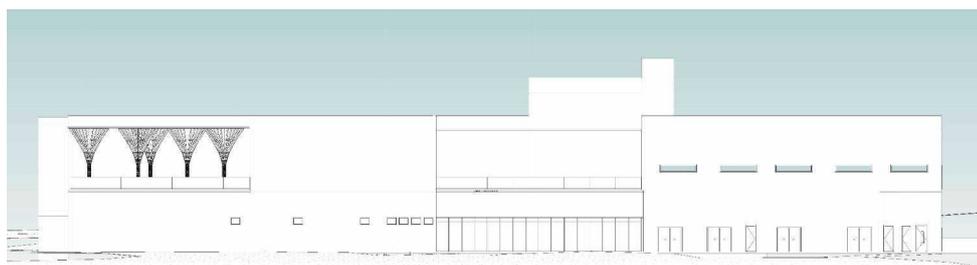


Figura 206 - Fachada Norte

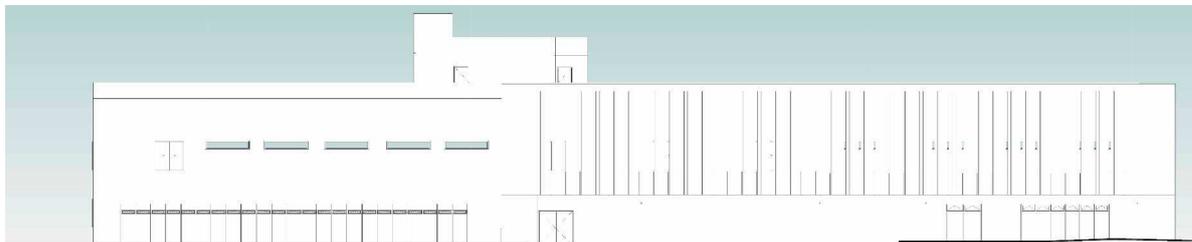
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 207 - Fachada Oeste



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 208 - Fachada Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 6.13. PERSPECTIVAS

Por fim, foram-se criadas perspectivas renderizadas a fim de transmitir melhor a idéia da proposta do Centro de ciência e Tecnologia para São Luís.

Figura 207 - Perspectiva 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 208 - Perspectiva 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 209 - Perspectiva 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pôde ser observado ao longo deste trabalho, a experimentação no processo de criação de projetos arquitetônicos sempre desempenhou um papel importante na resolução de diversos problemas inerentes ao projeto. Historicamente, tanto o desenho manual quanto a exploração de múltiplas possibilidades eram atividades mais complexas e demoradas, exigindo um esforço maior dos arquitetos. Com o avanço das tecnologias e a integração do computador no processo de projeto, essas dificuldades foram reduzidas, permitindo uma abordagem mais ágil, e eficiente.

Para a pesquisa, iniciou-se com uma análise da evolução das ferramentas de projeto arquitetônico, destacando como essas mudanças impactaram a dinâmica da prática arquitetônica. Foi observado que, assim como no passado, os profissionais da área sempre precisaram conduzir experimentos para aprimorar seus projetos, e hoje esse processo se tornou ainda mais dinâmico com o uso de ferramentas digitais, podendo ser testado e ajustado rapidamente, tudo dentro de um ambiente digital.

Na metodologia, quatro experimentos práticos foram realizados para demonstrar a aplicabilidade do Design Generativo na arquitetura. No primeiro experimento, abordou-se a resolução da setorização de uma planta baixa, um ensaio que, apesar de não se enquadrar completamente nos conceitos pesquisados de Design Generativo, demonstrou a capacidade do computador em auxiliar o projetista na experimentação no projeto. Em um segundo momento, aplicou-se com sucesso a metodologia de design generativo na tentativa de chegar a resultados otimizados para uma estrutura no projeto. Em um terceiro momento se explorou ferramentas nativas de um programa bastante utilizado, onde se nota um crescente interesse por tornar a aplicação destes conceitos e metodologias mais acessíveis para o público. No quarto e último experimento, foi realizado o refinamento de brises através de um algoritmo específico de análise de incidência de luz solar e otimizando seus resultados através de um algoritmo evolutivo, demonstrando a extensibilidade e versatilidade do uso destas ferramentas para experimentações de projeto

Esses ensaios reforçam o potencial do Design Generativo como complemento às metodologias tradicionais de projeto, trazendo praticidade e ampliando o leque de opções disponíveis para o arquiteto. Ao integrar essas ferramentas, o profissional ganha mais tempo para focar nos aspectos criativos e funcionais do projeto, ao invés de se prender a tarefas repetitivas e mecânicas.

Olhando para o futuro, o contínuo avanço da Inteligência Artificial e de outras tecnologias relacionadas, abordadas de maneira complementar neste trabalho, promete tornar essas ferramentas ainda mais acessíveis e poderosas. A expectativa é que os projetistas possam cada vez mais focar na inovação e na criatividade, com o auxílio dessas tecnologias para automatizar aspectos técnicos, democratizando o uso de técnicas avançadas, como o *Design* Generativo, em um número maior de projetos arquitetônicos. Isso tudo, sem diminuir o trabalho deste profissional, que ainda é o responsável por tomar todas as decisões importantes para o projeto final.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **Museus em Números** / Instituto Brasileiro de Museus Brasília: Instituto Brasileiro de Museus, 2011. 720 p.; 29,7 cm; vol. 2.

ANDRADE, Henrique. 2019. **A importância de Frei Otto e Gaudi para o período moderno**. Disponível em: <<https://membranaparametrica.com/otto-gaudi/>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BALDWIN, Eric. **"Algoritmos e estética: o futuro do design generativo"** [Algorithms & Aesthetics: The Future of Generative Design] 19 Jun 2022. ArchDaily Brasil. (Trad. Simões, Diogo) Acessado 21 Mai 2024. <<https://www.archdaily.com.br/br/982887/algoritmos-e-estetica-o-futuro-do-design-generativo>> ISSN 0719-8906

BERNAL, Marcelo; HAYMAKER, John R.; EASTMAN, Charles. **On the role of computational support for designers in action**. Design Studies, [s. l.], v. 41, ed. Part B, p. 163-182, 2015.

BERNSTEIN, Phil. **Projeto generativo em arquitetura e construção permite maior produtividade**. 2020. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/br/design-make/articles/projeto-generativo-arquitetura>>. Acesso em: 20 maio. 2024.

BOLLER, G.; D'ACUNTO, P. **Structural design via form finding: Comparing Frei Otto, Heinz Isler and Sergio Musmeci**. ETH Zurich, 2021.

CAETANO, I.; SANTOS, L.; LEITÃO, A. **Computational design in architecture: Defining parametric, generative, and algorithmic design**. Frontiers of Architectural Research, v. 9, n. 2, p. 287–300, jun. 2020.

CASTELO-BRANCO, R.; CAETANO, I.; LEITÃO, A. **Digital representation methods: The case of algorithmic design**. Frontiers of Architectural Research, v. 11, n. 3, p. 527–541, 2022.

COELHO, Taysa. **Algoritmo: o que é, definição, exemplos e aplicações**. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/algoritmo/>>. Acesso em 9 de maio de 2024.

COELLO, Carlos A. Coello; LAMONT, Gary B.; VELDHUIZEN, David A. Van. **Evolutionary Algorithms for Solving Multi-objective Problems**. Springer, [s. l.], ed. Second Edition, 2007.

**Conceito BIM.** Disponível em:  
<<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/o-que-e-o-bim>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

CORMEN, Thomas H. et al.. **Algoritmos: teoria e prática.** Amsterdã: Elsevier, 2012.

DAY, M. **Generative Components.** 2005. Disponível em:  
<<https://aecmag.com/news/generative-components/>>. Acesso em: 21 maio. 2024.

DUARTE, José Pinto. **Customizing Mass Housing: A Discursive Grammar for Siza's Malagueira Houses.** PhD - Massachusetts Institute of Technology – Cambridge, 2001.

ERIK, O. **Generative building massing optimization in parametrical BIM environment: Evaluating different parametric BIM workflows from Grasshopper to Revit at conceptual design stage.** Professor: Mrs Giuliana Iannaccone. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05d-bc5a-616b-e053-1605fe0a889a/2020\\_05\\_Obando.pdf](https://www.politesi.polimi.it/retrieve/a81cb05d-bc5a-616b-e053-1605fe0a889a/2020_05_Obando.pdf)>. Acesso em: 19 maio. 2024.

FERREIRA, B.; LEITÃO, A. **DESIGN GENERATIVO PARA BUILDING INFORMATION MODELING.** 2016. [s.l: s.n.]. Disponível em:  
<[https://web.ist.utl.pt/antonio.menezes.leitao/ADA/documents/publications\\_docs/2016\\_DesignGenerativoParaBuildingInformationModelling.pdf](https://web.ist.utl.pt/antonio.menezes.leitao/ADA/documents/publications_docs/2016_DesignGenerativoParaBuildingInformationModelling.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2024.

FLOREANO, Dario; MATTIUSI, Claudio. **Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies.** Cambridge, Massachusetts London, England: The MIT Press, 2008.

GARCIA, Amanda & OLIVEIRA Silva, Eduardo & FERREIRA, Alessandro & MARINHO, Lucas. (2023). **Passifloraceae s.s. da Ilha de São Luís, Estado do Maranhão, Brasil.** Hoehnea. 50. 10.1590/2236-8906e562022.

**Grasshopper 3D: Um software de modelagem que redefine o processo de design – Projet. 2024.** Disponível em: <<https://projetbr.com.br/news/grasshopper-3d-um-software-de-modelagem-que-redefine-o-processo-de-design/>>. Acesso em: 19 maio. 2024.

**Grasshopper Galapagos Tutorial.** [s.d.] Disponível em:  
<<https://parametrichouse.com/galapagos-rectangle/>>. Acesso em: 19 maio. 2024.

HAMAD, Shalaw Hamza; Husein, Husein Ali. **The Influence of Parametric Design Tools on Increasing Creativity in the Furniture Design Process**. 2020. Eurasian Journal of Science and Engineering. 6. 199-211.10.23918/eajse.v6i1p199.

Henriques, G. C. (2016). **Arquitetura algorítmica: Técnicas, processos e fundamentos**. ENANPARQ IV Encontro Da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação Em Arquitetura e Urbanismo, 1–19. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3479.3209>

Inteligência Artificial: **o que é IA e como funciona**. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/inteligencia-artificial/>>.

JÚNIOR, Félix Alves Da & SILVA, Neander. (2020). **O uso do modelo paramétrico para a produção e variabilidade formal em habitações de pequeno porte**. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo. 106-125. 10.18830/issn.1679-0944.n26.2020.08.

KIEFER, Flávio. **Arquitetura de Museus**. Rio Grande do Sul: UFRGS - ArqTexto, 2000.

KOLAREVIC, B. **Architecture in Digital Age: Design and Manufacturing**. Nova York: Taylor & Francis, 2003.

KORQA, Naim. **Generative Design for BIM**. Disponível em: <<https://yeswebim.wordpress.com/page/2/>>. Acesso em: 30 mar. 2024.

LAPA, R. **Museu, Arte e Tecnologia**. 2011. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-01062012-141408/publico/rodrigo\\_lapa.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-01062012-141408/publico/rodrigo_lapa.pdf)>. Acesso em: 26 maio. 2024.

LASSANCE, G.; ALMEIDA, M. **METODOLOGIA DA CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA CONTEMPORÂNEA: O CASO DO GRUPO NOX**. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 3, n. 2, 30 nov. 2008.

LEACH, Neil. **Parametrics Explained. Next Generation Building**, [s. l.], v. 1, 2014.

LEE, Y. **The Parametric Design Genealogy of Zaha Hadid**. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, v. 14, n. 2, p. 403–410, maio 2015. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.3130/jaabe.14.403?needAccess=true>>. Acesso em 30 de mar. De 2024.

LIU, Y.; LI, T.; FU, Z. **Computational creativity: The Innovative Thinking, Practical methods and Aesthetic Paradigms of AI-driven Design**. 2023. Disponível em: <[https://openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-958651-89-6/article/978-1-958651-89-6\\_22](https://openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-958651-89-6/article/978-1-958651-89-6_22)>. Acesso em: 7 abr. 2024.

MA, W. et al. **Generative Design in Building Information Modelling (BIM): Approaches and Requirements**. *Sensors*, v. 21, n. 16, p. 5439, 12 ago. 2021.

MAKKI, M., SHOWKATBAKSH, M. and SONG, Y. (2019) '**Wallacei Primer 2.0**', [Online]. Disponível em: <<https://www.wallacei.com/>>. Acessado em: 19 de maio

Massabki, Paulo Henrique Bernardelli M414c **Centros e museus de ciência e tecnologia**. --São Paulo, 2011. 274 p. : il.

**MCTI**. Disponível em: <[https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/popularizacaoCeT/\\_tecnologia/Centros\\_e\\_Museus\\_de\\_Ciencia\\_e\\_Tecnologia.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/popularizacaoCeT/_tecnologia/Centros_e_Museus_de_Ciencia_e_Tecnologia.html)>. Acesso em: 26 maio. 2024.

MENEZES, Guilherme. **Desenhos de Engenharia: como foi o avanço do papel para o computador**. *Engenharia360*. Disponível em: <<https://engenharia360.com/o-avanco-dos-desenhos-na-engenharia/>>. Acesso em 14 de mar. De 2024.

MINEIRO, É. F., MAGALHÃES, C. F. **Design paramétrico e generativo: modos de explorar a complexidade**. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v.14, n. 2, p.6-16, 2019. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v14i2.151419>

**"Museu do Amanhã / Santiago Calatrava"** [Museum of Tomorrow / Santiago Calatrava] 19 Abr 2016. *ArchDaily Brasil*. Acessado 19 Mai 2024. Disponível em :<<https://www.archdaily.com.br/br/785756/museu-do-amanha-santiago-calatrava>>. ISSN 0719-8906

NARDELLI, E. S. **Arquitetura e projeto na era digital**. *Arquitetura Revista*, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 28–36, 2021. Disponível em: <https://revistas.unisinos.br/index.php/arquitetura/article/view/5573>. Acesso em: 10 mar. 2024.

NEIJC. 30 anos – **Autodesk e Sua História**. Disponível em: <<https://prototipagemdigital.wordpress.com/2012/02/08/30-anos-autodesk-e-sua-historia/>>. Acesso em: 21 abr. 2024.

NOGUEIRA, S.; VIEIRA, J. **Design e Mimese: uma revisão sistemática da literatura.** Blucher Design Proceedings, 1 nov. 2021.

**O que é aprendizado de máquina (Machine Learning)** | Pure Storage. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.purestorage.com/br/knowledge/what-is-deep-learning.html>>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

OLIVEIRA, Jayr F.; MANZANO, José A. N. G.. **Algoritmos: Lógica para desenvolvimento de programação de computadores.** São Paulo: Erica/Saraiva, 2016.

PAULA, Marlúbia C. de; LARA, Isabel Cristina M. de. **Museu Interativo: Uma Possibilidade de Alfabetização Científica.** Porto Alegre : EDIPUCRS, 2014. 201 p.

POULOT, D. **Museu e museologia.** [s.l.] Autêntica, 2013.

**Princípios do Design Paramétrico e Algorítmico.** Disponível em: <<https://www.e-zigurat.com/pt-br/blog/explorando-a-criatividade-na-construcao-principios-do-design-parametrico-e-algoritmico/#:~:text=2.->>>. Acesso em: 23 ago. 2024.

RAMAGE, M. **O que é design computacional?** Disponível em: <<https://www.tekla.com/br/recursos/artigos/o-que-%C3%A9-design-computacional>>. Acesso em: 21 ago. 2024.

RUTTEN, David. **Galapagos: On the Logic and Limitations of Generic Solvers.** *Architectural Design*, v.83, n. 2, p. 132-135, 2013.

SANTOS, Marcelo Cássio Lima; MAIA, Ivana Márcia Oliveira; FURTADO, Cássia Cordeiro; SILVA, Inez Maria Leite da; ; ; **"Design generativo de texturas paramétricas bioinspiradas na morfologia vegetal maranhense."**, p. 1522-1525 . In: Anais do ERGODESIGN & USIHC 2023 & JOP'Design 2023. São Paulo: Blucher, 2023.  
ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/ergodesign2023-107

SÃO LUÍS. Lei no 3.253, de 29 de dezembro de 1992. Dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbana e dá outras providências. **Zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo.** São Luís, MA, p. 1-85, 29 dez. 1992.

SÃO LUÍS. Lei nº 3.252, de 29 de dezembro de 1992. Dispõe sobre a instituição do plano diretor do município de São Luís e dá outras providências. **Plano Diretor de São Luís.** São Luís, MA, p.1-32, 29 dez. 1992.

SOUZA, G. B. DE. **O que é Design Generativo e como ele pode impactar a arquitetura?** - O CTE - Blog. Disponível em: <<https://cte.com.br/blog/inovacao-tecnologia/o-que-e-design-generativo-e-como-ele-pode-impactar-a-arquitetura/>>. Acesso em: 29 abr. 2024.

SOUZA, Eduardo. **"Como o Design Generativo deve impactar a arquitetura?"** 11 Jun 2021. ArchDaily Brasil. Acessado em 25 Mar 2024. <<https://www.archdaily.com.br/br/937608/como-o-design-generativo-deve-impactar-a-arquitetura>> ISSN 0719-8906

TEAM, P. N. **Parametricism And Patrik Schumacher**. Disponível em: <<https://parametric-architecture.com/parametricism-and-patrik-schumacher/>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic Architecture**. [S. l.]: Architectural Press, p. 159, 2006.

XAVIER, A. L. B.; MITIE UMAKOSHI KUNIOCHI, Érica; LEAL CASELATO, F. **O Processo generativo de forma pró-projeto de edifícios altos: ferramentas e metodologia**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.], 2023. DOI: 10.46421/encac.v17i1.4109. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4109>>. Acesso em: 16 mar. 2024.

VALENTE, Maria Esther Alvarez. **Museus de ciências e tecnologia no Brasil: uma história da museologia entre as décadas de 1950-1970**. -- Campinas, SP: [s.n.], 2009.

VERMA, S. **Visual Programming - What is it And Why Should Architects Care?**. 2020. Disponível em: <<https://www.novatr.com/blog/visual-programming-in-architecture>>. Acesso em: 19 de maio de 2024.

**"Wallacei X" Announcement - An evolutionary and analytic engine for grasshopper**. Disponível em: <<https://discourse.mcneel.com/t/wallacei-x-announcement-an-evolutionary-and-analytic-engine-for-grasshopper/77031/8>>. Acesso em: 21 maio. 2024.

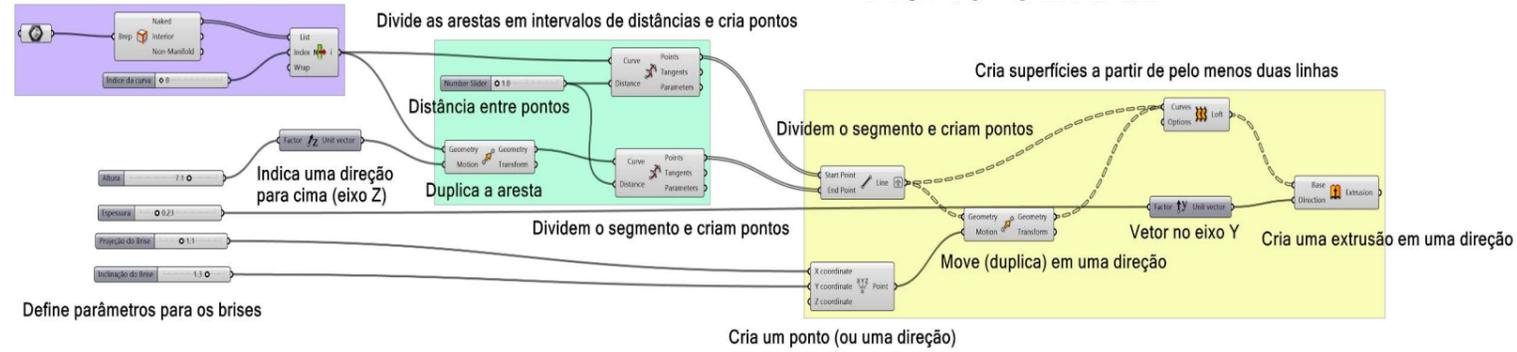
Yunis, Natalia. **"Frei Otto and the Importance of Experimentation in Architecture" [Pritzker 2015: Frei Otto y la importancia de la experimentación en la arquitectura]**. ArchDaily. (Trad. Watkins, Katie) Accessed 30 Mar 2024. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/610531/frei-otto-and-the-importance-of-experimentation-in-architecture>> ISSN 0719-8884. Acesso em: 30 mar. 2024.



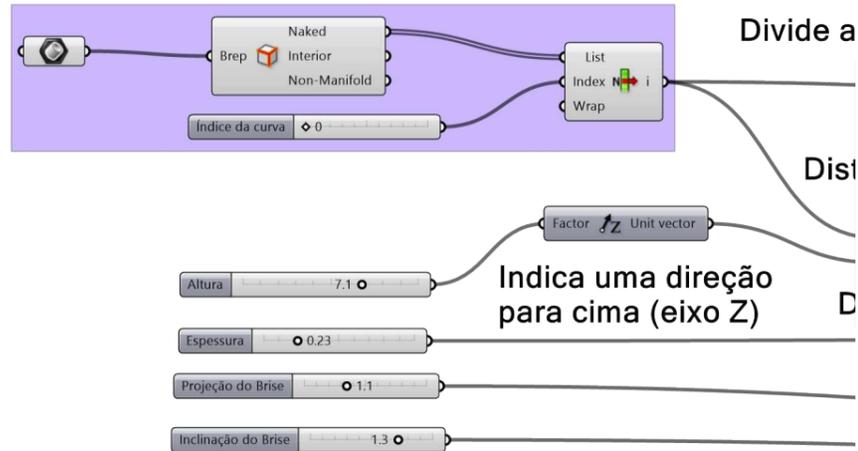
## APÊNDICE 2 – CÓDIGO DOS BRISES

### VISÃO GERAL

Capta as face da geometria da fachada e depois a aresta inferior

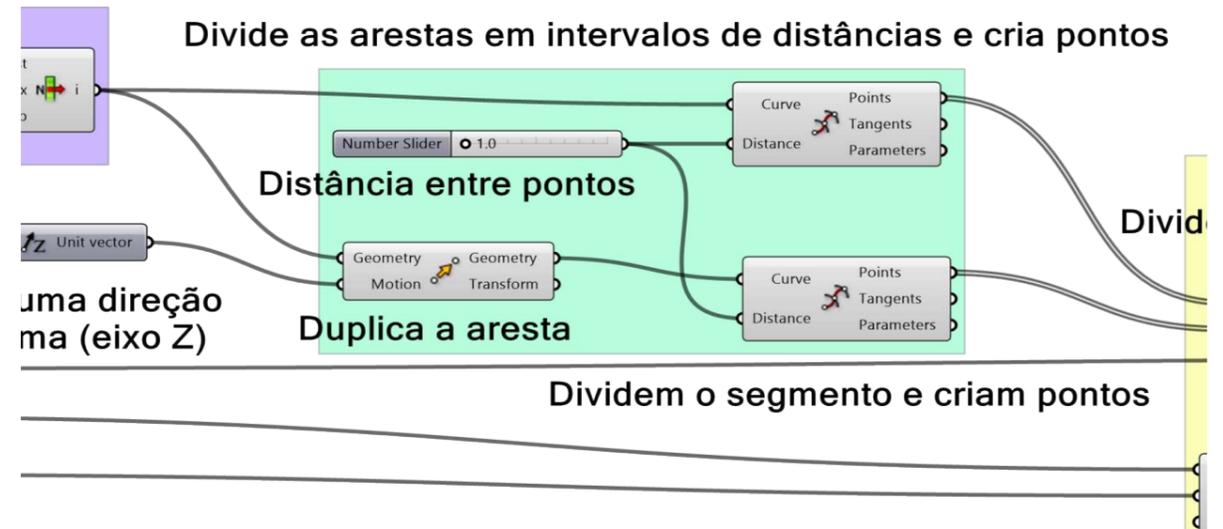


Capta as face da geometria da fachada e depois a aresta inferior



Define parâmetros para os brises

Capta a aresta inferior



Divide o segmento e cria pontos

