



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

Centro de Artes e Comunicação
Programa de Pós-graduação em Design

Mario Ruiz Manrique

PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR:

Resolução de um Sistema Democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de Polietileno de Alta Densidade Reciclado.

Recife, 2023

Mario Ruiz Manrique

PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR:

Resolução de um Sistema Democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de Polietileno de Alta Densidade Reciclado.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestre em Design.

Linha de pesquisa:

Design de Artefatos Digitais

Orientador: Dr. Prof. Pedro Aléssio Martins

Coorientadora: Dra. Profa. Auta Luciana

Laurentino

Recife, 2023

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Manrique, Mario Ruiz.

Plastificar para desplastificar: resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado / Mario Ruiz Manrique. - Recife, 2024.

265f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação, Programa de Pós-graduação em Design, 2024.

Orientação: Pedro Aléssio Martins.

Coorientação: Auta Luciana Laurentino.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Modelos didáticos e sustentabilidade; 2. Mode paramétrica; 3. Moldes de injeção. I. Martins, Pedro Aléssio. II. Laurentino, Auta Luciana. III. Títu

UFPE-Biblioteca Central

**PLASTIFICAR PARA
DESPLASTIFICAR:
RESOLUÇÃO DE UM SISTEMA
DEMOCRÁTICO PARA A
CONFEÇÃO DE MODELOS
DIDÁTICOS FEITOS A PARTIR DE
POLIETILENO DE ALTA
DENSIDADE RECICLADO.**



Resumo

Atualmente a indústria está encarregada de reciclar a maior parte dos produtos plásticos. A população inicia sua caminhada nesta área com o auxílio de Organizações Não Governamentais (ONGs) e as instituições de ensino começam a dar a sua parcela de colaboração. Neste sentido, o presente trabalho se propôs a produzir moldes confeccionados com Manufatura Aditiva para injeção de termoplásticos reciclados, mais precisamente Polietileno de Alta Densidade reciclado. A pesquisa desenvolvida no projeto é de cunho qualitativo exploratória, apoiada nos Métodos Dedutivo e Prisma, este último é uma Revisão Bibliográfica Sistemática que consiste em fornecer um referencial, no caminho a ser percorrido, com base na análise de dados. Assim, o projeto de pesquisa desenvolveu dois experimentos paralelos, com duas máquinas de injeção distintas e com a finalidade de obter dados que pudessem ser comparados. Um dos testes foi realizado com alunos do curso de Expressão Gráfica da Universidade Federal de Pernambuco que puderam experimentar pessoalmente a ferramenta proposta, como método diferenciado, para produzir material didático, instrumentalizando-a e ampliando seu leque de possibilidades para tal produção. Na verdade, utilizar moldes impressos não é algo novo, assim como a ideia por trás disso também não, incluindo o foco que está na redução dos custos de produção de pequenas tiragens de produtos. Por outro lado, acrescentar um sistema de arrefecimento que melhore o funcionamento destes moldes, construí-los de maneira paramétrica e de modo que consigam ser utilizados como ferramentas que ajudem os professores, no seu dia a dia, a produzir materiais didáticos reciclados, sem dúvidas é algo que agregará valor ao sistema de educação. Para tanto o presente projeto se propõe a encontrar o material (ou materiais) que melhor se adaptem à construção de moldes impressos com tecnologia 3D, para injetar PEAD reciclado e produzir a quantidade suficiente de modelos didáticos para que o professor faça uso destes em suas disciplinas.

Palavras chave: Modelos Didáticos e Sustentabilidade; Modelagem Paramétrica; Moldes de Injeção; Reciclagem Circular.

Abstract

Currently, the industry is in charge of recycling most plastic products. The population begins its journey in this area with the help of Non-Governmental Organizations (NGOs) and educational institutions begin to give their share of collaboration. In this sense, the present work proposed to produce molds made with Additive Manufacturing for the injection of recycled thermoplastics, more precisely recycled High Density Polyethylene. The research developed in the project is of an exploratory qualitative nature, supported by the Deductive and Prism Methods, which is a Systematic Bibliographic Review that consists of providing a reference, on the path to be followed, based on data analysis. Thus, the research project developed two parallel experiments, with two different injection machines and with the purpose of obtaining data that could be compared. One of the tests was carried out with students of the Graphic Expression course at the Federal University of Pernambuco who were able to personally experience the proposed tool, as a differentiated method, to produce didactic material, instrumentalizing it and expanding its range of possibilities to create didactic material. In fact, using printed molds is not something new, nor is the idea behind it, including the focus on reducing the production costs of short runs of products. On the other hand, adding a cooling system that improves the functioning of these molds, building them in a parametric way and so that they can be used as tools that help teachers, in their daily lives, to produce recycled teaching materials, is undoubtedly something that will add value to the education system. To this end, the present project proposes to find the material (or materials) that best adapt to the construction of molds printed with 3D technology, to inject recycled HDPE and produce a sufficient amount of didactic models for the teacher to make use of them in their disciplines.

Keywords: Didactic Models and Sustainability; Parametric Modeling; Injection Molds; Circular Recycling.

Lista de Figuras

Figura 1 - Garrafas PET coloridas - [imagem YEBOAH].....	19
Figura 2 - Tríade Teórica - [imagem do Autor / Thorgerson].....	22
Figura 3 – Cabeça de Sargon Acádio – [imagem de Wikimedia Commons].....	34
Figura 4 – Moldes para concreto – [imagem de - Pilares de concreto].....	35
Figura 5 – Moldes joalheria – [imagem de - Investment Casting Process Steps and Flow Chart].....	36
Figura 6 – Moldes para peças industriais – [imagem de - (FREMAR, [s.d.])].....	37
Figura 7 – Moldes de matriz macia – [imagem de - Liquid silicone rubber].....	37
Figura 8 – Injeção de termoplásticos – [imagem de - Injection Molding Process, Defects, Plastic].....	38
Figura 9 – Canais de resfriamento em molde metálico – [imagem de - (SACHS et al., 2000)]..	40
Figura 10 – Canais de resfriamento molde com MA – [imagem de - (SACHS et al., 2000)]..	40
Figura 11 – Sistema de arrefecimento de serpentina – [imagem do autor].....	41
Figura 12 – Classificação da reciclagem dos plásticos – [imagem de Social Media Icons]...	44
Figura 13 – Botões injetados em PEAD reciclado – [imagem do autor].....	45
Figura 14 – Arcabouço para parametrização manual – [imagem do autor].....	55
Figura 15 – Trabalho paramétrico no passado – [imagem Promateriales].....	56
Figura 16 – A vida antes dos softwares de parametrização – [imagem The Mind Circle].....	56
Figura 17 – Modelos de impressoras usadas – [imagem do autor].....	59
Figura 18 – A interface do software Cura – [imagem do autor].....	61
Figura 19 – Interface do software Chitubox – [imagem do autor].....	63
Figura 20 – Opções da Interface do software Chitubox – [imagem do autor].....	64
Figura 21 – Carregando o modelo de impressora – [imagem do autor].....	65
Figura 22 – Testes de impressão SLA – [imagem do autor].....	66
Figura 23 – Parâmetros para imprimir com tecnologia STL – [imagem do autor].....	66
Figura 25 – Lavado da impressão – [imagem do autor].....	69
Figura 26 – Curado da impressão – [imagem do autor].....	70
Figura 27 – Molde impresso em PLA + Alumínio – [imagem do autor].....	71
Figura 28 – Molde impresso em PLA – [imagem do autor].....	71
Figura 29 – Molde impresso em PETG – [imagem do autor].....	72
Figura 30 – Moldes impressos em resinas PRO e AT respectivamente – [imagem do autor]	72
Figura 31 – Try Out – [imagem do autor].....	73
Figura 32 – Imprimindo de maneira Horizontal – [imagem do autor].....	73
Figura 33 – Imprimindo de maneira oblíqua à mesa – [imagem do autor].....	74
Figura 34 – Imprimindo de maneira vertical – [imagem do autor].....	75
Figura 35 – Imprimindo de maneira vertical com a base serrilhada – [imagem do autor].....	75
Figura 36 – Problemas com a serpentina de resfriamento – [imagem do autor].....	76
Figura 37 – Solução aos problemas da serpentina de resfriamento – [imagem do autor].....	77
Figura 38 – Modelo de injetora vulcano – [imagem do autor].....	79
Figura 39 – Elementos modelados, Explosivos e Espaçoave Cruiser – [imagem do autor].	79
Figura 40 – Moldes com acabamento em Primer – [imagem do autor].....	80
Figura 41 – Injeção com o molde de PLA + AL – [imagem do autor].....	82

Figura 42 – O molde de PLA + AL após a injeção – [imagem do autor].....	83
Figura 43 – O interior do molde de PLA + AL após a injeção – [imagem do autor].....	83
Figura 44 – Injeções e o Molde após a injeção – [imagem do autor].....	84
Figura 45 – Estado do molde após injeções – [imagem do autor].....	85
Figura 46 – Injeções com o molde de PETG – [imagem do autor].....	86
Figura 47 – O molde de PETG após as injeções – [imagem do autor].....	87
Figura 48 – O molde de Tritan e sua baixa qualidade de acabamento – [imagem do autor].	88
Figura 49 – Injeções com o Molde de resina dental – [imagem do autor].....	89
Figura 50 – Molde de resina dental após as injeções – [imagem do autor].....	89
Figura 51 – Injeções e o Molde de resina dental após as injeções – [imagem do autor].....	90
Figura 52 – Injeções com uma qualidade muito boa – [imagem do autor].....	91
Figura 53 – O molde FLEX após as injeções – [imagem do autor].....	92
Figura 54 – As injeções com o molde de resina PRO – [imagem do autor].....	93
Figura 55 – O molde PRO após as injeções – [imagem do autor].....	94
Figura 56 – O molde PRO no interior, após as injeções – [imagem do autor].....	94
Figura 57 – O Molde após as injeções – [imagem do autor].....	95
Figura 58 – As injeções com o molde de Alta Temperatura – [imagem do autor].....	96
Figura 59 – mais 25 injeções com o molde de Alta Temperatura – [imagem do autor].....	97
Figura 60 – O Molde quebrado mas impecável no seu estado – [imagem do autor].....	97
Figura 61 – Injetoras utilizadas, Vulcano (verde) PP (azul) – [imagem do autor].....	100
Figura 62 – Injetando com a injetora do laboratório PP – [imagem do autor].....	101
Figura 63 – O molde da medalha do Caranguejo – [imagem do autor].....	102
Figura 64 – Comparação entre as metades do molde – [imagem do autor].....	103
Figura 65 – Análise do fluxo do plástico no molde – [imagem do autor].....	104
Figura 66 – Teste no laboratório do Plástico Precioso – [imagem do autor].....	105
Figura 67 – Versão BETA para o molde do caranguejo – [imagem do autor].....	106
Figura 68 – Detalhes do molde do caranguejo – [imagem do autor].....	107
Figura 69 – Versão BETA para o molde do caranguejo – [imagem do autor].....	108
Figura 70 – Construindo um retângulo a partir do seu centro – [imagem do autor].....	120
Figura 71 – Construindo segmentos de reta – [imagem do autor].....	121
Figura 72 – Realizando um Offset – [imagem do autor].....	122
Figura 73 – Construindo o arcabouço dos pinos de encaixe – [imagem do autor].....	123
Figura 74 – Construindo o arcabouço da cunha de abertura – [imagem do autor].....	124
Figura 75 – Resultado para a cunha de abertura – [imagem do autor].....	125
Figura 76 – Linhas auxiliares para a construção da Serpentina – [imagem do autor].....	127
Figura 77 – Linhas auxiliares para a construção da Serpentina – [imagem do autor].....	127
Figura 78 – Construindo a elipse – [imagem do autor].....	128
Figura 79 – Resultado do arcabouço da serpentina e sua elipse – [imagem do autor].....	128
Figura 80 – Linhas auxiliares básicas – [imagem do autor].....	129
Figura 81 – Admissão do arrefecimento – [imagem do autor].....	129
Figura 82 – realizando a extrusão do retângulo – [imagem do autor].....	130
Figura 83 – Construindo a serpentina – [imagem do autor].....	131
Figura 84 – Criando a admissão do sistema de arrefecimento – [imagem do autor].....	133
Figura 85 – Realizando uma subtração de elementos – [imagem do autor].....	134

Figura 86 – Subtração de elementos e Espelhamento – [imagem do autor].....	135
Figura 87 – União dos elementos – [imagem do autor].....	135
Figura 88 – Curvas base para as veias de admissão e escape – [imagem do autor].....	136
Figura 89 – Realizando subtrações – [imagem do autor].....	137
Figura 90 – Criando um Tronco de Cone – [imagem do autor].....	138
Figura 91 – Realizando subtrações – [imagem do autor].....	139
Figura 92 – Criando os Pinos de Encaixe – [imagem do autor].....	140
Figura 93 – Gerando as Cunhas de abertura – [imagem do autor].....	141
Figura 94 – Iniciando a construção da fêmea – [imagem do autor].....	142
Figura 95 – Pinos de Encaixe da fêmea – [imagem do autor].....	143
Figura 96 – Serpentina da fêmea – [imagem do autor].....	144
Figura 97 – Sistema de Admissão e Escape da Injeção – [imagem do autor].....	144
Figura 98 – Colocando o modelo para injeção – [imagem do autor].....	145
Figura 99 – Gerando as Cunhas de Abertura – [imagem do autor].....	145
Figura 100 – O Resultado do processo construtivo – [imagem do autor].....	145
Figura 101 – Interface geral do software Rhino3D – [imagem do autor] Tela de computador com texto preto sobre fundo branco Descrição gerada automaticamente.....	146
Figura 102 – Localização do botão de ativação do Grasshopper – [imagem do autor].....	147
Figura 103 – Menus de Parâmetros e Componentes dentro do Grasshopper – [imagem do autor] Interface gráfica do usuário, Aplicativo Descrição gerada automaticamente.....	147
Figura 104 – Cores sinalizadoras dos comandos – [imagem Grasshopper].....	148
Figura 105 – Seleção do componente Rectangle e o Parâmetro Number Slider – [imagem do autor].....	148
Figura 106 – Abrindo o menu de cascata do Parâmetro Number Slider – [imagem do autor]... 149	
Figura 107 – Conexão entre comandos – [imagem do autor].....	150
Figura 108 – Retângulo criado no Grasshopper e representado no Rhino3D – [imagem do autor].....	150
Figura 109 – Chamando o comando Box Rectangle – [imagem do autor].....	151
Figura 110 – Variando a altura do prisma – [imagem do autor].....	151
Figura 111 – Seleção do componente Plane Offset – [imagem do autor].....	152
Figura 112 – Conexão entre componentes e parâmetros – [imagem do autor].....	153
Figura 113 – Criação do novo comando Rectangle, e sua visualização – [imagem do autor]... 155	
Figura 114 – Criando um ponto sobre uma curva – [imagem do autor].....	156
Figura 115 – Conectando o componente Evaluate Curve, e resultado da conexão – [imagem do autor].....	157
Figura 116 – Seleção do comando Offset Curve, conexão, e resultado – [imagem do autor].... 158	
Figura 117 – Agrupando comandos – [imagem do autor].....	158
Figura 118 – Seleção do componente Point on Curve – [imagem do autor].....	159
Figura 119 – Conexão do componente Point on Curve, seleção, e resultado – [imagem do autor].....	159
Figura 120 – Seleção do componente, conexão, e resultado da operação – [imagem do autor].....	160
Figura 121 – Seleção dos componentes, conexões, e resultado da operação – [imagem do	

autor].....	161
Figura 122 – Esquema de conexão da circunferência superior – [imagem do autor].....	161
Figura 123 – Seleção dos componentes, conexões, e resultado da operação – [imagem do autor].....	162
Figura 124 – Componente Line, seleção, conexões e resultado – [imagem do autor].....	162
Figura 125 – Seleção do componente e ligação – [imagem do autor].....	163
Figura 126 – Operação para fechamento do componente Loft – [imagem do autor].....	163
Figura 127 – Chamando o componente Cap Holes e conectando-o – [imagem do autor]...	164
Figura 128 – Criando um Plano e Retângulo paralelos ao original – [imagem do autor]....	164
Figura 129 – Criando um retângulo concêntrico ao anterior – [imagem do autor].....	165
Figura 130 – Construindo uma superfície dentro do Offset Curve – [imagem do autor].....	165
Figura 131 – Iniciando a subdivisão – [imagem do autor].....	166
Figura 132 – Subdividindo a superfície – [imagem do autor].....	167
Figura 132 – Criando as caixas de contenção da Serpentina – [imagem do autor].....	168
Figura 133 – Usando a interface Rhino3D – [imagem do autor].....	168
Figura 134 – Materializando a Serpentina – [imagem do autor].....	169
Figura 135 – Levando a Serpentina para o ambiente Grasshopper – [imagem do autor]....	170
Figura 136 – Envolvendo a Serpentina na sua caixa de contenção – [imagem do autor]....	170
Figura 137 – Construindo a Serpentina por inteiro – [imagem do autor].....	171
Figura 138 – Variações na constituição da Serpentina – [imagem do autor].....	171
Figura 139 – Colocação de ponto referencial – [imagem do autor].....	172
Figura 140 – Criando um Plano Auxiliar XZ – [imagem do autor].....	173
Figura 141 – Construindo um cilindro horizontal – [imagem do autor].....	173
Figura 142 – Separando os elementos importantes – [imagem do autor].....	174
Figura 143 – Cozinhando – [imagem do autor].....	175
Figura 144 – Criando Layers – [imagem do autor].....	175
Figura 145 – Designando Layers – [imagem do autor].....	176
Figura 146 – Elementos diferenciados por Layers – [imagem do autor].....	176
Figura 147 – Unindo a serpentina e criando a seção nas extremidades – [imagem do autor]... 177	
Figura 148 – Unindo a serpentina e criando a seção nas extremidades – [imagem do autor]... 178	
Figura 149 – Tampando os segmentos retos – [imagem do autor].....	178
Figura 149 – Criando um sólido – [imagem do autor].....	179
Figura 150 – Tirando a serpentina do macho – [imagem do autor].....	180
Figura 151 – Criação das Cunhas no macho – [imagem do autor].....	181
Figura 152 – Criando as saídas de resfriamento – [imagem do autor].....	182
Figura 153 – Espelhando os moldes – [imagem do autor].....	183
Figura 154 – Construção de uma esfera – [imagem do autor].....	183
Figura 155 – Criando elementos sólidos – [imagem do autor].....	184
Figura 156 – Distribuindo os Pinos de encaixe – [imagem do autor].....	185
Figura 157 – Ajustando o novo Pino de encaixe para a fêmea do molde – [imagem do autor] 186	
Figura 158 – Criando os encaixes no molde Fêmea – [imagem do autor].....	186
Figura 159 – Subtraindo a Veia e o Negativo do modelo – [imagem do autor].....	187

Figura 160 – Resultado da modelagem no Rhino3D – [imagem do autor].....	188
Figura 161 – Posição das placas das injetoras utilizadas – [imagem do autor].....	189
Figura 162 – Criando pontos na curva Rectangle – [imagem do autor].....	190
Figura 163 – Criando um retângulo a partir de dois pontos – [imagem do autor].....	190
Figura 164 – Criando um ponto médio no novo retângulo – [imagem do autor].....	191
Figura 165 – Criando um cilindro atrelado a um ponto – [imagem do autor].....	192
Figura 166 – Outro Retângulo em um outro plano – [imagem do autor].....	193
Figura 167 – Criando um Offset no retângulo – [imagem do autor].....	193
Figura 168 – Criando uma superfície e uma divisão sem representação – [imagem do autor]..	194
Figura 169 – Dividindo a superfície – [imagem do autor].....	195
Figura 170 – Criando caixas na superfície – [imagem do autor].....	196
Figura 171 – Selecionando o segmento de Serpentina e envolvendo-o – [imagem do autor]...	197
Figura 172 – Usando o componente Box Morph para criar a Serpentina – [imagem do autor]..	198
Figura 173 – Cozinhando os elementos – [imagem do autor].....	198
Figura 174 – Separando a Fêmea do molde – [imagem do autor].....	199
Figura 175 – Criando o caminho das Veias – [imagem do autor].....	201
Figura 176 – Espelhando as Veias e colocando os itens de Injeção – [imagem do autor]...	202
Figura 177 – Espelhando a Serpentina Menor – [imagem do autor].....	203
Figura 178 – Criando as cavidades de encaixe nos moldes Fêmea – [imagem do autor]...	203
Figura 179 – Subtração das Veias e os modelos de injeção – [imagem do autor].....	204
Figura 180 – Subtraindo as Veias das Fêmeas do molde – [imagem do autor].....	204
Figura 181 – Subtraindo os Modelos de injeção das Fêmeas do molde – [imagem do autor]...	205
Figura 241 – Molde Finalizado – [imagem do autor].....	205
Figura 182 – Molde Circular Finalizado – [imagem do autor].....	206
Figura 183 – Molde e sua serpentina de resfriamento – [imagem do autor].....	207
Figura 184 – Criando um cilindro no Grasshopper – [imagem do Autor].....	207
Figura 185 – Criando um sólido com o cilindro – [imagem do Autor].....	208
Figura 186 – Criando um novo plano – [imagem do Autor].....	208
Figura 187 – Criando uma circunferência – [imagem do Autor].....	209
Figura 188 – Criando uma circunferência concêntrica – [imagem do Autor].....	209
Figura 189 – Colocando um ponto na circunferência – [imagem do Autor].....	210
Figura 190 – Criando uma circunferência sobre do ponto – [imagem do Autor].....	210
Figura 191 – Criando um ponto flutuante – [imagem do Autor].....	211
Figura 192 – Criando uma circunferência ligada ao ponto flutuante – [imagem do Autor]...	211
Figura 193 – Criando pontos nas circunferências – [imagem do Autor].....	211
Figura 194 – Criando o Pino de Encaixe – [imagem do Autor].....	212
Figura 195 – Criando um plano regulável – [imagem do Autor].....	213
Figura 196 – Criando circunferências concêntricas – [imagem do Autor].....	213
Figura 197 – Criando as circunferências da espiral – [imagem do Autor].....	214
Figura 198 – Primeira injeção para este molde – [imagem do Autor].....	214
Figura 199 – Escolhendo o material e o bico no Cura – [imagem do autor].....	215

Figura 200 – Arquivo carregado – [imagem do autor].....	216
Figura 201 – Janela de parametrização – [imagem do autor].....	217
Figura 202 – Fatiando – [imagem do autor].....	218
Figura 203 – O Resultado do fatiamento – [imagem do autor].....	218
Figura 204 – Identificação das cores no processo de fatiamento – [imagem do autor].....	219
Figura 205 – Menu de Parâmetros e parâmetros – [imagem do autor].....	220
Figura 206 – Criando um novo perfil A1 – [imagem do autor].....	221
Figura 207 – Criando um novo perfil A2 – [imagem do autor].....	222
Figura 208 – Criando um novo perfil A3 – [imagem do autor].....	222
Figura 209 – PLA Quality – [imagem do autor].....	223
Figura 210 – PLA Walls – [imagem do autor].....	224
Figura 211 – PLA Top/Bottom – [imagem do autor].....	224
Figura 212 – PLA Infill – [imagem do autor].....	225
Figura 213 – PLA Material – [imagem do autor].....	225
Figura 214 – PLA Speed – [imagem do autor].....	225
Figura 215 – PLA Travel – [imagem do autor].....	226
Figura 216 – PLA Cooling – [imagem do autor].....	226
Figura 217 – PLA Support – [imagem do autor].....	226
Figura 218 – PLA Built Plate Adhesion – [imagem do autor].....	227
Figura 219 – PLA, Tempo e Material empregados – [imagem do autor].....	227
Figura 220 – PETG, parâmetros de impressão – [imagem do autor].....	228
Figura 221 – PETG, Tempo e Material empregados – [imagem do autor].....	228
Figura 222 – TRITAN, parâmetros de impressão – [imagem do autor].....	229
Figura 223 – TRITAN, Tempo e Material empregados – [imagem do autor].....	229
Figura 224 – Carregando o modelo de impressora – [imagem do autor].....	230
Figura 225 – Primeiros testes de impressão SLA – [imagem do autor].....	231
Figura 226 – Ajustando para um novo perfil – [imagem do autor].....	232
Figura 227 – Parâmetros a ser ajustados com tecnologia STL – [imagem do autor].....	232
Figura 228 – Variação do tempo de exposição da Base – [imagem do autor].....	233
Figura 229 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor].....	234
Figura 230 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor].....	235
Figura 231 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor].....	235
Figura 232 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor].....	236
Figura 233 – Colocação da memória MicroSD na Ender 3 Pro – [imagem do autor].....	237
Figura 234 – Mandando o arquivo para impressão – [imagem do autor].....	237
Figura 235 – Iniciando a impressão – [imagem do autor].....	239
Figura 236 – Navegando no menu para escolher o arquivo desejado – [imagem do autor].....	239
Figura 237 – Começando a impressão – [imagem do autor].....	240
Figura 238 – Durante o processo de impressão – [imagem do autor].....	240
Figura 239 – Encerrando a impressão – [imagem do autor].....	241

Lista de Quadros

Quadro 1 – Referencial Teórico – [quadro do autor].....	23
Quadro 2 – O processo do Design – [(LÖBACH, 2001)].....	25

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estratégias Metodológicas - [imagem do Autor].....	30
Tabela 3 - A escolha do tipo de tecnologia de moldes - [imagem do Autor].....	39
Tabela 4 – Escolha do material reciclado a ser usado - [imagem do autor].....	46
Tabela 5 – Análise das características dos softwares - [imagem do autor].....	49
Tabela 6 – Requerimentos do sistema para uso dos softwares - [imagem do autor].....	50
Tabela 7 – Tecnologias de impressão 3D - [Tabela Tipos de Impressora 3D e suas aplicações].....	58
Tabela 8 – Tempos de impressão usando Resinas - [Tabela do autor].....	67
Tabela 9 – Comparação entre materiais aprovados para diversas finalidades - [Tabela do autor].....	98
Tabela 10 – Quantidade de material, custos e tempo de fabricação dos moldes - [Tabela do autor].....	99

Lista de Siglas

ONGs	Organizações Não Governamentais
3D	Tridimensional - relativo a Três Dimensões
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
NGOs	Non-Governmental Organizations
HDPE	High Density Polyethylene
MA	Manufatura Aditiva
CAD	Computer Aided Design
STL	Stereolithography / Estereolitografia - Extensão de arquivo
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
FDM	Fused Deposition Modeling
SLA	Stereolithography / Estereolitografia - Tecnologia
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
GRE3D	Grupo de Experimentação em Artefatos 3D
PET	Polietileno Tereftalato
Rhino3D	Software de Modelagem Digital

EUA	Estados Unidos da América
AutoCad	Software de Modelagem Digital
TinkerCad	Software de Modelagem Digital
Blender	Software de Modelagem Digital
Fusion 360	Software de Modelagem Digital
Solidworks	Software de Modelagem Digital
3DS Max	Software de Modelagem Digital
bit	Dígito binário, menor medida de informação digital
Ghz	Gigahertz, um bilhão de repetições por segundo
Mb	Megabyte, medida de armazenamento digital
Gb	Gigabyte, medida de armazenamento digital
Os	Processador digital
Intel	Processador digital
AMD	Advanced Micro Devices - Processador digital
RAM	Random Access Memory
Win 11	Sistema Operacional
OpenGL	Biblioteca de modelagem
DirectX 11	Tecnologia multimídia
DirectX 12	Tecnologia multimídia
HDR Light	High Dynamic Range
PP	Plástico Precioso
PC	Personal Computer
PLA	Ácido Polilático
PETG	Polietileno Tereftalato Glicol
AL	Alumínio

Sumário

1	Introdução.....	15
1.1	Delimitação da problemática.....	18
1.2	Objeto de Estudo / Recortes e Contexto.....	19
1.2.1	O Objeto de Estudo.....	19
1.2.2	Recortes.....	20
1.2.3	Contexto Social.....	20
1.2.4	Contexto Ambiental.....	20
1.3	Objetivos.....	21
1.3.1	Objetivo Geral.....	21
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
1.4	Tríade Teórica.....	22
2	Revisão de Literatura - Fundamentação teórica.....	24
2.1	Victor Papanek - Design for the real world.....	24
2.2	Bernd Löbach - Industrial Design.....	25
2.3	Pierre Rabardel Gênesis Instrumental.....	27
3	Metodologia do projeto.....	30
4	O Molde.....	34
4.1	O propósito.....	39
5	O Material: PEAD reciclado.....	42
6	A Modelagem 3D.....	48
6.1	Características Analisadas.....	48
6.2	A Escolha do RHINO3D.....	51
6.3	O Processo Inicial de Modelagem 3D.....	53
6.4	A Modelagem Paramétrica.....	55
7	A impressão 3D.....	58
7.1	Particularidades das tecnologias empregadas no projeto.....	60
7.2	O Fatiamento.....	60
7.3	O processo Tangível.....	67
8	Ajustes necessários nos moldes.....	73
8.1	Os Testes.....	77
8.1.1	O Teste PLA + AL.....	80
8.1.2	O Resultado da Injeção.....	81
8.2.1	O Teste PLA.....	83
8.2.2	O Resultado da Injeção.....	84
8.2.3	A Avaliação do Molde.....	84
8.3.1	O Teste PETG.....	85
8.3.2	O Resultado da Injeção.....	85
8.3.3	A Avaliação do Molde.....	86
8.4.1	O Teste TRITAN.....	87
8.5.1	O Teste Resina DENTAL.....	88
8.5.2	O Resultado da Injeção.....	88
8.5.3	A Avaliação do Molde.....	89

8.6.1 O Teste Resina LAVÁVEL.....	90
8.7.1 O Teste Resina FLEX.....	90
8.7.2 O Resultado da Injeção.....	91
8.7.3 A Avaliação do Molde.....	92
8.8.1 O Teste Resina PRO.....	92
8.8.2 O Resultado da Injeção.....	93
8.8.3 A Avaliação do Molde.....	93
8.9.1 O Teste Resina de ALTA TEMPERATURA.....	94
8.9.2 O Resultado da Injeção.....	95
8.9.3 A Avaliação do Molde.....	98
8.10 Resultados Comparativos.....	98
9 A Pesquisa de Campo.....	100
9.1 Os Testes com os Alunos.....	100
9.2 A entrevista e seu desdobramento.....	110
10. Conclusões.....	113
11. Referências Bibliográficas.....	116
12. Apêndices.....	120
12.1 A Modelagem Paramétrica executada manualmente.....	120
12.2 A Parametrização Do Molde - Passo a Passo.....	146
12.3 Criando Moldes Alternativos.....	188
12.4 O Processo de Fatiamento passo a passo.....	215
12.5 Criando Perfis e definindo parâmetros.....	219
12.6 Tangibilizando o processo.....	234
12.7 Entrevistas.....	242
12.7.1 Entrevista com Maria Clara Lins de Amorim.....	242
12.7.2 Entrevista com Adelson Tiago Pereira da Conceição.....	248
12.7.3 Entrevista com Letícia Teixeira Mendes.....	252
13 Anexos.....	258
13.1 Termo de Consentimento.....	258
13.1.1 Termo de Consentimento Adelson Tiago Pereira da Conceição.....	260
13.1.2 Termo de Consentimento Letícia Teixeira Mendes.....	262
13.1.3 Termo de Consentimento Maria Clara Lins de Amorim.....	264

1 Introdução

Será possível usar moldes para injeção de termoplásticos feitos de maneira não tradicional e com estes produzir modelos didáticos?

Lá se vão quase cem anos desde que em 1946 James Watson Henry construiu a primeira máquina de injeção por parafuso, precursora das atuais injetoras de plástico (SCHLEICH, 2020). Vê-se que nesta tecnologia não existe muita novidade, mas e reciclar plásticos para produzir novos produtos? Também não é um processo novo, pois as máquinas de Henry já faziam uso das injeções malogradas para serem reutilizadas como material para outras injeções. Já a reciclagem seletiva é um pouco mais nova, mas nem tanto. Há mais de meio século foi falada nos Estados Unidos pela primeira vez, mais precisamente em 1971 (NETFLIX, 2019). E o que há de novo neste? Este projeto de pesquisa não só considera essas duas ideias, mas adiciona uma terceira, ou seja, além de Injeção de Termoplásticos e Reciclagem, acrescenta-se Moldes de Resina (para agregar economia à equação) que trabalham com um sistema de arrefecimento. Vamos então falar um pouco e de maneira isolada destes 3 componentes básicos da pesquisa.

A necessidade do uso da tecnologia de Manufatura Aditiva (MA / impressão 3D), [Chamada assim, pela utilização de processos aditivos, combinando materiais camada por camada, o termo MA parece idôneo por descrever a atividade com precisão (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015, p.7)], na atualidade, é um elemento intrínseco a muitos campos do saber, e o Design não está isento disso. A indústria de ponta usa há tempos essa tecnologia como um auxiliar quase que elementar no seu processo produtivo, o qual segue a maioria das vezes as mesmas diretrizes. Gibson, Rosen e Stucker (2015, p.7) organizam o processo de MA da seguinte maneira: 1 Arquivo CAD; 2 Conversão em STL; 3 Transferência do arquivo para o fatiador; 4 Instalação do arquivo no fatiador; 5 Impressão; 6 Remoção; 7 Pós-processos e 8 Aplicação. Essa organização permite que o processo seja replicado independentemente da sua área de atuação.

Com o passar do tempo, as demais empresas que acompanham os líderes do mercado também se apropriam destes mecanismos tecnológicos. Com a educação não podia ser diferente e, naturalmente, dentro das universidades e de seus laboratórios de pesquisa esta tecnologia já virou um item básico para desenvolver incontáveis trabalhos de vanguarda, a exemplo dos trabalhos de: Knochel (2017),

que desenvolveu Kits chamados DigiFabs para explorar coleções de objetos de arte com curadoria, com apoio da MA; Saorín et al. (2017) trabalharam com 44 estudantes de Engenharia da Universidade de La Laguna, em Tenerife - Espanha, com a finalidade de estimular a competência criativa, usando MA, materializando a criatividade em projetos desenvolvidos pelos futuros engenheiros e medindo a evolução da criatividade com o teste “Abreaction”; Colletti (2016), fez uma reflexão sobre a importância e as implicações da transdisciplinaridade dentro dos Rex/Labs (laboratórios de MA e outros serviços digitais que podem ser acessados à distância por cidadãos comuns, sendo uma rede mundial criada pelo autor a partir da Universidade de Innsbruck), formulando a seguinte pergunta: Por que a concepção de um edifício é atribuída a uma só pessoa quando no projeto trabalham inúmeros indivíduos? —Essa pergunta é uma metáfora ligada diretamente à transdisciplinaridade. Assim como estes exemplos citados, existem outros tantos nascidos dentro das universidades como um espelho do que acontece no mercado de trabalho. Nos demais níveis de escolaridade, aos poucos houve imersão, descobrimento e posterior aprofundamento e instrumentalização da MA. O próprio trabalho de pesquisa aqui desenvolvido é a evolução do TCC (apresentado na conclusão da graduação do presente autor), o qual foi um projeto que buscou a fabricação de um modelo didático chamado Geommynoes, com o auxílio da MA, mas que não viu sua conclusão por circunstâncias alheias a ele mesmo (a pandemia da COVID).

Agregar a MA para contribuir no desenvolvimento de Modelos Didáticos a partir de material reciclado, especificamente PEAD, é uma combinação propícia para ser explorada. Para tal, o presente projeto de pesquisa pretende buscar uma fórmula que desenvolva um Sistema Democrático que permita a criação dos modelos sob as condições demandadas.

Quando se fala em usar MA para ensinar conteúdos das disciplinas, a maior parte dos trabalhos se orienta a usá-la como um auxiliar dentro da chamada educação STEM (Science-Technology-Engineering-Mathematics), e se esquecem das demais disciplinas que não as da área de exatas.

A tecnologia de impressão 3D é uma poderosa ferramenta para aliarmos a educação, a tecnologia, a engenharia e suas possíveis aplicações nos conceitos das ciências exatas, tudo isto faz parte de um estudo para investigar como os professores são afetados nas suas crenças, sua segurança e a autoeficácia ao ministrar ciências, quando fazem uso da ferramenta de MA (NOVAK; WISDOM, 2018).

O projeto de pesquisa tem como base democratizar o uso das ferramentas de MA para produzir modelos didáticos para além das disciplinas ligadas comumente às tecnologias digitais. Em outras palavras, fazer extensível o uso de MA em qualquer área do conhecimento.

No momento em que se considera utilizar materiais reciclados para produzir modelos didáticos, o primeiro que vem à mente é usar os materiais que naturalmente seriam descartados, ou seja, aqueles que para seu reuso precisam ser cortados, pintados, colados, etc. Com isto não quero dizer que cortar, emendar, pintar e colar –não provoquem mudanças nas características do material reciclado, todavia, os modelos didáticos ficam mais interessantes quando o rearranjo estrutural modifica a aparência física do material original, fazendo com que este em nada lembre o material do qual se originou. Um exemplo disto é o trabalho de Freitas (2008), que usou diferentes tipos de papéis reciclados, triturados e misturados com serragem e cola, para produzir uma massa que pudesse ser modelada com o propósito de criar modelos didáticos na área de Farmácia e Biomedicina .

Não obstante, usar a MA unicamente nas suas versões econômicas, aliada ao desenvolvimento de um sistema democrático que produza modelos didáticos com matéria prima reciclada, e com isto, criar um produto baseado em um design circular, pode ser interessante para responder aos objetivos desta pesquisa

É neste sentido que nos debruçamos sobre o tema, para tentar encontrar uma outra alternativa ou outra possibilidade de produzir material didático que desperte o interesse das novas gerações de estudantes na construção de novos conhecimentos pelas suas possibilidades plásticas, pela sua diferenciação, e pelo seu apelo democrático (considerando a tecnologia envolvida).

O uso de moldes é um processo altamente conhecido e difundido no mundo todo, já que são necessários para produzir incontáveis objetos em escala e com a mesma qualidade. Porém, seu uso dentro do ambiente universitário, ou em uma sala de aula, é totalmente inviável devido ao custo de fabricação de um molde feito em metal (Alumínio ou Aço). Sem contar que sua utilização é totalmente proibida fora da esfera industrial. Por estas razões, operar moldes para produzir quaisquer tipos de modelos didáticos parece um caminho estimulante a ser percorrido.

Para tal propósito de conseguir encontrar um sistema democrático que permita criar modelos didáticos acessíveis a todos, replicáveis e ecologicamente corretos, o projeto pretende fazer uso de moldes criados com MA, usando duas distintas

vertentes desta tecnologia, a FDM e a SLA, testando diferentes tipos de materiais entre filamentos e resinas, com o intuito de saber o material que melhor se adapta para a produção de um molde que obedeça a duas premissas: 1 ser um molde que permita tiragens pequenas dos elementos injetados; e 2 ser um molde de baixo custo. Sobre o tema, existem experimentos realizados pela comunidade do Plástico Precioso (“Precious Plastic”, [s.d.]) que entregam informação valiosa acerca da quantidade de elementos produzidos com determinados materiais e norteiam este trabalho.

1.1 Delimitação da problemática

A dificuldade no quesito de criação de modelos didáticos radica em ter duas tecnologias que no mundo comum das licenciaturas conversam muito pouco entre si: De um lado os modelos didáticos feitos com material reciclado, e do outro, a MA. Atualmente, os alunos das licenciaturas da UFPE, incluindo os alunos do curso de Expressão Gráfica, produzem modelos efêmeros, feitos à base de materiais simples como papelão, isopor, canudos plásticos, espetos de madeira, etc. Não significa que a construção com materiais simples faça desses modelos ferramentas ruins, mas eles carecem de durabilidade, replicá-los resulta em um trabalho tortuoso e quase infundável, além de serem majoritariamente simples por causa da natural complexidade que resulta a sua produção (embora alguns alunos do curso de Expressão Gráfica façam uso de Manufatura Aditiva para confeccionar seus modelos, não é algo generalizado dentro do curso).

Esses modelos recicláveis convencionados na educação que foram citados no parágrafo anterior não são exclusividade do Brasil. Em Gana, por exemplo:

Na Escola Primária Emena, a professora relatou que os recursos instrucionais sobre ‘Cor’ facilitaram para ela dar uma aula sobre ‘mistura de cores’. Ela explicou que porque o recurso permitiu que ela mostrasse o real cores que ela estava falando para os alunos e também permitiu que os alunos vissem as cores reais sendo mencionadas, os recursos ajudaram os alunos a compreender facilmente o que ela lhes ensinou (YEBOAH, 2016).

Figura 1 - Garrafas PET coloridas - [imagem YEBOAH]



Mesmo com todo o esmero e esforço dos professores, às vezes, finalizado o dia escolar, os modelos não tem mais serventia, porque o modelo foi danificado ou simplesmente destruído por inteiro. Por isso, os alunos dos cursos de licenciatura deveriam ser estimulados a produzirem modelos didáticos duráveis e terem acesso às tecnologias de fabricação digital. Neste sentido, a de MA que hoje é um elemento tecnológico imerso na nossa realidade e por vezes mais econômica do que uma impressora de injeção de tinta, uma vez que muitas delas chegam a ter preços inferiores aos de alguns *Smartphones*, logo, mais acessíveis a alunos e professores. A seguir trazemos alguns exemplos para entender a realidade dos alunos, que sempre é a menos favorecida, e os custos da tecnologia de MA, para entender que não são produtos fora de uma realidade generalizada: (“Bolsas de formação de professores sobem 75%”, 2023).

Em relação às impressoras: “A Creality Ender 3 32 Bits é ganhadora de prêmios de melhor impressora 3D de baixo custo do mundo!” (“Impressora 3D Ender 3 32 Bits”, [s.d.]) Com preço inferior a R\$1.500,00.

Diante desses argumentos, queremos mostrar que existem maneiras de produzir material didático a partir de elementos recicláveis, com uma vida útil longa, além de um valor de produção comedido. Isso é o que o presente projeto de pesquisa pretende atingir.

1.2 Objeto de Estudo / Recortes e Contexto

1.2.1 O Objeto de Estudo

O projeto de pesquisa investigou as técnicas e os materiais para a criação de moldes de injeção de termoplásticos feitos a partir de Manufatura Aditiva - MA, com o intuito de produzir um modelo didático duradouro chamado Batalha dos Mundos, feito a partir de material reciclado (especificamente PEAD).

Pensando no fato de que os estudantes do curso de Licenciatura em Expressão Gráfica vivenciem o processo e vejam que existe mais uma possibilidade no desenvolvimento de seus modelos didáticos, se faz necessário compreender como projetar um sistema democrático de moldes para a injeção de termoplásticos que utilize material reciclado na produção de modelos didáticos econômicos, duradouros e replicáveis.

1.2.2 Recortes

Recorte Espacial

A pesquisa está localizada dentro do campus Recife da UFPE, no Centro de Artes e Comunicação, com os alunos do curso de Expressão Gráfica.

Recorte Material

Fazer uso do maquinário do laboratório GRE3D e Laboratório do projeto Plástico Precioso da UFPE.

1.2.3 Contexto Social

Por ser um projeto de pesquisa que envolve alunos da Licenciatura em Expressão Gráfica (LEG), da UFPE, campus Recife, os alunos farão parte da pesquisa realizando o processo de injeção como uma equipe, com a finalidade de incentivá-los a usarem essa nova ferramenta na criação dos seus projetos particulares. A intenção é demonstrar aos alunos do curso em Expressão Gráfica que existe uma outra maneira de potencializar suas ideias para produzir material didático em média escala a partir da utilização de PEAD reciclado, sem ter que investir tempo excessivo nessa atividade. Como resultado, poderão criar modelos didáticos duradouros, replicáveis, com valor sócio-ambiental e que beneficiam em maior grau a construção do conhecimento por parte dos seus futuros alunos.

1.2.4 Contexto Ambiental

Parte da pesquisa se propõe trabalhar com material reciclado, especificamente PEAD reciclado. Justificamos a escolha deste material por tentar tirar do

meio-ambiente um pouco do que seria eliminado diretamente nele afetando-o e, automaticamente, prejudicando nossa estância no planeta e, por consequência, a das futuras gerações. Se existe a possibilidade, como seres humanos, e também como pesquisadores do campo do Design, de podermos ajudar a despoluir o planeta, não há razões para não fazermos este importante aporte, por mínimo que seja. Criar um caminho paralelo para o reuso dos materiais diferente do que originalmente tinha sido concebido, é fazer um processo projetual circular alternativo.

A escolha do PEAD reciclado como material de trabalho se deve ao fato de que no Brasil é o segundo material mais utilizado na produção de produtos plásticos, unicamente perdendo para o PET. Em contrapartida, ele pede uma tecnologia menos sofisticada para sua reutilização, enquanto o PET tem sua cadeia de reciclagem resolvida de uma maneira muito mais ampla e estruturada em relação ao PEAD. Outra justificativa pela escolha desse material dá-se porque o PEAD é a matéria prima básica de trabalho do Laboratório do Plástico Precioso dentro da universidade, o que viabiliza, naturalmente, a realização dos testes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Selecionar dentre vários materiais a serem usados no processo de MA os de melhor funcionalidade para produzir moldes para a injeção de plástico PEAD reciclado. E, ASSIM, INTENCIONALMENTE PROJETAR UM SISTEMA DEMOCRÁTICO para a confecção de modelos didáticos econômicos, duradouros, ecologicamente corretos e replicáveis.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a Escolha da Matéria Prima: PEAD reciclado.
- Desenvolver de maneira descritiva a técnica de Modelagem e impressão 3D, além de propor os ajustes necessários nos modelos desenvolvidos decorrentes do processo projetivo.
- Avaliar os resultados com a finalidade de entender se o modelo proposto é viável ou não.

1.4 Tríade Teórica

A tríade teórica que engloba o projeto de pesquisa é a seguinte:

Figura 2 - Tríade Teórica - [imagem do Autor / Thorgerson]



O Design dentro desta geometria teórica tem a incumbência de expressar o resultado, fruto dos outros dois campos, usar a experiência acumulada em pesquisas anteriores, próprias e alheias, e transformá-las em um projeto que entrega soluções. Neste sentido, a proposta é que o presente projeto possa agregar ao que já foi feito até agora e que possa ser um ponto de inflexão para a concepção (enquanto ideia e resultado) da maneira como são pensados os modelos didáticos gerados a partir de PEAD reciclado.

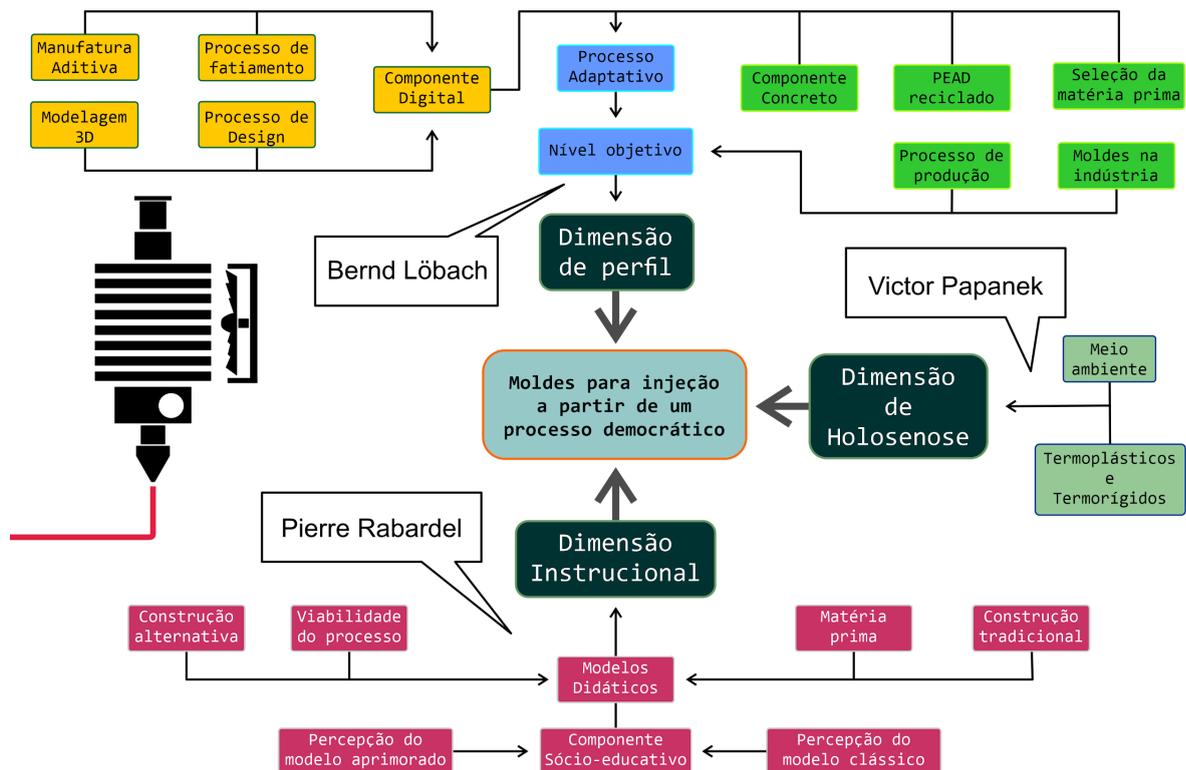
A Tecnologia Digital, na forma de MA, está presente em várias áreas do conhecimento, inclusive já é usada para a criação de alguns moldes de injeção por outros projetos de pesquisa. A exemplo disto estão os projetos desenvolvidos pela comunidade Precious Plastic (2020), que demonstram como é possível utilizar resina fotossensível para produzir moldes de injeção. Agora usaremos essa tecnologia dentro da seara da educação.

Quando falamos de modelos didáticos construídos a partir de material reciclado, nos aludimos aos mesmos materiais (como se de uma cartilha se tratasse): reutilização de papelão, papéis de variados tipos e cores, canudos plásticos, tampas de garrafas PET, garrafas plásticas no geral, miolos de papel higiênico, entre outros. Poderíamos continuar citando elementos, mas não é a finalidade deste projeto, já que simplesmente serve para elucidar que quando os professores pensam em trabalhar com material reciclado, não se pensa em transformar fisicamente o material além de cortar, colar, pintar, etc. Até hoje os professores não têm imaginado usar um material termoplástico que possa mudar sua forma original quando submetido a altas temperaturas e pressões e, assim, criar formas além das que são

limitadas pela estrutura física do material utilizado tradicionalmente e com as técnicas também tradicionais. Aqui, porém, existe um entrave que é difícil de transpor, pois na realidade atual das nossas escolas de ensino fundamental público, e ainda em algumas privadas, não se conta com uma injetora de termoplásticos. A presente pesquisa contou com o auxílio do laboratório GREA3D que detém várias máquinas deste tipo e que são acessíveis a professores que, mesmo alheios ao departamento e à própria universidade, se apresentarem projetos que signifiquem relevância de pesquisa, podem utilizar a estrutura oferecida.

Posto isto, existe um fragmento desta pesquisa encarregado de introduzir o Design como instrumento para permitir aos futuros professores materializarem ideias até hoje limitadas ao campo da imaginação, em se tratando da produção de modelos didáticos com material reciclado. Neste contexto, o auxílio de um software (Rhino3D) potencializará a capacidade de criação dos futuros professores.

Quadro 1 – Referencial Teórico – [quadro do autor]



2 Revisão de Literatura - Fundamentação teórica

2.1 Victor Papanek - Design for the real world

Segundo Papanek, (1973, p.23), “*design* é o esforço consciente para impor uma ordem significativa”, e se essa ordem, vir acompanhada de responsabilidade ambiental e social, o design reluz ainda mais. Victor (1973) pensava parecido e dizia que se um desenho era ecologicamente correto, automaticamente ele era revolucionário. Portanto, é nesse sentido que pensamos trazer uma proposta combinando reciclagem, tecnologia e educação, criando um projeto de design, que seja um instrumento de cooperação para professores.

Existe uma responsabilidade social dos designers quanto a conceber produtos conscientes, devido a que os processos de produção, planejamento, configuração de produtos, etc, orquestrados como atividades descoordenadas, trazem por momentos resultados negativos. Conseqüentemente devemos compreender a maneira de projetar respeitosamente, pois dela depende o futuro da indústria e da humanidade (LÖBACH, 2001).

Os designers devem lembrar do seu compromisso antes de criar um produto, alimentos, roupas, entre outros, especialmente quando envolver as necessidades básicas do ser humano. Na verdade, a responsabilidade do designer quando realiza suas criações nessas áreas é até mesmo de ir além, ou seja, implica também pensar nas razões que poluem o meio ambiente, entender como é feito o descarte dos refugos, fruto do processo produtivo, se vão poluir os rios, o ar, enfim... Antes ainda do descarte, se perguntar: meu produto provocará desmatamento, tirará o sustento de outras pessoas, as deslocará de suas moradias, etc? Os sistemas econômicos que conhecemos no planeta terra como o Capitalismo, Socialismo, ou Economias mistas, prezam pelos mesmos princípios: consumir mais; comprar mais, armazenar mais; gastar mais; eliminar mais, etc (PAPANEK, 1973). E o resultado deste processo são montanhas de lixo que aos poucos vão destruindo o planeta Terra. O problema? Terra só existe uma! Será que nosso planeta consegue suportar nossa maneira de viver?.

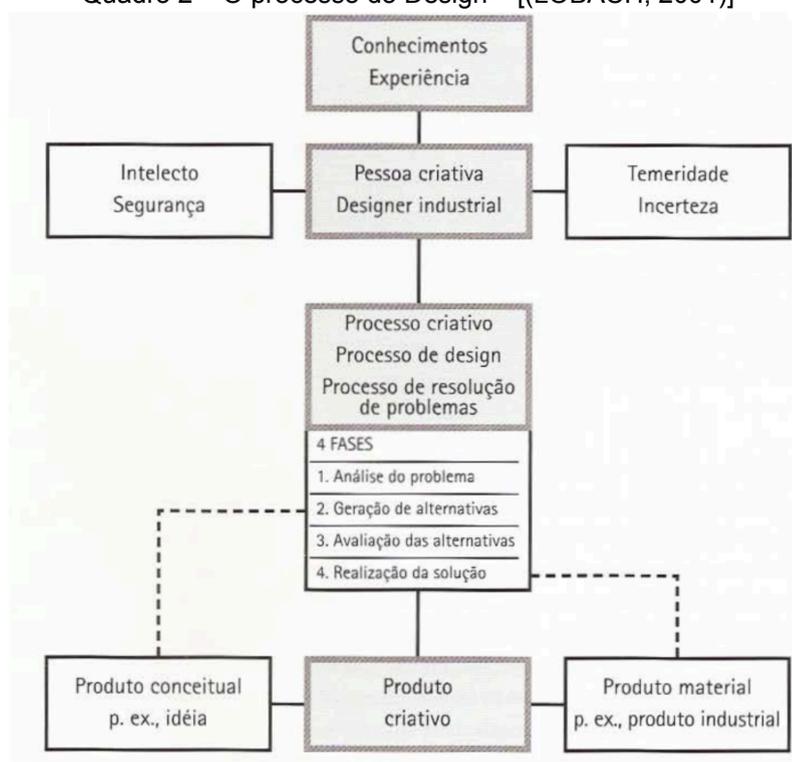
Por estas razões o projeto de pesquisa pretende se responsabilizar social e ambientalmente: Primeiramente mostrando que existe a possibilidade de estruturar modelos didáticos atrativos, que estimulem novas construções de conhecimento, ou

que sirvam como reforço de conhecimentos já adquiridos por elas, com o objetivo de ser um potencializador dos seus pensamentos e, como consequência, dar a elas mais ferramentas para um horizonte mais amplo; Também para reforçar que é possível usar a tecnologia de MA em benefício próprio sem ser uma ameaça ao meio ambiente, criando produtos com uma maior qualidade e durabilidade, além do fato destes modelos criados amanhã tornarem-se matéria prima para novos modelos.

2.2 Bernd Löbach - Industrial Design

Sempre espera-se que o designer produza soluções inovadoras em qualquer área que for empregado. Portanto, o designer pode ser considerado um gerador de ideias, compilando informações e apresentando respostas para as interrogações sugeridas. O designer se manifesta quando dentro do acumulado das suas experiências e conhecimentos é capaz de associar informações a interrogações e, assim, propor novas relações entre elas. Para entregar novas soluções, o designer deve ter conhecimentos de fatos ou problemáticas e capacidades dentro desse sistema abordado (LÖBACH, 2001).

Quadro 2 – O processo do Design – [(LÖBACH, 2001)]



Acompanhando o raciocínio de Löbach, o projeto se apoia no conhecimento prévio gerado do trabalho Geomynoes: Um jogo geométrico didático construído a partir de polietileno de alta densidade reciclado. Foi uma pesquisa que abriu o caminho para conhecer a matéria prima a ser utilizada (PEAD reciclado) e trabalhar um pouco com soluções em MA, além do uso de ferramentas de Modelagem Digital para a criação do produto desejado.

À diferença da produção de produtos em massa, na qual o comprador, cliente ou usuário,, não tem ideia de como aquele objeto foi produzido, e nem mesmo o trabalhador que participou do processo de construção, já que ele somente conhece uma parte do todo desse processo (LÖBACH, 2001), temos o real interesse de que o professor instrumentalize o processo de produção como um todo e possa transmitir esse passo a passo aos seus alunos (usuários), a fim de construírem esse novo conhecimento juntos e que isso possa desencadear em novas avalanches de ideias a serem materializadas.

Segundo Löbach (2001) existem várias categorias de objetos: Objetos Naturais; Objetos modificados da natureza; Objetos de Arte; e Objetos de Uso. Estes últimos, os de Uso, são a categoria que interessa a nosso projeto.

“Pode-se definir os objetos de uso como ideias materializadas com a finalidade de eliminar as tensões provocadas pelas necessidades. A eliminação das tensões ocorre durante o processo de uso, quando o usuário desfruta das funções do objeto. Considerando que o designer industrial participa ativamente da materialização de ideias que eliminam tensões, é essencial examinar atentamente esta categoria de objetos do ambiente. Produtos de uso constituem uma parte importante da estrutura econômica de uma sociedade. Os objetos de uso são um retrato das condições de uma sociedade. Nossos produtos de uso são produzidos maciçamente por meio de processos industriais para o consumo em massa. Daí resulta o comportamento do usuário ante o produto. Antes, os objetos de uso eram fabricados por processos manuais. A atitude do usuário frente aos produtos era diferente. As duas categorias, a da produção artesanal com a da produção industrial dos objetos de uso e o tipo de relações que se originam entre o usuário e os objetos [...]” (LÖBACH, 2001).

Nossa produção baseada nos conceitos de classificação de Löbach será artesanal, por ser destinada a um número pequeno de pessoas (usuários = alunos das turmas dos professores). A vantagem do artesão em relação à produção em massa é que ele tem por inteiro o controle do processo de produção e com uma produção pequena são atendidos valores pessoais tanto do produtor quanto do usuário. Porém, nesta maneira de produzir que será usada dentro do projeto de pesquisa, existe um quê de produção industrial, isto é, temos igualdade nos elementos

produzidos, devido ao fato do uso dos moldes nos possibilitar essa característica (LÖBACH, 2001). Com isto esperamos poder combinar boas soluções de ambas formas de produção, o artesanal e o industrial.

2.3 Pierre Rabardel Gênesis Instrumental

“Sob o ponto de vista do sistema, o sistema é composto pelo usuário, a tarefa e artefato. O artefato maximiza o funcionamento do sistema. O ponto de vista do sistema é controlado pelo designer ou pelo pesquisador. Sob o ponto de vista individual, o artefato muda a natureza da tarefa que o usuário encara. A opinião particular, é própria do usuário, a pessoa, ou sujeito” (NORMAN, 1991).

A Teoria da Gênesis Instrumental segundo (BITTAR, 2011), está baseada nos conceitos de esquemas inventados por Piaget e expandidos por Vergnaud (“Théorie des champs conceptuels : quelques étapes | Gérard Vergnaud”, [s.d.]). Com essa base, Rabardel concebe a teoria da instrumentalização (LECTURES, 1995).

“A teoria da instrumentação permite investigar a ação com instrumentos no campo social e no campo científico; ou seja, não se aplica somente à educação. Ao contrário, encontramos diversas aplicações em outros campos de trabalho.” (BITTAR, 2011)

A abordagem Instrumental precisa de dois elementos atuando em conjunto para atingir as metas propostas. Os esquemas que a pessoa cria para si na situação que enfrenta e os artefatos que usa para ultrapassar esses desafios são inerentes um ao outro. Portanto, para resolver os problemas enfrentados com os esquemas gerados e o artefato utilizado, os esquemas devem ser acessíveis ao artefato e vice-versa. Rabardel (2001) no artigo: *Instrument Mediated Activity in Situations*, trabalha com um caso interessante para propor a relação entre Instrumento e artefato: 4 motoristas de caminhão foram convidados para testarem uma caixa de marchas semi-automática que tinha como finalidade reduzir o consumo e aumentar a eficiência das viagens dentro de uma companhia transportadora. A grosso modo os designers projetaram uma caixa de marchas que indicava a marcha atual e qual seria a marcha ideal que o motorista deveria selecionar para aquele momento específico. O estudo tentou mexer o mínimo possível com as cabines dos caminhões para evitar criar distrações que atrapalhassem a maneira com que comumente os motoristas dirigem seus veículos. Então, mesmo sendo uma caixa

semi-automática, deixaram o pedal da embreagem para que o motorista simulasse a troca de marchas como faziam normalmente quando o caminhão era completamente manual. Durante o estudo aconteceu uma série de falhas no sistema que dificultou uma análise mais veraz, mas mesmo assim, o resultado mostrou que o maior erro veio do desenho do sistema. Este erro não foi previsto na relação entre o aparato e os esquemas mentais que os motoristas tinham criado para cada momento específico dentro das suas rotas, que melhoram o funcionamento do caminhão otimizando seu rendimento, criando novos esquemas e, como consequência, instrumentalizando uma nova maneira de dirigir, mais econômica e eficaz.

Em resumo, o aparato foi desenhado para interagir com a relação perfeita de eficácia no vínculo do motor e caixa de marchas, mas não contemplou a relação entre o motorista e seu conhecimento dos caminhos e as características pontuais de cada etapa do trajeto e o que ele como sujeito, que controla o caminhão, visualizava como obstáculos a frente. Exemplo disto são descidas íngremes onde o sistema pedia para o motorista aumentar a relação da marcha e ele colocava uma marcha inferior para usar o freio a motor e descer com segurança a colina; outro caso era quando o caminhão transitava em retas longas, e o sistema novamente pedia para subir a relação das marchas, mas ele não tinha como enxergar que à frente vinha uma curva fechada.

Os exemplos mostrados anteriormente provocaram uma releitura do sistema, onde ele somente seria utilizado em situações específicas denominadas “classes de situações”. Sendo assim, os motoristas incorporaram o sistema e começaram a interiorizar novos esquemas mentais para se apropriarem de novas maneiras de direção nessas “classes de situações” e, assim, criou-se o processo natural de assimilação de esquemas que passa, neste caso específico, pela maneira de dirigir atual, posteriormente entendendo e assimilando uma nova maneira com o auxílio do sistema de troca de marchas e, finalmente, criando um esquema totalmente novo no qual velho e novo se aliam em uma terceira e inédita forma de direção (RABARDEL, 2001).

Entendendo a base teórica da Gênese Instrumental com o exemplo elencado anteriormente, o presente trabalho tem como intenção fazer do uso do software Rhino3D e da tecnologia de MA, instrumentos nas mãos dos professores para potencializar suas capacidades de criação de modelos didáticos, ampliar o leque de

conhecimentos de ferramentas e possibilidades produtivas, a fim de que possam gerar produtos didáticos capazes de instigar um maior interesse dos seus alunos pelas disciplinas nas quais forem implementados, além de levantar provocações para que estes últimos sejam desafiados a ultrapassar seus limites criativos.

3 Metodologia do projeto

Foi estruturado um quadro metodológico que condensa de maneira sucinta as estratégias metodológicas que vêm sendo utilizadas, e que serão usadas ao longo desta pesquisa. Após a apresentação do quadro, serão esmiuçados cada um dos itens para melhor compreensão.

Tabela 1 - Estratégias Metodológicas - [imagem do Autor]

Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Etapas Metodológicas	Técnica	
<p>Selecionar dentre vários materiais a serem usados no processo de MA os de melhor funcionalidade para produzir moldes para a injeção de plástico PEAD reciclado. E, ASSIM, INTENCIONALMENTE PROJETAR UM SISTEMA DEMOCRÁTICO para a confecção de modelos didáticos econômicos, duradouros, ecologicamente corretos e replicáveis</p>	<p>1. Analisar a Escolha da Matéria Prima: PEAD reciclado.</p>	<p>1.1 Revisão da Literatura Delinear da área da pesquisa, criando strings de busca que me permitam investigar dentro das Bases de Dados a informação adequada à minha pesquisa.</p>	<p>Documentação Indireta / Pesquisa Bibliográfica / fontes primárias e secundárias.</p> <p>RBS (Revisão Bibliográfica Sistemática) com o auxílio do método PRISMA.</p>	
		<p>1.2 Com o auxílio de strings de busca específicas, explicitar racionalmente dentre os vários termoplásticos o motivo que faz do PEAD a escolha certa.</p>	<p>Documentação Indireta / Pesquisa Bibliográfica / fontes primárias e secundárias.</p> <p>RBS (Revisão Bibliográfica Sistemática) com o auxílio do método PRISMA. Usando um sistema comparativo para explicitar a escolha do material.</p>	
	<p>2. Desenvolver de maneira descritiva a técnica de Modelagem e impressão 3D, além de propor os ajustes necessários nos modelos desenvolvidos decorrentes do processo projetivo.</p>	<p>2.1 Modelar, mediante ferramentas (softwares de modelagem 3D) específicas selecionadas os protótipos de moldes para posterior materialização.</p>	<p>Documentação Indireta / Pesquisa Bibliográfica / fontes primárias e secundárias.</p> <p>Realizar uma análise comparativa de diversos softwares de modelagem para a posterior seleção do ideal (Rhino3D) para a pesquisa. Explicitar passo a passo o processo de modelagem 3D, e criar noções básicas do processo de construção dos modelos 3D, para que o leitor da pesquisa, interessado, possa futuramente replicar o método.</p>	
			<p>2.2 Explicitar a escolha dos softwares fatiadores,</p>	<p>Documentação Indireta / Pesquisa Bibliográfica /</p>

		e a sua utilização para o processo de intermediação entre a modelagem e a impressão 3D.	fontes primárias e secundárias. Realizar uma análise comparativa dos softwares para impressão 3D (fatiadores), a fim de mostrar o porquê da seleção do CURA, CHITUBOX, e VOXELIZER, como softwares necessários para a impressão. Explicar o processo de fatiamento passo a passo, com a finalidade de produzir uma pesquisa replicável.
		2.3 Realizar os ajustes, ou adequações pertinentes nos modelos criados.	Novamente com o auxílio do software Rnino3D para a modelagem e dos softwares CURA, CHITUBOX, para realizar o fatiamento, implementar melhorias nos moldes para aprimorar seu funcionamento.
3. Avaliar os resultados com a finalidade de entender se o modelo proposto é viável ou não.		3.1 Testar e Analisar o processo da injeção junto aos alunos do curso em Expressão Gráfica da UFPE.	Pesquisa de Campo / Qualitativo-exploratória / Documentação Direta injetar junto com os estudantes, para ver as interrogantes e opiniões que possam surgir.
		3.2 Analisar as interrogantes e opiniões que surgirem por parte dos estudantes da LEG da UFPE na prática de injeção.	Pesquisa de Campo / Qualitativo-exploratória / Documentação Direta Realizar um questionário com os estudantes participantes..
		3.3 Apresentar os resultados da viabilidade ou inviabilidade do projeto.	Pesquisa de Campo / Qualitativo-exploratória / Documentação Direta Entregar as conclusões do resultado da pesquisa.

A pesquisa desenvolvida no presente trabalho é uma pesquisa de cunho qualitativo exploratória que utiliza o Método Dedutivo, partindo do geral ao particular na investigação e coleta das informações. O projeto de pesquisa se auxiliou por uma RBS (Revisão Bibliográfica Sistemática), ou seja, um Método Bibliográfico de

pesquisa, no qual foram criadas quatro Strings de busca, atreladas às palavras chave do projeto com o intuito de afunilar e objetivar a pesquisa o máximo possível. Posteriormente foi realizada uma filtragem, usando o Método do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), o qual foi levado até o final, mas pulando a etapa 3, que é a etapa de Revisão por Pares.

No final, o resultado da RBS e o Método do PRISMA entregou a bibliografia a ser usada como arcabouço teórico-prático do projeto. Já para escrever o projeto de pesquisa foi usada a ferramenta Google Docs junto com o software Zotero (“Zotero | Your personal research assistant”, [s.d.]), chamado de assistente de pesquisa pessoal e seu *Plug-in* integrado para Google Docs, que é uma ferramenta que facilita as citações e a organização da bibliografia, poupando tempo com esse oneroso serviço.

Foi aplicado um recorte espacial e material: O primeiro para assistir o corpus da pesquisa, devido ao fato de que a exploração de campo foi realizada na UFPE *campus* Recife, dentro do Centro de Artes e Comunicação com alunos da Licenciatura em Expressão Gráfica; e o segundo por fazer uso dos equipamentos do laboratório GREA3D e do laboratório Plástico Precioso que fazem parte do departamento de Expressão Gráfica da UFPE.

A pesquisa está inserida em um contexto social e ambiental. Social por ser um projeto de pesquisa que tem como um dos seus elementos participativos alunos da Licenciatura em Expressão Gráfica da UFPE *campus* Recife. Serão realizados testes de injeção com estes alunos e, originalmente, seria aplicado um questionário da ferramenta *Google Forms*, que consiste em um questionário desenhado em conjunto com o orientador e coorientadora, mas depois de uma análise mais aprofundada, por sugestão do orientador, realizamos uma entrevista presencial semi-informal, uma vez que seriam unicamente dois alunos a participarem dos testes de injeção juntamente com uma professora do curso.

Com isto, os resultados seriam mais naturais e ricos quanto à possibilidade de respostas. As entrevistas compostas por 8 perguntas norteadoras seriam gravadas com o gravador de voz de um celular e transcritas para texto, mediante a ferramenta transcritora do software Word e, por último, revisadas novamente para corrigir erros de transcrição. A intenção aqui foi provocar os estudantes do curso de Expressão Gráfica para descobrirem que existem outras maneiras de materializar modelos

didáticos à base de PEAD reciclado que sejam duradouros, replicáveis, com valor sócio-ambiental e que beneficiam em maior grau a construção do conhecimento.

Já o fator ambiental se deve ao fato de que parte da pesquisa se propõe a trabalhar com material reciclado, especificamente PEAD reciclado, cuja ideia por trás do trabalho com este material é tentar tirar do meio ambiente um pouco do material que seria eliminado diretamente nele, afetando-o e, automaticamente, prejudicando nossa estância no mesmo e, por consequência, também a das futuras gerações. Se como seres humanos, e também como pesquisadores do campo do Design, podemos ajudar a despoluir o planeta, sempre será importante nosso aporte, por mínimo que seja.

Criar um caminho paralelo para o reuso dos materiais diferente do que originalmente tinha sido concebido, é fazer um processo projetual circular alternativo. A escolha do PEAD reciclado como material de trabalho se deve ao fato de que no Brasil é o segundo material usado na produção de produtos plásticos, unicamente perdendo para o PET. Em contrapartida, ele pede uma tecnologia menos sofisticada para sua reutilização, enquanto o PET tem sua cadeia de reciclagem resolvida de uma maneira muito mais ampla e estruturada em relação ao PEAD.

Adicionalmente, escolhemos o PEAD porque ele é a matéria prima básica de trabalho do Laboratório do Plástico Precioso dentro da universidade, o que viabiliza, naturalmente, a realização dos testes. Então, é por estas razões e sob vários aspectos que trabalhar com o PEAD pareceu a escolha mais sensata a se fazer.

4 O Molde

Nós, seres humanos, usamos moldes para fabricação de peças desde que tivemos domínio dos metais, especificamente o Bronze. A era do Bronze aconteceu entre os anos 4000 a 1500 a.C. e era nessa época que precisavam ser feitas armas como espadas, capacetes, martelos, escudos etc. (“Bronze. Características e utilizações do Bronze”, [s.d.]), já que os exércitos eram numerosos, então fabricar o mesmo elemento mais de uma vez de maneira artesanal sempre implicava em um tempo maior de produção. Somado a isto, mencionamos a dificuldade de replicar o modelo anterior, logo, fica mais evidente se o comparamos com o que hoje conhecemos como produção em série. Mas os exércitos não eram os únicos a fazer uso de moldes para a criação de produtos, a nobreza também fazia uso dos mesmos artifícios, embora com uma finalidade distinta, neste caso a estética. Um exemplo disto são as cabeças de bronze dos Acádios, que datam de 3000 a.C (BAGLEY, 1990).

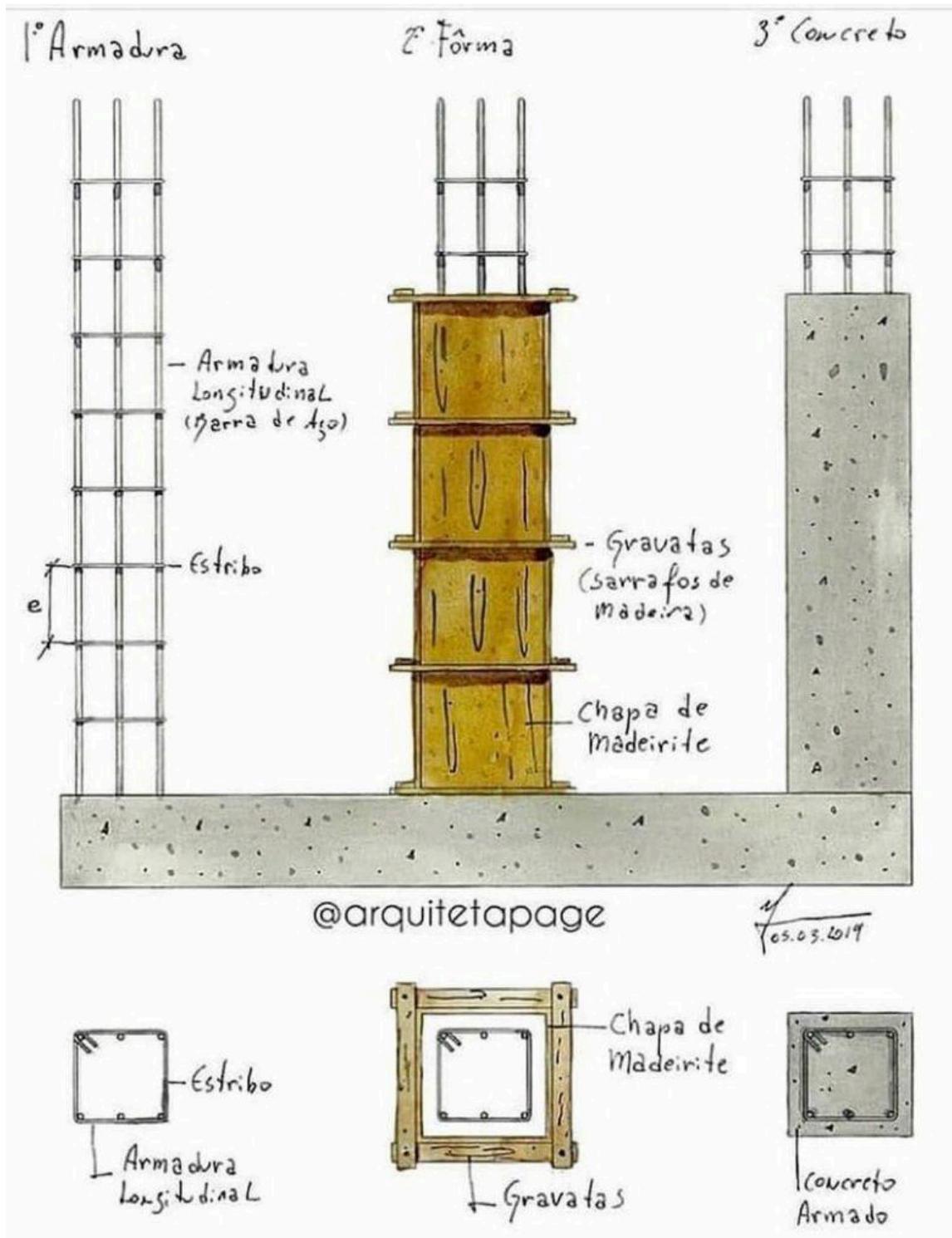
Figura 3 – Cabeça de Sargão Acádio – [imagem de Wikimedia Commons]



Atualmente, existem métodos variados que utilizam moldes dentro do seu processo produtivo, alguns dos quais serão mostrados a seguir.

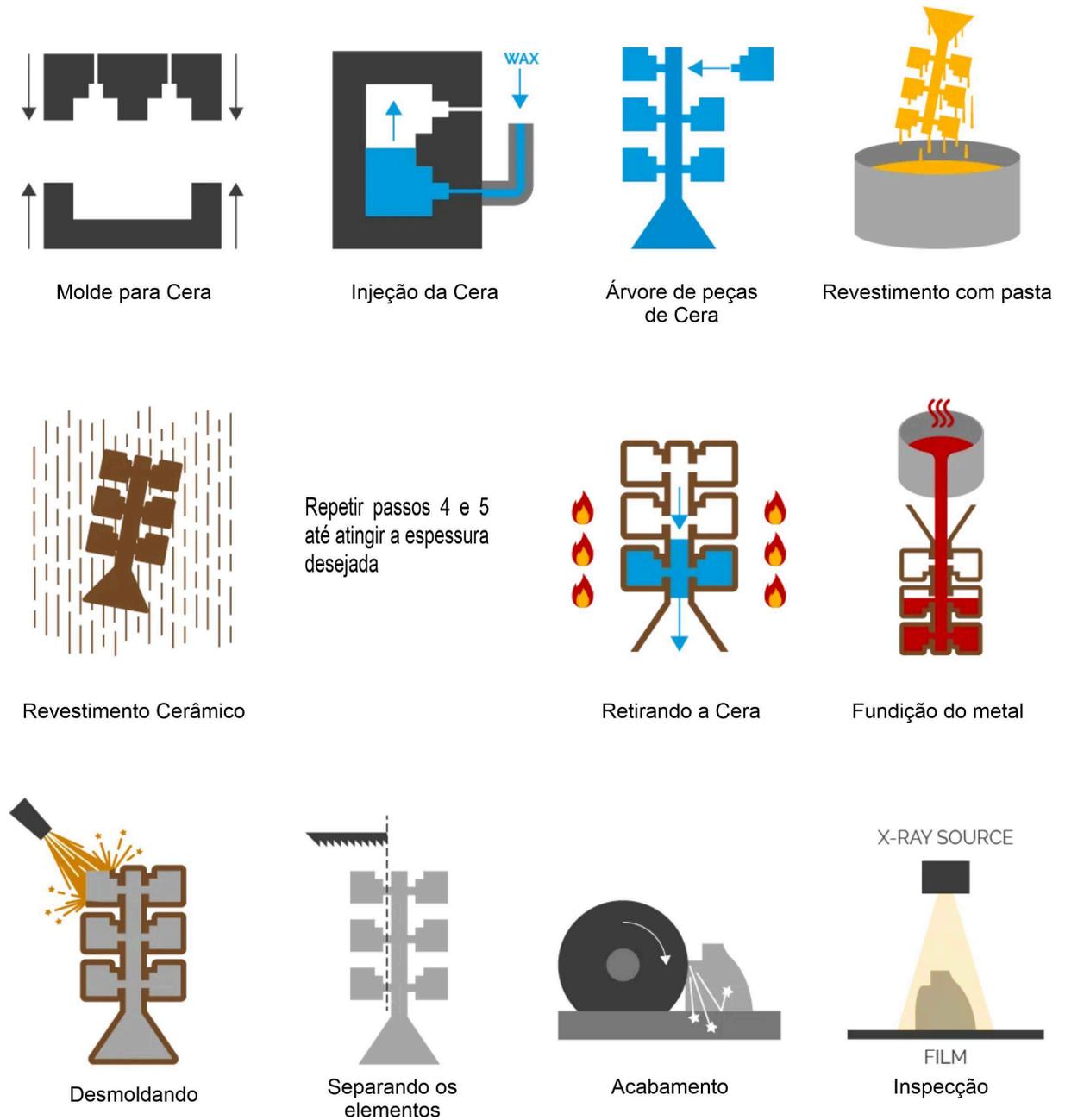
Na construção de casas ou prédios, os elementos feitos de concreto armado são concebidos usando moldes.

Figura 4 – Moldes para concreto – [imagem de - Pilares de concreto]



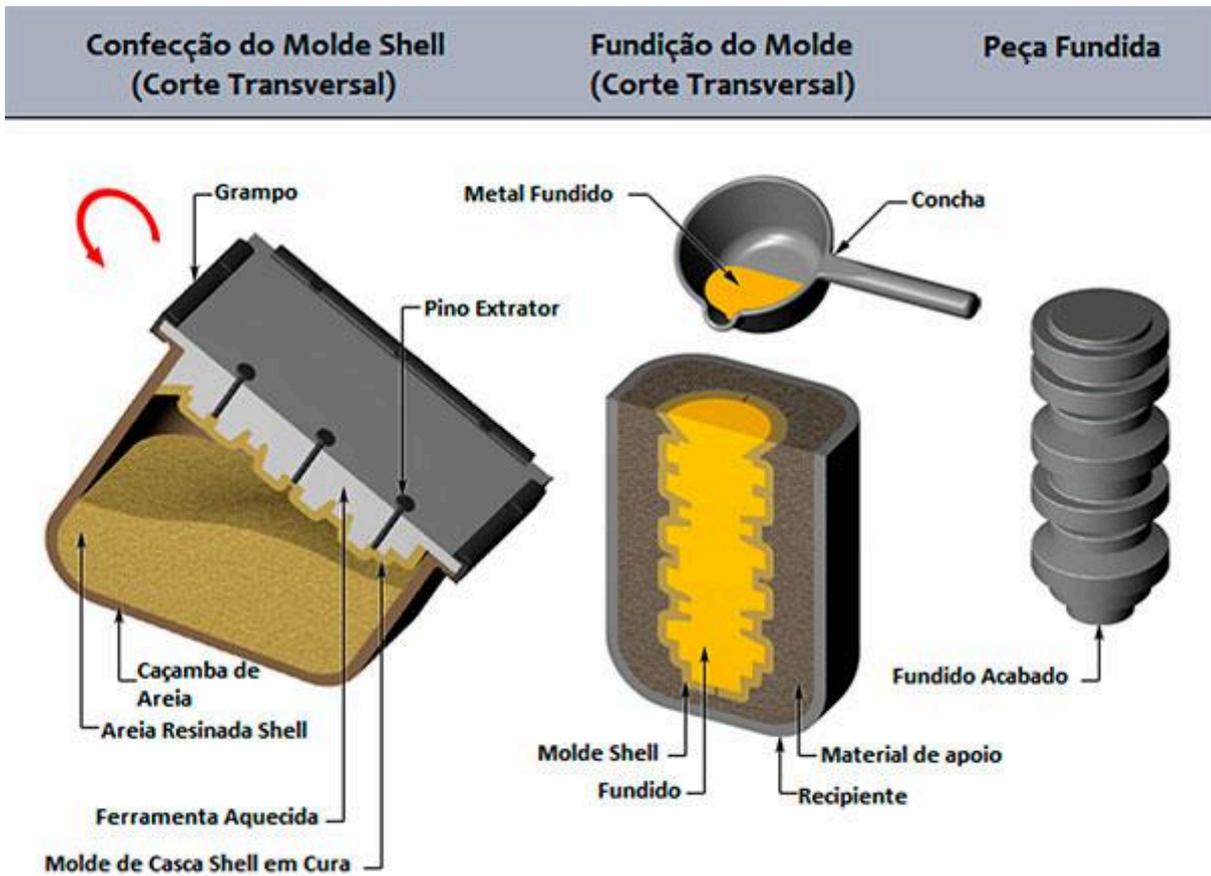
Na produção de joias em diversos tipos de metais.

Figura 5 – Moldes joalheria – [imagem de - Investment Casting Process Steps and Flow Chart]



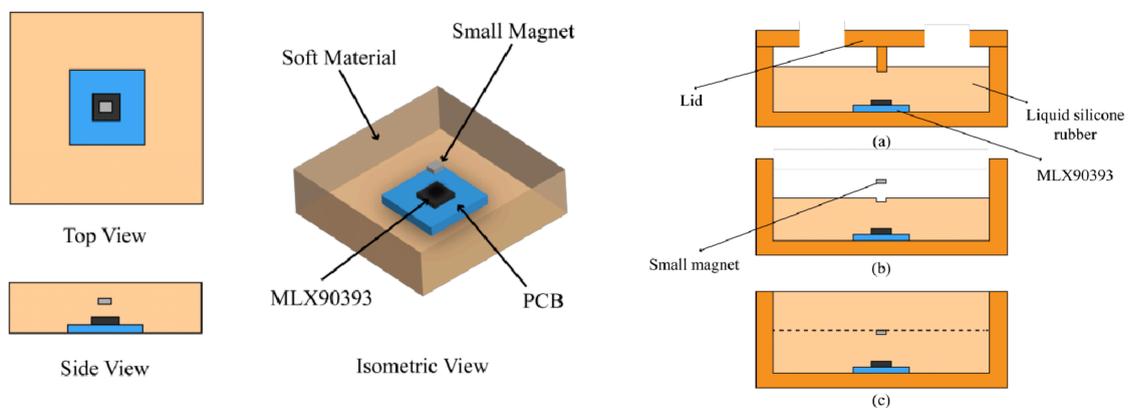
Dentro da produção industrial são usados moldes de areia para diversas peças e equipamentos feitos de fundição de metais.

Figura 6 – Moldes para peças industriais – [imagem de - (FREMAR, [s.d.]])



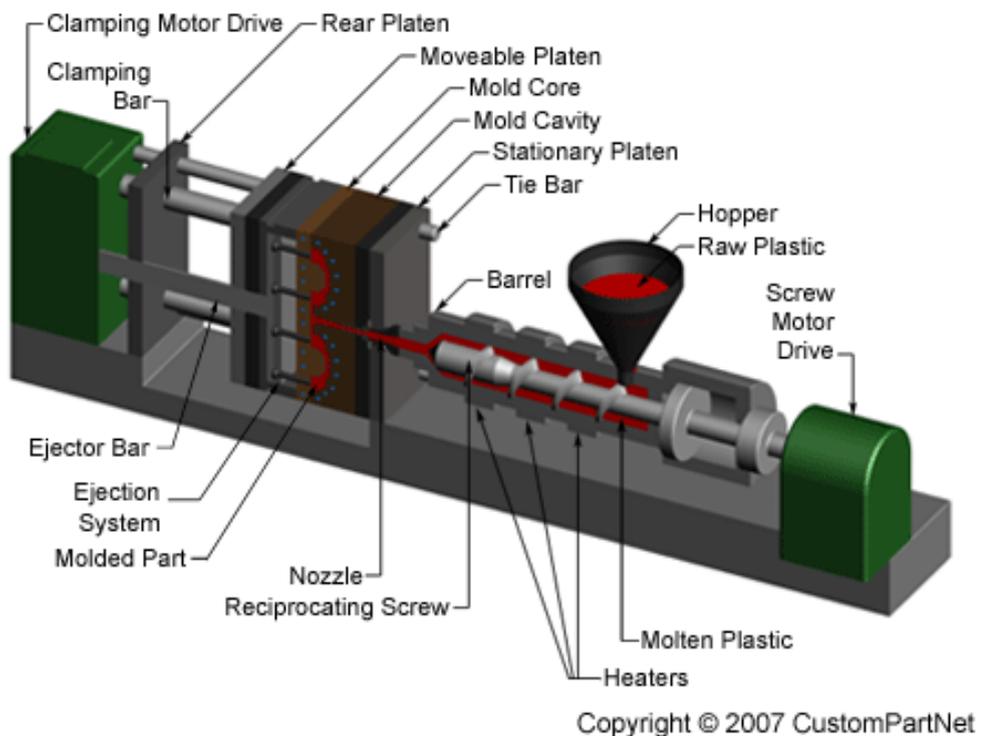
Existem moldes chamados de matriz macia, feitos com silicone, isto facilita a desmoldagem do produto.

Figura 7 – Moldes de matriz macia – [imagem de - Liquid silicone rubber]



Por último, os moldes de injeção de plástico, que são os moldes que usam o mesmo princípio de produção que será aplicado nesta pesquisa. Estes moldes utilizados na indústria são comumente feitos de vários tipos de aços e de alumínio, assim como algumas ligas metálicas. O inconveniente desta tecnologia é o alto custo para se criar uma matriz. Por esta razão, este projeto de pesquisa tratará de utilizar um material econômico para produzir resultados aproximados aos da indústria.

Figura 8 – Injeção de termoplásticos – [imagem de - Injection Molding Process, Defects, Plastic]



Existem outros processos que usam moldes para a fabricação de produtos, mas, a pesquisa não trata da quantidade de possibilidades no uso dos moldes, e sim do uso específico de um processo de produção mediado por moldes (especificamente de injeção de termoplásticos). Os outros métodos citados foram unicamente para situar o leitor dentro do campo de abordagem da pesquisa.

Falando ainda no tema da injeção de termoplásticos, usar MA para criar um molde que possa injetá-los não é um processo novo, já que a empresa pioneira na tecnologia de impressão 3D, a Stratasys (“Reduce Injection Molding Cost and Lead Time with PolyJet 3D Printing”, [s.d.]) tem dentro do seu leque de produtos um,

chamado PolyJet, que auxilia na criação de moldes para reduzir os custos de matrizes metálicas ainda no processo de prototipagem, ou seja, para tiragens pequenas de produtos usados como testes. Também existe o trabalho de Carillo (2020) que foi um projeto que utilizou moldes feitos com MA para a injeção de termoplásticos com injetoras de sopro para a produção de garrafas. O que este trabalho tenta acrescentar é dar a injeção de termoplásticos usando a MA uma orientação no âmbito educativo, além de inserir no projeto a tecnologia de arrefecimento por canais de resfriamento, que é algo visto unicamente em moldes metálicos. Como atestado nos trabalhos de Gao et al. (2023), Çalışkan et al. (2023), Kirchheim et al. (2021) e Moritz et al. (2022) usar sistemas de arrefecimento em moldes de injeção de termoplásticos melhora o desempenho dos mesmos e aumenta sua vida útil.

Tabela 3 - A escolha do tipo de tecnologia de moldes - [imagem do Autor]

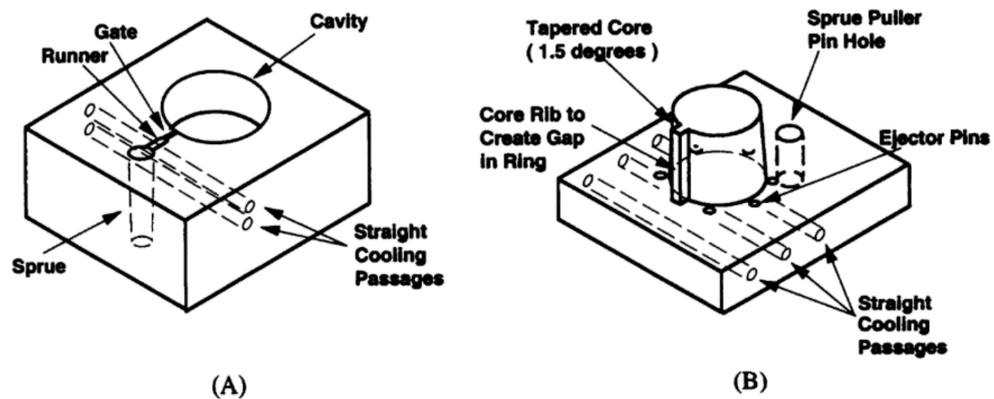
Molde	Processo Democrático	Tecnologia Digital	Materiais Reciclados	Materiais Democráticos
Tipo de tecnologia para utilização dos moldes.	Que seja um processo de fabricação econômico.	Uso da impressão e modelagem 3D para a fabricação.	Uso de materiais reciclados para o produto final.	Materiais econômicos para a produção final
CERA PERDIDA	X	OK	OK	X
FUNDIÇÃO	OK	OK	OK	X
NÃO RÍGIDOS DE SILICONE	OK	OK	X	OK
INJEÇÃO	OK	OK	OK	OK

4.1 O propósito

Os moldes de injeção de termoplásticos têm na sua constituição um elemento fundamental, que é o **sistema de arrefecimento**. Trabalhar com moldes metálicos como na indústria tem suas vantagens e desvantagens. Na ordem citada, a vantagem é que produz mercadorias com uma qualidade de detalhe muito apurada e, em contrapartida, a desvantagem é que não existe até hoje um método que permita criar um sistema de canais de resfriamento que não sejam retos, pois o

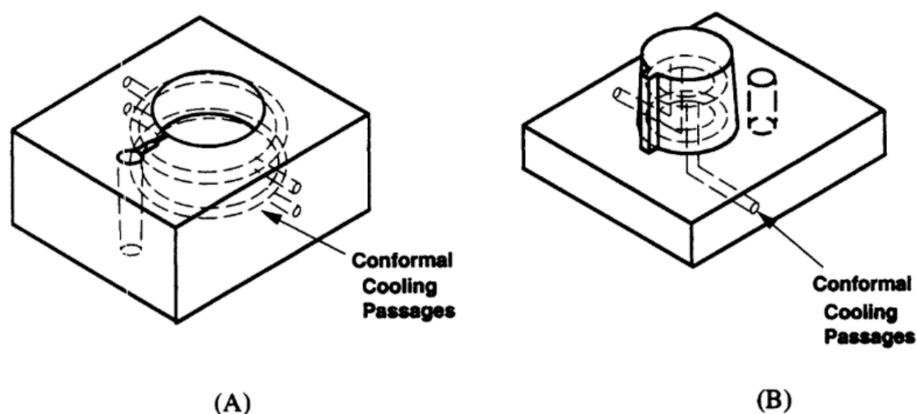
ferramental para sua construção (fresas e brocas) trabalham unicamente dessa maneira. Um exemplo disso aparece na figura a seguir, na qual os canais de resfriamento são elementos meramente ortogonais (ver figura 9).

Figura 9 – Canais de resfriamento em molde metálico – [imagem de - (SACHS et al., 2000)]



A MA veio para melhorar ao permitir um desenho do sistema de arrefecimento muito mais orgânico, podendo acompanhar mais de perto a forma do elemento a ser construído, e assim poder resfriar ele de maneira mais eficiente. Independentemente do material que será usado na construção do molde, aplicando a tecnologia de MA, o desenho do sistema de resfriamento é aperfeiçoado, como mostra a figura 10.

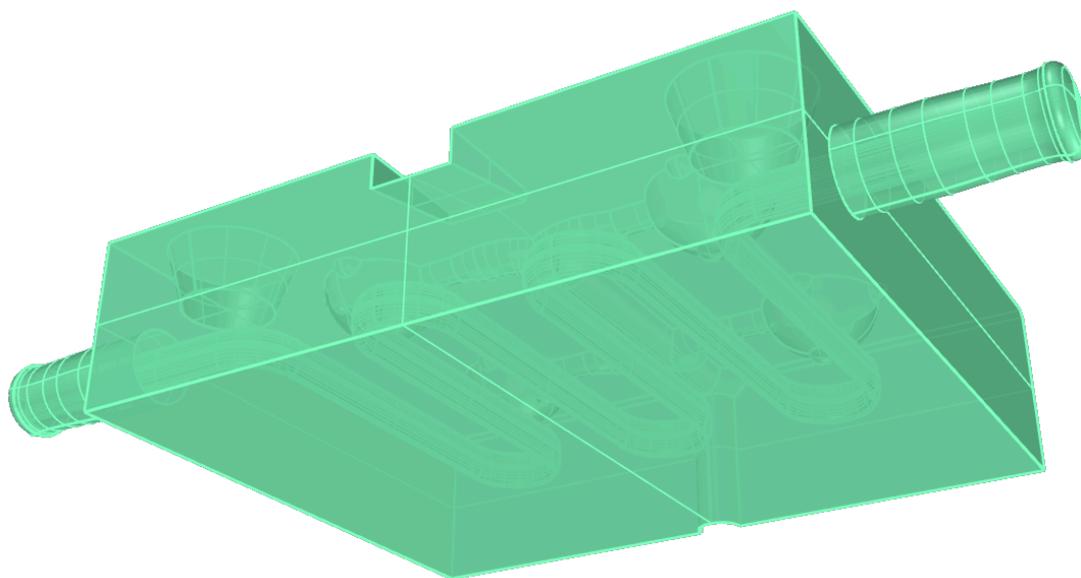
Figura 10 – Canais de resfriamento molde com MA – [imagem de - (SACHS et al., 2000)]



Na construção dos moldes do projeto foi escolhido um sistema de arrefecimento de serpentina, mas tal sistema pode mudar dependendo do elemento a ser injetado. O sistema de resfriamento de serpentina seria impossível de construir na maneira tradicional de criar moldes metálicos. No seu trabalho Çalişkan et al.(2023), explicam

que quanto mais perto os canais de resfriamento passarem da peça injetada melhor será o funcionamento do molde. No método tradicional de fabricação de moldes existem limitações para isto acontecer. Usando a MA se consegue essa solução melhorada.

Figura 11 – Sistema de arrefecimento de serpentina – [imagem do autor]



5 O Material: PEAD reciclado

De acordo com a Social Media Icons (2022):

“Os 7 tipos de plásticos: Nem todo plástico nasce igual. Na verdade, o plástico não só pode ser encontrado em uma variedade de formas e cores diferentes, mas também em diversas estruturas. Cada um difere do outro e têm usos distintos. Por exemplo, alguns tipos de plástico são reutilizáveis e outros não, devido aos produtos químicos que contêm; alguns podem ser reciclados e outros precisam ser descartados de maneira diferente.

POR QUE EXISTEM DIFERENTES TIPOS DE PLÁSTICOS?
Em 1988, a sociedade da Indústria de Plásticos introduziu o sistema de Código de Identificação de Resinas (RIC), que dividia as resinas plásticas em 7 categorias diferentes.

O objetivo era fornecer um sistema nacional consistente para facilitar a reciclagem de plásticos pós-consumo. Desde então, após sofrer algumas variações, o RIC foi reconhecido como a classificação de plástico padrão mundial.

OS DIFERENTES TIPOS DE PLÁSTICO

1 – PET

Os plásticos que pertencem ao grupo número um são feitos de Tereftalato de Polietileno ou PET. Ele ocupa o primeiro lugar devido à sua ampla utilidade. É usado principalmente para embalagens de alimentos e bebidas devido à sua forte capacidade de impedir que o oxigênio entre em contato com o produto.

Geralmente, é obtido por meio da maioria dos programas de reciclagem de rua e tem um histórico extremamente positivo. Na verdade, as garrafas de PET são o plástico mais reciclado do mundo.

2 - PEAD

Nome técnico - Polietileno de Alta Densidade é uma resina incrivelmente resistente usada para sacolas de supermercado, frascos de leite, lixeiras, gaiolas agrícolas, mas também brinquedos de playground, tampas, frascos de shampoo, entre outros. Por ser feito com longas cadeias de polímero não ramificadas, é muito mais forte e mais espesso que o PET. Além disso, é relativamente duro e resistente a impactos e pode ser submetido a temperaturas de até 120 °C sem ser afetado. Quanto ao descarte, o PEAD é aceito na maioria dos centros de reciclagem do mundo, por ser um dos polímeros plásticos mais fáceis de reciclar.

3 - PVC

O Policloreto de Vinila é o terceiro polímero plástico sintético mais produzido no mundo. Ele vem em duas formas básicas: rígido e flexível. Em sua forma rígida, o PVC é amplamente utilizado na indústria da construção civil para produzir perfis e tubos (potável e esgoto). Quando misturado com outras substâncias, pode ser feito mais macio e mais flexível e aplicado ao encanamento, fiação, isolamento e cabos elétricos.

Graças às suas propriedades versáteis, como leveza, durabilidade e facilidade de processamento, o PVC agora está substituindo materiais de construção tradicionais como madeira, metal, concreto, borracha, cerâmica, etc. Em várias aplicações.

Apesar das inúmeras vantagens e dos esforços da indústria do plástico para aumentar sua reutilização, o PVC ainda é dificilmente reciclável.

4 - PEBD

Ao contrário do PEAD, o PEBD (Polietileno de Baixa Densidade) é caracterizado por moléculas de baixa densidade, conferindo a essa resina um design mais fino e flexível. Possui a estrutura mais simples de todos os plásticos, tornando sua produção fácil e barata. Usado em sacos plásticos, anéis de embalagem, frascos dispensadores e, principalmente, para embalagens plásticas flexíveis.

5 - PP

O polipropileno é o segundo plástico commodities mais produzido e seu mercado deve crescer ainda mais nos próximos anos. Duro e robusto, resiste a altas temperaturas e é encontrado em utilidades domésticas, peças automotivas, coletes térmicos, potes de laticínios e até fraldas descartáveis. Curiosidade: por ser MUITO resistente à fadiga, o PP costuma ser usado para dobradiças vivas (o pedaço fino de plástico que permite que uma parte de um produto dobre de 1 a 180 graus).

6 - PS

O poliestireno é o sexto tipo de plástico da lista e pode ser sólido ou espumado. É uma resina muito barata por peso unitário e fácil de criar, por isso pode ser encontrada em todos os lugares: de copos para bebidas, isolamento, materiais de embalagem, até caixas de ovos e louças descartáveis. Talvez mais conhecido por seu nome comercial, isopor é altamente inflamável e perigoso, pois pode lixiviar produtos químicos nocivos, especialmente quando aquecido.

Em termos ambientais, está entre os tipos de plástico mais complexos: primeiro, é considerado não biodegradável. Em segundo lugar, a espuma de poliestireno é leve e voa com o vento e flutua na água, devido à sua baixa gravidade específica. Os animais não o reconhecem como artificial e podem confundir-lo com alimentos que causam graves efeitos na saúde das aves ou animais marinhos que o possam engolir.

7 - OUTRO PLÁSTICO

Se o plástico não puder ser identificado nos seis tipos acima mencionados, ele será incluído no grupo número 7. Os plásticos mais conhecidos desse grupo são os policarbonatos (PC) usados para construir produtos fortes e resistentes. Os policarbonatos são comumente usados para proteção dos olhos, na criação de lentes para óculos de sol, esportes e óculos de segurança. Mas também podem ser encontrados em celulares e nos praticamente extintos compact-discs (CD).

Nos últimos anos, o uso dessas resinas tem sido polêmico: a base dessa polêmica é sua lixiviação que, ocorrendo em altas temperaturas, libera o bisfenol A, composto que está na lista de potenciais produtos químicos perigosos para o meio ambiente. Além disso, a decomposição do BPA em aterros sanitários não ocorre, o que significa que este produto químico será persistente no solo e acabará por entrar nos corpos d'água, contribuindo para a poluição aquática. Além disso, o plástico número 7 é raramente reciclado”.

Figura 12 – Classificação da reciclagem dos plásticos – [imagem de Social Media Icons]

						
PET	PEAD	PVC	PEBD	PP	PS	OUTROS
Polietileno Tereftalato	Polietileno de Alta Densidade	Policloreto de Vinila	Polietileno de Baixa Densidade	Polipropileno	Poliestireno	Outros
GARRAFAS DE ÁGUA; FRASCOS	FRASCOS DE SHAMPOO; FRASCOS EM GERAL	MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL	SACOLAS E EMBALAGENS FLEXÍVEIS	EMBALAGENS E UTILIDADES DOMÉSTICAS	EMBALAGENS EM GERAL; PEÇAS TÉCNICAS	PEÇAS TÉCNICAS; PLÁSTICOS INDUSTRIAIS
						

Em 2021, 5% ou menos dos resíduos plásticos domiciliares foram reciclados nos EUA (“Circular Claims Fall Flat Again - Greenpeace USA”, 2022). Como um lembrete, estamos falando dos EUA, a maior potência do século XX e uma das maiores do século XXI, então o que esperar de outras nações que tenham o mesmo desinteresse pela reciclagem e que carecem de recursos econômicos? É por esta razão que há a obrigação de aporte, por menor que seja, para diminuir a quantidade de plástico que vai direto para a natureza e causa prejuízos diretos a ela e a nós mesmos.- Sendo assim, então, o que se propõe aqui é desenvolver uma ferramenta que permita criar modelos didáticos para que novas gerações possam se beneficiar disso construindo conhecimento.

A escolha do material obedece principalmente às seguintes razões: a experiência vivenciada dentro de uma oficina de fabricação de botões em PEAD reciclado injetados em moldes acrílicos, onde foi percebida a facilidade de reintrodução do material no ciclo de produção de novos produtos (sejam eles quais forem);

Figura 13 – Botões injetados em PEAD reciclado – [imagem do autor]



Em nosso artigo “PLASTICO PRECIOSO: Prototipagem rápida e reciclagem de resíduos de manufatura aditiva”, apresentado no 7º Simpósio de Design Sustentável em 2019, explicamos por que o PEAD e não o Polietileno tereftalato (PET). Considerando a ampla categoria de plásticos recicláveis, o PET é o mais recorrente e o que tem maior descarte, portanto, a sua utilização como insumo é simples, mas existem limitações quanto à sua reutilização, a exemplo da temperatura de fusão (quando uma substância passa do estado sólido para o líquido), em que a do PET (260° C) é maior do que o PEAD (135° C). Isso cria um entrave, uma vez que a sua transformação de elemento original (garrafa de refrigerante e/ ou água mineral) para um elemento final (projeto idealizado) requer a utilização de um maquinário de maior complexidade e alto custo e, em contraposição ao PEAD, o processo deste pode ser feito com máquinas mais simples, para a injeção de plástico, e materiais de baixo custo, para a confecção dos moldes (plástico impresso em 3D e chapa de plástico para posterior usinagem), diminuindo, assim, os custos e os tempos de fabricação.

A título de análise, um estudo feito pela MaxiQuim para o Plano ao Incentivo da Cadeia do Plástico (PICPlast) entregou os seguintes dados:

O volume total de resíduos plásticos pós-consumo reciclados de forma mecânica foi de 757 mil toneladas em 2018. Comparado ao último estudo (2016), em que o volume atingiu 550 mil toneladas, houve um aumento de 37% na quantidade de plástico reciclado. Das 757 mil toneladas recicladas, 328 mil toneladas (43,3%) foram transformadas em PET, 18% transformadas em PEAD, 17% em PEBD/PELBD, e 15% em PP (“Dados sobre o trabalho de reciclagem de plástico no Brasil”, 2021).

A análise dos dados anteriores afunilaram as opções para realizar a escolha entre dois materiais, o PET e o PEAD, e a inclinação a favor do PEAD.

Tabela 4 – Escolha do material reciclado a ser usado - [imagem do autor]

Características de análise	PEAD	PET
Projeto de Design circular menos abrangente	X	
% das Toneladas de material reciclado em 2018	18%	43,3%
Temperatura de fusão aproximada	135°	260°

Agora vamos explicar como foi feita a seleção do material PEAD reciclado em base aos dados citados de maneira abrangente no decorrer do capítulo, e resumidos na tabela anterior. A escolha se baseia nos seguintes pontos específicos: o PET é um material mais amplamente utilizado e sua cadeia circular encontra-se mais completa. O PET é reciclado e transformado em novos produtos que nada tem a ver com o produto do qual derivaram (exemplo: uma garrafa se transforma em uma camiseta), no caso do PEAD, a reciclagem repete mais o ciclo original do qual nasceu (foi embalagem, vira novamente embalagem). Neste sentido quero dar um novo destino ao PEAD, um uso diferente para o qual ele foi concebido no passo de reciclagem anterior, pelo menos uma vez, isto por que, uma vez reciclado para produzir um modelo didático, pode novamente ser reciclado para gerar um novo modelo didático.

O PEAD é o segundo material mais reciclado no Brasil, segundo os dados apresentados, e com um ciclo circular mais reduzido em comparação ao PET, tem maior possibilidade hoje de criar novos caminhos no seu processo para virar novo produto a partir do original.

Para finalizar, o seu ponto aproximado de fusão é mais baixo quando comparado com o PET. Como resultado, requer de maquinário muito menos sofisticado para seu reprocessamento, o que se traduz também em equipamentos mais baratos para sua reciclagem.

Aqui podem se perguntar... “e por que não usar termofixos, como resinas epóxi ou poliéster se no final eles podem ser moldados com moldes de silicone que requerem um processo muito mais simples? Além do mais, eles são relativamente mais baratos de se conseguir”. O problema não radica na facilidade de criação do molde, e sim no ponto de que por serem termofixos eles não podem ser reciclados com os processos normais, baratos, e relativamente simples como os que os termoplásticos usam. Vale lembrar que um dos pilares do projeto de pesquisa é trabalhar com material reciclado.

6 A Modelagem 3D

A escolha da ferramenta de modelagem foi particular, mas obedecendo doze características determinadas previamente, e que serão descritas mais à frente. No entanto, isto não quer dizer que seja a escolha perfeita, ou a única, para tanto a escolha é uma simples relação de conveniência entre duas partes.

A seleção do software foi feita dentre sete opções diferentes, não são as únicas, existem mais, estas foram selecionadas por serem ferramentas do nosso conhecimento, razão pela qual temos mais propriedade para falar. As ferramentas foram: Rhino3D (MCNEEL, 2023); Autocad (AUTODESK, 2022); Tinkercad (AUTODESK, 2023); Blender (REQUIREMENTS, 2023); Fusion 360 (AUTODESK, 2022); Solidworks (SOLIDWORKS, 2023); 3DS Max (AUTODESK, 2020). Antes de mais nada, todas elas conseguem modelar tranquilamente qualquer elemento que possamos imaginar.

A seguir apresentamos as doze categorias definidas, e no final, demonstraremos o porquê da escolha. As marcações indicadas na cor azul são os considerados diferenciais, na cor vermelha, os pontos negativos, e na cor preta as situações de neutralidade.

6.1 Características Analisadas

GRATUIDADE - Qualquer software livre de custo.

CUSTO MODERADO - Valor aceitável para professores, e/ou estudantes, na aquisição da ferramenta.

CUSTO ELEVADO - Valor fora da realidade referenciada.

AMIGÁVEL - Refere-se à experiência do usuário com a interface do software, e o tempo médio utilizado por uma pessoa comum para instrumentalizar a ferramenta. Os softwares classificados nesta categoria são relativamente fáceis de manipular, os usuários conseguem em um tempo curto apropriarem-se do software à vontade.

HOSTIL - Ao contrário do anterior, indica a dificuldade do usuário de lidar com a ferramenta, principalmente por ter uma interface complexa no que se refere à quantidade de comandos exibidos, e a forma como são apresentados.

MODELAGEM SIMPLES - Característica ditada pela facilidade que o usuário tem de construir seus modelos usando os comandos que o software põe à disposição, e a

complexidade que estes apresentam para sua utilização. Uso de uma menor quantidade de menus em cascata, ou de menus de janelas, atalhos de fácil usabilidade e em consonância com a maioria dos softwares no mercado, facilidade de multi-visualização do modelo (várias janelas de visualização ao mesmo tempo), velocidade de resposta do software.

MODELAGEM MECÂNICA - Permite com facilidade criar modelos mecânicos com precisão de dimensionamento.

MODELAGEM ORGÂNICA - Permite uma modelagem mais livre, mais natural, com superfícies curvas de uma plasticidade orgânica.

DIMENSIONAMENTO SIMPLES - Alcançar as medidas definidas para o modelo é muito simples e intuitivo.

PRECISÃO - Conseguir colocar cada um dos componentes da modelagem no lugar desejado é uma tarefa fácil de ser realizada.

PARAMETRIZAÇÃO - Permite mudar as dimensões dos modelos, sem que itens importantes da modelagem sejam alterados, preservando as dimensões destes elementos básicos no processo de modelagem (este é um item importante quando falamos de modelagem de moldes, pois nos permite variar o dimensionamento da matriz sem alterar detalhes como pinos de encaixe, veias de injeção etc.).

PLATAFORMA LEVE - O software demanda menos quantidade de memória por parte do microcomputador durante o processo de modelagem, detalhe fundamental para poder modelar sem a necessidade de ter um supercomputador.

Requisitos básicos para a instalação dos softwares no sistema operacional Windows, a decisão de usar o sistema operacional Windows como sistema de referência, obedece a que é um sistema operacional mais democrático.

Tabela 5 – Análise das características dos softwares - [imagem do autor]

Softwares							
Características	Rhino3D	Autocad	Tinkercad	Blender	Fusion 360	Solidworks	3DS Max
Gratuidade		X	X	X	X		X
Custo Moderado	X						
Custo Elevado						X	
Amigável	X		X				
Hostil		X		X	X	X	X

Softwares	 Rhino3D	 AUTOCAD	 AUTODESK TINKERCAD	 blender	 AUTODESK FUSION 360	 SOLIDWORKS	 AUTODESK 3DS MAX
Características	Rhino3D	Autocad	Tinkercad	Blender	Fusion 360	Solidworks	3DS Max
Modelagem Simples	X	X	X	X	X		
Modelagem Mecânica	X	X	X	X	X	X	X
Modelagem Orgânica	X			X			X
Dimensionamento Simples	X	X			X	X	X
Precisão Simples	X	X			X	X	X
Parametrização	X	X		X	X	X	X
Plataforma Leve	X		X	X			

Nesta classificação em particular, o Rhino3D foi o software com maiores diferenciais em relação aos demais.

Tabela 6 – Requerimentos do sistema para uso dos softwares - [imagem do autor]

Softwares	 Rhino3D	 AUTOCAD	 AUTODESK TINKERCAD	 blender	 AUTODESK FUSION 360	 SOLIDWORKS	 AUTODESK 3DS MAX
Requerimentos do Sistema	Rhino3D	Autocad	Tinkercad	Blender	Fusion 360	Solidworks	3DS Max
OS (intel ou AMD)	64 - Bit	64 - Bit		64 - Bit	64 - Bit	64 - Bit	64 - Bit
Processador	3 GHz *	3 GHz *		3 GHz *	3 GHz	3.3 GHz	4.1 GHz
Memória RAM	8 Gb	16 Gb		8 Gb	8 Gb	16 Gb	8 Gb
Espaço no disco	600 Mb	10 Gb		500 Mb	3 Gb	5 Gb	9 Gb
Vídeo RAM	4 Gb	4 Gb		4 Gb	4 Gb	4 Gb	6 Gb
Sistema Operacional	Win 11*	Win 11*		Win 11*	Win 11	Win 11*	Win 11*
OpenGL	SIM			SIM			
DirectX 11					SIM		
DirectX 12		SIM					
HDR Light							
Internet (velocidade mínima)					2.5 mbps DL/ 500kbps UL		
Unicamente Online			SIM				
Tem versão on Box (pendrive)				SIM			
Mouse multi e Scroll	SIM	SIM		SIM	SIM	SIM	SIM

* Requerimentos unicamente para a última versão, versões anteriores pedem menores capacidades.

6.2 A Escolha do RHINO3D

Como demonstrado no quadro anterior, existem prós e contras para a indicação de um software específico. Somado a isso, quando se faz uma escolha, seja lá qual for, sempre estão intrínsecos aspectos objetivos e subjetivos. Desta vez não foi diferente, e com naturalidade tentaremos explicitar a razão pela qual o software de modelagem Rhino3D fosse o escolhido

Começemos analisando os aspectos de hardware para posteriormente passar aos aspectos técnicos, e assim poder indicar a razão pela qual penso que ele é a escolha certa. Então, vamos primeiro analisar o ponto desfavorável que ele tem: é um software pago, não tem nenhuma versão gratuita, e isso realmente pesa contra ele, no entanto, ele tem versões para estudantes e professores com preços diferenciados, além de pacotes para instituições educativas com valores muito atraentes perante a concorrência. Se focamos nos valores para os softwares pagos, falando exclusivamente de softwares de modelagem 3D que costumam ter valores proibitivos, ele é considerado um software relativamente barato, e com um pouco de esforço, os professores, mas principalmente os estudantes podem ter acesso a ele. Além disso, quando adquirido, é vitalício, existem programas de softwares que cobram mensalidades para que continuem a serem usados., O Rhino3D não, quando uma pessoa adquire o software ganha a liberdade de usá-lo , podendo ter direito às atualizações que a empresa criadora faz eventualmente pagando valores diferenciados (ou seja, valores aceitáveis).

Os processos de modelagem 3D demandam capacidades importantes de memória e processamento por parte dos microcomputadores, capacidades muito maiores que os softwares de produção de texto ou apresentações com os quais estamos mais comumente familiarizados. Se o nosso microcomputador não tiver uma capacidade mínima requerida pelo criador do software, enfrentaremos problemas quando realizarmos tal modelagens. Problemas principalmente na demora de entrega das respostas aos comandos solicitados para construir nossos modelos - isso no melhor dos casos. No pior, o micro trará continuamente, e pedirá reinicializações constantes.

Quando comparamos o Rhino3D com os outros softwares, ele está sempre entre os que menores capacidades demandam ao sistema operacional para poder rodar com maior fluidez e desenvoltura. O processador é da mesma capacidade de todos os

outros softwares (com exceção do Tinkercad, mas isto explicaremos mais adiante); a velocidade com a qual o processador roda também é das menores; a capacidade de memória RAM solicitada é a mais baixa; quando comparada com os outros, o espaço no disco é também dos melhores, pois não rouba muita memória para ser armazenado; na velocidade solicitada para rodar os gráficos está no mesmo patamar dos outros, não é preciso instalar a versão mais nova, tem versões anteriores que pedem requerimentos menores, e trabalham ainda muito bem.

A grosso modo parece a escolha mais lógica no tocante ao *Hardware* quando se olham os números. Agora é o momento de trazer a fala do Tinkercad, e dizer porquê não foi a escolha ideal se ele pede menos atributos dos componentes do microcomputador para funcionar. O problema é que ele perde em um ponto fundamental: o Tinkercad roda unicamente conectado à internet.

Quando analisamos o software do ponto de vista de funcionamento, ou UX (User Experience) o Rhino3D parece também o software mais atrativo para sua usabilidade dentro da proposta. Deixando de lado a questão da gratuidade, anteriormente falada, ele é um software amigável, apresenta sua tela desde o começo dividida em quatro diferentes vistas para poder modelar os elementos de maneira mais simples, e a interação entre essas vistas é muito fácil de ser realizada (não que os outros softwares não permitam essa mesma opção), mas a maneira como a apresentam não chega a ser tão clara, o mais próximo dele é o Blender, mais ainda assim fica devendo no quesito intuitivo.

Agora, se estudamos a facilidade com que as peças podem ser modeladas, novamente o software Rhino 3D é um dos melhores, mas devo dizer que para modelagem de volumes geométricos básicos isolados, o Tinkercad e o Blender conseguem ser superiores a ele. o problema para eles aparece quando começamos a fazer interações físicas entre esses sólidos, usando outros comandos para modificar a forma original desses sólidos, a facilidade com que o Rhino3D lida com a aplicabilidade desses comandos é muito elementar e superior aos outros mencionados.

Portanto, se o meu objetivo para criar os modelos didáticos são modelos mais mecânicos, com maiores relações de ortogonalidade, mais uso de superfícies retas, para isso, qualquer um dos sete softwares elencados serve, mas para fazer isso de maneira mais palatável ao usuário, aí então o chamado fica com o Rhino3D, Autocad, Tinkercad, Fusion 360, SolidWorks e o 3DS Max. A situação fica ainda

mais restrita quando eu quero fazer modelos mais orgânicos, figuras com atributos antropomórficos. Neste item, unicamente o Rhino3D, o Blender, e o 3DS Max atendem minhas demandas. Se o importante para mim é o dimensionamento dos meus modelos, trabalhando com estruturas básicas, todos atendem esse quesito, porém, se elevar o grau de complexidade das minhas estruturas, o Tinkercad não consegue acompanhar essa facilidade de dimensionamento. O mesmo acontece quando falo em precisão e parametrização.

Finalmente, se eu tenho um computador com capacidades mais limitadas, no geral, mas, principalmente no tocante a espaço no disco para a instalação de novos programas, então, somente o Rhino3D, Tinkercad e Blender podem me ajudar com esse item.

Se olharmos para o conjunto da obra, juntando as necessidades do hardware e software, aparece o motivo pelo qual selecionamos o Rhino3D como o software ideal para a modelagem 3D de modelos didáticos, a partir do ponto de vista deste projeto: ele é pago? Sim, mas com um valor acessível, e tem ainda as opções que podem ser adquiridas pelas instituições educacionais; aceita um microcomputador mais modesto para poder rodar; a UX é a mais prazerosa (empatado com o Tinkercad) de experimentar como um todo, é a mais objetiva, em outras palavras, seu leque de possibilidades é mais abrangente. O anterior é somente uma orientação para a escolha de um software, não é a uma indicação ditatorial que não permite escolhas paralelas, unicamente elencaram-se alguns pontos que são considerados importantes para poder realizar quaisquer tipos de modelos didáticos a partir de uma ferramenta digital. Dito isto, qualquer escolha diferente da que foi tomada é igualmente válida, ponderada e explicitada suas razões e argumentos, sejam eles favoráveis ou não, , ou ainda para usar outra ferramenta de modelagem que nem sequer foi mencionada dentro das opções, pois como foi dito anteriormente, existem mais ferramentas para modelagem 3D no mercado.

6.3 O Processo Inicial de Modelagem 3D

Historicamente, vamos primeiro nos situar em uma linha de tempo e entender o que significa Modelagem 3D. Segundo Monedero (2000b) as primeiras tentativas de modelagem 2D ocorreram na década de 60s do século XX, e continuou evoluindo, até tentativas de malhas 3D e superfícies emendadas umas nas outras. Em 1963,

Sutherland criou novos métodos gráficos que entregaram para o final da década de 60s malhas poligonais de maior complexidade, isto trouxe consigo a modelagem a base de NURBS (Non Uniform Rational B-Splines).

Autocad foi a primeira empresa a popularizar a modelagem 3D na sua versão 13. A modelagem sólida também surgiu na mesma época tanto na Europa quanto nos EUA. O maior problema relatado por Monedero é a falta de modificabilidade do modelo inicial, questão sub sanada quando os softwares criam o método de modelagem paramétrica.

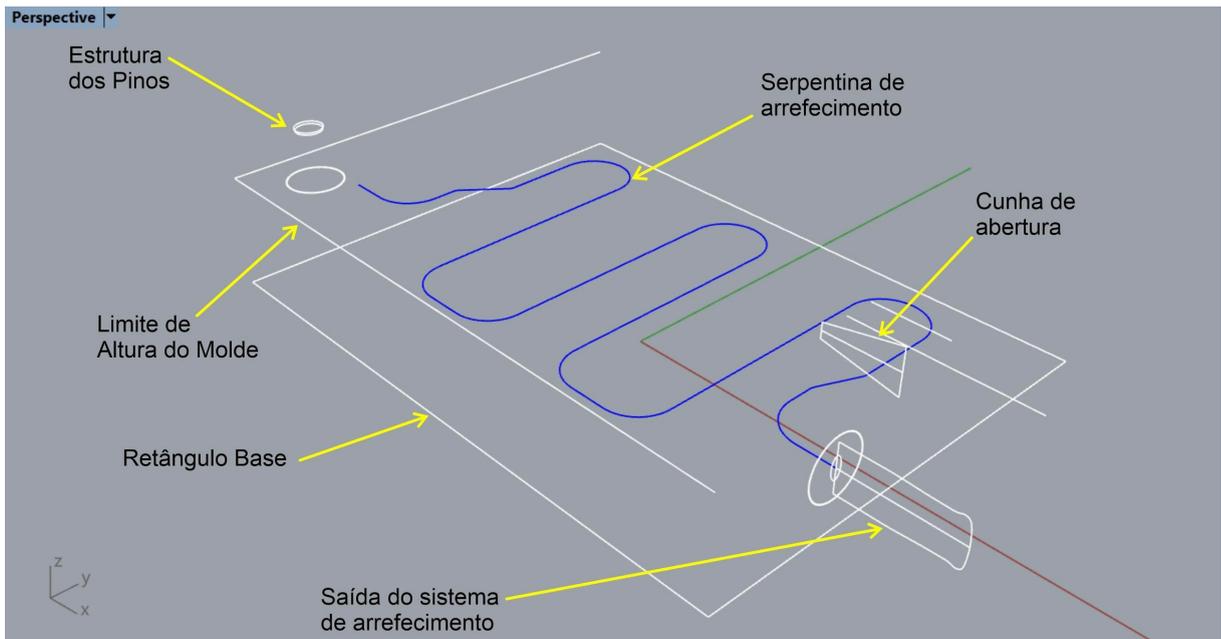
Após essa breve introdução sobre o processo de evolução dos métodos de modelagem 3D, resta dizer que modelar é desenhar qualquer elemento que conte com uma volumetria. Ou seja, uma superfície que tem largura, altura e profundidade, e que à diferença de modelos impressos em folhas de papel, que são superfícies chapadas, os modelos tridimensionais existem com suas 3 dimensões desde a origem do seu processo gestativo.

A seguir, será feito um passo a passo descritivo do processo evolutivo da modelagem 3D, e digo evolutivo, porque a evolução é intrínseca a todo projeto de design, mas especificamente neste projeto aconteceu de maneira literal. No início do projeto de pesquisa desconhecia-se parcialmente o processo de modelagem paramétrica. Quer dizer, sabia-se da sua existência, mas não de como realizar sua aplicabilidade. Então o primeiro modelo criado com auxílio do software Rhino3D nasceu aplicando os conceitos de parametrização de uma maneira manual, como explicado na sequência.

A ideia por trás de tal concepção foi criar um arcabouço (literal) de curvas (qualquer elemento geométrico bidimensional que não for um plano o software Rhino3D o reconhece como curva), pensando nesses elementos como elementos que pudessem ser modificados em suas dimensões nos futuros ajustes. Seja por necessidades distintas ao projeto original, seja por melhorias no projeto, como já é sabido. Isso é o conceito de parametrização, mas neste caso específico, o projeto foi pensado para realizar essa parametrização, até certo ponto, de maneira manual. Como é isso? Tomando o exemplo do início da concepção do molde, se pensou em ser um molde retangular com dimensões menores a 115x65mm (porque o tanque de impressão das impressoras de resina que se tem no laboratório GREA3D tem essa dimensão). Explicado isto, se mostra a seguir na figura 14 o arcabouço definido para o projeto. O pensamento inerente a essa criação era o de poder variar as

dimensões manualmente selecionando os pontos (vértices) que controlam as curvas conforme as necessidades. Posteriormente no Apêndice será explicado o passo a passo de como chegar a esse resultado da modelagem, para que assim qualquer pessoa possa ter noção de como é possível modelar um molde usando o software Rhinoceros, mesmo sem ainda ter instrumentalizado a ferramenta.

Figura 14 – Arcabouço para parametrização manual – [imagem do autor]



6.4 A Modelagem Paramétrica

O processo de modelagem paramétrica é um método mediante o qual podemos alterar e controlar todos os parâmetros matemáticos de um projeto de maneira automatizada e simples, com uma lógica de programação.

Segundo Monedero ((MONEDERO, 2000b) a explicação para modelagem paramétrica que existe na literatura é muito restrita, isso implica um número de parâmetros para definir uma forma, no pensamento dele, o melhor seria dizer que no momento em que é inserido um elemento com suas características próprias (comprimentos, larguras, distâncias etc), e essas características podem ser alteradas no exato momento da sua inserção no projeto, isso é um desenho paramétrico.

As metas a serem atingidas com a modelagem paramétrica são várias: modular um projeto de maneira rápida para otimizar tempo; mudar a escala de um projeto por novas diretrizes; ou simplesmente fazer melhorias e modificações no projeto existente. Para mim, a parametrização pode ser resumida como um potencializador de projetos.

A modelagem paramétrica não é nova, mas no passado era uma tarefa hercúlea dentro das áreas das engenharias, arquitetura e design. No caso específico do design, realizar uma modelagem paramétrica no passado envolvia um processo mais artesanal. Quando um desenho era feito, as possíveis modificações que pudessem acontecer ao projeto eram feitas decalcando o modelo base. Para isto, os projetistas dependiam de grandes quantidades de papel manteiga, vegetal, acetatos, grandes espaços de desenho repletos de pranchetas e até mesas gigantes onde por vezes os projetistas deitavam literalmente sobre os desenhos, tudo isto com o intuito de facilitar as cópias e realizar as modificações pertinentes. O grande empecilho inerente a este processo era a quantidade de tempo gasto para realizar qualquer modificação por menor que ela fosse.

Figura 15 – Trabalho paramétrico no passado – [imagem Promateriales]



Figura 16 – A vida antes dos softwares de parametrização – [imagem The Mind Circle]



Os avanços tecnológicos que vieram com o desenvolvimento de novas técnicas de desenhos e novas ferramentas criadas para facilitar esse trabalho e esse processo de ajustes no projeto desencadearam nos softwares de modelagem paramétrica, que diminuem o tempo de realização das modificações efetuadas sobre os projetos. Porém, como bem fala Monedero (2000), mesmo com toda essa facilidade atual, muitos profissionais continuam usando os *softwares* como meras ferramentas de desenho, e os profissionais que se valem da parametrização são raras exceções.

A modelagem paramétrica funciona a grosso modo da seguinte maneira: quando cria-se um primeiro elemento dentro de um *software* que trabalha com parametrização, o elemento será a referência para próximas incorporações. Exemplo: constroi-se um retângulo como geometria básica, os elementos que forem acrescentados posteriormente serão dependentes dele, se este retângulo contém algoritmos que variem sua largura e comprimento, e na sequência cria-se uma caixa para a construção de um prisma retangular dependente do retângulo inicial, assim que variar as dimensões do retângulo automaticamente as dimensões do prisma acompanharão as mesmas modificações e, assim, subseqüentemente, qualquer elemento que for acrescentado ao longo do processo. Portanto, a premissa na modelagem paramétrica é que todos os elementos inseridos no projeto são elos dependentes entre si e obedientes das modificações dos seus predecessores. Este processo interminável de interdependência é a causa de que a modelagem paramétrica seja um processo facilitador para incontáveis mudanças em qualquer projeto.

Para este trabalho especificamente, usamos o *software* Rhinoceros por conter dentro da sua interface um *plug-in* singular. De acordo com (POLONINI, 2014) “*Plug-in* é um pequeno programa que usa os recursos de um programa maior e normalmente oferece personalização ou recursos adicionais”, que a partir da versão 6 do software vêm instalado como um comando do programa, estamos falando do *Grasshopper*.

Da mesma forma que foi feito na subseção anterior, no apêndice apresenta-se um tutorial de como construir um molde usando o *plug-in* *Grasshopper* dentro do Rhinoceros, isto é disponibilizado com o intuito de que os leitores possam usar esse conhecimento para construir moldes paramétricos e isto possa ser o início de uma instrumentalização da ferramenta digital.

7 A impressão 3D

A impressão 3D atualmente está se convertendo em uma tecnologia amplamente presente no dia a dia das pessoas. Atravessamos um momento comparado aos anos 80's e 90's do século XX quando as impressoras matriciais e posteriormente as de jato de tinta começaram a se popularizar e a maioria dos lares podia se dar o luxo de ter um desses equipamentos (BRANDX, 2018).

Existem hoje vários tipos de impressoras 3D, não estou me referindo a marcas e modelos, e sim ao tipo de tecnologia usada para realizar a impressão.

FDM (Fused Deposition Modeling) Modelagem por Deposição Fundida

SLA (Stereolithography) Estereolitografia

DLP (Digital Light Processing) Processo de Luz Digital

SLS (Selective Laser Sintering) Sinterização Seletiva a Laser

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) Sinterização Direta de Metal a Laser

SLM (Selective Laser Melting) Derretimento Seletivo a Laser

EBM (Electron Beam Melting) Derretimento por Feixe de Elétrons

MJF (Multi Jet Fusion) Fusão Multi Jet

Polyjet (Polyjet) Injeção de Resina em Gota

("Tipos de Impressora 3D e suas aplicações", 2018)

Tabela 7 – Tecnologias de impressão 3D - [Tabela Tipos de Impressora 3D e suas aplicações]

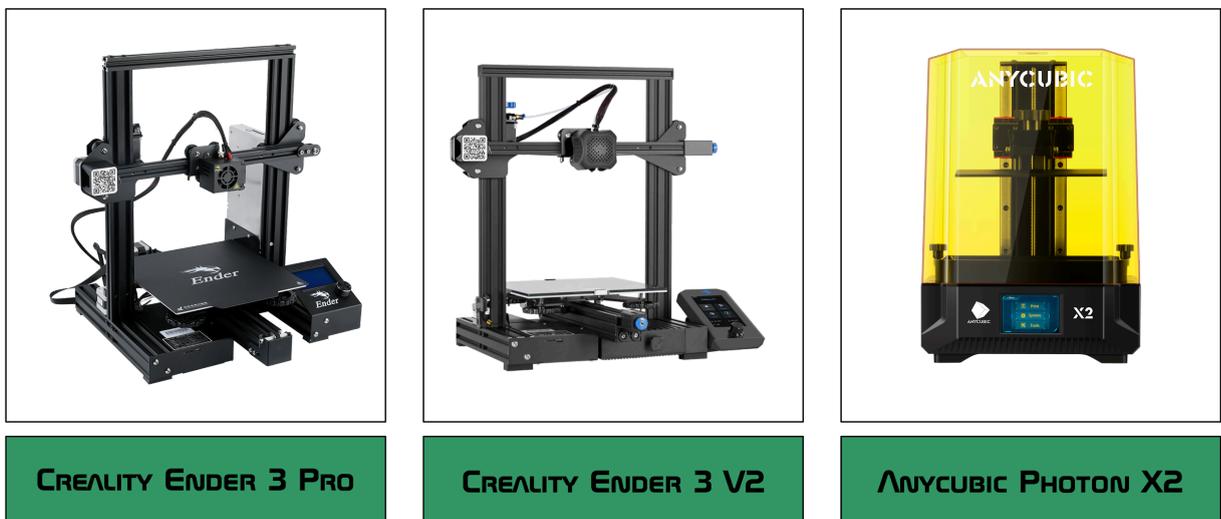
Tecnologia	Velocidade	Precisão	Produtividade	Preço	Diversidade de Materiais
FDM	Média	Média	Alta	Baixo	Alta
SLA	Média	Alta	Alta	Baixo	Média
DLP	Baixa	Alta	Alta	Médio	Média
SLS	Média	Alta	Alta	Alto	Alta
DMLS	Baixa	Média	Baixa	Alto	Alta
SLM	Baixa	Média	Baixa	Alto	Baixa
EBM	Média	Alta	Média	Alto	Baixa
MJF	Média	Alta	Média	Alto	Baixa

Polyjet	Média	Alta	Média	Alto	Alta
----------------	-------	------	-------	------	------

Para esta pesquisa utilizamos unicamente das tecnologias FDM e SLA. O principal motivo da escolha é por que elas obedecem um dos princípios do projeto de pesquisa, que é ser uma tecnologia totalmente acessível, e essas duas são as tecnologias de impressão 3D mais baratas do mercado. Foram escolhidas também por contarem com uma ampla variedade de materiais a serem usados, e por terem uma boa precisão no processo de impressão.

Para uso da tecnologia FDM, a pesquisa fez uso de duas máquinas fabricadas pela empresa Creality, que são a Creality Ender 3 Pro e a Creality Ender 3 V2. E para a tecnologia SLA, se fez uso da marca Anycubic, o seu modelo Photon Mono X2. Por que esses modelos especificamente? Uma delas é uma máquina própria e as outras duas pertencem ao Laboratório do Grupo de Experimentação de Artefatos 3D (GREA3D) que faz parte do Curso de Licenciatura em Expressão Gráfica do departamento do mesmo nome, da UFPE.

Figura 17 – Modelos de impressoras usadas – [imagem do autor]



O que é a tecnologia FDM?

“A tecnologia FDM é o processo de produzir objetos físicos pela sobreposição sucessiva de camadas de material. Um filamento plástico é puxado através de uma extrusora e depositado onde necessário em cada camada para completar o objeto desejado” (“FDM 3D Printing - Fused Deposition Modeling”, [s.d.]).

7.1 Particularidades das tecnologias empregadas no projeto

Vantagem da Tecnologia de impressão 3D FDM

FDM é a tecnologia de impressão 3D mais popular e barata no mercado brasileiro. Com baixo custo das impressoras 3D FDM, potencializa a produção em massa de peças com bastante variedade de materiais de impressão 3D (“Tipos de Impressora 3D e suas aplicações”, 2018).

Desvantagens da Tecnologia de impressão 3D FDM

“Qualidade de impressão 3D comparando com outras tecnologias pode ser problemático dependendo de precisão e calibragem das máquinas, onde Linhas de impressão 3D são visíveis em quase todos instantes, e dependendo da forma de impressão, uma direção do objeto impressa pode ser mais fraca que outra direção” (peças impressas com a tecnologia FDM tem tendência de ser mais fraca nas linhas entre as camadas de impressão) (“Tipos de Impressora 3D e suas aplicações”, 2018).

O que é a tecnologia de Estereolitografia SLA?

Segundo a Printi3D (2018), a Estereolitografia (SLA) é a mãe da impressão 3D, as impressoras que detém este tipo de tecnologia se destacam por impressões com alto nível de detalhamento, permitindo tolerâncias mais justas. Os modelos gerados com tecnologia SLA produzem protótipos que, além de permitir a visualização dos detalhes, podem ser funcionais.

Vantagens da tecnologia de impressão 3D SLA

“Impressão 3D SLA pode trazer vantagens de alta precisão e baixo desperdício de material” (“Tipos de Impressora 3D e suas aplicações”, 2018).

Desvantagens da tecnologia de impressão 3D SLA

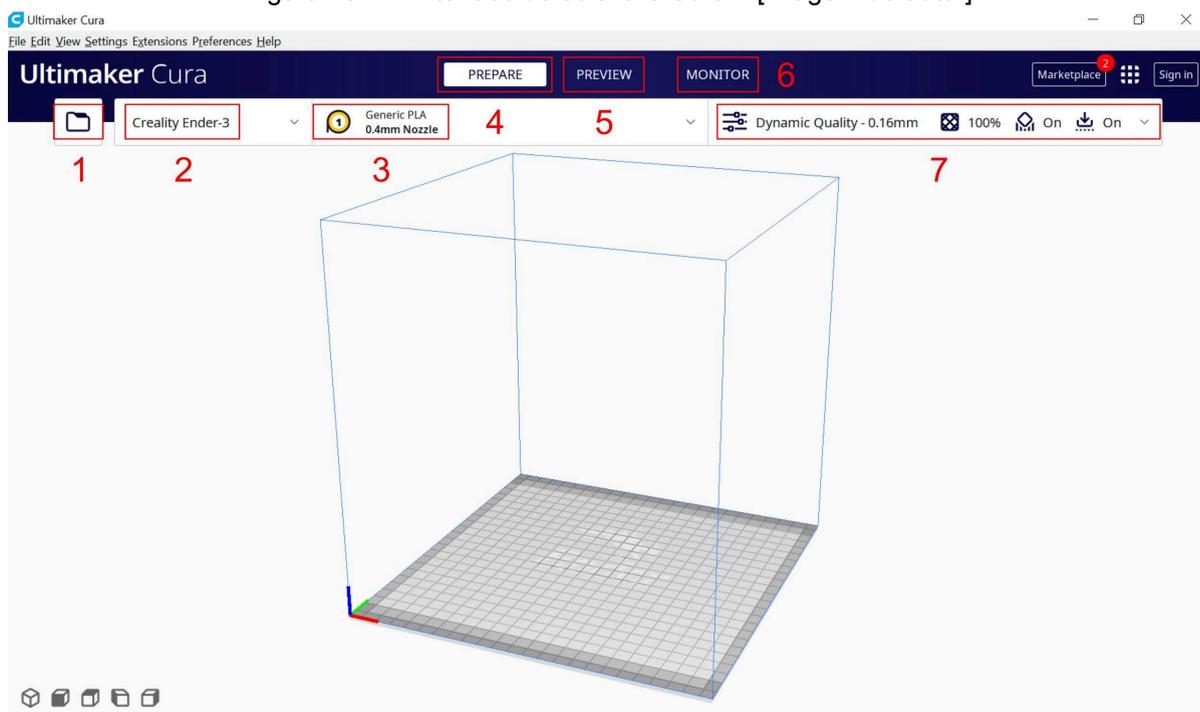
“Já que a tecnologia de impressão 3D SLA utiliza resina como material de impressão 3D, se não tiver um ambiente preparado, e equipamento de proteção adequado, pode causar bastante desorganização e sujeira” (“Tipos de Impressora 3D e suas aplicações”, 2018).

7.2 O Fatiamento

O processo de fatiamento é o método de transição entre a modelagem e a impressão; entre a virtualização e a materialização. Para a realização desta etapa do

projeto é necessária a utilização de dois *softwares* de fatiamento (*slicers softwares*), programas encarregados de organizar o processo de impressão que será executado pela MA. Os *softwares* usados foram o Ultimaker Cura e o Chitubox. O primeiro software a ser usado é o Cura, um *software* desenvolvido por David Braam, quem mais tarde seria contratado por uma empresa fabricante de impressoras 3D chamada Ultimaker (“UltiMaker Cura”, [s.d.]) é um *software* de código aberto, considerado gratuito por ter uma grande porcentagem das suas ferramentas disponibilizadas sem custo algum, suficientes para realizar impressões de grande qualidade sem se preocupar com detalhes de construção ou qualidade da peça. A interface do *software* é amigável por ser relativamente intuitiva, uma vez que o usuário estando familiarizado com ela pode variar os parâmetros com mais e mais facilidade para obter mais eficiência no processo.

Figura 18 – A interface do software Cura – [imagem do autor]



Os elementos básicos da interface são:

- 1 Ícone indicador de abertura de arquivos (arquivos salvos previamente no Rhino3D com a extensão STL [*Stereolithography*]).
- 2 Área de carregamento e seleção das impressoras.
- 3 Escolha do material e do diâmetro do bico.

4 Visualização padrão (o *software* sempre que carregado abre com essa visualização).

5 Visualização de execução do projeto, mostra qualquer mudança que for feita no modelo para sua posterior impressão.

6 Mostra em uma de maneira diferente, o mesmo que foi apresentado no item 2 desta mesma lista.

7 Possivelmente o item mais importante do *layout* do *software*: a janela de visualização das configurações. Nesta área serão definidos todos e quaisquer parâmetros de impressão. Este item é um menu de cascata que se desdobra apresentando muitas possibilidades.

A utilização do *software* para fatiamento Chitubox é um pouco mais simples, uma vez que o medo de manipulação dos equipamentos foi perdido na tarefa anterior. além disto, a máquina de impressão SLA (impressora Anycubic) parece uma máquina mais amigável, um equipamento mais próximo de equipamentos eletrônicos que estamos acostumados a usar.

A interface do *software* Chitubox, em um particular modo de ver, parece ser mais intuitiva e simples, quando comparada com o Cura. Ela contém um menu superior que enquadrados em onze itens: 1 Abrir Arquivo; 2 Salvar Arquivo; 3 Captura de tela e registros; 4 Revogação (voltar um passo); 5 *Redo* (refazer); 6 Copiar; 7 *Layout* automático (quando houver vários elementos, os organiza da melhor maneira possível, isto é um processo chamado também de *Nesting*); 8 Tornar Oco (se a modelagem for muito grande, as vezes isso dificulta o processo de cura da resina, em situações como esta, usasse esta opção); 9 Perfurar (utiliza alguns tipos de perfurações comuns e predefinidas); 10 Reparar (as vezes no processo de modelagem os projetos vêm com pequenos erros para o fatiamento, esta opção ajuda a corrigi-los); e 11 Menu de Cascata (contém várias opções de configuração, que também são comuns a outro tipo de *softwares* mais familiares).

Figura 19 – Interface do software Chitubox – [imagem do autor]

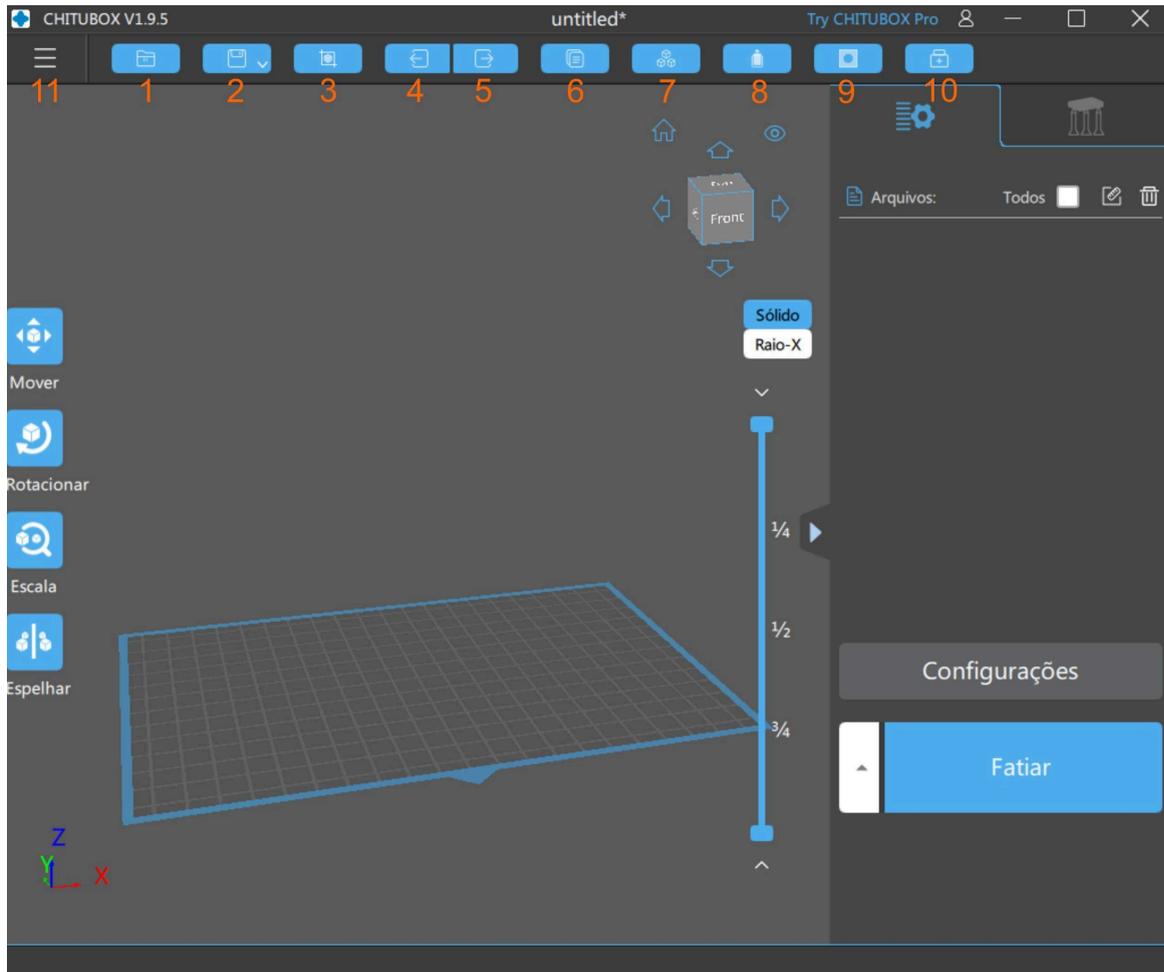
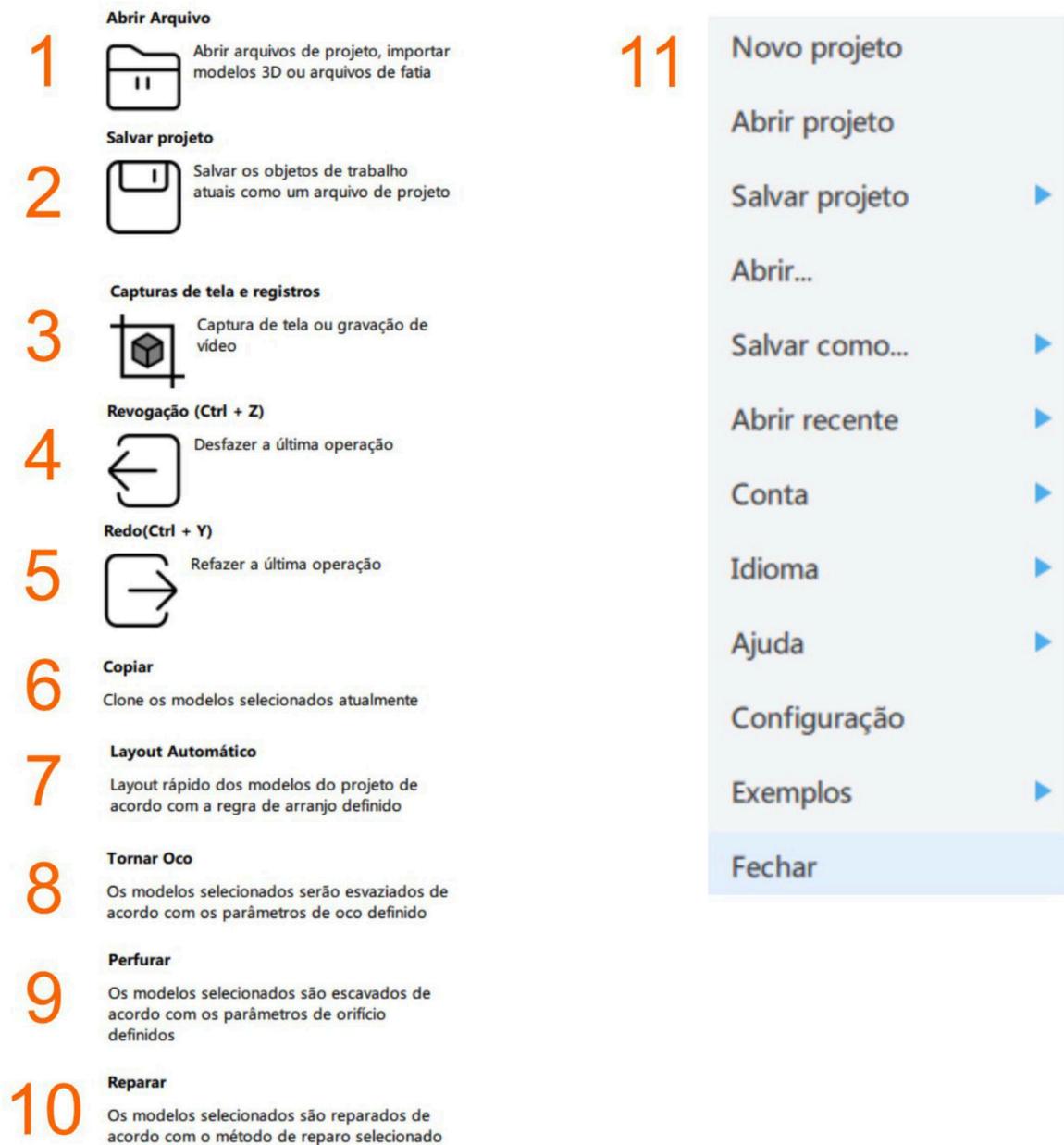


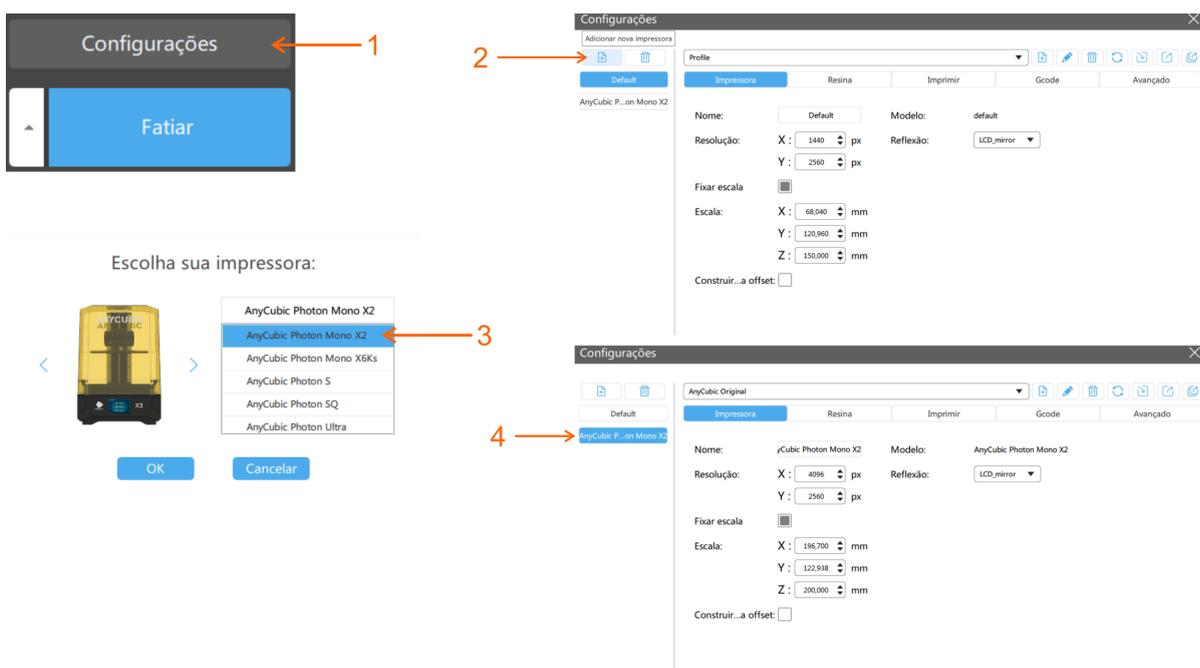
Figura 20 – Opções da Interface do software Chitubox – [imagem do autor]



Da mesma forma como foi feito em subseções anteriores, também foi disponibilizado um tutorial com o intuito de facilitar a construção de moldes por parte dos leitores falando do fatiamento. Nele está disponibilizado por extenso o processo de feitura e pode ser lido no apêndice.

O processo de organização dos parâmetros iniciais dentro do Chitubox também é mais simples do que o realizado no Cura. Primeiramente deve-se clicar na opção Configurações (opção acima do botão Fatiar), esta ação abrirá a janela Configurações, onde será feito o carregamento da impressora a ser utilizada, da mesma forma que no Cura, se o modelo de impressora que for usado não estiver cadastrada, existe um modelo padrão chamado *Default* para ser usado. No caso específico do projeto, o laboratório Grea3D conta com uma impressora modelo Anycubic Photon Mono X2, e esse modelo vem configurado previamente dentro do *software* de fatiamento Chitubox. Isto é feito dentro da opção **Adicionar nova Impressora** é só uma questão de seleção do modelo, uma vez escolhida, aparecerá abaixo da opção *Default*, como o modelo ativo.

Figura 21 – Carregando o modelo de impressora – [imagem do autor]



Ao final do processo de organização dos parâmetros para impressão com o insumo resina se criaram dois grupos: o **GRUPO 1** que compreendeu as resinas *Standard*, Alta Temperatura, Cristal, Semiflex e a Solúvel em água; já o **GRUPO 2**, menor, ficou conformado pelas resinas Pro e Dental.

Como resultado da parametrização, é fácil observar que configurar a impressora com tecnologia STL (ou seja, a de impressão de resina) é um processo muito mais

simples do que fazê-lo com as impressoras FDM (que utilizam filamento para imprimir).

Figura 22 – Testes de impressão SLA – [imagem do autor]



Os parâmetros das agrupações, GRUPO 1 e GRUPO 2, é um processo muito simples quando comparado com os parâmetros para as impressoras com tecnologia FDM. A diferença entre os parâmetros dos dois grupos que usam tecnologia SLA reside no tempo de exposição da base.

Figura 23 – Parâmetros para imprimir com tecnologia STL – [imagem do autor]

Configurações

Mario 11 Inflexão 2 PRO/DT

Impressora Resina **Imprimir** Gcode Avançado

Altura camada: 0,050 mm Dist elevação inferior: 8,000 + 0,000 mm
Camadas de base: 4 Distância elevação: 8,000 + 0,000 mm
Tempo exposição: 1,400 s Distância de ...ção inferior: 8,000 + 0,000 mm
Tempo exposição base: 13,000 s Distância de retração: 8,000 + 0,000 mm
Contagem de ca... de transição: 10 Vel. elevação inferior: 120,000 & 0,000 mm/min
Tipo de transição: Linear ▼ Vel. elevação: 120,000 & 0,000 mm/min
Decremento do ... de transição: 1,050 s Velocidade d...ão inferior: 180,000 & 0,000 mm/min
Retardo desligar UV: 0,500 s Vel. retração: 180,000 & 0,000 mm/min

Configurações

Mario 11 Inflexão 4 STANDARD/ALTA TEMPERATURA/CRISTAL/SEMIFLEX/H2O

Impressora Resina **Imprimir** Gcode Avançado

Altura camada: 0,050 mm Dist elevação inferior: 8,000 + 0,000 mm
Camadas de base: 4 Distância elevação: 8,000 + 0,000 mm
Tempo exposição: 1,400 s Distância de ...ção inferior: 8,000 + 0,000 mm
Tempo exposição base: 11,000 s Distância de retração: 8,000 + 0,000 mm
Contagem de ca... de transição: 10 Vel. elevação inferior: 120,000 & 0,000 mm/min
Tipo de transição: Linear ▼ Vel. elevação: 120,000 & 0,000 mm/min
Decremento do ... de transição: 0,870 s Velocidade d...ão inferior: 180,000 & 0,000 mm/min
Retardo desligar UV: 0,500 s Vel. retração: 180,000 & 0,000 mm/min

A seguir, apresenta-se na tabela 8 os tempos médios de impressão referentes a cada grupo dos primeiros moldes prototipados, mas não testados (não testados, devido a que houve uma evolução nos mesmos para aprimoramento) usando a tecnologia SLA, assim como o material gasto, e uma média de custo por impressão.

Tabela 8 – Tempos de impressão usando Resinas - [Tabela do autor]

MOLDE	GRUPO 1 / Tempo	GRUPO 2 / Tempo	Insumo / ml	GRUPO 1 Custo médio / R\$	GRUPO 2 Custo médio / R\$
Fêmea D	1h34m53s	1h35m1s	47,82	15,40	21,24
Fêmea E	1h34m53s	1h,35m1s	47,82	15,40	21,24
Macho	2h,12m55s	2h,13m3s	96,18	30,98	42,73

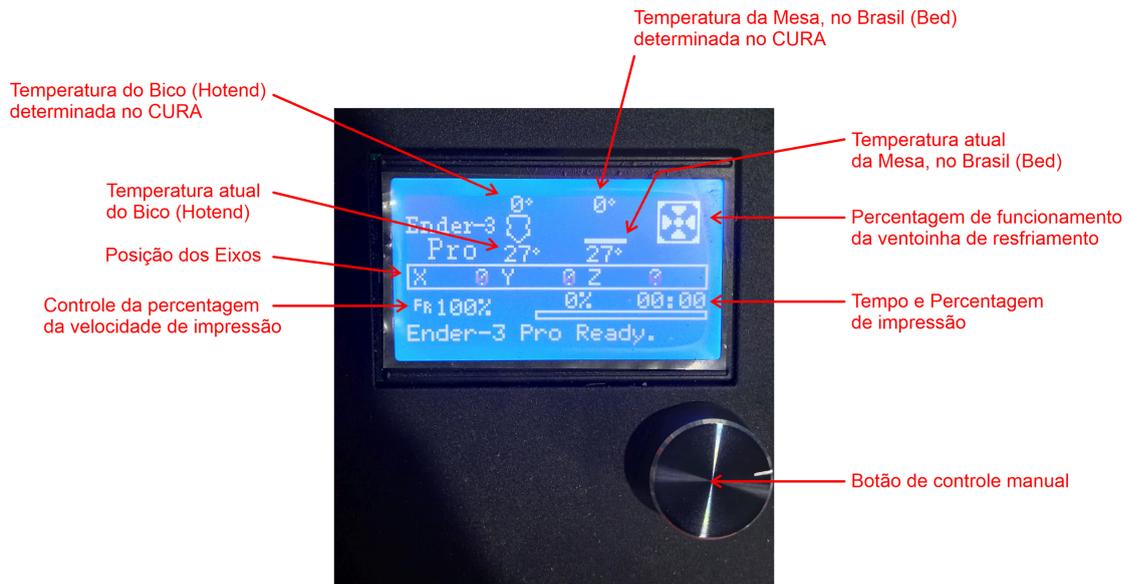
7.3 O processo Tangível

As impressoras usadas durante a produção dos moldes são de fácil manuseio, são máquinas intuitivas, e quando o sujeito se familiariza com o processo de impressão, seja qual for a máquina, nos próximos modelos a curva de instrumentalização é mais rasa.

A primeira máquina da qual teremos conhecimento dentro do projeto de pesquisa é a Ender 3 Pro. O motivo de começar por este modelo especificamente dá-se por ser considerada a máquina mais simples, embora entre as duas não exista uma grande diferença na operacionalização.

Liga-se a máquina no lado direito da mesma, ao lado da fonte de poder. Isto acende automaticamente o *display* que mostra a seguinte informação (figura 24):

Figura 24 – Tela inicial da impressora Ender 3 Pro – [imagem do autor]



Passando para a impressora de tecnologia SLA, operar seu *hardware* é também um processo mais simples do que as de FDM. A impressora usada no projeto, a Anycubic Photon X2, possui com um manual de nivelamento da mesa explicado de maneira sucinta mas muito fácil de ser entendido, além de que nivelar a mesa das impressoras de resina é um processo mais simples do que as de filamento. Feito isto, o próximo passo será colocar nossa impressão para rodar. Olhando para a máquina de maneira frontal, na lateral direita ela tem uma entrada para pendrive, que é a maneira como levaremos os arquivos do *PC* para a impressora. Na mesma lateral, mas perto da parte posterior, está o interruptor para acender a máquina. Aqui um lembrete importante para a preservação tanto dos cartões de memória para as impressoras de filamento quanto o pendrive para a de resina, é muito importante que sejam sempre plugados antes de ligar a máquina, isto evitará possíveis maus funcionamentos destes equipamentos e até futuras quebras.

A impressão com tecnologia SLA requer um pós-processo definido por dois passos, ambos executados em uma outra máquina chamada de Lavadora e Curadora: 1º Devemos tirar a peça da mesa de impressão com ajuda de uma espátula, com cuidado para não danificar a peça, nem a mesa, pois a aderência das resinas à mesa costuma ser muito forte. Feito isto, levamos a peça ainda com seus suportes de construção para a lavadora. A lavadora tem seu interruptor para ligar e desligar na parte posterior da mesma e, uma vez ligada, devemos olhar o botão de seleção.

Quando a Lavadora e Curadora é ligada, automaticamente é selecionado o modo Lavar, depois é só selecionar o tempo de lavado que pode aumentar dependendo do tamanho da peça (o tempo é definido pelo impressor, é uma questão de experiência). Para definir o tempo de lavado basta girar o botão de início e temporizador no sentido horário para definir os minutos que são desejados para executar o processo de lavado. Definido o tempo, é só pressionar o botão para o processo iniciar. A máquina fará todo o trabalho e, quando acabar, ela tem um alarme que apita várias vezes indicando o fim da operação. Depois disso é preciso só abrir o tanque, retirar o cesto metálico e deixar a peça evaporar o fluido de lavado, que a depender da resina, pode ser álcool isopropílico ou água;

Figura 25 – Lavado da impressão – [imagem do autor]



O 2º passo é curar a impressão. Para isto, retira-se o tanque de lavado e no seu lugar coloca-se o prato giratório e a peça a ser curada por cima dele, depois fechamos com a tampa acrílica. Agora primeiro devemos pressionar o botão de seleção para escolher entre a opção de Lavado e a opção Curado. Sabemos que mudou quando a luz indicadora troque a tarefa a ser desempenhada. Depois, é necessário novamente usar o botão de início e o temporizador para definir o tempo de curado (novamente o tempo é definido pelo impressor), sabemos quando o processo inicia pois o prato começará a girar e as luzes ultravioletas acenderão para realizar a cura. Se ao concluir o processo de curado a peça estiver mole ainda, é só colocar mais tempo na máquina para cura-la por inteiro.

Figura 26 – Curado da impressão – [imagem do autor]



O resultado das impressões com os diversos materiais e detalhes será mostrado a seguir, na ordem em que foram impressos. Os moldes impressos com a tecnologia FDM e testados, todos eles tiveram um *infill* (preenchimento interno do molde) de um 60%. Isto quer dizer que eles não foram maciços, diferentemente do que aconteceu com os moldes de resina os quais todos foram impressos como moldes maciços.

Figura 27 – Molde impresso em PLA + Alumínio – [imagem do autor]

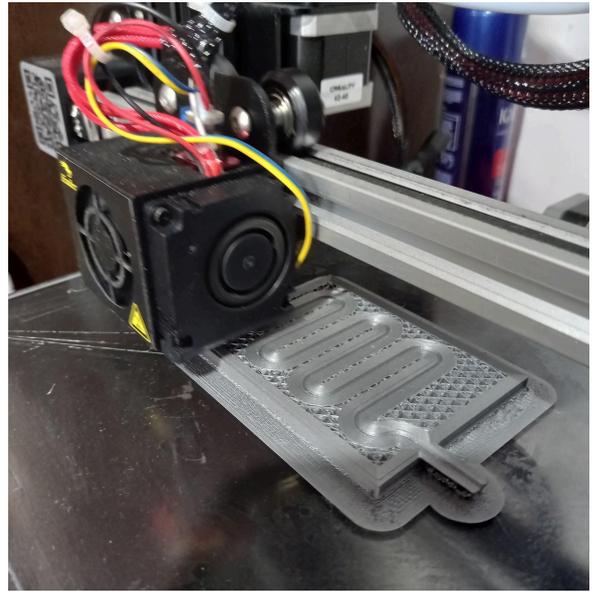
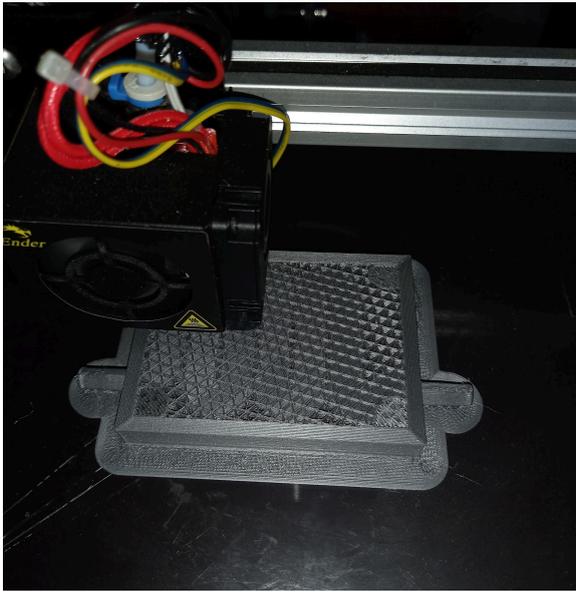


Figura 28 – Molde impresso em PLA – [imagem do autor]

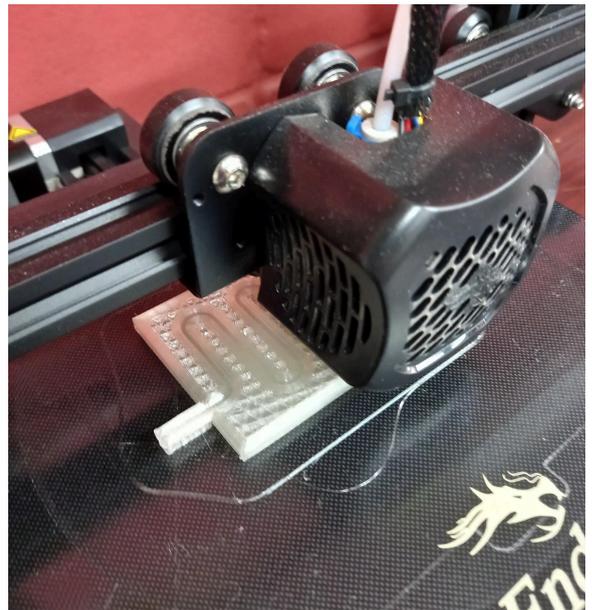
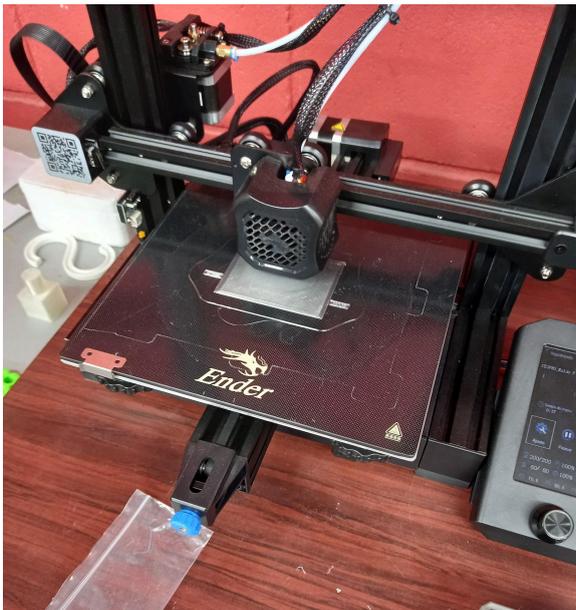
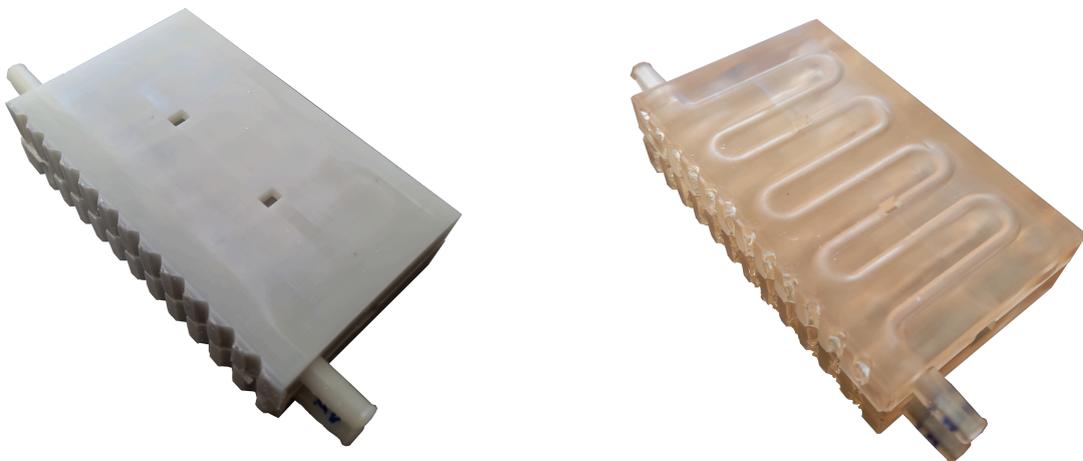


Figura 29 – Molde impresso em PETG – [imagem do autor]



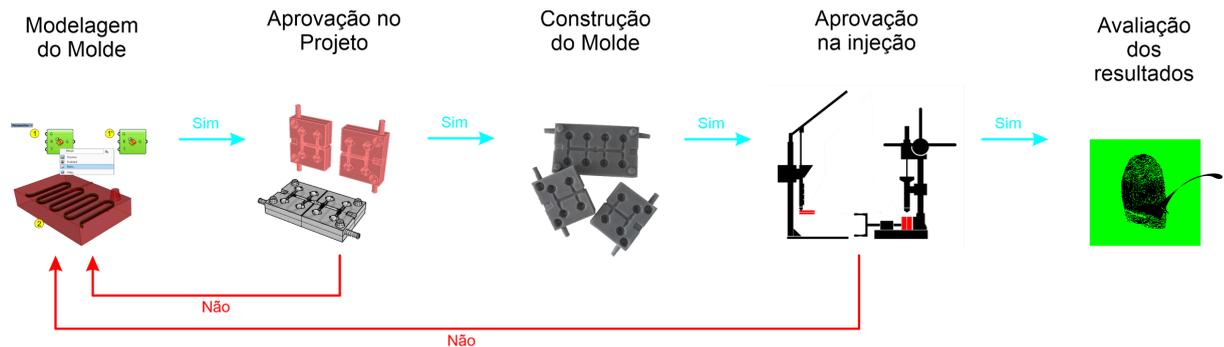
Figura 30 – Moldes impressos em resinas PRO e AT respectivamente – [imagem do autor]



8 Ajustes necessários nos moldes

O projeto de pesquisa seguiu um modelo de *Try Out* (termo usado na indústria para o processo de criação de produtos) como explicado na imagem a seguir, este modelo nos permitiu organizar o processo de prototipagem e fazer as correções ou melhorias necessárias nos moldes.

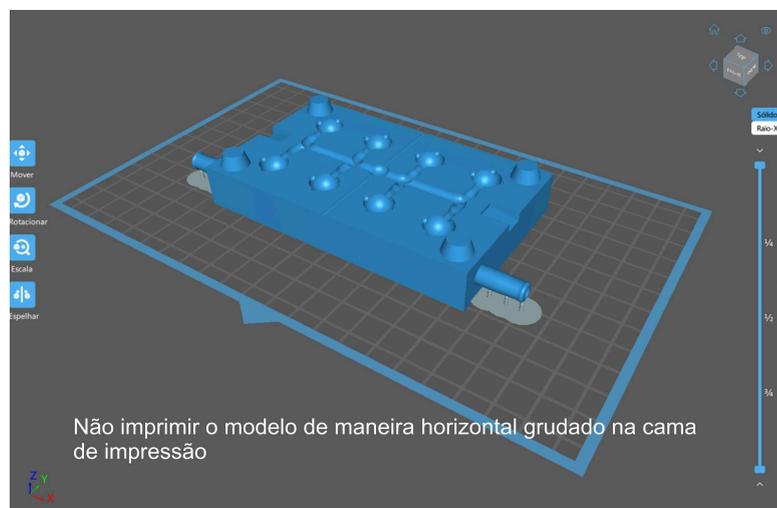
Figura 31 – *Try Out* – [imagem do autor]



Mesmo sem ter iniciado a etapa de testes de injeção dos modelos, foram constatadas várias falhas no projeto que inviabilizavam a impressão dos moldes de maneira correta. Vale ressaltar que todas essas falhas surgiram quando usada a tecnologia STL.

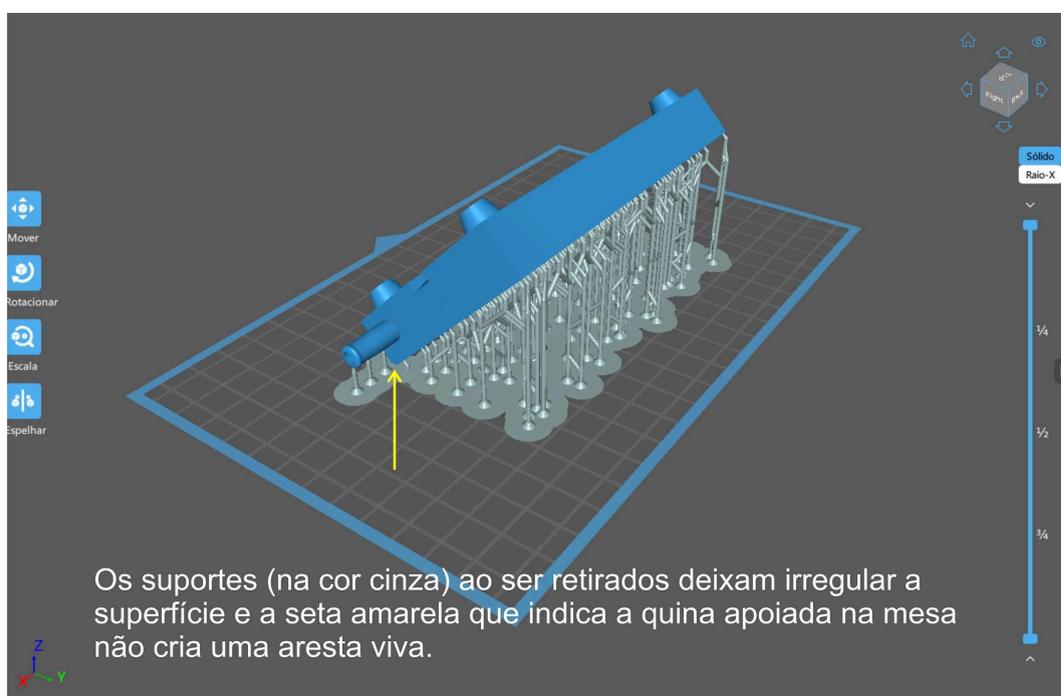
1° ajuste. Não dá para imprimir o modelo de maneira horizontal com uma área muito grande em contato com a mesa de impressão. A razão: uma vez impresso, retirá-lo da mesa vira uma tarefa inglória, além de arranhar a mesa de impressão, o que pode acarretar possíveis impressões erradas de outras peças no futuro.

Figura 32 – Imprimindo de maneira Horizontal – [imagem do autor]



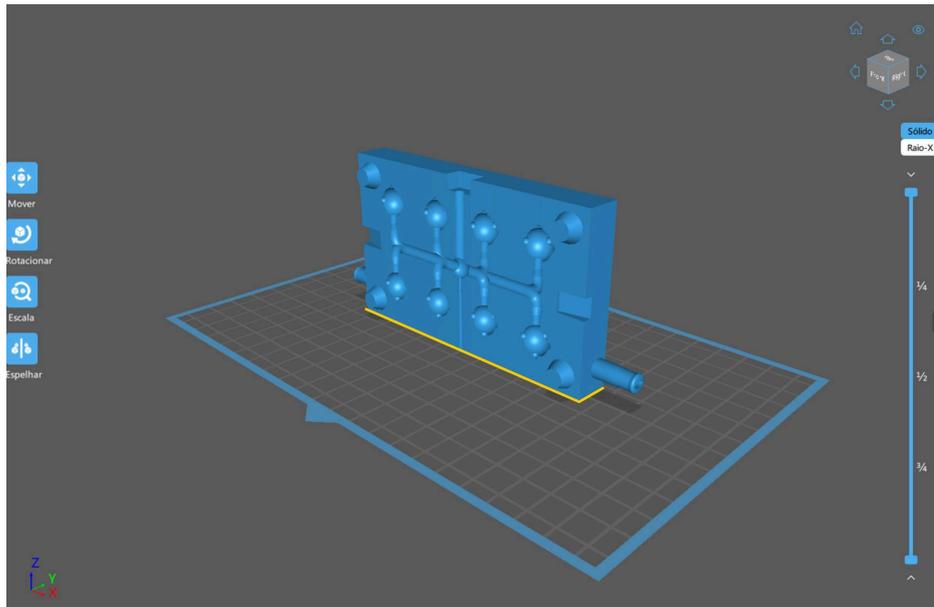
2° Ajuste. Este foi resultado do primeiro. Ao descobrir que não era viável imprimir o modelo de maneira horizontal, optou-se por colocar o modelo com uma inclinação entre 30° e 70° apoiado diretamente na mesa de impressão. O Resultado: para poder o modelo ser impresso desta maneira ele precisa de suportes para sua construção, e os suportes deixam a superfície do modelo irregular quando este é retirado, e isto não é bom quando precisamos de uma superfície reta para o correto apoio das placas da injetora na parede do molde. Somado a isto, quando o molde é apoiado em uma das suas quinas vivas na mesa de impressão, ao ser impressa essa quina será mais larga e aparecerá mais espalhada do que deveria.

Figura 33 – Imprimindo de maneira oblíqua à mesa – [imagem do autor]



3° Ajuste. Como resultado das anteriores tentativas, decidimos colocar o molde na posição vertical. Assim, evitaria-se ter uma área irregular provocada pela impressão em posição oblíqua e diminuiria a área de contato com a mesa para um descolamento mais simples (área de contato indicada na cor amarela na figura 34).

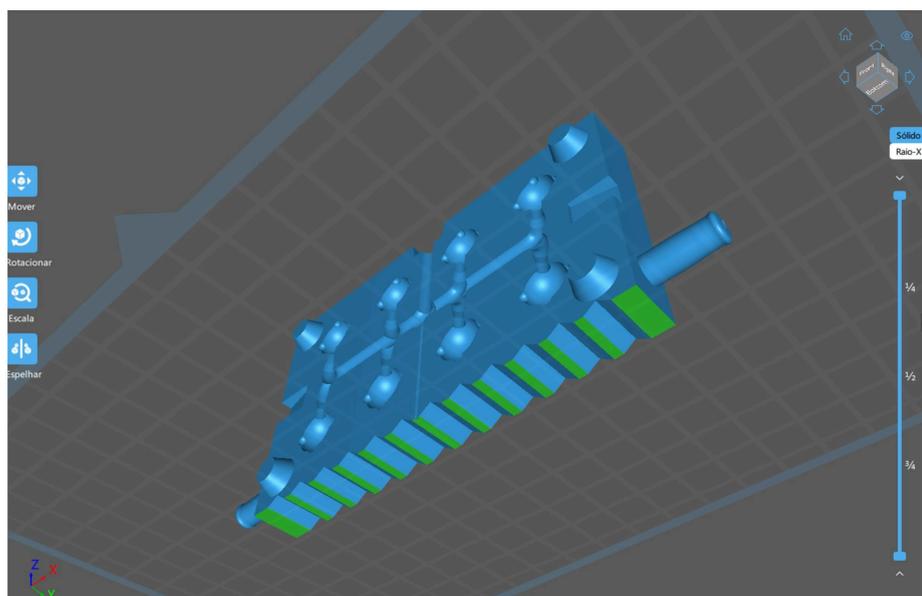
Figura 34 – Imprimindo de maneira vertical – [imagem do autor]



Mesmo com este posicionamento do molde sobre da mesa, houve dificuldade para descolar a peça da mesa, principalmente quando a resina usada era a PRO.

4° Ajuste. Para contornar o problema anterior, decidiu-se serrilhar a base de contato com a mesa com o molde colocado mais uma vez na posição vertical, com isto a superfície de contato diminuiria mais ainda (na figura 35 pode-se observar na cor verde a área de contato com a mesa).

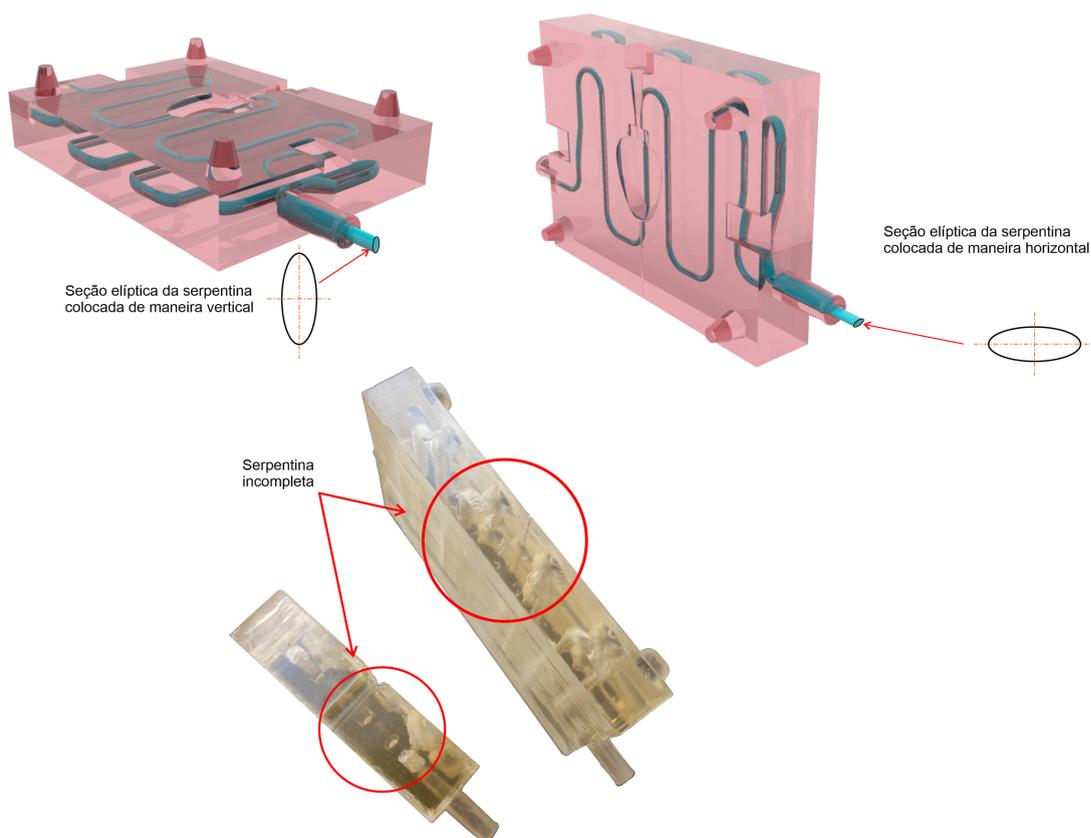
Figura 35 – Imprimindo de maneira vertical com a base serrilhada – [imagem do autor]



A colocação do molde na posição vertical com a base serrilhada apresentou-se como a melhor opção para imprimir os moldes em resina, sem ter a dificuldade do molde ficar fortemente grudado à mesa e também sem ter deformações indesejadas na superfície plana do mesmo (as costas do molde, principalmente).

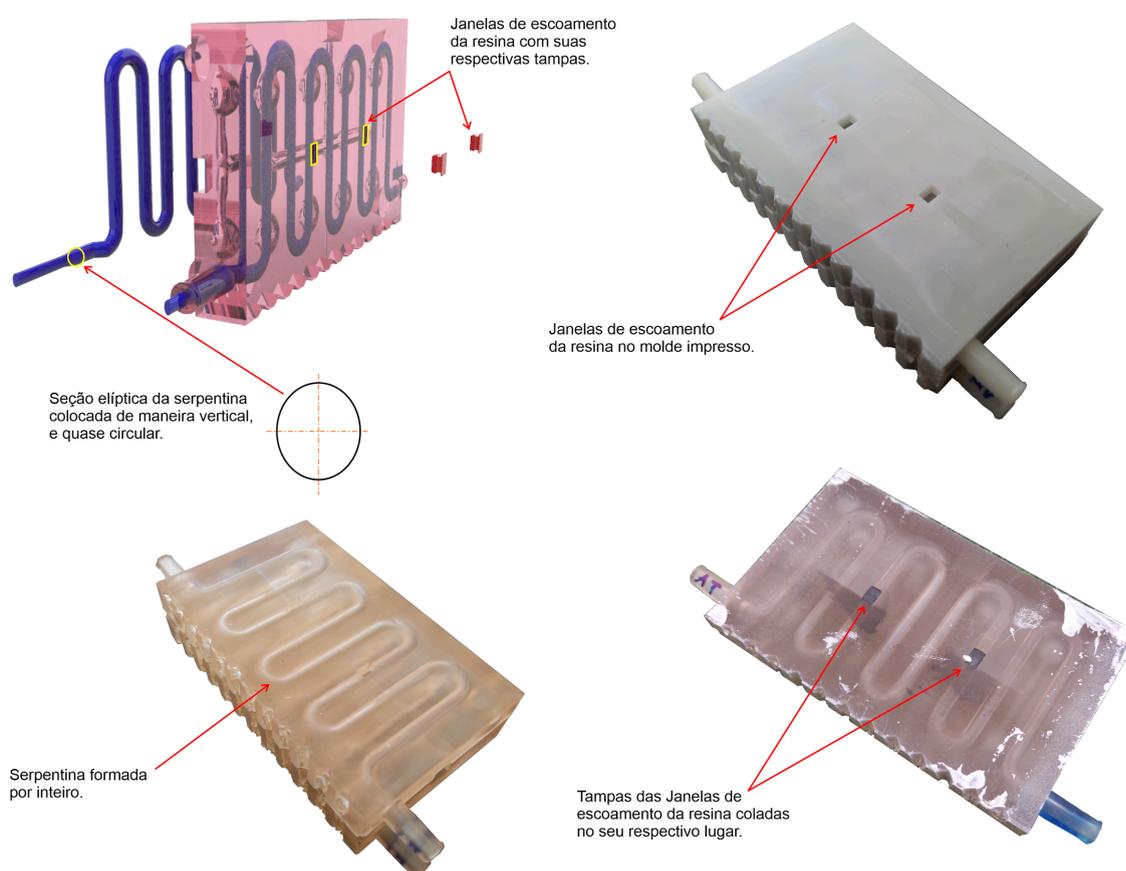
5. Ajuste. Esta adequação foi resultado da maneira como foi projetado o primeiro molde, aquele que foi impresso com filamento, com a tecnologia FDM. Quando idealizado, foi pensando que ele deveria ser impresso de maneira horizontal na mesa, ou seja, apoiando as costas do molde contra a mesa, e para tal, a seção da serpentina de resfriamento foi concebida para ficar com o eixo maior dela na posição vertical. Mas, com a problemática de imprimir na posição horizontal na impressora de resina, e ter de colocar o molde na posição vertical, esquecemos de virar a seção da serpentina para acomodá-la à nova colocação. Isto, junto com a propriedade de viscosidade da maioria das resinas experimentadas, com exceção da resina PRO, provocou que resina não formasse corretamente o percurso do canal, interrompendo-o em alguns trechos, provocando o bloqueio do mesmo quando se realizou o processo de cura.

Figura 36 – Problemas com a serpentina de resfriamento – [imagem do autor]



Para fugir desse problema foram feitos vários ajustes em conjunto: o primeiro deles foi aumentar os eixos internos da seção elíptica da serpentina até quase virar uma circunferência; o segundo, criar duas janelas para escoar a resina acumulada dentro do canal. Assim, quando feito o processo de lavado da peça, essa resina seria evacuada de maneira mais fácil. Como resultado, uma vez feito o processo de curado, não haveria nenhum resto de resina dentro do canal que pudesse provocar bloqueios. As tampas das janelas de escoamento foram coladas com silicone resistente a altas temperaturas, o mesmo usado para colar os blocos dos motores a combustão.

Figura 37 – Solução aos problemas da serpentina de resfriamento – [imagem do autor]



8.1 Os Testes

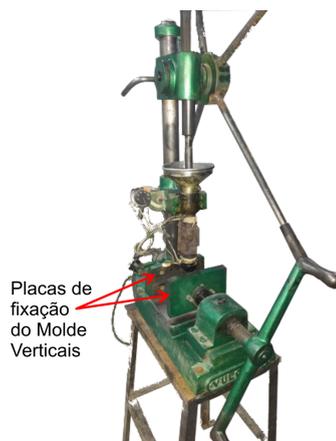
Após os ajustes para otimizar o funcionamento dos moldes, os primeiros testes foram realizados na injetora Vulcano (imagem 38), e a ordem dos materiais não foi aleatória, obedeceu a características próprias dos materiais, no caso dos filamentos: o 1° foi o PLA com adição de alumínio, por ser o material que quando impresso

precisa de menor temperatura, entre 200° e 220°, além de ser um dos materiais que quando impresso apresentou dificuldade na adesão entre camadas, pela sua própria constituição, a inserção de alumínio para criar o compósito dificulta sua colagem entre camadas; o 2° foi o PLA, este pela mesma razão do anterior, sua baixa temperatura de impressão, entre 200° e 220°, o que indica uma possível menor resistência às altas temperaturas; o 3° foi o PETG, ele é um material que se estruda entre 240° e 270°, além de ter uma maior resistência mecânica.

Uma vez definida a ordem para os materiais de filamento, nos encaminhamos para testar os moldes de resina. Nestes a ordem foi definida de uma maneira mais intuitiva. A razão explica-se devido a que com a resina não tinha-se a mesma experiência que com o filamento enquanto a sua resistência e características já que foi a primeira vez que realizavam-se mais impressões com diversos tipos de materiais para a tecnologia SLA. Então a ordem que ficou estabelecida aqui foi: 1° a Resina Dental; 2° a Resina Lavável; 3° a Resina Flex; 4° a Resina PRO; e para finalizar, a Resina de Alta Temperatura, esta como seu nome o indica, é a mais resistente ao calor, por esse motivo foi deixada por último por presumir que seus resultados seriam superiores.

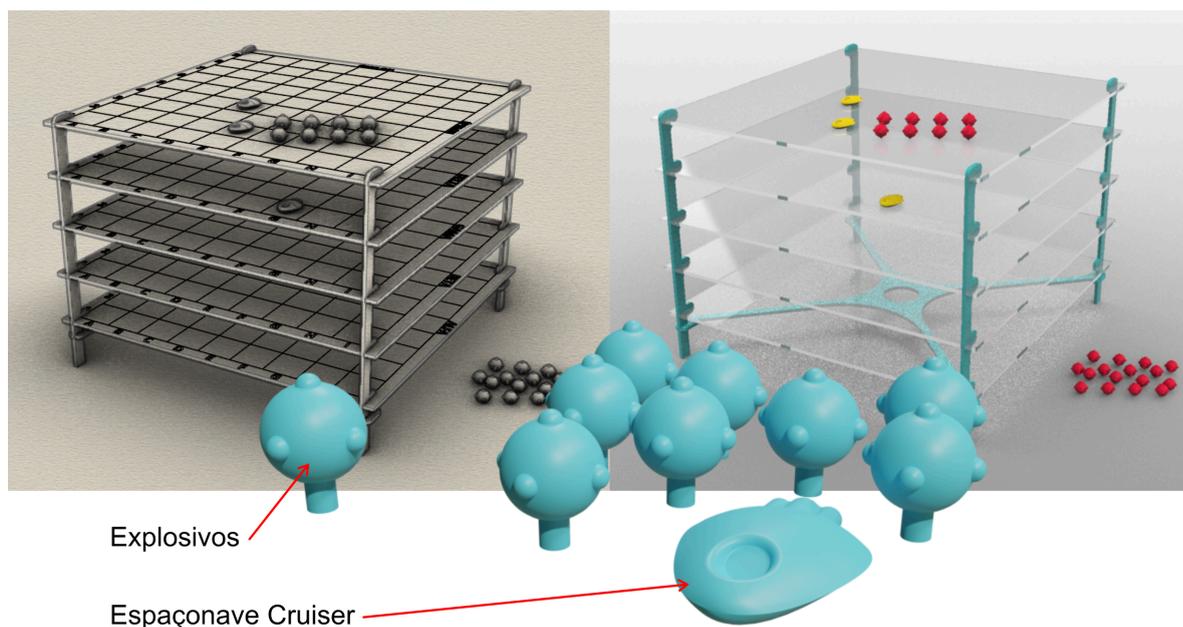
Definida a ordem de realização dos testes, foi decidido que se o molde conseguir produzir 100 peças, o molde terá validada sua funcionalidade. Por que 100 peças? Este número não é aleatório, se deve a que segundo um projeto de lei aprovado na câmara dos deputados cita (“Câmara dos Deputados”, 2021), “A Comissão de Educação da Câmara dos Deputados aprovou o Projeto de Lei 4731/12, do Senado, que fixa em 25 o máximo de alunos na pré-escola e nos dois primeiros anos do ensino fundamental e em 35 nos demais anos do ensino fundamental e no ensino médio”. Por essa razão acreditamos que produzir materiais para 100 alunos é mais do que suficiente para que os professores estejam acobertados nas suas produções.

Figura 38 – Modelo de injetora vulcano – [imagem do autor]



Os primeiros dois elementos modelados pertencem ao jogo de Batalha do mundos, jogo proposto como teste para este projeto de pesquisa. Os elementos foram os Explosivos e a Espaçonave Cruiser.

Figura 39 – Elementos modelados, Explosivos e Espaçonave Cruiser – [imagem do autor]





A imagem a seguir (Figura 40) mostra os moldes impressos para os testes e pintados com Primer antes de receber sua camada de tinta.

Figura 40 – Moldes com acabamento em Primer – [imagem do autor]



8.1.1 O Teste PLA + AL

Definida a ordem para o teste dos moldes, partiu-se para os testes com a injetora. Como a injetora Vulcano que foi usada estava há muito tempo sem funcionamento, no primeiro teste constatou-se que o termostato não estava funcionando corretamente. Ele não desligava, ficava elevando a temperatura continuamente sem parar. A solução encontrada foi ligar e desligar a máquina em intervalos, para evitar elevar demasiado a temperatura do plástico e como consequência a obsolescência

do molde de maneira mais rápida. Mesmo assim, o calor foi demasiado forte para o molde. Além disso, por não saber o quanto o molde resistiria à pressão das placas metálicas que seguram ele na injetora, os primeiros testes não se apertaram o suficiente e o PEAD injetado vazou dentro do próprio molde, este incidente colaborou para encurtar sua vida útil. Somado a estes dois acontecimentos, houve ainda um terceiro: o primeiro molde quando transportado para o lugar dos testes (viagem internacional), no transporte, perdeu um dos engates para conectar as mangueiras para o sistema de resfriamento. Por esta razão ele não pode ser resfriado passando água pelo seu interior.

8.1.2 O Resultado da Injeção

Como consequência das dificuldades encontradas no primeiro teste, o molde conseguiu realizar unicamente onze injeções antes de ficar inutilizável. Os resultados da injeção podem ser vistos nas seguintes imagens: na imagem do lado esquerdo, nas duas primeiras linhas verticais aparecem oito modelos injetados, os da primeira linha com muita rebarba (pela questão do molde não ter sido apertado o suficiente entre as placa de sujeição), na terceira linha se mostram pedaços do molde que foram quebrando conforme foi sendo usado. Na imagem do lado direito, aparecem as últimas e injeções realizadas, que mostram partes de filamento grudadas nas peças, como resultado de sua destruição gradativa.

Um outro detalhe percebido foi que a duração da tinta escolhida para revestir o molde foi mínima, nas primeiras injeções realizadas, as peças já apareciam com tinta grudada nelas. Ou seja, mesmo usando uma tinta que dizia suportar alta temperatura, pelo menos quando utilizada para revestir o material plástico dos moldes, parece não ter servido ao seu propósito.

Figura 41 – Injeção com o molde de PLA + AL – [imagem do autor]



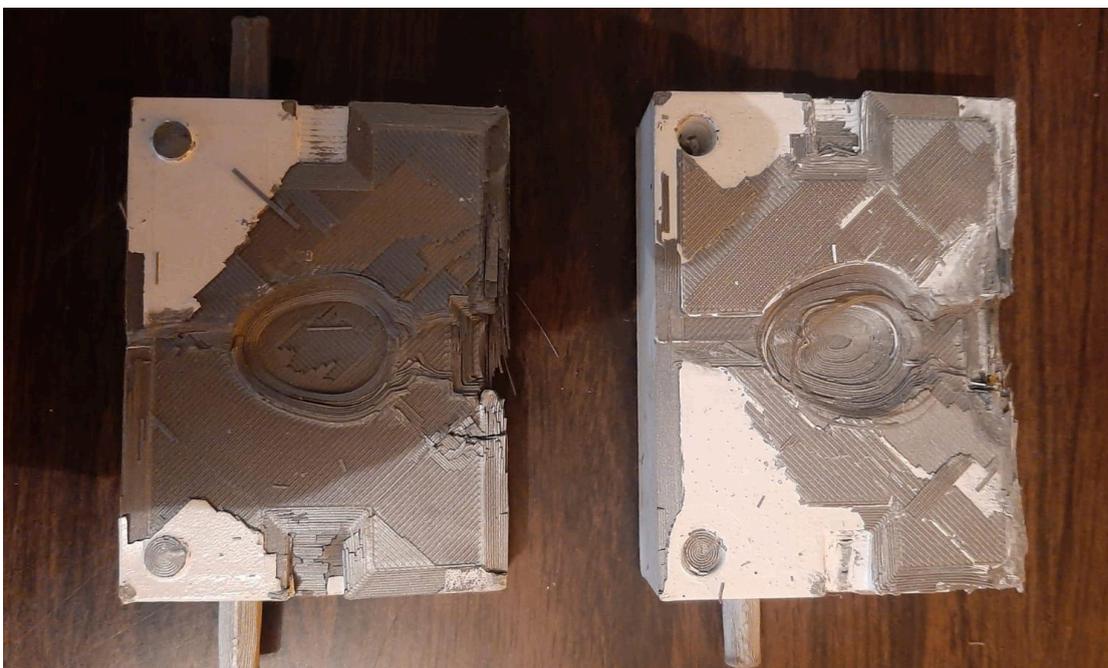
13.1.1.2 A Avaliação do Molde

O veredito para o primeiro material usado neste molde (PLA + AL), foi a reprovação. Este é um material que não suporta temperaturas elevadas, a sua vida útil foi praticamente inexistente, portanto, não é um material apto para a finalidade pedagógica proposta. De relevante unicamente, é que descobriu-se após o teste, que o material, mesmo sendo quebradiço na sua constituição natural, suportou sem problemas a compressão mecânica provocada pela máquina quando apertado pelas placas para segurá-lo e poder realizar a injeção. Isto pode servir para criar moldes pensados com vários materiais na sua produção e assim diminuir ainda mais o seu custo de, por exemplo, construir uma camisa (corpo externo do molde que envolverá o núcleo que receberá a injeção) feita com PLA + AL ou PLA e o núcleo do molde com um material que prove ser resistente à temperatura.

Figura 42 – O molde de PLA + AL após a injeção – [imagem do autor]



Figura 43 – O interior do molde de PLA + AL após a injeção – [imagem do autor]



8.2.1 O Teste PLA

Neste teste, constatou-se novamente que a tinta não serviu ao seu propósito. Ela descascou nas primeiras injeções, tanto que as primeiras três peças saíram na cor branca uma vez que a tinta ficou aderida a elas. O PLA tal qual seu predecessor (PLA+AL), mas sem a adesão de Alumínio provou ser mais resistente do que suspeitava-se quanto à pressão mecânica, resistiu perfeitamente o aperto da máquina para fechá-lo e realizar a injeção. Este material foi um pouco mais resistente que o anterior, e houve um fator que colaborou nisso e foi perceptível, durante o transporte novamente foi danificado um dos engates para conectar as

mangueiras na metade mais fina do molde, razão pela qual unicamente pode ser utilizado o sistema de resfriamento da metade mais grossa do molde. Quando finalizados os testes, a metade que tinha o sistema de resfriamento funcionando se manteve em melhor estado do que a que não o tinha habilitado.

8.2.2 O Resultado da Injeção

Até a vigésima injeção, o molde se manteve funcionando de maneira correta, tanto que as injeções se mostraram sem praticamente nenhuma rebarba, uma grata surpresa para um material do qual não se esperava muito. Ao todo conseguiram-se 29 injeções com esse material, não é muito, mas em se pensando que era um material do qual tínhamos muitas dúvidas no início das provas, ele se saiu melhor do que esperado.

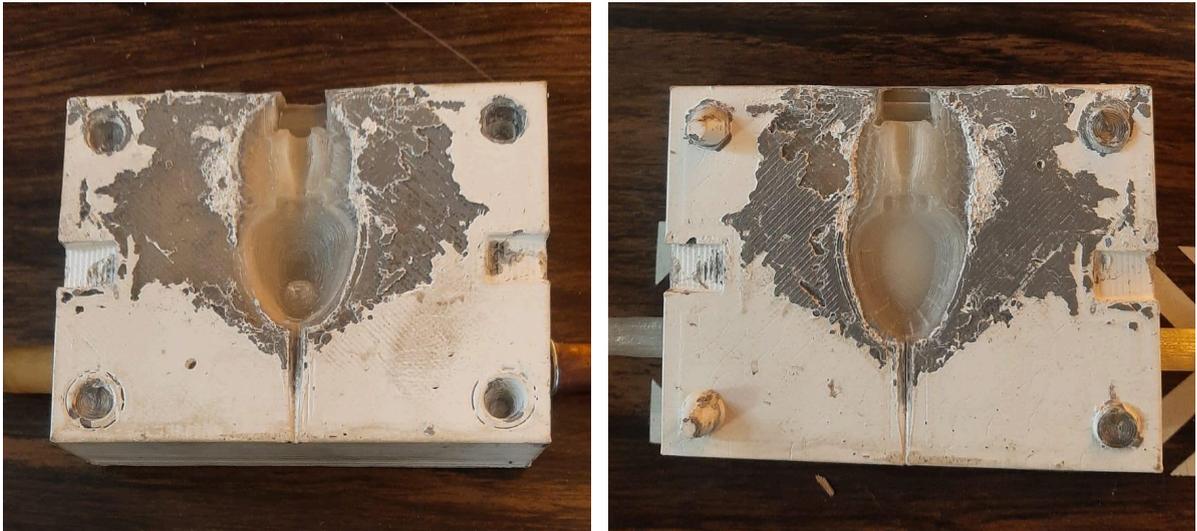
Figura 44 – Injeções e o Molde após a injeção – [imagem do autor]



8.2.3 A Avaliação do Molde

As 29 Injeções podem não parecer muito, mas para um material que é muito fácil de ser impresso, o mais longânime dos que usam o sistema FDM, e também o mais barato, ele se apresentou como uma grata surpresa e como um material que pode ser usado para testes iniciais. Mostrando-se propício a revelar as possíveis falhas de um projeto ou suas possíveis melhorias, para depois partir para fazer o molde definitivo já melhorado em um material que for mais resistente.

Figura 45 – Estado do molde após injeções – [imagem do autor]



8.3.1 O Teste PETG

O material descrito neste teste foi o primeiro a ser testado com o sistema de resfriamento funcionando por inteiro, em ambas metades do molde. Mais uma vez, foi constatado que a tinta de proteção contra temperaturas elevadas não serviu de auxílio nenhum, uma vez que as primeiras 4 injeções saíram tingidas da cor branca e depois disso o núcleo do molde ficou sem tinta. As 10 primeiras injeções saíram do molde sem praticamente nenhuma rebarba. A partir da décima primeira o molde começou a sua deformação natural provocada pela temperatura e as rebarbas começaram a aparecer.

8.3.2 O Resultado da Injeção

O molde permitiu a injeção de 40 peças com maior ou menor quantidade de rebarbas, mas que ainda assim são consideradas peças úteis, pois essa quantidade de rebarba é fácil de tirar com auxílio de um alicate.

Figura 46 – Injeções com o molde de PETG – [imagem do autor]



8.3.3 A Avaliação do Molde

O molde sofreu deformação, mas quando comparado com os anteriores, foi mínima. Portanto, dos moldes de filamento, ou seja, aqueles que usam tecnologia FDM, existe a real possibilidade de que este molde possa ser funcional. Chegamos a esta conclusão fazendo as seguintes considerações: o molde foi desenhado para produzir uma única peça, mas se o molde fosse como os moldes produzidos em resina que injetaram mais de uma peça de uma vez só, poderíamos imaginar 3 peças no mínimo sendo injetadas de uma única vez em um molde feito de PETG. Com isso poderíamos alcançar a produção de 120 peças, e no início dos testes falávamos que produzir mais 100 peças por molde era o critério de ser ou não um molde viável.

O molde fabricado em PETG somente perde em dois quesitos quando comparado com os fabricados em resina: o primeiro, a velocidade de impressão do material com a tecnologia FDM que é muito menor que a impressão que utiliza tecnologia SLA, portanto criar um molde com este material demanda maior tempo de produção; e

segundo, a qualidade, isto quer dizer, a fidelidade que o molde entrega quando comparado com os moldes de resina também é inferior.

Outra proposta para o uso deste material pode ser a mesma orientação que para o PLA, fazer deste material um material para criar uma camisa para os moldes produzidos em resina, pois é um material muito resistente a esforços mecânicos de compressão.

Figura 47 – O molde de PETG após as injeções – [imagem do autor]



8.4.1 O Teste TRITAN

Os testes com Tritan não foram realizados pela seguinte razão: o material não tem um acabamento considerado bom para receber o plástico injetado e criar um bom produto final. Pode ser devido ao fato que as impressoras experimentadas neste projeto eram básicas e, ao imprimir com o Tritan, elas eram levadas ao limite da sua capacidade. Para projetos futuros, no entanto, poderia ser considerado novos testes com impressoras superiores para analisar se o resultado é também superior.

Figura 48 – O molde de Tritan e sua baixa qualidade de acabamento – [imagem do autor]



8.5.1 O Teste Resina DENTAL

Como ocorreu em testes anteriores, o molde de resina dental estava sem seu sistema de arrefecimento funcionando, mas não porque tivesse sido quebrado como outros, mas porque no seu processo de fabricação a resina não saiu totalmente do canal de resfriamento e quando aconteceu o processo de cura solidificou, bloqueando o canal. Mais uma vez, a tinta não cumpriu sua função e descolou do molde nas primeiras injeções, além de que este molde de resina apresentou outro comportamento: ao se desprender do molde, a tinta permaneceu em partes sim e outras não, formando bolotas ou caroços que impediam o correto assentamento das faces do molde uma com a outra ao ser fechado.

8.5.2 O Resultado da Injeção

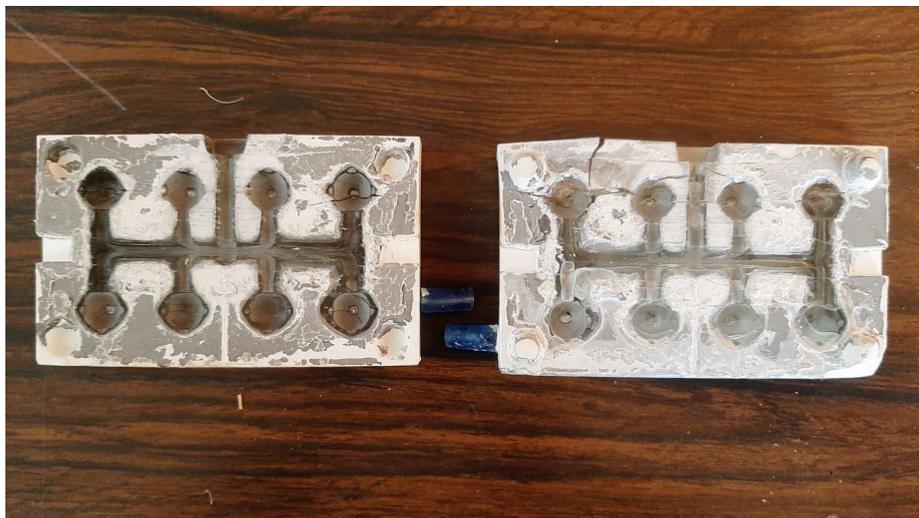
Foi possível realizar 16 injeções com o molde, mas do total, somente 12 tinham todos os elementos injetados completamente. Os elementos saíram muito irregulares e com rebarba, isto se deve a que o molde desde o processo de impressão não saiu completamente reto, então, as faces internas do molde não assentaram perfeitamente, permitindo o vazamento de plástico e a consequente

rebarba. Além disso, pela falta de sistema de resfriamento, o molde rachou após as 16 injeções.

Figura 49 – Injeções com o Molde de resina dental – [imagem do autor]



Figura 50 – Molde de resina dental após as injeções – [imagem do autor]



8.5.3 A Avaliação do Molde

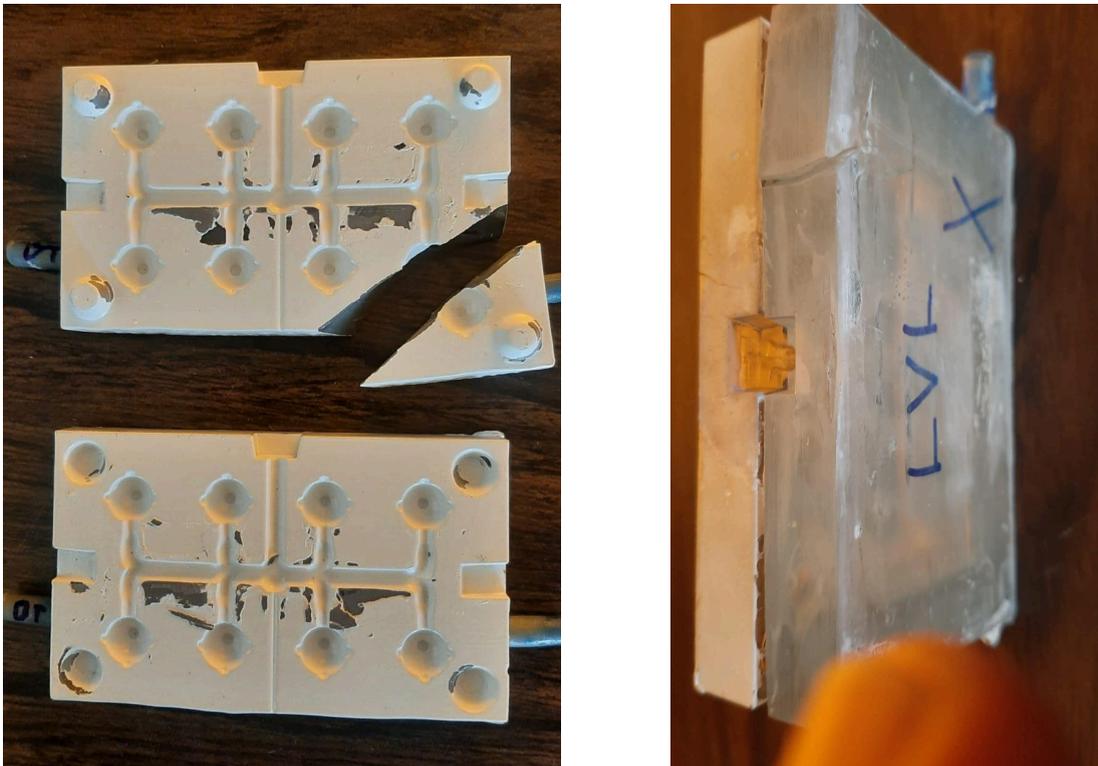
Da mesma forma que o PLA + AL, o molde sofreu demasiado com as injeções e com a temperatura, ao ponto de se partir no processo e ficar inoperante. Pode ser que tendo o sistema de resfriamento habilitado, o resultado tivesse sido outro, mas desde o processo de impressão do molde o tipo de resina já apresentava uma

dificuldade de impressão maior que as demais. Com isto, o resultado para o molde de Resina Dental é a reprovação.

8.6.1 O Teste Resina LAVÁVEL

Não deu para testar, porque o molde não estava completamente plano após a impressão. Foi outra resina de difícil impressão, o molde quando finalizado apresentou uma concavidade (mínima, mas visível a olho nú) e quando apertado entre as placas de sujeição, quebrou!

Figura 51 –Injeções e o Molde de resina dental após as injeções – [imagem do autor]



8.7.1 O Teste Resina FLEX

Após o problema com as bolotas de tinta quando a tinta soltava do molde pelo calor, tomou-se a decisão de retirar a camada de tinta para evitar esse problema, uma vez que ela não estava fazendo diferença nenhuma. Com ajuda de thinner e uma trincha, a tinta foi facilmente removida do restante dos moldes sem afetar sua face interna nem os núcleos de injeção. O sistema de resfriamento não estava

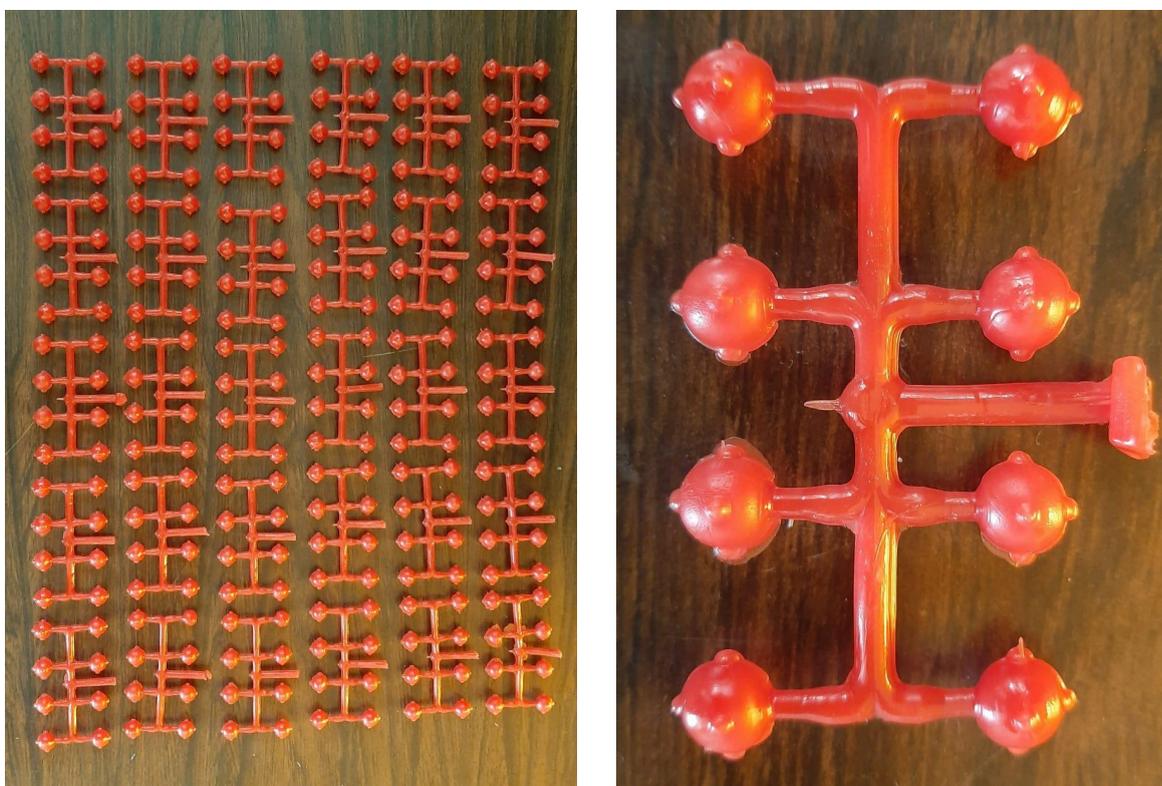
funcionando devido ao fato que no processo de impressão foi um dos moldes onde a resina permaneceu dentro do canal de resfriamento e solidificou ao curar.

Para tentar contornar o problema do resfriamento, decidiu-se colocar o molde para resfriar em uma bacia com água a cada injeção realizada: então, realizava-se uma injeção; submergia-se o molde para resfriar; e por último era enxugado com um pano quando tirado da bacia para estar livre de água para a próxima injeção.

8.7.2 O Resultado da Injeção

O resultado do molde com resina FLEX foi muito promissor, obtiveram-se 30 injeções com uma matriz que injetava 8 elementos de uma vez só. Portanto realmente tivemos 240 peças injetadas, com uma qualidade que beirava a perfeição, pois a quantidade de rebarbas foi mínima e também em poucas peças, a única característica a ser mencionada em contra, é que os moldes impressos com este material não tem a fidelidade apresentada por outras resinas como a PRO ou de AT, mas nada para desabonar seu trabalho.

Figura 52 –Injeções com uma qualidade muito boa – [imagem do autor]



8.7.3 A Avaliação do Molde

O molde se manteve quase intacto, as injeções saíram beirando a perfeição, quase sem rebarbas. Acreditamos que parte do sucesso do molde deve-se ao tipo de material, que ao ser semi-flexível, permitiu uma melhor vedação entre as faces para uma melhor injeção. Mas isto é somente uma suposição, deveríamos realizar mais testes para descobrir se realmente é esta a razão por trás de tão bom desempenho. A avaliação após o teste do molde feito com resina FLEX é positiva, esta resina é uma boa resina para produzir moldes de injeção de PEAD reciclado.

Figura 53 – O molde FLEX após as injeções – [imagem do autor]



8.8.1 O Teste Resina PRO

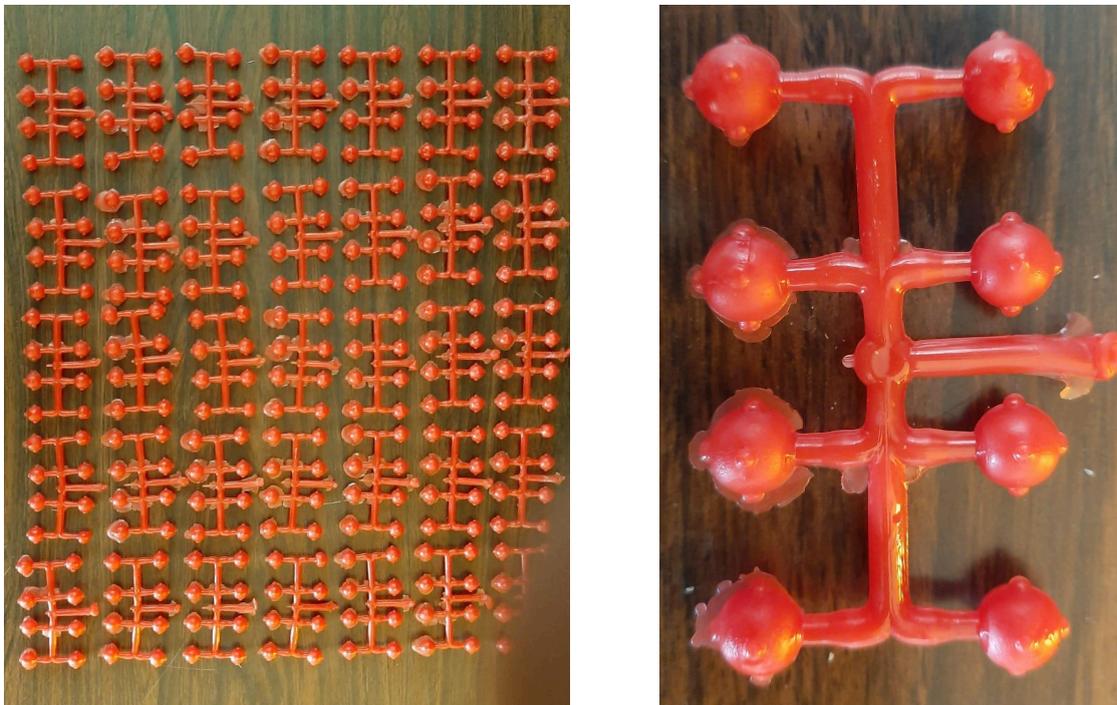
De igual maneira que aconteceu com o molde de resina FLEX, o molde de resina PRO deve ser esfriado submergindo ele em uma bacia com água. Isto devido ao fato que no transporte do molde foram quebrados alguns dos engates para a conexão das mangueiras do sistema de resfriamento.

Realizando o resfriamento da mesma maneira que com o molde FLEX foi mais do que suficiente para que o molde funcionasse corretamente.

8.8.2 O Resultado da Injeção

Obtiveram-se 35 injeções (280 peças). Vale salientar que neste teste com a resina PRO foi decidido medir o tempo invertido para a realização total das injeções: o tempo foi de 1h e 15 min. Um fato que não deixa de ser interessante, já que se comparado com a impressão 3D tanto com tecnologia FDM, quanto com tecnologia SLA, nenhuma das duas seria capaz de imprimir a mesma quantidade de peças nesse mesmo tempo. O único porém com este material (resina PRO) é que ele produziu maior quantidade de peças com rebarbas, quando comparada com o molde de resina FLEX, mas nada que desacredite sua produção.

Figura 54 – As injeções com o molde de resina PRO – [imagem do autor]



8.8.3 A Avaliação do Molde

O molde se manteve quase intacto após as injeções. Como mencionado anteriormente as injeções saíram com mais rebarbas do que no FLEX, mas mesmo assim o resultado foi muito bom. Com isso, temos mais um material aprovado para a produção de moldes criando um sistema democrático.

Figura 55 – O molde PRO após as injeções – [imagem do autor]



Figura 56 – O molde PRO no interior, após as injeções – [imagem do autor]



8.9.1 O Teste Resina de ALTA TEMPERATURA

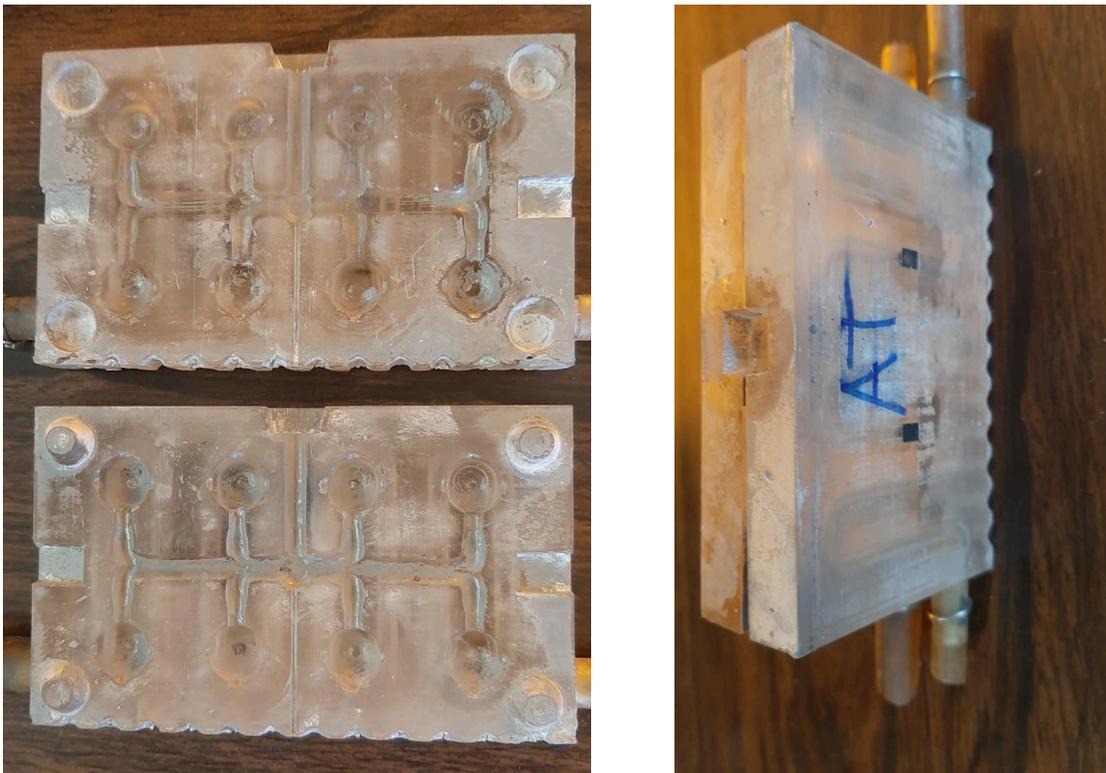
Deixamos por último o molde feito com resina de alta temperatura, por óbvias razões. Ao ser a única resina projetada para suportar temperaturas mais altas, de antemão pressupomos que ela se sairia melhor do que as outras. Um outro detalhe importante foi que afortunadamente para os testes, este molde chegou intacto para sua utilização, pelo que seu sistema de resfriamento pôde ser usado sem

problemas. Com isto percebemos que em nenhum momento o molde esquentou, ele sempre se manteve com uma temperatura morna que não afetou sua função.

8.9.2 O Resultado da Injeção

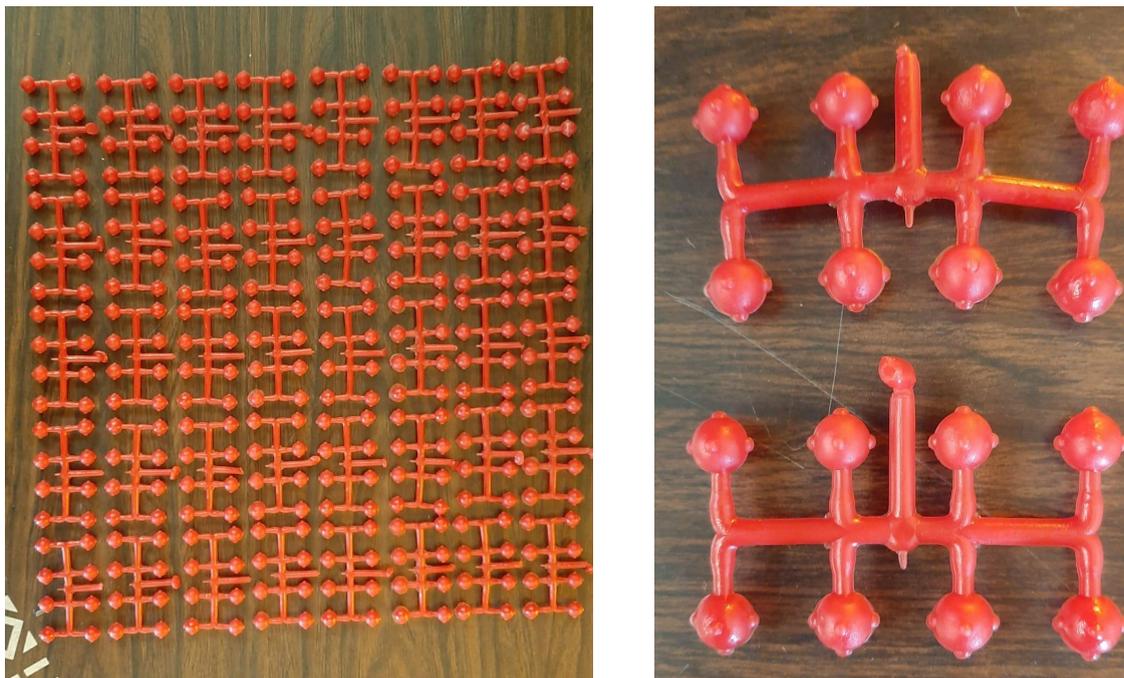
Como resultado obtivemos 40 injeções (320 peças), sem perceber estresse nenhum no molde. Ele concluiu o teste da mesma maneira que começou. Decidiu-se novamente medir o tempo invertido nas injeções, o resultado da medição foi de 50 minutos. Acreditamos que o menor tempo se explica pelo sistema de resfriamento que funcionava corretamente e não havia que parar para resfriar o molde dentro de uma bacia com água. Simplesmente havia que realizar as injeções sucessivas até atingir nosso objetivo.

Figura 57 – O Molde após as injeções – [imagem do autor]



Outra característica importante de se mencionar é que quase nenhuma injeção apresentou rebarbas. Ou seja, é um material que consegue trabalhar muito bem sob as condições em que foi projetado.

Figura 58 – As injeções com o molde de Alta Temperatura – [imagem do autor]



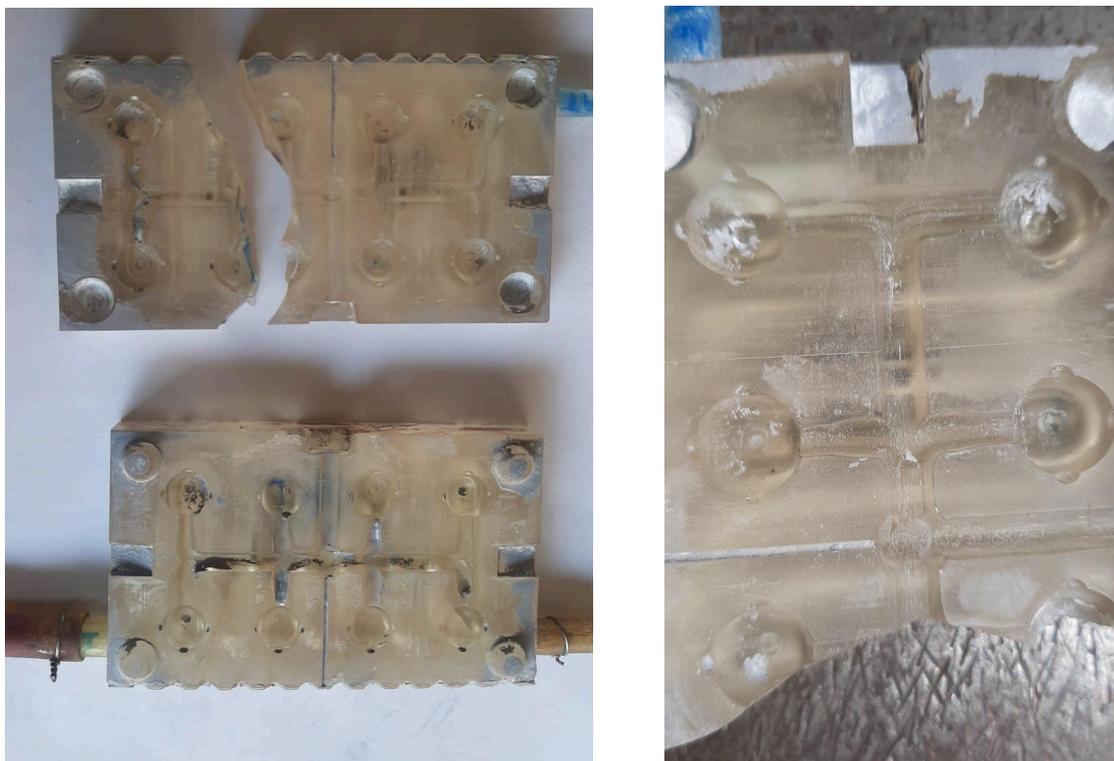
Uma semana depois do primeiro teste, decidiu-se novamente usar o molde, como se fosse um molde normal feito de alguma liga metálica, para saber se algo mudava na sua constituição, se tinha um desgaste acentuado, se não funcionava mais, algum fator que fosse diferente do resultado obtido no primeiro teste. Para grata surpresa, o molde se comportou do mesmo jeito, sem apresentar problema nenhum, sem desgaste do material, se manteve intacto mesmo tendo realizado mais 25 injeções, para totalizar 65 (ou seja um total de 520 elementos injetados) e suspeitamos que funcionaria realmente durante mais tempo. Entretanto tivemos o infortúnio de ter um acidente e do molde cair durante uma das fases de desmoldagem, e quebrar. Este acontecimento interrompeu um teste mais longo.

Realmente acreditamos no potencial do material, de acordo com os resultados de toda pesquisa e diversos experimentos e testes realizados que o binômio da Resina de Alta Temperatura e a injetora Vulcano, provaram que este tipo de resina proporciona resultados muito encorajadores para o projeto e para possíveis desenvolvimentos do mesmo.

Figura 59 – mais 25 injeções com o molde de Alta Temperatura – [imagem do autor]



Figura 60 – O Molde quebrado mas impecável no seu estado – [imagem do autor]



8.9.3 A Avaliação do Molde

As características a elencar nesta última avaliação dos materiais para fabricar os moldes (neste caso o de ALTA TEMPERATURA) são as seguintes: o molde se manteve intacto após seu trabalho, sem deformações, sem fadiga, com a possibilidade de mais usos; a maioria das injeções saiu livre de rebarbas; o sistema de arrefecimento mostrou ser um diferencial para manter o molde com uma temperatura baixa. Com tantas qualidades listadas a avaliação não poderia ser outra senão aprovada.

Antes de começar a bateria de testes, já tínhamos uma ideia de alguns dos resultados que obtivemos, por ter conhecimento de características e comportamentos de alguns materiais mesmo que não sendo usados com a finalidade que foram projetados nesta pesquisa. Mas para ser sincero, todos os resultados foram uma grata surpresa, em especial este material, a resina de ALTA TEMPERATURA, pois ela se mostrou muito melhor do que podíamos imaginar antes mesmo de começarmos os testes.

8.10 Resultados Comparativos

Dentre os materiais experimentados, existem 5 dos quais podemos extrair proveito de diferentes maneiras. Estes foram: o PLA; o PETG; a resina FLEX; a resina PRO; e por último, a resina de ALTA TEMPERATURA.

Tabela 9 – Comparação entre materiais aprovados para diversas finalidades - [Tabela do autor]

Material	Quantidade e de Injeções	Quantidade e de elementos injetados	Injeções úteis (ótimas ou com pouca rebarba)	Utilização
PLA	29	29	20	Protótipos e análise de produto
PETG	40	40	23	Protótipos e análise de produto
resina FLEX	30	240	240	Produtos finais
resina PRO	35	280	270	Protótipos finais (com retrabalho)
resina ALTA TEMPERATURA	65	520	520	Produtos finais

Falar em Protótipos e análise de produto significa dizer que os moldes servem para analisar se o produto desejado atende a todas as características almejadas pelo Designer, que podem ser usados também como camisas para criar moldes mistos, ou seja, feitos de filamento e resina. Os protótipos finais (com retrabalho), são aqueles que apresentaram um trabalho posterior à injeção, lixando e cortando rebarbas excedentes para deixar o material pronto para ser considerado um Produto final. E para encerrar, os Produtos finais, seu nome indica a obviedade dos mesmos, são os materiais ideais para produzir o elemento desejado.

Tabela 10 – Quantidade de material, custos e tempo de fabricação dos moldes - [Tabela do autor]

Material	Quantidade de Material usado na construção do molde (ml - resina) (gr - filamento)	Tempo de Impressão (d/h/min/seg)	Custo por molde (R\$)
PLA	168	1d1h26'	16,11
PETG	168	1d9h25'	17,98
resina FLEX	130,18	2h43'02"	46,84
resina PRO	130,18	2h43'10"	57,83
resina ALTA TEMPERATURA	130,18	2h43'02"	41,93

9 A Pesquisa de Campo

9.1 Os Testes com os Alunos

De maneira paralela aos testes realizados com a injetora Vulcano, testes que correram satisfatoriamente, dentro das instâncias dos Laboratórios GREA3D e Plástico Precioso da UFPE, corremos outros testes realizados com a injetora do laboratório PP, uma injetora muito mais simples na sua feitura, mas nem tanto na sua operação.

Os testes foram realizados com o intuito de produzir um artigo para o evento “XV International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design - GRAPHICA 2024”.

Figura 61 – Injetoras utilizadas, Vulcano (verde) PP (azul) – [imagem do autor]

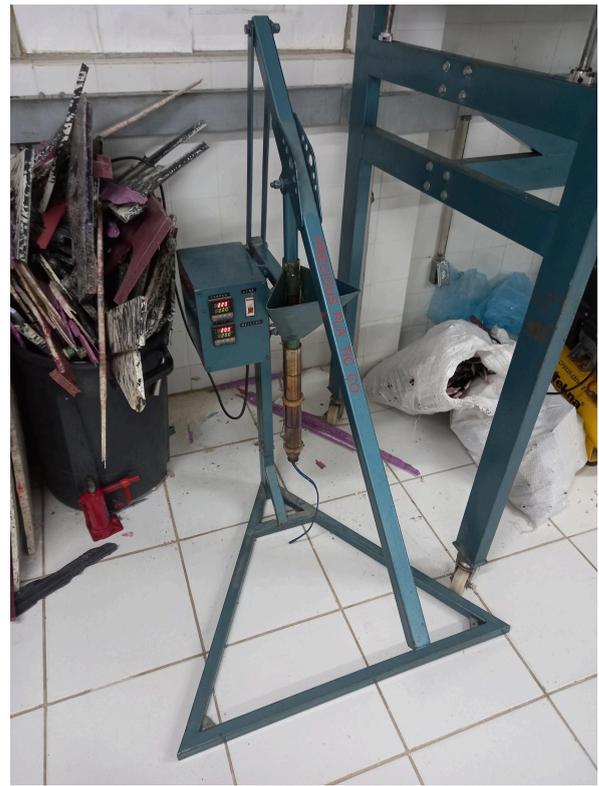


Figura 62 – Injetando com a injetora do laboratório PP – [imagem do autor]



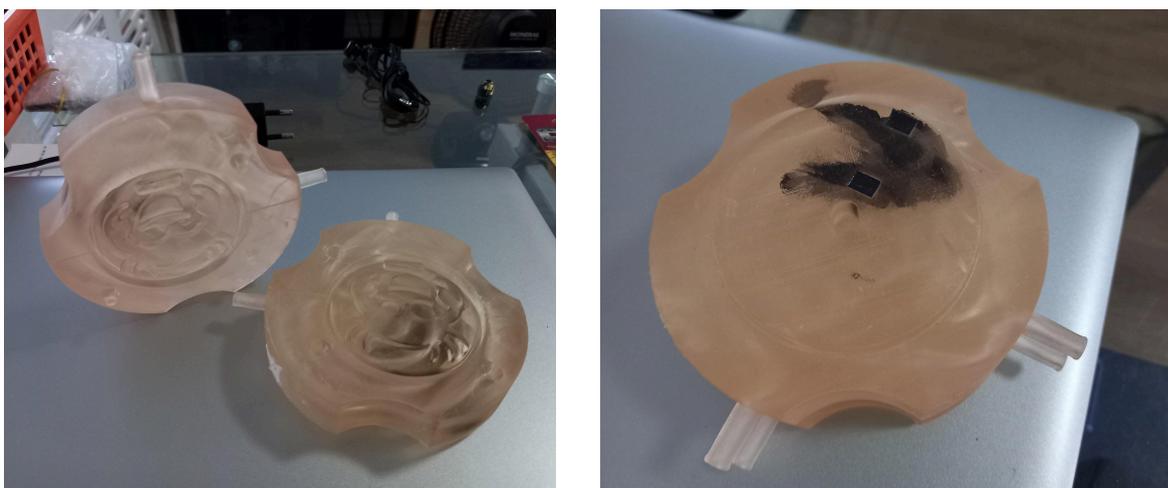
A injetora do laboratório PP opera com um sistema um pouco arcaico ou artesanal: o molde para ser injetado precisa ser apoiado sobre uma base de madeira, que por sua vez é colocada sobre um macaco hidráulico que regula sua altura para levar o molde até o bico de injeção da injetora. Em contrapartida, o sistema de aquecimento é regulado eletronicamente (um sistema superior ao da injetora Vulcano).

Porém, por precisarmos de tantos elementos soltos um do outro, é necessário um mínimo de 3 pessoas para operacionalizar a máquina: uma para servir de apoio à base da injetora, para evitar seu movimento, outra para segurar o molde e evitar sua movimentação quando a injeção começar, além de ser o encarregado de ligar a bomba de água para o sistema de arrefecimento trabalhar (cabe assinalar aqui que a bomba de água é simples e econômica, o projeto usou uma bomba de garrafão de água que fez o sistema trabalhar perfeitamente), e por último uma outra pessoa para puxar a alavanca de injeção.

Realizamos os primeiros testes com um molde que tinha uma injeção através de uma das faces do molde e a injeção se realizava de maneira horizontal. Foi difícil com esse molde, inicialmente porque precisávamos primeiro nos familiarizar com a

máquina e com seu processo. Depois desses primeiros testes, conseguimos realizar 6 injeções (vale a pena ressaltar aqui que a complexidade no design da peça era muito maior se comparada com os testes realizados com a outra injetora, e também, pelas falas dos próprios estudantes que participaram do teste e que já tem experiência com a injeção em moldes metálicos, foi o design de injeção mais complexo já realizado no laboratório do PP da UFPE).

Figura 63 – O molde da medalha do Caranguejo – [imagem do autor]

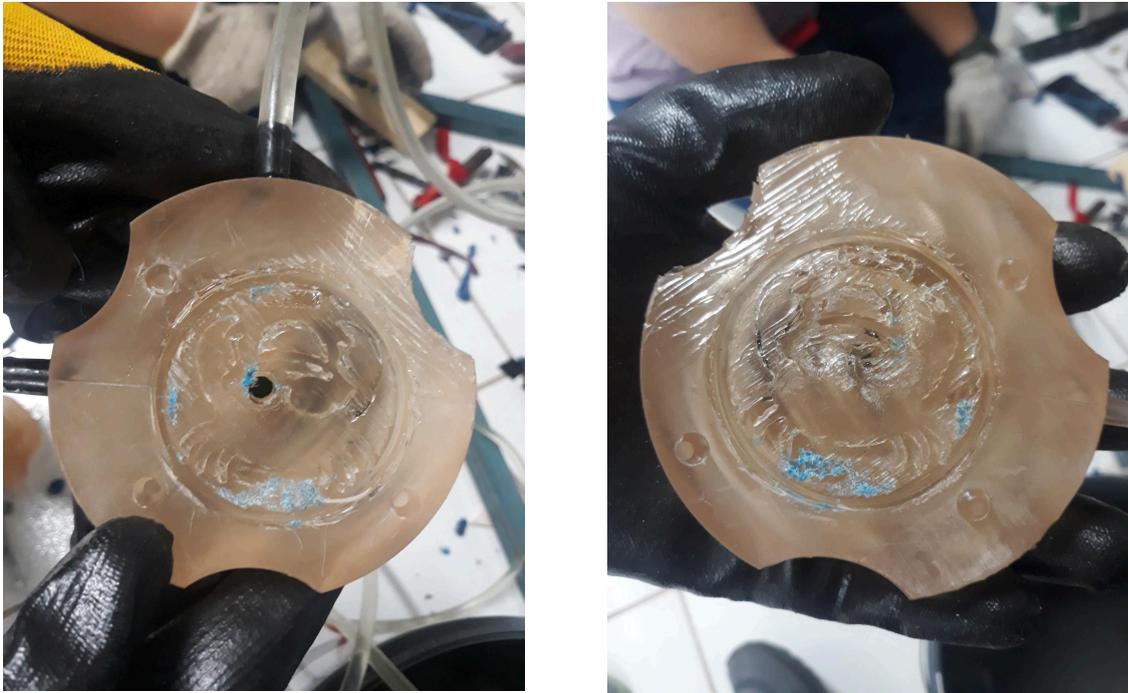


O primeiro entrave aconteceu quando estava conectando as mangueiras do sistema de resfriamento: ao tentar colocar um arame para prender a mangueira, pela pressão aplicada no arame para com o engate da mangueira, o engate acabou quebrando. Como solução decidiu-se colocar fita isolante ao redor do engate para posteriormente conectar a mangueira (resolução que funcionou perfeitamente sem nenhum vazamento).

O problema derivado disto foi que ao quebrar um dos engates do sistema de resfriamento, uma metade do molde não pode ser resfriada com o auxílio do sistema. Mas isto não foi totalmente um problema, pelo contrário, isto nos permitiu verificar a real funcionalidade do sistema de resfriamento, pois a metade resfriada do molde se manteve em melhor estado durante o processo de injeção, quando comparada com a que não pode ser resfriada. Na figura 64, do lado esquerdo aparece a parte resfriada após as sucessivas injeções e do lado direito a que não pode ser resfriada. Na imagem é nítido perceber que a metade não resfriada (lado

direito) apresenta mais arranhões (os arranhões são lascas de resina arrancadas pela fricção do plástico quente entrando e se deslocando dentro do molde).

Figura 64 – Comparação entre as metades do molde – [imagem do autor]



Outro resultado positivo da eficácia do sistema de resfriamento visto nas imagens anteriores é que a parte resfriada do molde foi a que admitia o plástico diretamente da injetora. Ou seja, a temperatura do plástico em contato com ele era maior que ao encontrar a outra metade.

Como falado anteriormente, no laboratório somente tinham sido realizadas experiências com moldes metálicos de geometrias simples. O molde utilizado (a medalha do caranguejo) teve uma geometria com uma complexidade muito maior, essa complexidade nos alertou sobre outros insights para melhorias em moldes de geometrias complexas: Uma delas foi realizar os moldes com duas metades partilhando uma injeção central, isto é, dividida entre essas duas metades. Assim funcionaria de maneira superior (igual aos moldes feitos para os testes na injetora Vulcano); e segundo, foi constatado que em geometrias complexas deve ser analisado o percurso que o plástico seguirá dentro do molde para saber qual a melhor colocação do núcleo de injeção dentro do molde, ou se ele precisa de mais veias de injeção internas. Na figura 65, na seta amarela se mostra o fluxo que o plástico percorre dentro do molde de maneira fluida, e com a seta vermelha, o

percurso do plástico de uma forma mais estrangulada, o que dificulta o enchimento do molde por inteiro.

Figura 65 – Análise do fluxo do plástico no molde – [imagem do autor]



Ao final das seis injeções experimentadas, conseguimos ver a evolução no entendimento da máquina para chegar na injeção perfeita: as primeiras injeções pecaram por falta de preenchimento ou por excesso de material que acabava vazando pelas laterais do molde. Já na sexta e última injeção realizadas nesse primeiro teste no laboratório conseguiu-se a injeção perfeita. Cabe aqui fazer uma ressalva importante, quando comparado o tempo de injeção com a injetora Vulcano nos testes originais do projeto, com o molde de Alta Temperatura, nos testes da injetora Vulcano em média, em duas horas de teste, foram realizadas 65 injeções, sem deformação nenhuma do molde (um total de 520 peças injetadas). Dentro do laboratório do Plástico Precioso da UFPE, em 3 horas de teste conseguimos realizar 6 injeções e somente uma útil.

Figura 66 – Teste no laboratório do Plástico Precioso – [imagem do autor]



Como resultado desses primeiros testes no Laboratório do Plástico Precioso ajustou-se o molde como dito anteriormente, para que as duas metades compartilhassem a veia de injeção principal (sua posição foi invertida de ser horizontal, a ter um molde vertical, da mesma maneira que o utilizado na injetora Vulcano), e criaram-se duas veias auxiliares para alimentar o molde de maneira a facilitar o fluxo do plástico dentro do molde para facilitar seu preenchimento. Também colocou-se fita isolante para vedar os engates das mangueiras do sistema de resfriamento e com isso todos os engates foram perpetuados e as mangueiras se conectaram corretamente.

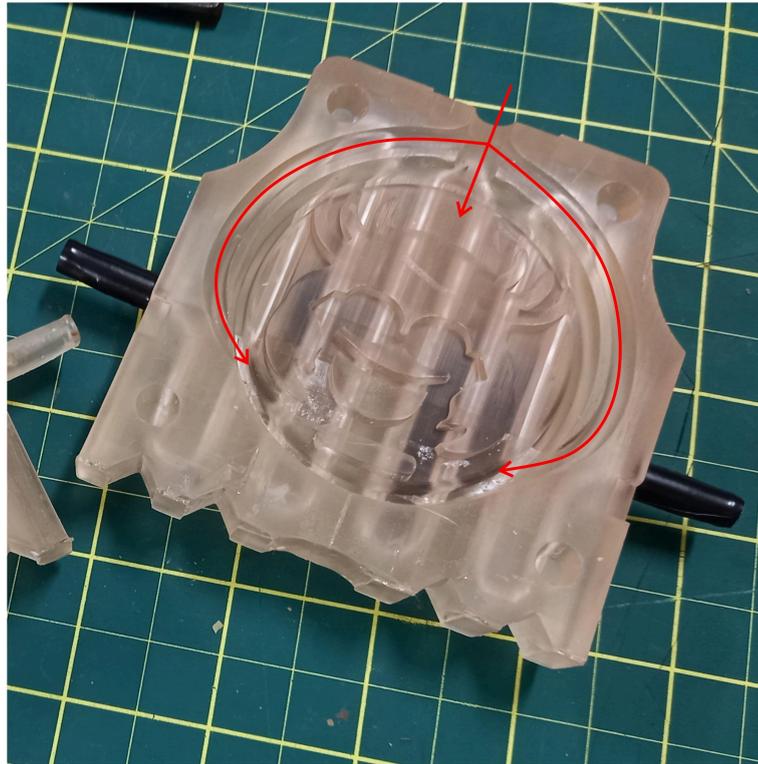
Figura 67 –Versão BETA para o molde do caranguejo – [imagem do autor]



Nas imagens a seguir (figura 68, na parte superior) mostra-se o fluxo percorrido pelo plástico (setas vermelhas) para melhorar sua distribuição e fluidez no seu caminho, e na mesma figura (68, abaixo) mostram-se dois pontos circulados em vermelho. Estes pontos vermelhos foram dois furos no sistema de resfriamento resultado da proximidade com o núcleo de injeção, que podem ser modificados afastando mais os canais de resfriamento. Mesmo com eles causando um pequeno vazamento ao interior do molde, as injeções não sofreram alterações, só a maneira como resfriar o molde se alterou, esperava-se o plástico entrar para poder ligar a bomba de água e começar o resfriamento.

Planejando com calma os moldes, esses erros de design podem ser evitados, no entanto o molde precisava estar pronto em tempo hábil para ser testado e os resultados serem enviados para “XV International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design - GRAPHICA 2024”.

Figura 68 –Detalhes do molde do caranguejo – [imagem do autor]



Neste segundo experimento dentro do laboratório do PP da UFPE, com a experiência anterior, e as melhorias realizadas no molde, os resultados foram mais expressivos e alentadores, mesmo com a injetora simples do laboratório.

Conseguiu-se no mesmo tempo gasto no teste anterior (3 horas), um resultado melhor: foram 16 injeções entre malogradas (9 injeções) e ótimas (7 injeções). Ou seja, uma melhora de mais de 700% do primeiro contato que tivemos com a injetora a esta segunda oportunidade de utilização, o que não deixa de ser encorajador, e os aprimoramentos no molde funcionaram como esperado.

Figura 69 –Versão BETA para o molde do caranguejo – [imagem do autor]



O positivo que tiramos do projeto paralelo da medalha do Caranguejo é o seguinte: Em próximas interações com a injetora, pela própria instrumentalização da mesma, os resultados devem ser superiores. Isto porque se com duas interações com a

máquina melhoramos em 700% de uma para a outra, conhecendo mais o equipamento, espera-se que os resultados devam ser superiores.

Também pensando a futuro em projetos posteriores, desenhando um sistema de fixação dos moldes similar ao da injetora Vulcano, podemos inferir que os resultados serão superiores aos obtidos até hoje, isto devido a que, percebeu-se que a principal característica de desgaste dos moldes está atrelada ao tempo que se demora em abrir o molde. No molde trabalhado na injetora do laboratório PP, a cada injeção o molde deve ser desparafusado, mesmo sendo com a mão para tirar a porca borboleta, isto leva um tempo considerável. Com a injetora Vulcano é diferente, uma vez que se gira o parafuso de abertura e se separam as placas que prendem os moldes, automaticamente há uma separação natural no molde e manusear o molde para afastar suas metades é um processo muito rápido.

Por isso, se forem colocadas melhorias básicas na máquina do laboratório do PP, acreditamos ser possível obter melhores resultados ainda, tiramos esse desenredo pela comparação com a maneira como a injetora Vulcano atua, já que conta com esses itens desde sua fabricação e os resultados foram ótimos. Junto a isso, acreditamos que melhorar a máquina também traria como consequência precisar de menos pessoas na sua manipulação.

Agora, analisando depois de corridos os testes com ambas as máquinas, independentemente da superioridade atual da injetora Vulcano sobre a injetora do laboratório do PP, os dois testes podem ser considerados positivos. Ambos conseguiram realizar suas injeções com peças desenhadas de maior ou menor complexidade e ambos demonstraram que é possível usar moldes concebidos à base de MA para produzir material didático.

Mas é aqui também que reside o maior entrave do projeto: a possibilidade de professores terem acesso de maneira fácil a injetoras de termoplásticos. Dentro da UFPE o laboratório do PP conta com duas, as quais podem ser utilizadas pela comunidade docente que não pertence à universidade caso tenham projetos educacionais a serem desenvolvidos. Na rede municipal ou estadual de ensino, a realidade é diferente, embora não seja um equipamento custoso quando comparado com outras tecnologias. As escolas simplesmente não contam com este item.

9.2 A entrevista e seu desdobramento

As entrevistas foram realizadas dentro das instalações do laboratório do Plástico Precioso da UFPE, como explicado dentro da Metodologia. Ela contém 8 perguntas norteadoras que foram aplicadas de maneira semi-informal, de maneira descontraída para tentar provocar respostas mais naturais e enriquecedoras. A transcrição das entrevistas se encontra por extenso no apêndice do projeto. As perguntas elaboradas foram as seguintes:

1. Apresentação (nome completo, curso);
2. Qual é a sua experiência com o processo de injeção de termoplásticos?;
3. Você sabia que era possível usar moldes impressos com MA para injeção de plásticos?
4. Você acha que o uso de moldes feitos com MA traria algum benefício para sua metodologia como professor? Sim, como? Não, por quê?
5. Você acha que ter Moldes à base de MA serviria para fabricar Material Didático. Sim, como? Não, por quê?
6. O que de relevante extrai-se da sua experiência injetando em moldes feitos à base de MA?
7. Você acha que foram encorajadores os testes de injeção realizados com moldes feitos com MA implementando um sistema de arrefecimento? Sim, de que maneira? Não, por quê?
8. Você considera que há um futuro promissor em usar moldes à base de MA, para injetar plástico reciclado e produzir novas realidades? Sim, não, por quê?

As ideias, pensamentos e comentários analisados a seguir foram propostos pelos participantes da pesquisa, pertencem a eles, e o projeto só fez uma compilação das suas opiniões para levantar os pontos considerados importantes em relação ao próprio projeto de pesquisa. As pessoas entrevistadas foram 2 alunos e 1 professora do curso de Expressão Gráfica porque queríamos a opinião e o posicionamento do pessoal que participou diretamente dos testes de injeção e que vivenciaram o experimento, e assim, ter um retorno veraz com suas impressões. Os participantes foram: a Dra. Profa. Letícia Teixeira Mendes, professora adjunto da UFPE; a discente Maria Clara Lins de Amorim, estudante próxima a se formar; e o discente Adelson Tiago Pereira da Conceição, também estudante próximo a se formar, ambos discentes do curso de Licenciatura em Expressão Gráfica.

As considerações importantes retiradas das entrevistas serão plasmadas a seguir. Inicialmente, de relevante temos que os estudantes desconheciam a aplicabilidade da tecnologia de MA para produzir moldes e serem usados para a injeção de termoplásticos. Sendo Expressão Gráfica um curso que se apoia muito nas tecnologias, consideramos importante os alunos terem tido essa descoberta, pois poderão transmiti-la aos colegas de curso e assim difundi-la como um instrumento a mais para a construção de modelos didáticos, sempre que pensados com material reciclado.

No caso da Professora Letícia, ela conhecia a existência da tecnologia, até por ser ela a criadora do Laboratório PP da UFPE, laboratório encarregado de experimentar com plástico reciclado e todas as possíveis tecnologias envolvidas com esse material. Mesmo tendo conhecimento nunca tinha realizado experimentos pessoalmente, o que sabia era pelo que o próprio *Precious Plastic* a nível nacional e internacional desenvolvem no seu site. Porém, mesmo com toda essa experiência, ela explica que o PP dentro dos seus experimentos não trabalhou moldes com sistema de arrefecimento (sistema que desconhecia, mesmo para matrizes metálicas), e foi uma grata surpresa descobrir que o sistema realmente cumpre sua meta ao prolongar a vida útil do molde.

Quando inquiridos sobre a utilização de moldes feitos com manufatura aditiva para produzirem material didático, os três foram enfáticos ao coincidir que a personalização que o molde feito a partir de MA proporciona é a característica principal para pensarem em usar esta tecnologia com a finalidade de produzir material didático.

A personalização é um aspecto que as matrizes metálicas não podem-se permitir devido ao custo que inviabiliza o projeto. Com MA e moldes impressos em materiais acessíveis, os professores podem realizar modelos didáticos de tiragens pequenas, e ainda podem realizar melhorias nos modelos produzidos até chegarem no elemento desejado, como bem apontou a professora Letícia.

Se o experimento conseguiu encorajar os participantes? Tanto os estudantes quanto a professora ficaram empolgados com os testes realizados e disseram que esperam em breve poder contar com a tecnologia dentro do laboratório para poderem realizar seus primeiros testes com seus projetos particulares.

De relevante, os participantes comentaram o seguinte: Maria Clara apontou para o leque de possibilidades que o molde realizado com MA e produzido em materiais

democráticos traz; Adelson comunicou que se sente capaz de produzir as ideias que já tem em mente para realizar seus próprios testes; a professora Letícia consegue ver o potencial que o presente trabalho tem para desenvolver projetos de pesquisa ou de negócios no âmbito sócio-ambiental, auxiliando pessoas de setores de vulnerabilidade social, e no outro extremo, para ser aplicado em áreas como arquitetura e engenharia.

Foi elencada outra vantagem quando se comparada unicamente com a tecnologia de MA, que é a velocidade de produção de um projeto. Usando uma impressora 3D o processo é muito mais demorado que criando um molde que pode injetar uma quantidade superior de peças no mesmo tempo ou até em menor.

Clara hoje é professora em uma instituição de ensino privada, e ela falou dos projetos de interdisciplinaridade que acontecem dentro dessa instituição, e o quanto a tecnologia analisada dentro do presente trabalho poderia ajudá-la a desenvolver esses trabalhos, além de ter como acréscimo o viés ambiental ao trabalhar com material reciclado.

A professora Letícia levantou dois pontos importantes dentro da sua visão: o 1º refere-se à possibilidade de fazer *Mass Customization* (customização em massa). É um termo que nasceu com Davis em 1987 e quer dizer que mesmo em larga escala eu posso tratar minha clientela com detalhes que entregam personalização (PILLER, 2004), coisa que a iniciativa privada faz de maneira que praticamente pode ser contada com os dedos de pés e mãos, pelo fato de produzir elementos personalizados ser muito custoso da maneira como hoje trabalham as empresas.;

O outro ponto importante levantado pela professora Letícia é o conceito de *File to Factory* (do Arquivo para a fábrica). O termo alega a transferência direta que envolve um arquivo de modelagem 3D que vá sem intermediários para ser produzido em uma máquina CNC (OOSTERHUIS et al., 2007). A ideia de conceber o molde com modelagem paramétrica para ser modificado a contento e produzir variações a partir de um modelo base. Essas duas possibilidades elencadas são viáveis dentro da maneira como foi idealizado o projeto de pesquisa.

Para finalizar as ideias trazidas para o projeto por parte dos três importantes participantes, especialistas quando o assunto é PEAD reciclado, falar-se-á do fato de os três encontrarem um diferencial de importância do desenho e a utilização de um sistema de arrefecimento dos moldes que incrementa a vida útil do mesmo,

sistema inspirado nos moldes industriais de matrizes metálicas e aprimorado pela vantagem que a MA proporciona.

10. Conclusões

O projeto de pesquisa se propôs como objetivo escolher um material dentre alguns que existem no mercado para serem usados no processo de MA e encontrar os de melhor funcionalidade para produzir moldes para a injeção de plástico PEAD reciclado. com a intenção de projetar um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos econômicos, duradouros, ecologicamente corretos e replicáveis.

Qual foi a proposta dentro do projeto para entendê-lo com um Sistema Democrático?

1° foi desenvolver um tutorial, para que qualquer professor mesmo sem conhecimento de uso do software Rhino3D conseguisse modelar os moldes que desejar para seu projeto particular;

2° mostrar como construir um sistema de arrefecimento que prolongue a vida dos moldes;

3° Escolher materiais de baixo custo para a produção dos moldes;

4° usar impressoras com custos sensatos para a materialização dos seus projetos e

5° fazer um levantamento dos laboratórios da UFPE que contam com injetoras termoplásticas, além de indicar dentro do ambiente digital onde podem conseguir as informações caso queiram se aventurar a construir suas próprias injetoras.

E é com base nesses pontos que decidimos chamar o sistema desenvolvido de Sistema Democrático. Devemos confessar que antes de começar os testes as dúvidas sobre o resultado eram grandes. Para tanto, a importância de realizar os experimentos empíricos, tanto na tecnologia FDM como SLA, e assim demonstrar cientificamente que existem materiais sumamente importantes para a missão que lhes foi encomendada neste projeto.

Foi significativo descobrir que mesmo com tiragens que consideramos reduzidas, os materiais PLA (29 peças produzidas) e PETG (40 peças produzidas) têm seu valor dentro do proposto pelo projeto de pesquisa pela seguinte razão: produzir moldes com esses materiais têm um custo muito comedido, por isso mesmo consideramos

que eles são ideais ainda dentro da etapa de prototipagem, fazendo testes e melhorando-os até chegar ao modelo final de molde que se deseja produzir.

De agora em diante, os materiais referidos, todos eles, foram os que cumpriram com exatidão a tarefa de produzir mais de 100 elementos injetados, para serem considerados como materiais aptos a desempenhar sua função satisfatoriamente. Estes são: a resina PRO (280 peças produzidas), a resina FLEX (240 peças produzidas e resina DE ALTA TEMPERATURA (520 peças produzidas).

Como pontos de atenção da resina PRO, temos que: é o material mais caro de todos os testados; e teve uma porcentagem de peças com rebarbas, que quando traduzido no processo de produção de modelos didáticos criaria um retrabalho para quem decidir usar esse tipo de molde, pois na etapa de acabamento terá que cortar e lixar peças para deixá-las limpas de rebarbas indesejadas.

Sobre a resina FLEX (240 peças produzidas), consideramos que este molde é um molde que produziu peças praticamente livre de rebarbas. A única característica a ser mencionada em contra é que os moldes impressos com este material não tem a fidelidade apresentada por outras resinas como a PRO ou de AT.

Finalmente chegamos ao material considerado como melhor para produzirmos moldes para injeção de termoplásticos de todos os que foram testados: a resina de ALTA TEMPERATURA (520 peças produzidas). Criando 5 vezes mais do que a nossa meta, foi o material que teve o melhor comportamento, tendo um baixo nível de peças com rebarba, e com o molde terminando o teste da mesma maneira que começou, sem apresentar desgaste ou fadiga.

Junto aos materiais que consideramos ideais para fabricar moldes de injeção de termoplásticos para produzir material didático, devemos fazer menção a um fator que se revelou elemental para esse resultado: o sistema de arrefecimento dos moldes. Ter um sistema de resfriamento faz a diferença quando se trata de injeção de termoplásticos, pois ele aumenta a vida útil do molde ao mesmo tempo que permite agilizar o processo de injeção.

Infelizmente nem tudo no processo é um caminho nivelado. Como mencionado anteriormente, existe um entrave a ser superado, fazer com que as redes estaduais e municipais de ensino vejam as possibilidades da aquisição nos seus inventariados

de injetoras de termoplásticos, um elemento básico dentro do projeto de pesquisa que pode ajudar, não só seus professores como também seu alunado, expandindo suas capacidades de propor modelos didáticos, e também pensando em oportunidades futuras para os alunos ao conhecerem essa tecnologia e as possibilidades que isto pode proporcionar para seu futuro.

Espero que o presente trabalho possa proporcionar clareza dentro da educação pública sobre a necessidade deste equipamento, e construir um novo pensamento acerca do que estas tecnologias tem a oferecer. Por último, produzir modelos didáticos usando moldes criados com MA têm suas vantagens quando comparado com o que existe atualmente no mercado na área de educação: primeiro, é uma tecnologia que oferece uma velocidade de produção superior, e por muito, a velocidade de produção da impressão 3D (nenhuma impressora de entrada (de baixo custo) no mercado consegue imprimir mais de 500 elementos como os que foram injetados em 2 horas (por fazer uma analogia com os testes corridos no projeto); segundo, o custo de produção dos moldes é infinitamente menor que as matrizes metálicas; terceiro e último, permite uma personalização que é fundamental quando os professores querem criar modelos didáticos inéditos, que se traduzam em uma construção de conhecimento proeminente por parte dos seus alunos.

Acreditamos, após os resultados obtidos e analisados, que este projeto merece continuar seu desenvolvimento no seguinte nível da pesquisa de pós-graduação, explorando novos caminhos com o propósito de elevar o nível de eficiência. Por todo o anterior, entendemos que o projeto pode proporcionar um novo leque de oportunidades para que os professores possam produzir material didático de uma maneira diferenciada, como resultado, construir novos conhecimentos junto aos seus alunos, e dar a estes a possibilidade de um futuro melhor.

11. Referências Bibliográficas

AMERICAN CASTING COMPANY. American Casting Co, [s.d.]. Investment Casting Process Steps and Flow Chart. American Casting Company, [s.d.]. Disponível em: <<https://americancastingco.com/investment-casting-process/>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

BAGLEY, R. SHANG RITUAL BRONZES: Casting technique and vessel design. v. 43, 1990.

BITTAR, M. A abordagem instrumental para o estudo da integração da tecnologia na prática pedagógica do professor de matemática. **Educar em Revista**, p. 157–171, 2011.

BRANDX, M. **How far home printing has come in fewer than four decades will astound you**. Disponível em: <<https://mashable.com/ad/article/history-of-home-printing>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BRASIL ESCOLA. Brasil Escola, [s.d.]. Bronze. Características e utilizações do Bronze. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/bronze.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

CARRILLO, G.; NUILA, C.; LAÍNEZ, J. Prototipado rápido en la fabricación de moldes impresos en 3D para soplado de plástico. **Ingenius**, n. 24, p. 28–35, 30 jun. 2020.

COLLETTI, M. Post-Digital Transdisciplinarity. **Architectural Design**, v. 86, n. 5, p. 74–81, 2016.

ÇALIŞKAN, C. İ. et al. Efficiency comparison of conformal cooling channels produced by additive and subtractive manufacturing in automotive industry plastic injection moulds: a hybrid application. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 126, n. 9, p. 4419–4437, 1 jun. 2023.

DRY COLOR. Dry Color, 2021. Os 7 tipos de plásticos. Disponível em: <<https://www.drycolor.com.br/post/os-7-tipos-de-pl%C3%A1sticos>>. Acesso em: 25 maio. 2023.

FREITAS, L. A. M. DE et al. Construção de modelos embriológicos com material reciclável para uso didático. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 1, 6 mar. 2008.

FREMAR, M. Fundição em shell molding. Disponível em: <<http://www.fremar.com.br/fundicao-shell-molding>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

GAO, Z. et al. Machine learning aided design of conformal cooling channels for injection molding. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 34, n. 3, p. 1183–1201, 1 mar. 2023.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing**. New York, NY: Springer, 2015.

GREENPEACE REPORTS. Greenpeace, 2022. Circular Claims Fall Flat Again - Greenpeace USA. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/usa/reports/circular-claims-fall-flat-again/>>. Acesso em: 12 abr. 2024

GUEY, William. printit3d.com.br, 2018. Tipos de Impressora 3D e suas aplicações. Disponível em: <<https://www.printit3d.com.br/post/tipos-de-impressora-3d>>. Acesso em: 26 jun. 2023.

HAJE, Lara. Comissão aprova projeto que limita o número de alunos em sala de aula. **Câmara dos Deputados**, 2021. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/818991-comissao-aprova-projeto-que-limita-o-numero-d-e-alunos-em-sala-de-aula/>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

KIRCHHEIM, A. et al. Dynamic conformal cooling improves injection molding. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 114, n. 1, p. 107–116, 1 maio 2021.

KNOCHEL, A. D. DigiFab Kits: Mini Mobile Makerspace Design in the Arts Curriculum. **International Journal of Designs for Learning**, v. 8, n. 1, 24 jun. 2017.

LECTURES, P. LES HOMMES ET LES TECHNOLOGIES une approche cognitive des instruments contemporains. **Les Hommes et les Technologies**, 1 jan. 1995.

LÖBACH, B. **DESIGN INDUSTRIAL: Bases para configuração de produtos industriais**. 1° edição ed. São Paulo: Edgard Blütcher, 2001.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Gov.br, 2023. Bolsas de formação de professores sobem 75%. Disponível em: <<https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/bolsas-de-formacao-de-professores-sobem-75>>. Acesso em: 19 abr. 2023.

MONEDERO, J. Parametric design: a review and some experiences. **Automation in construction**, v. 9, n. 4, p. 369–377, 2000a.

MONEDERO, J. Parametric design: a review and some experiences. **Automation in Construction**, v. 9, n. 4, p. 369–377, 1 jul. 2000b.

MORITZ, V. F. et al. Heat Dissipation Plays Critical Role for Longevity of Polymer-Based 3D-Printed Inserts for Plastics Injection Moulding. **Journal of Manufacturing and Materials Processing**, v. 6, n. 5, p. 117, out. 2022.

NETFLIX. **DESSERVIÇO AO CONSUMIDOR: a farsa da reciclagem**. Disponível em: <<https://www.netflix.com/watch/81002637?trackId=255824129&tctx=0%2C0%2C85db9882-ee97-429a-a7a9-1296b374bd19-183116095%2C85db9882-ee97-429a-a7a9-1296b374bd19-183116095%7C2%2C%2C%2C%2C%2C81002391%2CVideo%3A81002637%2CdetailsPageEpisodePlayButton>>. Acesso em: 9 set. 2024.

NORMAN, D. Cognitive Artifacts. *In*: CAROLL, J. **Designing Interaction: Psychology at the Human-Computer Interface**. [s.l.] Cambridge University Press, 1991. p. 17–38.

NOVAK, E.; WISDOM, S. Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science. **Journal of Science Education and Technology**, v. 27, n. 5, p. 412–432, 1 out. 2018.

OOSTERHUIS, K. et al. File to Factory and Real Time Behavior in ONL-Architecture. Em: CAS AALBERS KAS OOSTERHUIS, H. B. (Ed.). **IA (Interactive Architecture)**. Rotterdam: Episode publishers, 2007. p. 14–26.

PAPANEK, V. **Design for the Real World**. Nova York: Bantam, 1973.

PILLER, F. T. Mass Customization: Reflections on the State of the Concept. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v. 16, n. 4, p. 313–334, 1 out. 2004.

POLONINI, F. B. DA S. A modelagem paramétrica na concepção de formas curvilíneas da arquitetura contemporânea. 28 jul. 2014.

PRECIOUS PLASTIC ACADEMY. Precious Plastic, 2024. Make a 3D-printed injection mould. Disponível em: <<https://community.preciousplastic.com/academy/create/injection-moulds>>. Acesso em: 28 fev. 2024.

PROMATERIALES. Mes de los arquitectos: ¿De dónde surge el Día Mundial de la Arquitectura?. Proarquitectura, 4 de Out. de 2021. Disponível em: <<https://www.proarquitectura.es/mes-los-arquitectos-donde-surge-dia-mundial-la-arquitectura/>>. Acesso em: 21 de Abr. 2023.

PUBLIC-DOMAIN, Sargon of Akkad. 2020. 800 x 371 pixels. Disponível em: <https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Sargon_of_Akkad_%281936%29.jpg>. Acesso em: 10 Jun. 2023

RESEARCHGATE. ResearchGate, 2015. Fig. 2. The molding process. (a) Liquid silicone rubber was poured into... Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/The-molding-process-a-Liquid-silicone-rubber-was-poured-into-the-molding-cast-b-A_fig4_304288937>. Acesso em: 21 jul. 2023.

SACHS, E. et al. Production of Injection Molding Tooling With Conformal Cooling Channels Using the Three Dimensional Printing Process. **POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE**, v. 40, maio 2000.

SAORÍN, J. L. et al. Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. **Thinking Skills and Creativity**, v. 23, p. 188–198, 1 mar. 2017.

SCHLEICH, L. **Uma breve história da injeção plástica, e como tudo começou.** | Blog. Disponível em: <<https://www.starkferramentaria.com.br/blog/36/uma-breve-historia-da-injecao-plastica-e-como-tudo-comecou>>. Acesso em: 9 maio. 2024.

STRATASYS. Stratasys, [s.d.]. Reduce Injection Molding Cost and Lead Time with PolyJet 3D Printing. Disponível em: <<https://www.stratasys.com/br/resources/videos/reduce-injection-molding-cost-and-lead-time-with-polyjet-3d-printing/>>. Acesso em: 29 maio. 2024.

STRATASYS. Stratasys, [s.d.]. FDM Technology. Disponível em: <<https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

TAGLIANI, Simone. Engenharia 360, 2021. Pilares de concreto: formatos e desafios dimensionamento e concretagem. Disponível em: <<https://engenharia360.com/pilares-de-concreto-na-engenharia-e-arquitetura/>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

TRE BROWSE GALLERY. Browse.Gallery, [s.d.]. Storm Thorgerson. The Browse Gallery, [s.d.]. Disponível em: <<https://browse.gallery/en/storm-thorgerson/>>. Acesso em: 10 jun. 2023

THE MIND CIRCLE. How life before AutoCad looks like. AV, 15 de Mai. de 2019. Disponível em:<<https://arquitecturaviva.com/articles/how-life-before-autocad-looks-like-1>>. Acesso em: 21 de Abr. de 2023.

VERGNAUD, Gerard. gerard-vergnaud.org, [s.d.]. Théorie des champs conceptuels : quelques étapes | Gérard Vergnaud. Disponível em: <<https://www.gerard-vergnaud.org/theorie-des-champs-conceptuels/>>. Acesso em: 15 maio. 2024.

ULTIMAKER. Ultimaker.com, [s.d.]. UltiMaker Cura 5.8 is here!. Disponível em: <<https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>>. Acesso em: 25 mar. 2024.

YEBOAH, R.; ASANTE, E. A.; OPOKU-ASARE, N. A. Teaching Interactive Art Lessons with Recycled Waste Materials as Instructional Resources. **Journal of Education and Practice**, v. 7, n. 14, 2016.

ZOTERO. Zotero, [s.d.]. Zotero | Your personal research assistant. Disponível em: <<https://www.zotero.org/>>. Acesso em: 6 jun. 2024.

3DLAB. 3DLAB Soluções em impressões 3D, [s.d.]. Impressora 3D Ender 3 32 Bits. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/produto/ender-3-kit/>>. Acesso em: 19 abr. 2023
Custompart. Custompartnet, [s.d.]. Injection Molding Process, Defects, Plastic. Disponível em: <<https://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

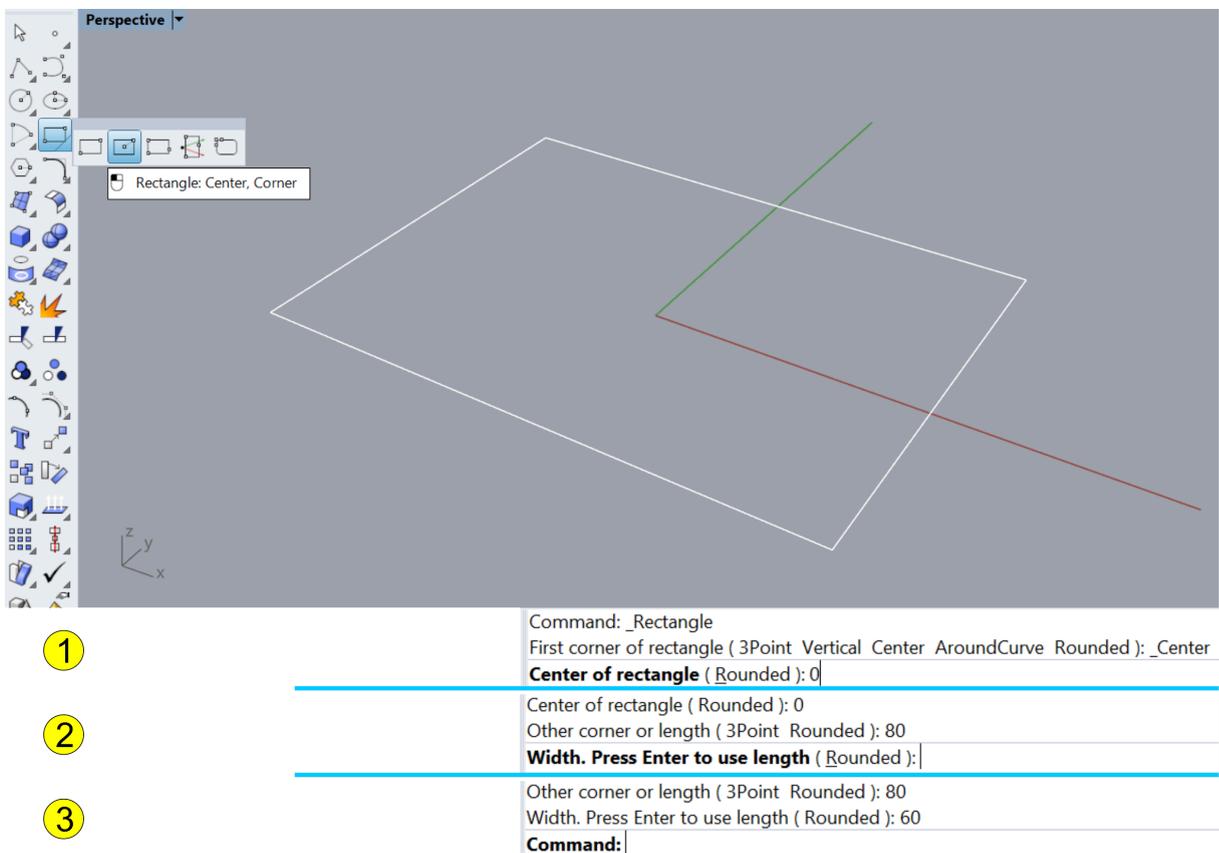
12. Apêndices

12.1 A Modelagem Paramétrica executada manualmente

Primeiramente, deve ser criado o retângulo base que será o norteador do projeto. um detalhe importante de se fazer no Rhino3D, é sempre começar uma modelagem centralizada no *Grid Axes* (as linhas ortogonais vermelha e verde), isto garantirá que quando o modelo seja exportado para o fatiador, ele apareça colocado no centro da mesa de impressão do *software* fatiador. Como se faz, no menu lateral esquerdo, seleciona-se a opção *Rectangle* a partir da seta do canto inferior direito, e escolhe-se o comando *Rectangle: Center, Corner*.

O próprio comando vai perguntar, qual é o centro do retângulo? Aí é só digitar o número 0 seguido de *enter*, depois perguntará, qual é canto ou longitude? no nosso caso é a largura, já que é a distância no eixo X, neste projeto específico pela limitação na área de impressão será 80 (as medidas são milímetros), novamente seguido de *enter*, por último, repetirá a pergunta anterior, neste modelo é 60 (este valor será no eixo Y), validar com *enter*, e pronto, estará criado o retângulo.

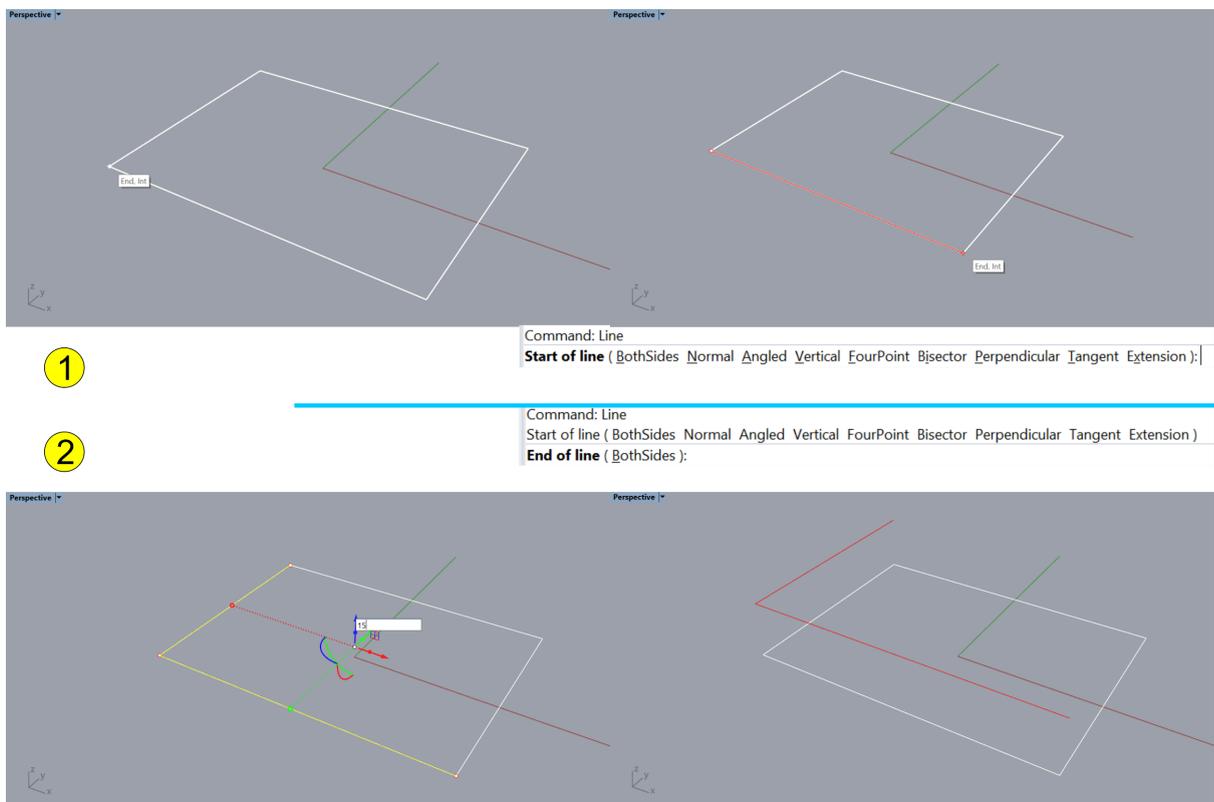
Figura 70 – Construindo um retângulo a partir do seu centro – [imagem do autor]



É preciso construir dois segmentos de reta ortogonais, para isto, se deve escrever no *prompt* de comando, o comando *Line*, e selecionar como o primeiro ponto do segmento o canto inferior esquerdo do retângulo, e em seguida, selecionar o canto inferior direito, feito isso o segmento de reta estará criado, repetir a operação, mas agora no sentido vertical, começando no canto inferior esquerdo e culminando no canto superior esquerdo.

Feito isso, devem-se mexer os dois segmentos de reta criado para acima usando o eixo Z (azul) até a distância desejada para o molde, neste caso específico são 15mm. Para realizar essa tarefa deve-se usar o *Gumball*, no menu inferior do *layout* do Rhino3D, aparece entre *SmartTrack* e *Record History*, senão estiver ativo, é só clicar nele para ativá-lo, posteriormente na área de trabalho seleciona-se o eixo Z, no ponto exato da seta, isto abrirá uma janela de texto, onde digita-se a distância desejada, neste caso específico 15, para finalizar dá-se um *enter*, e pronto, os segmentos serão deslocados para o lugar desejado.

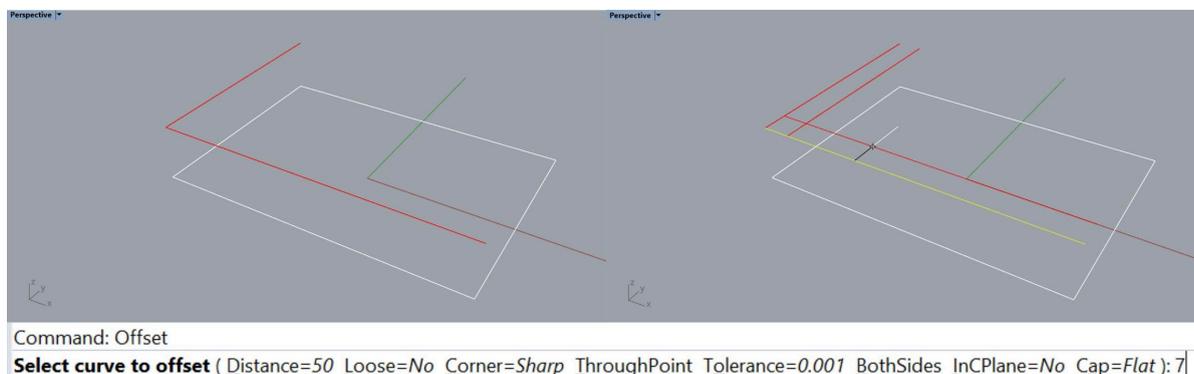
Figura 71 – Construindo segmentos de reta – [imagem do autor]



Deve-se agora fazer uso do comando *Offset*, ele recria o elemento selecionado previamente e o coloca paralelo ao original a uma distância determinada. Digitando *Offset* no *prompt* de comando, digitar o valor definido, neste caso 7 (equivalente a

7mm), aplica-se um enter, por último, selecionar os segmentos de reta e mover o cursor para o lado que se deseja que seja copiado o elemento original e dar um *click* (botão esquerdo do mouse).

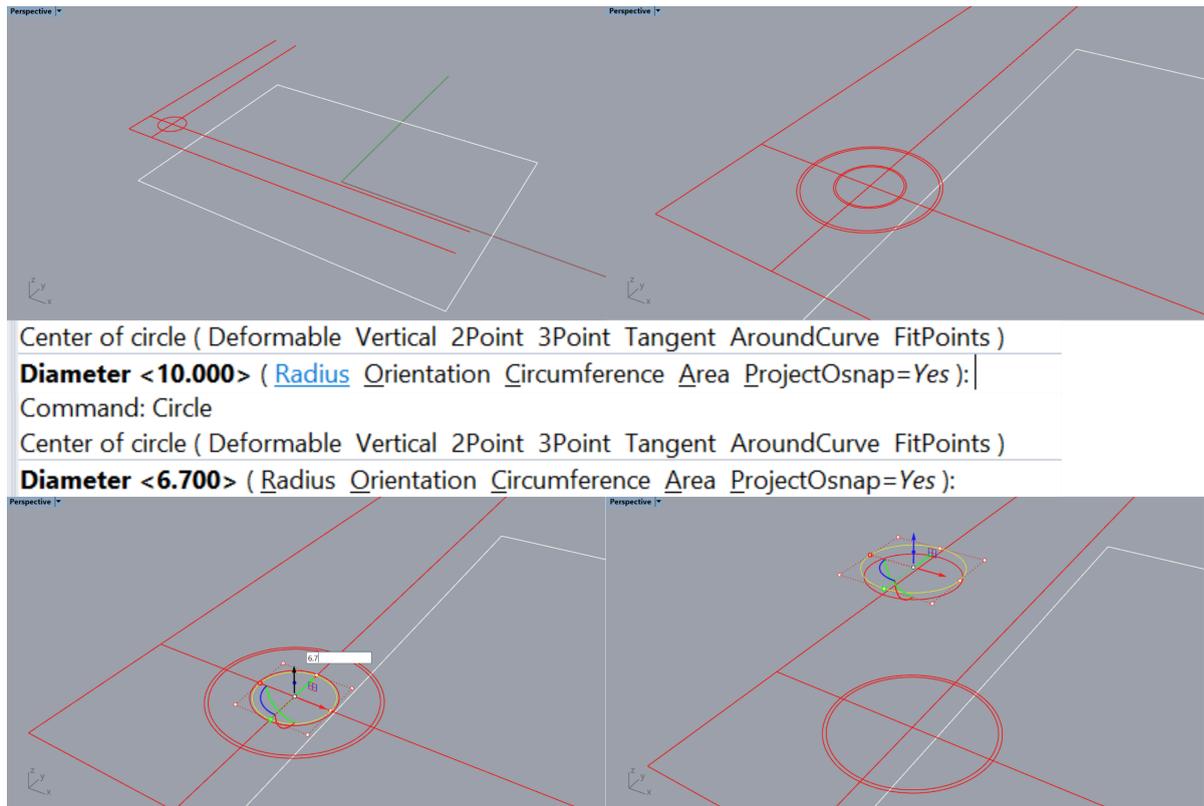
Figura 72 – Realizando um Offset – [imagem do autor]



Para criar uma circunferência no ponto de interseção das novos segmentos de reta desenhados, deve-se digitar o comando *Circle* no *prompt* de comando, e escolher o raio ou diâmetro desejado, para escolher um ou outro, quando chamar o comando ele pedirá para escolher o centro (que será o ponto de interseção), depois, é só clicar sobre a palavra *Radius* ou *Diameter*, vá a depender da que estiver desativada (a ativa aparece negritada no lado esquerdo e a outra quando passar o cursor por cima dela mudará a cor para azul), clicando na desativada, automaticamente será invertida sua ativação. trabalhando com o diâmetro é só digitar 6.7 (lembrando que são mm, e que deve ser com ponto decimal, pois obedece ao sistema de pontuação norte americano), quando definido o diâmetro a circunferência aparecerá imediatamente. O que será feito a continuação será usar novamente o comando *Offset* para criar novas circunferências concêntricas, primeiro uma para o lado de fora com um valor de 0.15, outras duas para o lado de dentro, a primeira de 1.7, e a segunda de 1.6.

Fazendo uso novamente do *Gumball*, se deve deslocar para cima essas circunferências internas, a menor a uma distância de 6.7mm a maior a 7mm, estas curvas serão o arcaço para os pinos de encaixe do molde, e o pequeno espaço entre uns e outros, é a folga para os moldes não ficarem presos um no outro quando fechados.

Figura 73 – Construindo o arcabouço dos pinos de encaixe – [imagem do autor]



É necessário criar um segmento de reta qualquer, a partir do ponto médio do lado direito do retângulo, para tal, usaremos de novo o comando *Line*, deve-se verificar que o *Osnap Midpoint* esteja ativo, ele encontra-se na parte inferior da tela, junto com os outros, entre *Point* e *Center*, para ativá-lo unicamente é preciso clicar no seu requadro. Uma vez ativo, posiciona-se o cursor perto do ponto central no lado direito, até ele aparecer, clica-se nele e arrasta-se o cursor para a direita, aí é só clicar novamente sobre a área de trabalho para definir um ponto qualquer (lembrando que todo fica mais fácil se a função ortogonal estiver ativada, ela está na parte inferior ao lado direito dos *Osnaps*, entre *Grid Snap* e *Plannar*).

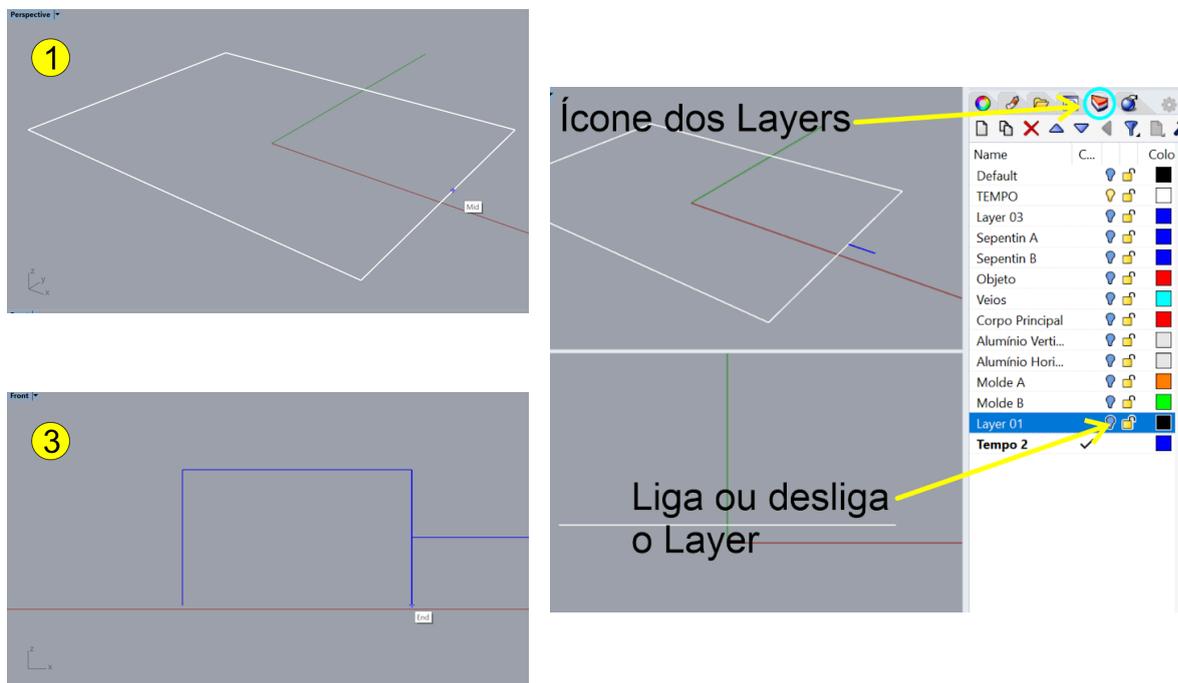
Clicando duas vezes seguidas sobre o título da janela, se muda para a configuração original de quatro vistas, então pode-se também, selecionar uma, a que se desejar e realizar a mesma operação.

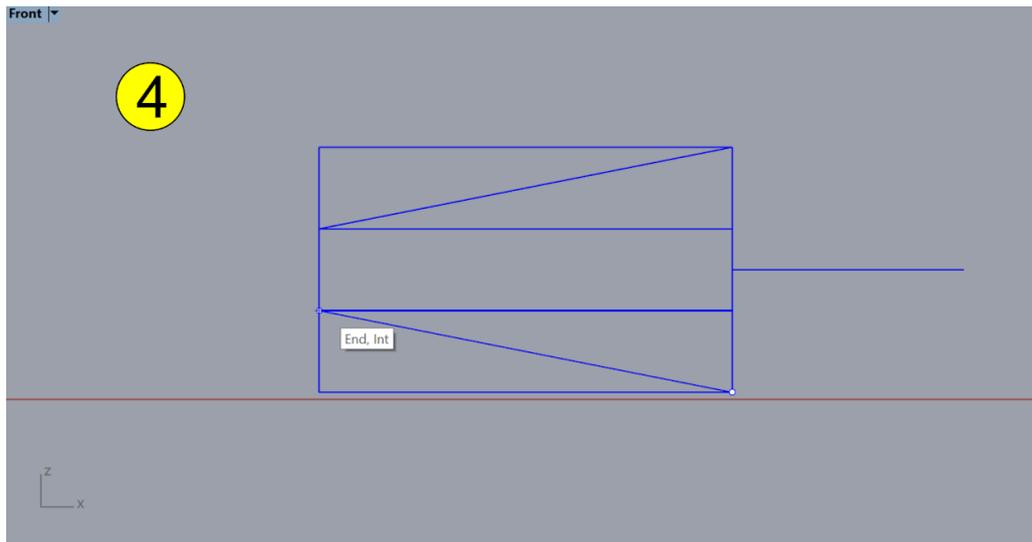
Para ligar ou desligar os *Layers* (camadas) é preciso clicar no ícone da lâmpada que aparece no menu lateral quando a opção *layer* estiver selecionada (esta opção é a que na figura 10, está encerrada na cor ciano, e parece uma fatia de bolo). Para continuar e facilitar a construção deve-se apagar o *Layer* no qual foi construído o

retângulo, deixando unicamente acesso o *Layer* do último segmento de reta que acabou de ser criado.

Agora é só clicar duas vezes no título da janela *Front*, para maximizá-la, com o auxílio do comando *Line*, devo criar uma linha a partir do ponto que está ligado ao retângulo, e fazer com que esta seja construída para cima e para baixo, isto é simples, quando chamar o comando *Line* ao digitar no *prompt* de comando, se deve digitar a seguir a letra B (isto significa *Both*), com isso, a o segmento de linha será construído para ambos lados, define-se uma distância de 3, para no final dar o dobro como resultado. Agora é usar novamente o comando *Offset* com uma distância de 10mm para dentro do retângulo, a seguir deve-se usar o comando *Line*, para ligar os dois segmentos de reta verticais, ligar por cima e por baixo. Logo então, chamaremos novamente o comando *Offset* para aplicá-lo aos segmentos de reta horizontais, superior e inferior que acabamos de criar, para finalizar se ligam através de semi retas oblíquas os elementos e se apagam os elementos de construção.

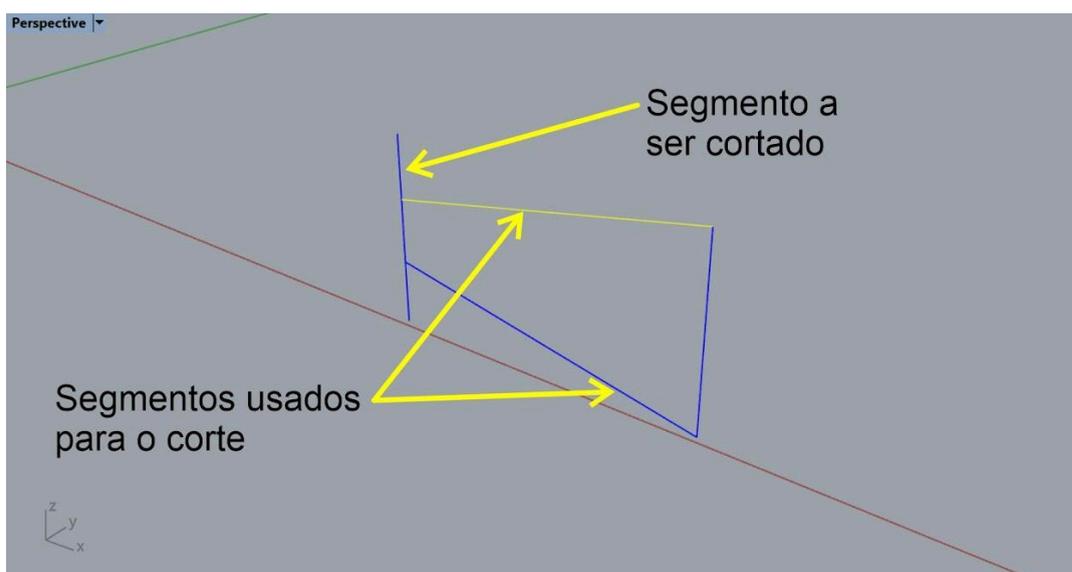
Figura 74 – Construindo o arcabouço da cunha de abertura – [imagem do autor]

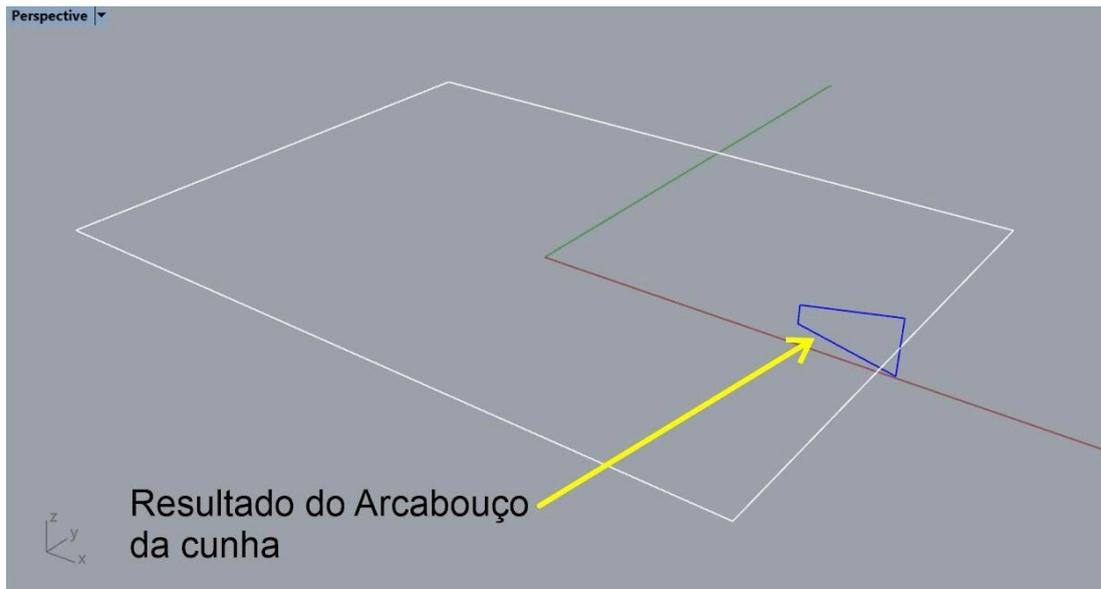




Para chegar no resultado final, devemos apagar os elementos que foram base para a construção, e por último fazer uso do comando *Trim*, para cortar os elementos sobrantes, ao usar o comando *trim* deve-se selecionar primeiro os segmentos de reta que serão usados para cortar dar *enter*, e por último aquele segmento de reta que se deseja cortar (especificamente nas partes que quer-se fazer desaparecer). O resultado final será selecionar os elementos que compõem o arcabouço da cunha e aplicar o comando *Join*, para uni-los em um elemento só.

Figura 75 – Resultado para a cunha de abertura – [imagem do autor]

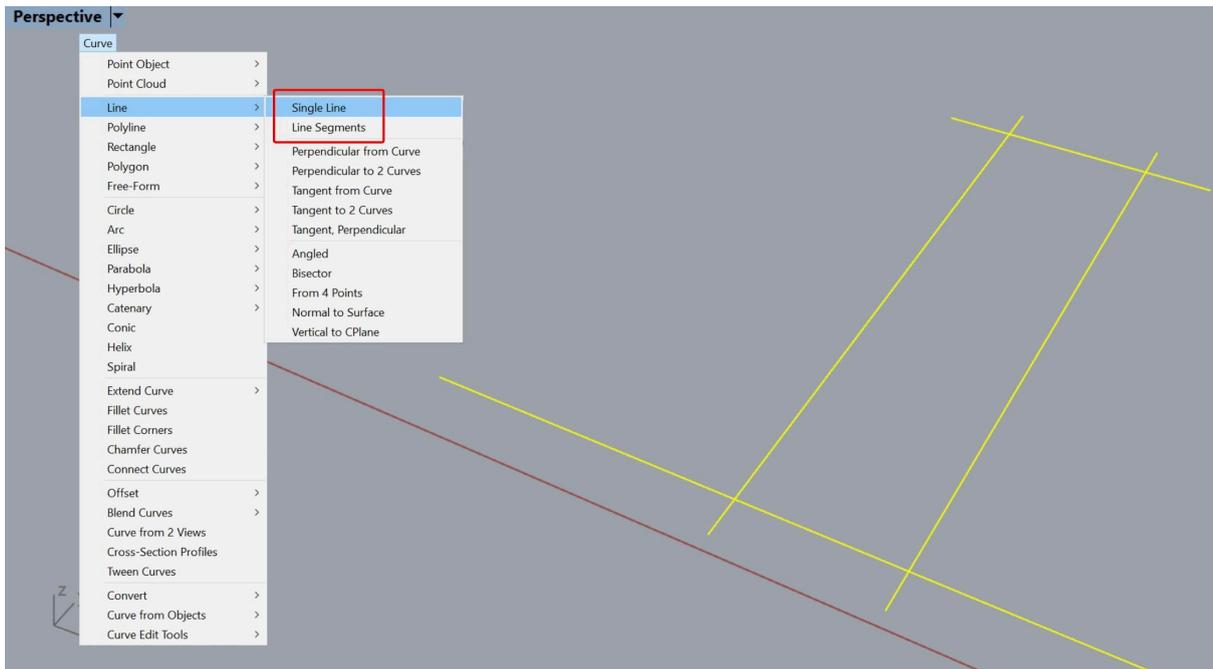




Reconhecendo novamente a *Osnap Toolbar*, barra localizada na parte inferior do *layout*, precisaremos desses *Snaps* (espécie de ímãs que tentam atrair o cursor no momento da construção).

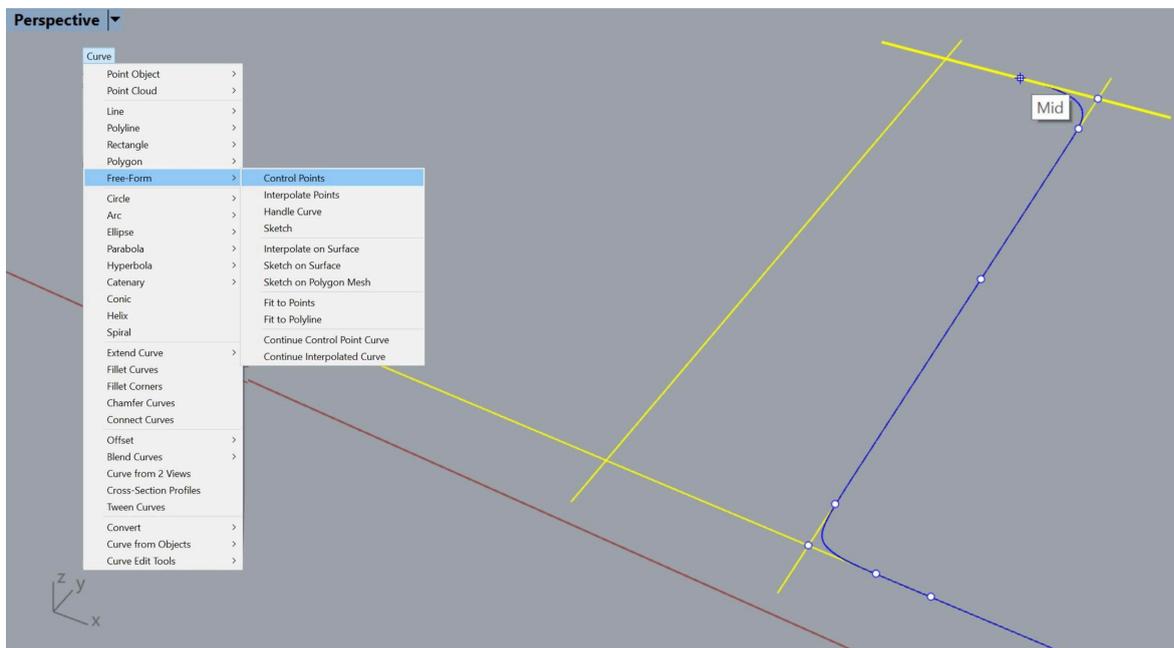
Devemos criar linhas auxiliares, para isto, no menu *Curve*, seleciona-se a opção *Single Line* ou *Line Segments*, ambos serão úteis. usando *Line*, estando na janela *Top* (vista superior) assim que for feito um *click* dentro da área de trabalho, se fixará o primeiro ponto da linha e quando escolher outro lugar aleatório para situar o segundo ponto, assim que clicar, será construída a linha e a ferramenta liberada, vale ressaltar que o comando *Ortho* deve estar estar ligado, pode também ser ativado clicando na letra *O* em seguida dando um *Enter*, isto facilitará a construção pois trabalhará unicamente com linhas ortogonais. Se preferir usar o comando *Line Segments*, inicia-se da mesma forma, clicando em um ponto aleatório da tela, e depois em um segundo ponto também aleatório, mas diferentemente da opção anterior a ferramenta não será liberada, permitindo nos continuar a construção de mais segmentos de linha no formato que for desejado. Na figura 76 se mostra em amarelo a construção das linhas auxiliares que devemos atingir.

Figura 76 – Linhas auxiliares para a construção da Serpentina – [imagem do autor]



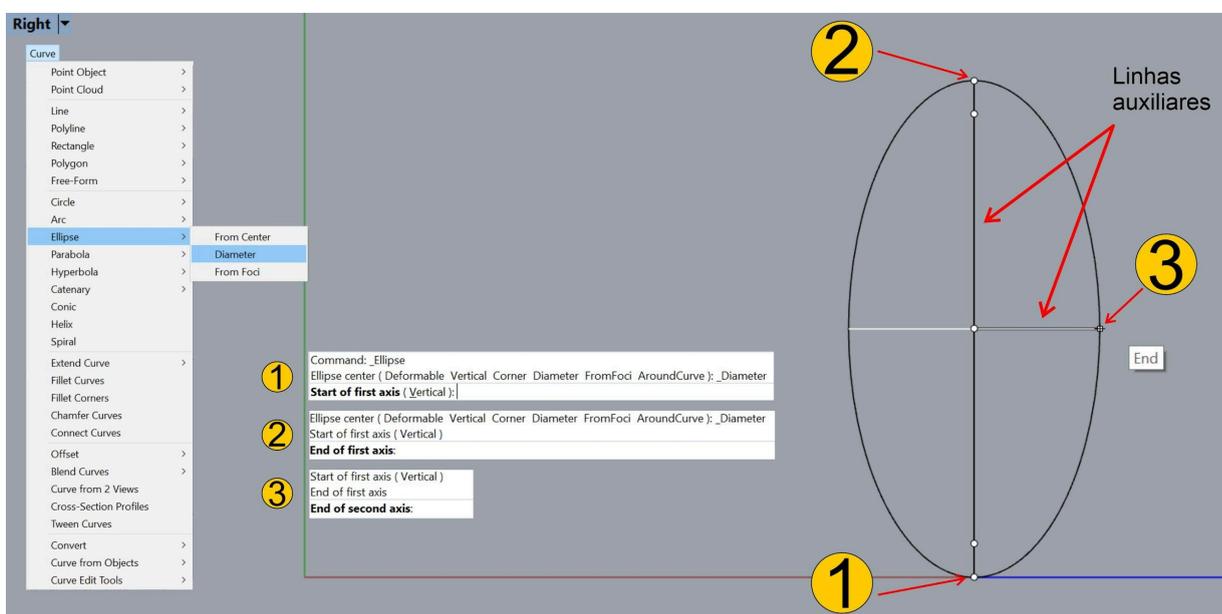
Selecionando no menu *Curve*, as opções *Free Form* e *Control Points*, vamos usar as linhas auxiliares como mostrado na figura 77, da mesma maneira que quando usamos o comando *Line Segments* usando *Control Points* definiremos como base as linhas amarelas e hamos de clicar nelas em repetidas e seguidas ocasiões para para construir a linha de cor azul que se mostra na figura a seguir, sempre usando os *snaps* como auxílio para a construção.

Figura 77 – Linhas auxiliares para a construção da Serpentina – [imagem do autor]



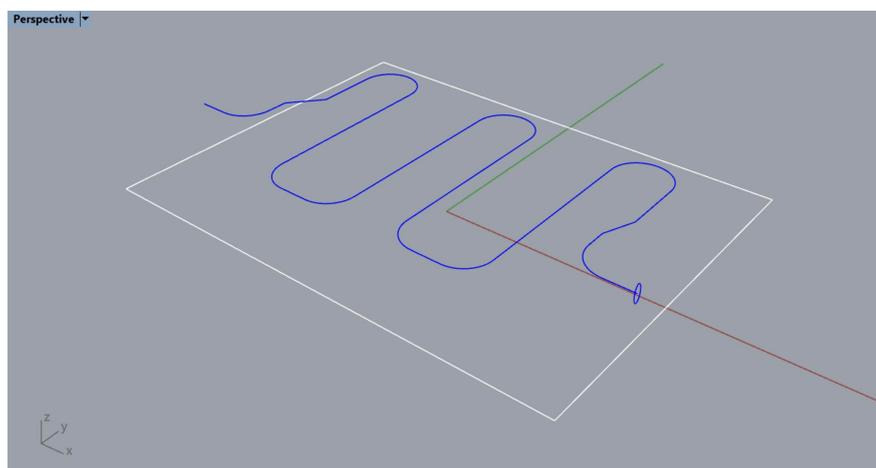
Utilizando a janela de visualização lateral para esta construção, mas com as quatro janelas abertas para poder enxergar as linhas. Dentro do menu *Curve* escolhe-se a opção *Ellipse* e *Diameter*, quando selecionada a ferramenta, no *Prompt* de Comando perguntará qual é o ponto de início para o eixo da elipse, escolhe-se então o ponto inicial da curva azul que foi feito no item anterior, posteriormente arrastando o cursor para cima no *Prompt* de Comando será pedido o ponto final para esse eixo, quando clicar na tela se deve selecionar esse segundo ponto, por último pedirá o ponto final para o segundo eixo, uma vez definido e clicado, estará formada a elipse, devemos procurar que fique parecida com o modelo exemplificado na figura 78.

Figura 78 – Construindo a elipse – [imagem do autor]



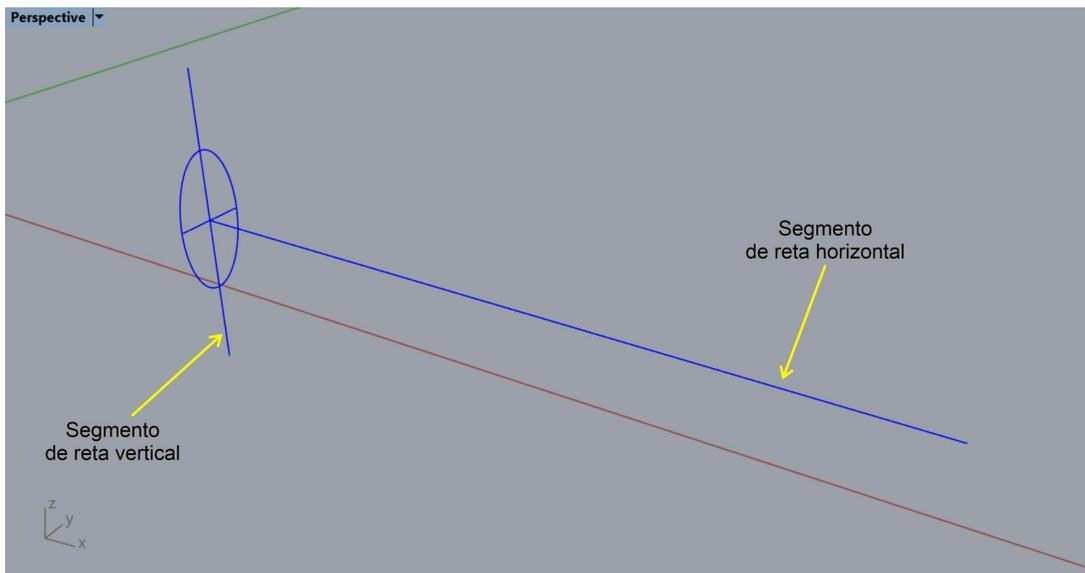
O resultado do processo anterior pode ser visualizado na figura 79.

Figura 79 – Resultado do arcabouço da serpentina e sua elipse – [imagem do autor]



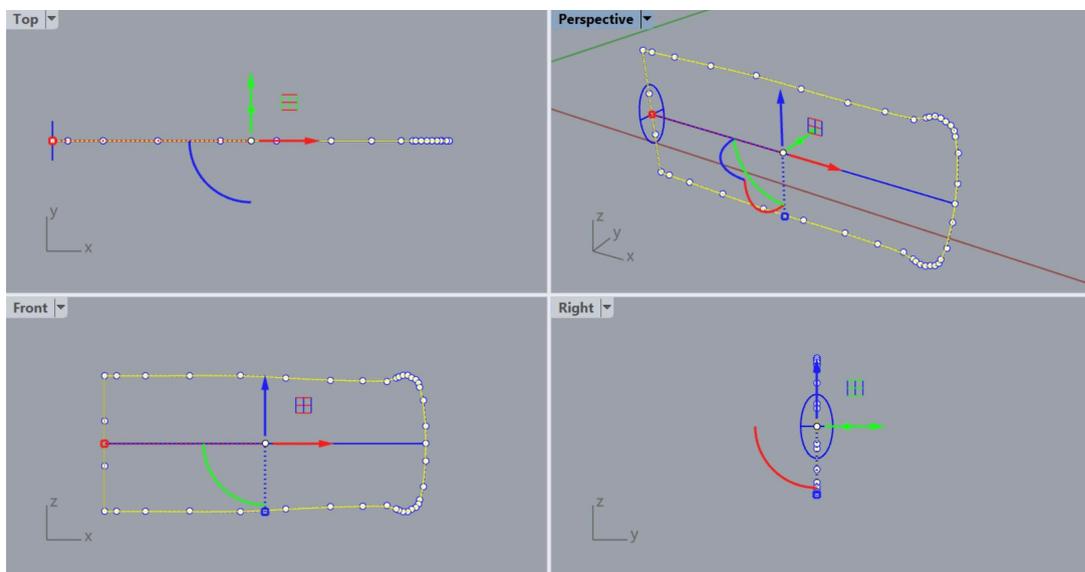
O último elemento que é preciso criar para o nível arcabouço, é o elemento que será a entrada do sistema de arrefecimento, para tal, deixamos unicamente ligado o *layer* que permite visualizar a elipse criada anteriormente. Feito isso, vamos nos valer das linhas auxiliares da elipse para traçar um segmento de reta vertical a partir do centro e sendo construído para ambas direções (como nas instruções da figura 80). Construir um segmento de reta vertical de 6.3mm e um horizontal de 150mm.

Figura 80 – Linhas auxiliares básicas – [imagem do autor]



Criam-se novamente linhas auxiliares como nas instruções da figura 81, para posteriormente usando a vista *Front* e o comando *Control Points*, fazer o perímetro do que será a entrada do sistema de arrefecimento.

Figura 81 – Admissão do arrefecimento – [imagem do autor]

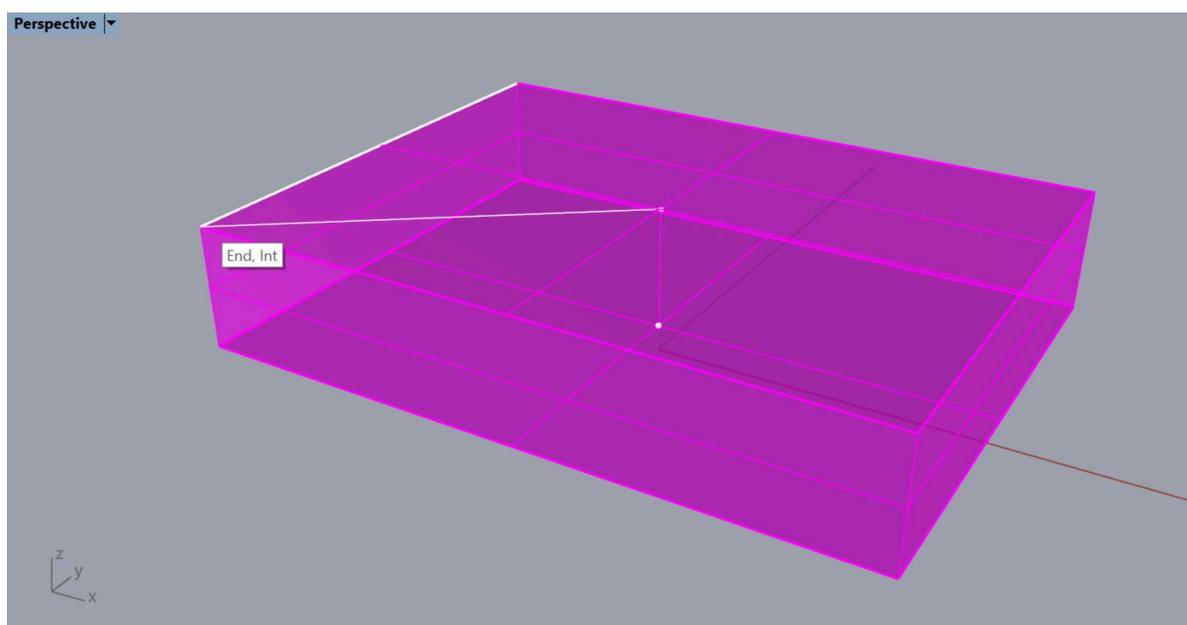


No final, teremos todos aqueles elementos mostrados na figura 82, que serão o arcabouço para a construção das partes Fêmea e Macho do molde.

Agora chegou o momento de usar estes elementos básicos para poder realizar a construção da Fêmea e o Macho do molde, começaremos pelo Macho, pois do jeito como o molde foi idealizado fica na parte inferior no processo de modelagem.

Usando como guias o retângulo de base e os segmentos de reta ortogonais que foram colocados na parte superior, vamos usar o comando *ExtrudeCrv* (*Extrude Curve*, este serve para levantar um volume a partir de uma curva bidimensional), digita-se o comando no *prompt*, seleciona-se o retângulo inferior, dá se um *enter*, e automaticamente a extrusão é realizada de maneira livre, neste instante, resta clicar em qualquer parte dos dois segmentos de reta ortogonais que será aí a definição do limite da extrusão.

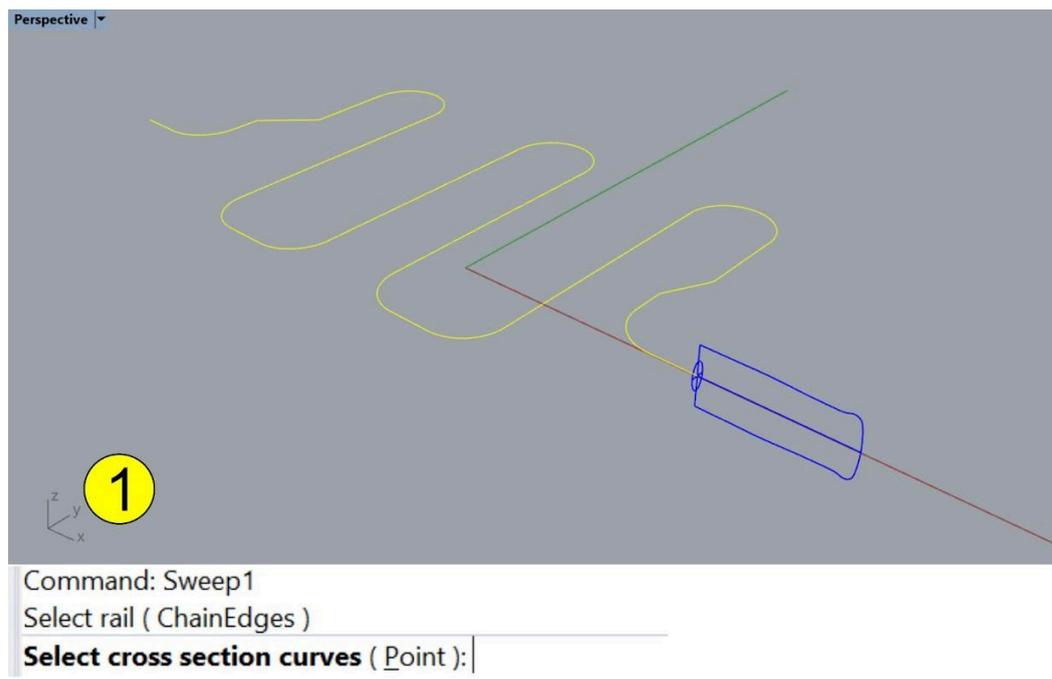
Figura 82 – realizando a extrusão do retângulo – [imagem do autor]

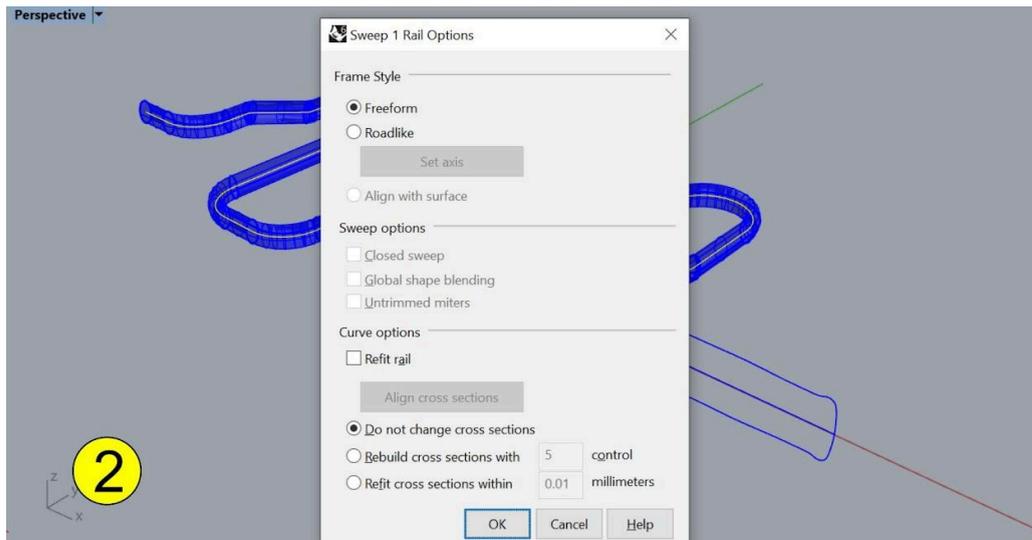


Uma vez levantado o retângulo para criar o prisma retangular, devemos trabalhar agora a serpentina de arrefecimento, fica mais fácil se desligarmos o *layer* do prisma que foi criado e também o do retângulo e os segmentos de reta ortogonais, isto para poder visualizar melhor a serpentina e trabalhar com ela. O que será feito é usar o comando *Sweep1* (*sweep 1 rail*), ele nos permitirá criar um trilho a ser seguido (que será a serpentina), e usar uma curva, neste caso a elipse (para acompanhar o trilho e colocar essa forma ao longo dele. Chamando o comando, deve-se selecionar primeiro o percurso que segue a serpentina (rail / trilho), sem dar *enter*, logo a

seguir escolhe-se a elipse, e agora sim, dá se um *enter*, e outro *enter* consecutivo, abrirá-se uma janela, na qual para este caso específico não realizaremos nenhuma modificação, então novamente aperta-se a tecla *enter*, e cria-se a serpentina. Cuidado aqui, essa serpentina criada é oca, e os as superfícies ocas carecem de volumetria, se levarmos este elemento desse jeito para o *software* fatiador e tentamos imprimi-lo, não me será possível, isto porque o *software* fatiador interpreta superfícies ocas como carentes de espessura, e ao não ter espessura para este, o elemento não existe. É possível mudar este impasse usando o comando *Cap*, que cria duas tampas nos extremos da serpentina, unicamente deve-se selecionar a superfície que acabamos de criar, e digitar no *prompt* de comando *Cap*, dando um *enter* o vazio anterior será fechado.

Figura 83 – Construindo a serpentina – [imagem do autor]

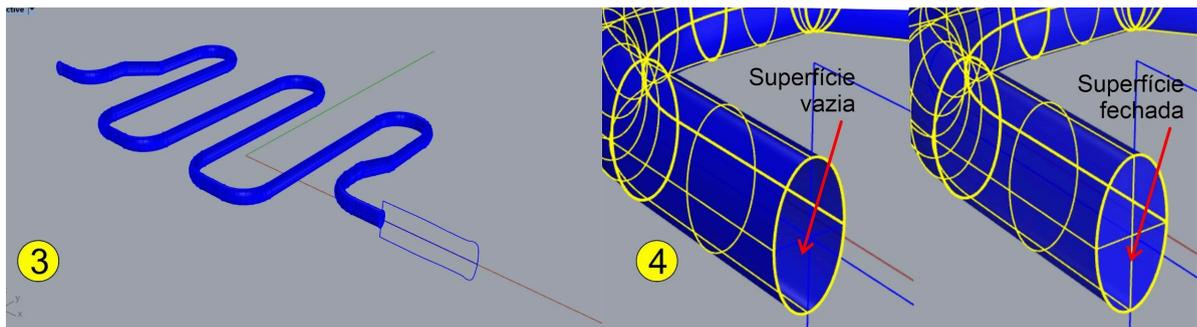




Select cross section curves. Press Enter when done (Point)

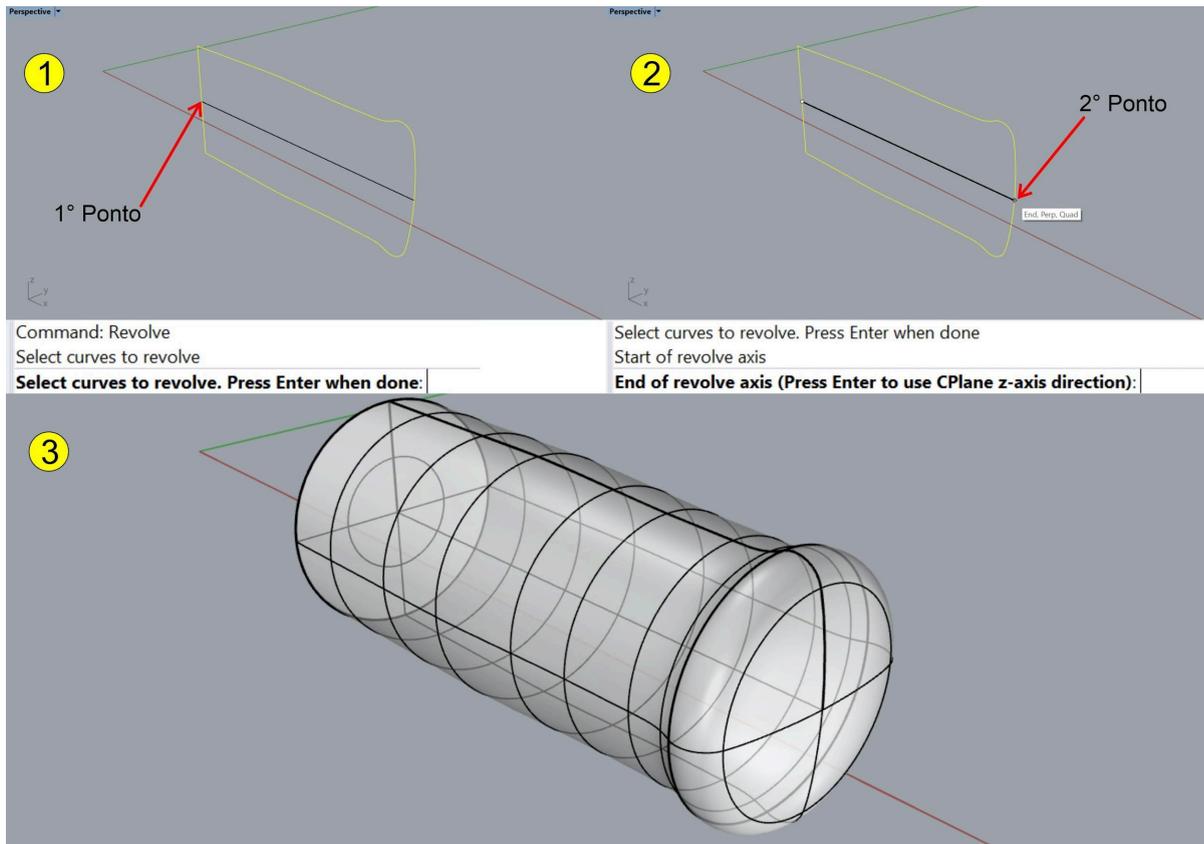
Drag seam point to adjust. Press Enter when done (Flip Automatic Natural)

Drag seam point to adjust. Press Enter when done (Flip Automatic Natural):



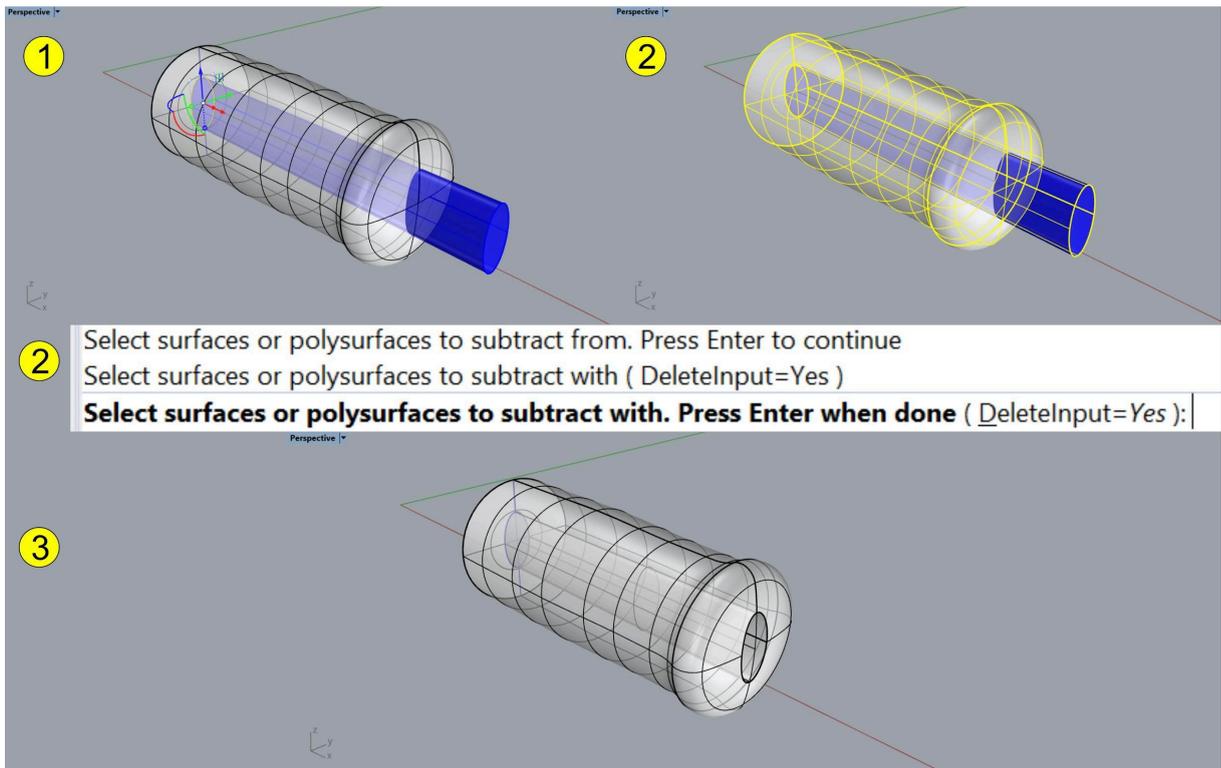
Faremos agora o elemento de admissão do sistema de arrefecimento, isto é relativamente simples, estando com as curvas que foram criadas anteriormente para o perímetro do elemento, digita-se o comando *Revolve*, e então seleciona-se a curva perimetral e damos um *enter*. Logo, o Rhino3D nos vá pedir o início de um eixo de revolução, selecionamos um extremo do segmento de reta localizado na metade da curva fechada e depois o extremo oposto, novamente Rhino3D nos perguntará se o ângulo inicial é 0° , aceitamos, e para concluir perguntará se o ângulo é final será 360° , dá-se novamente *enter* e o resultado é o visto na figura 84.

Figura 84 – Criando a admissão do sistema de arrefecimento – [imagem do autor]



Torna-se necessário neste momento fazer uma perfuração na admissão do sistema de arrefecimento para permitir a passagem da água para dentro do macho do molde. Para esta tarefa deve-se selecionar a mesma elipse que usamos para construir a serpentina, e usando novamente o comando *Extrude Crv* faremos uma extrusão que passe do limite do elemento de admissão, agora precisa ser feita uma subtração entre ambos elementos, dentro do menu *Solid*, iremos escolher a opção *Difference*, deve primeiro ser selecionada a superfície que deseja-se permaneça na modelagem e dar um *enter*, posteriormente deveremos selecionar o elemento que deve ser retirado e dar novamente um *enter*, pronto a subtração será realizada.

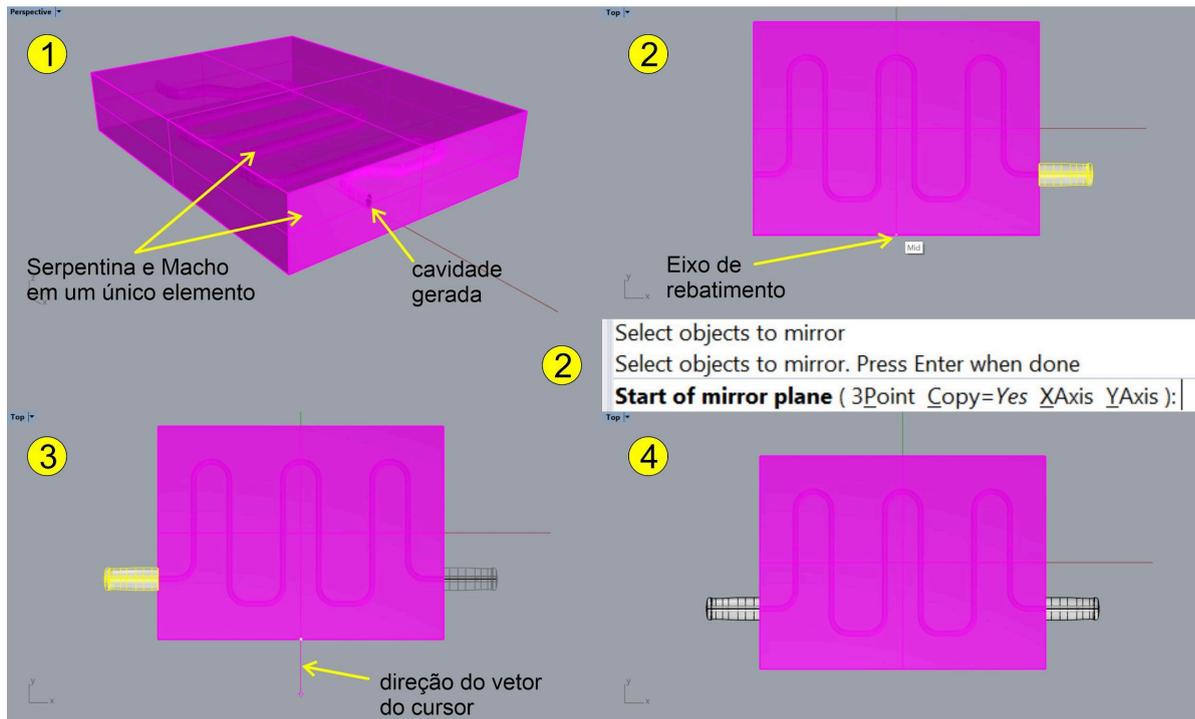
Figura 85 – Realizando uma subtração de elementos – [imagem do autor]



O próximo passo será fazer a subtração da serpentina do macho para poder criar o caminho que a água irá percorrer para resfriar esta metade do molde. Aqui novamente e da mesma maneira usaremos o comando *Difference*, selecionando primeiro o elemento que queremos que se mantenha, e posteriormente o que deseja-se eliminar.

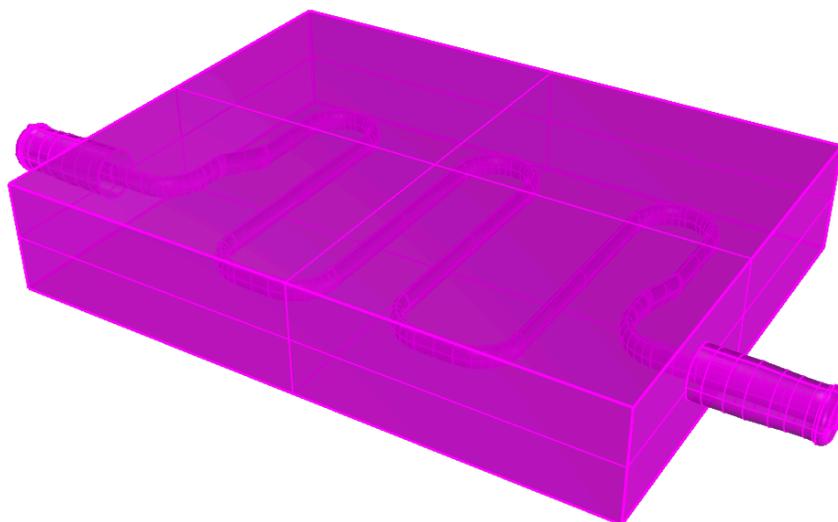
Aproveitamos este passo, para fazer um espelhamento da admissão do sistema de resfriamento com auxílio do comando *Mirror* (a aplicação deste comando resulta mais fácil de executar na janela de visualização *Top*), digitando *Mirror* no *prompt* de comando, seleciona-se o elemento de admissão do sistema de arrefecimento e dão se dois *enters* consecutivos, isto nos levará a escolher o ponto que deverá ser usado como eixo de rebatimento da imagem, para tal, escolhe-se o ponto médio do prisma retangular, e arrasta-se o cursor de maneira perpendicular ao prisma (na visualização atual, isto deverá ser para baixo ou para cima)

Figura 86 – Subtração de elementos e Espelhamento – [imagem do autor]



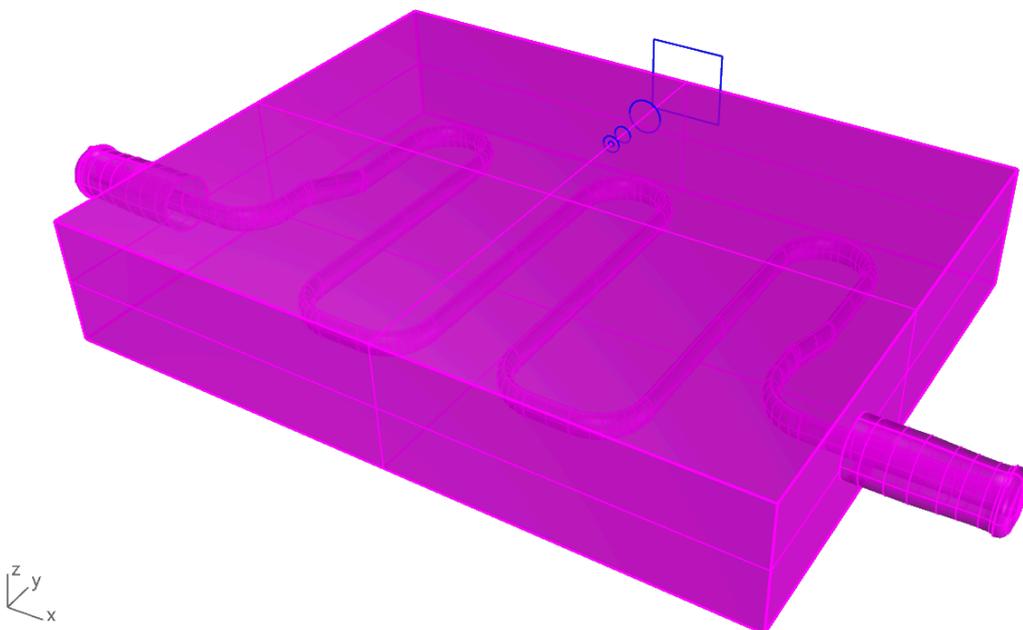
Usando o comando *Union* que está dentro do menu *Solid*, criaremos uma unidade entre os dois elementos de admissão do sistema de arrefecimento e o bloco que compõe o macho do molde, para isto deveremos fazer o seguinte, chamar o comando *Union* e selecionar os três elementos referenciados anteriormente, dar um *enter* e a união será realizada.

Figura 87 – União dos elementos – [imagem do autor]



É necessário criar os elementos que aparecem (em azul) na figura 88, não será preciso detalhar o processo de criação ou o de localização no espaço, pois são detalhes que já foram explicados em passos anteriores. Estes elementos irão colocados na mediatriz da aresta maior superior do prisma, o Quadrado deverá ter como dimensões 9mm, a circunferência maior 4mm de diâmetro, as intermediárias 2mm de diâmetro, e a menor 1mm de diâmetro, eles deverão ser colocados nas posições aproximadas como aparecem na figura 88, as posições são um pouco arbitrárias, com exceção do quadrado, que irá diretamente sobre a aresta.

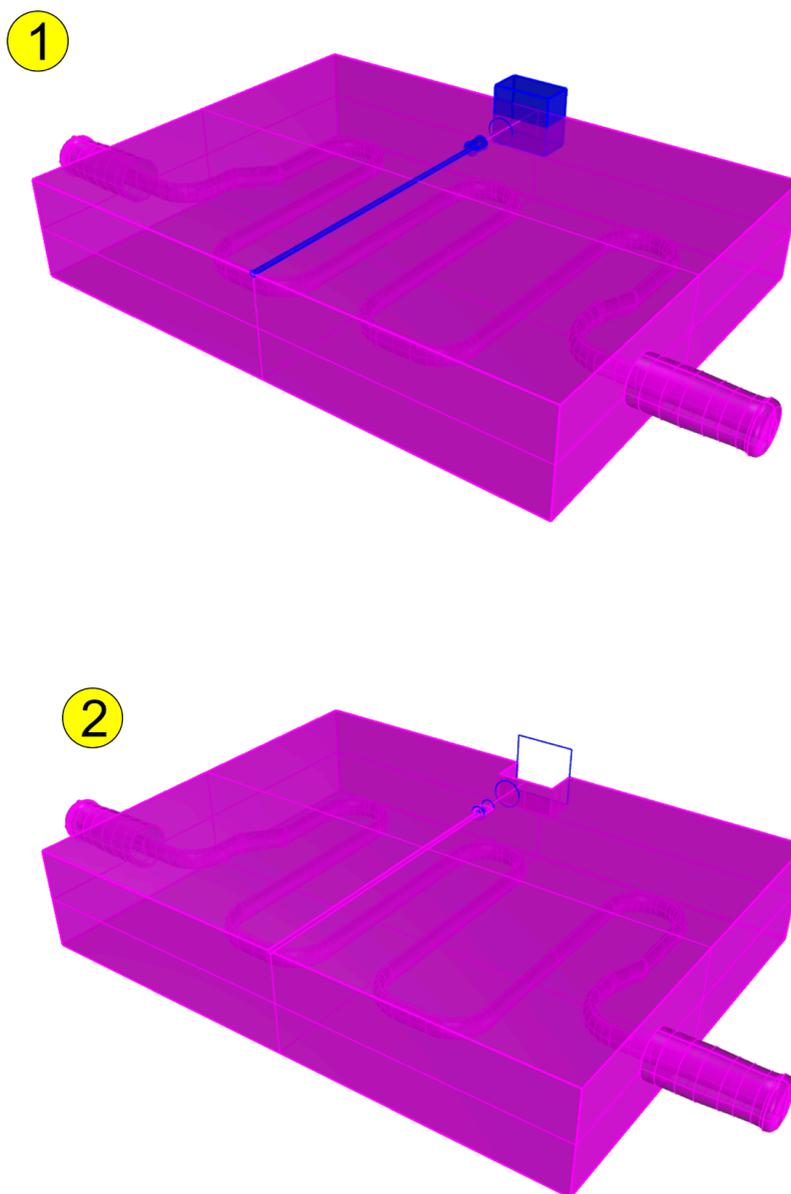
Figura 88 – Curvas base para as veias de admissão e escape – [imagem do autor]



Faz-se necessário neste momento inserir o elemento que será criado no processo de injeção, ele será colocado centralizado no plano superior do macho do molde, metade para dentro do molde, metade para fora. A partir da colocação deste elemento podem se gerenciar as extrusões que criaram as veias. As extrusões não serão necessárias de serem explicadas pois são processos que já foram realizados. O quadrado deverá ser extrudado 5mm, e a veia de escape, a de 1mm de diâmetro deverá ser extrudada até atingir a aresta maior inferior da superfície superior do prisma retangular. As duas circunferências intermediárias deverão ser extrudadas até uma alcançar a outra. Um detalhe de especial atenção aqui, os elementos criados para ser as veias de injeção e o modelo a ser injetado devem ser criados em

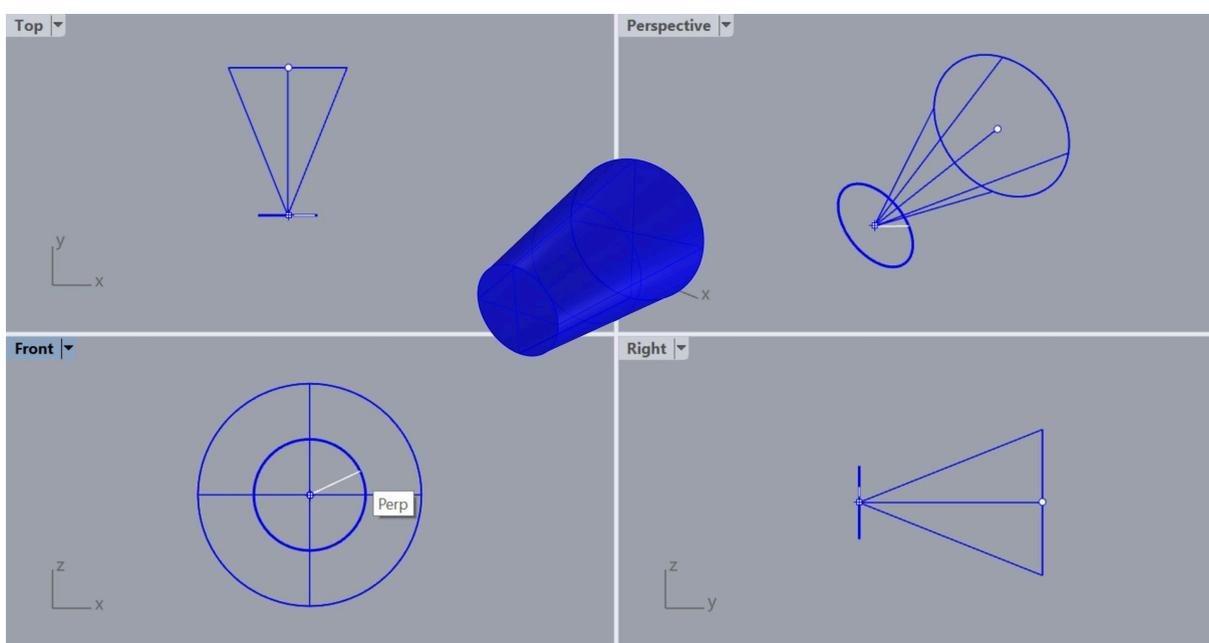
duplicidade, por que? Isto é necessário pois deveremos fazer duas subtrações nas duas partes que compõem o molde, uma na Fêmea, e outra no Macho, por esta razão eu preciso dos elementos duplicados. Fazer a duplicação é simples, unicamente chama-se o comando *Copy*, selecionam-se os elementos a serem copiados, após isso, digita-se a letra *i* (que significa *In Place*) e se dá um *enter*, isso fará com que a cópia gerada seja colocada no mesmo lugar do original.

Figura 89 – Realizando subtrações – [imagem do autor]



Agora entre a maior circunferência e uma das intermediárias deveremos criar um Tronco de cone, dentro do menu *Solid*, está a opção *Truncated Cone* (isto é mais fácil de se fazer tendo as quatro janelas de visualização ativas), quando escolhida pedirá para seleccionar o centro de uma das circunferências, iremos escolher a maior na vista *Front*, depois disso pedirá o diâmetro da circunferência, aí é só clicar no perímetro da mesma, a seguir pede-se para seleccionar o outro centro, na mesma vista *Front*, escolhe-se agora o centro da circunferência menor, e para finalizar pedirá o diâmetro, escolhendo o diâmetro menor o Tronco de Cone estará constituído.

Figura 90 – Criando um Tronco de Cone – [imagem do autor]

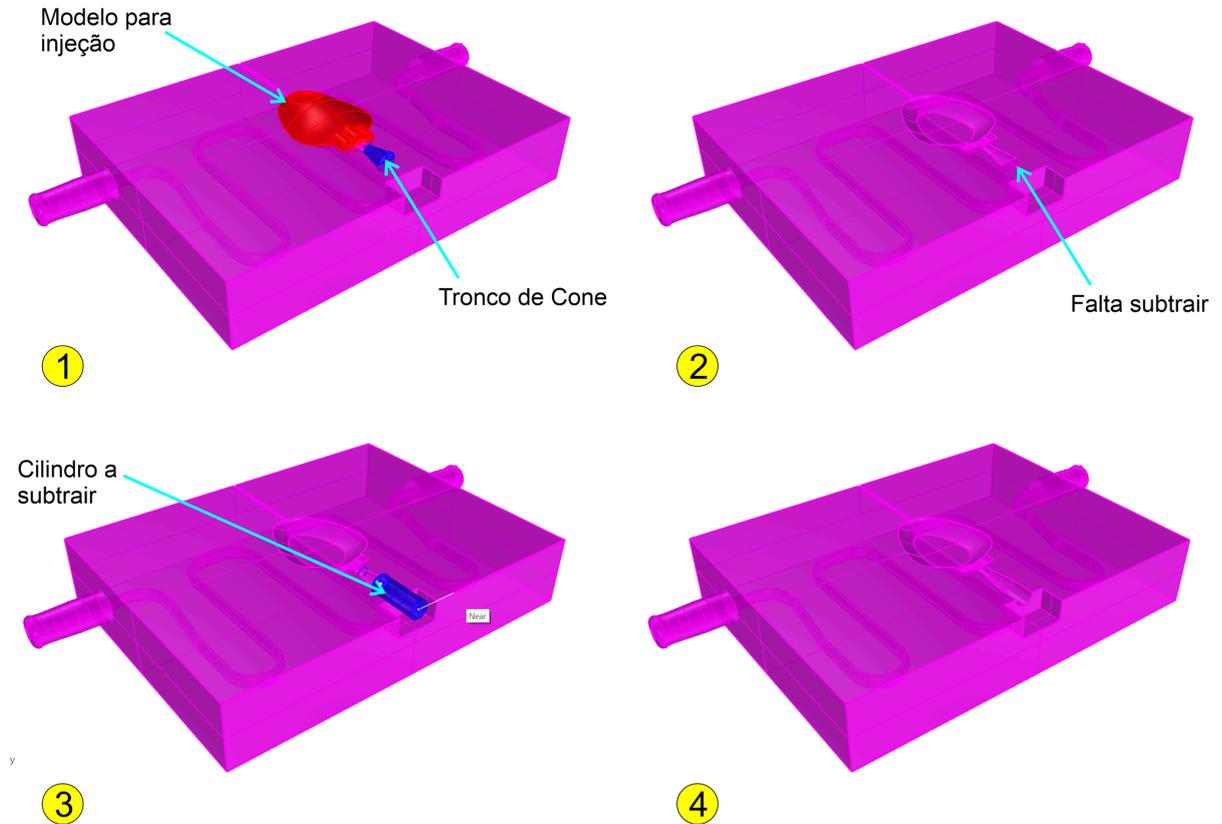


Colocando o modelo a ser injetado, alinhado com a metade de cilindro que foi criada com a subtração na face superior do macho do molde, já que este será o lugar de entrada do plástico para gerar a peça desejada. O alinhamento como já é sabido deve ser realizado com o auxílio das ferramentas *Osnap* para que seja realizado com precisão. Uma vez colocado o modelo, precisa ser feita uma nova subtração, para retirar o Tronco do Cone e o modelo do macho do molde.

É necessário fazer um *Extrude* que ficou faltando como se mostra no número 3 da figura 91, e assim poder retirar todos os elementos que criaram a veia de admissão e escape, lembrando que este elemento também deve ser duplicado como os

anteriores. feito o *Extrude* somente resta agora fazer uma subtração para completar este processo.

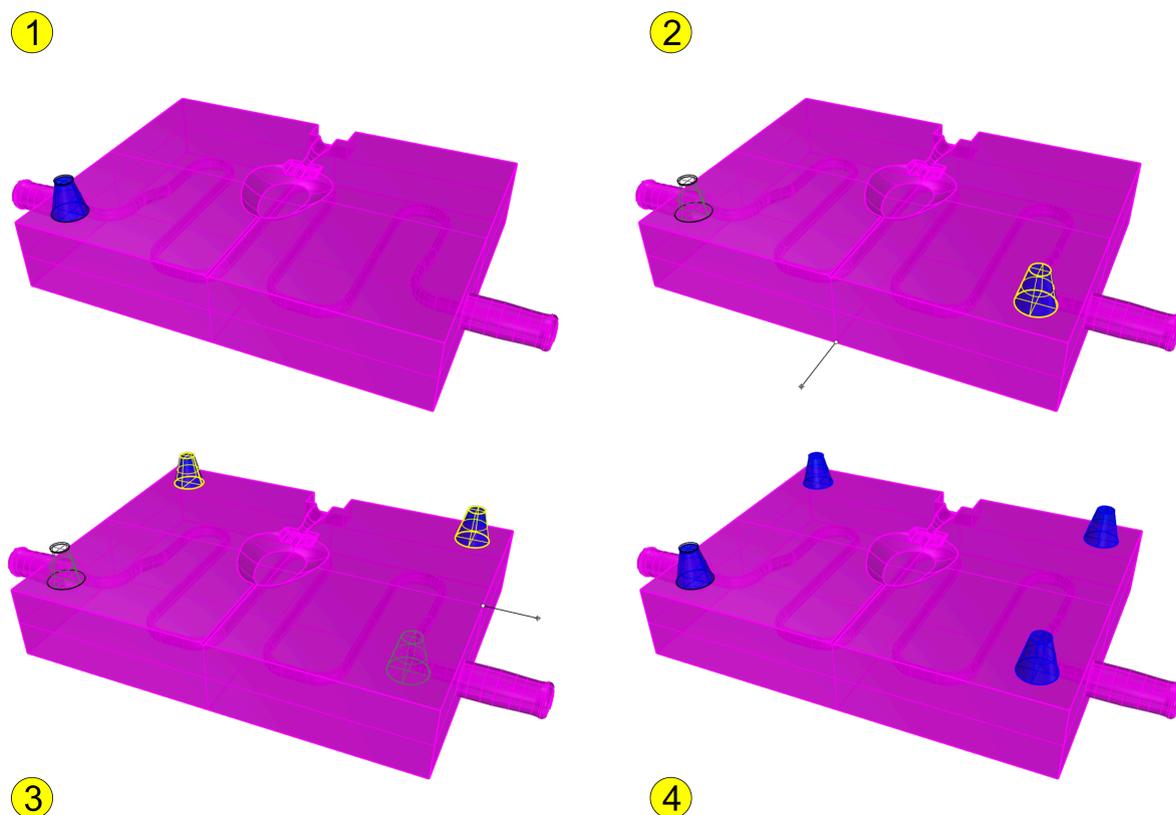
Figura 91 – Realizando subtrações – [imagem do autor]



Agora que já sabemos realizar a construção de um Tronco de Cone e também usar facilmente o comando *Mirror*, faremos deles uma ferramenta para a criação dos pinos de encaixe do macho. Vamos criar primeiramente um Tronco de Cone com auxílio das circunferências que já tinham sido concebidas anteriormente (no caso as duas circunferências de menor diâmetro em relação ao seu similar).

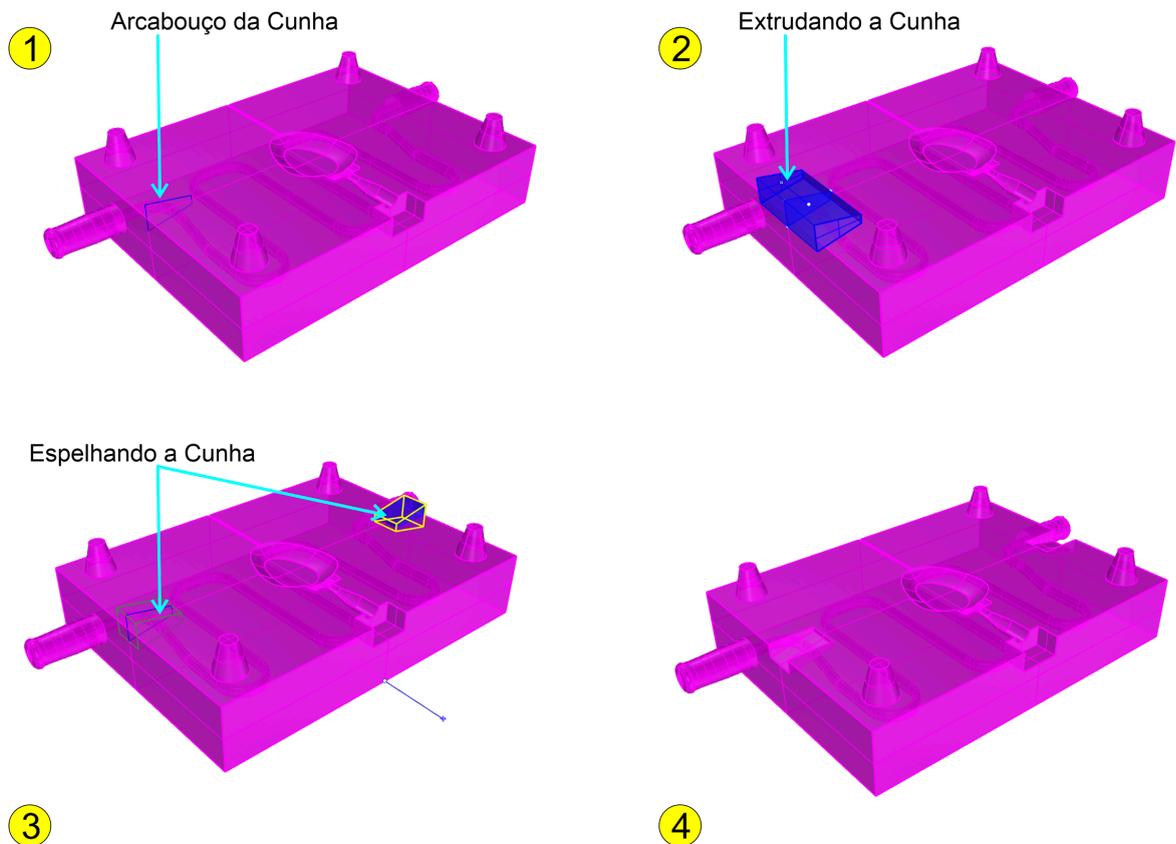
Posteriormente usando o comando *Mirror* faremos o primeiro espelhamento na aresta horizontal mais longa do prisma, para finalizar é só repetir o *Mirror* mas agora no lado menor do prisma, mas desta vez, devemos seleccionar os dois pinos criados para que os dois sejam espelhados de uma só vez.

Figura 92 – Criando os Pinos de Encaixe – [imagem do autor]



Deslocar da parte inferior para a parte superior do macho o arcabouço da cunha de abertura do molde, deixando-a na mesma posição em que estava, ou seja na mediatriz dessa aresta horizontal menor do prisma retangular. Feito isto, há de se usar o comando *Extrude*, neste caso para ambos lados do arcabouço, isso é feito digitando a letra B (*both*) imediatamente após a seleção do elemento a ser extrudado, clicando no *enter*, percebe-se que é possível extrudar para ambos lados, como se de um eixo de simetria o arcabouço fosse, particularmente esse extrude será de 3.5mm para que no final ele tenha 7mm ao todo, a seguir devemos espelhar a cunha para rebatê-la ao lado oposto, uma vez espelhada, deve ser feita uma cópia das duas cunhas no mesmo lugar das existentes com o uso do comando *Copy* dá-se um *enter*, depois é só digitar i, e outro *enter* para concluir as cópias. Para finalizar deve ser feita uma subtração de elementos (dentro do menu *Solid*, com o comando *Difference*) para deixar o rebaixo da cunha no macho que servirá como auxílio para abertura do molde.

Figura 93 – Gerando as Cunhas de abertura – [imagem do autor]

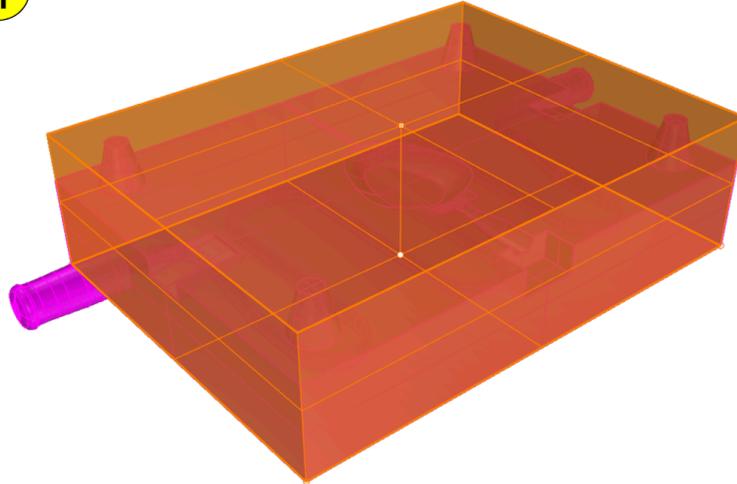


Após este processo dá-se por finalizado o trabalho de modelagem no macho do molde, agora unicamente devem ser feitos novamente os mesmos passos, com pequenas variantes, para a criação da fêmea do molde, razão pela qual, a explicação a seguir será de uma maneira mais escueta.

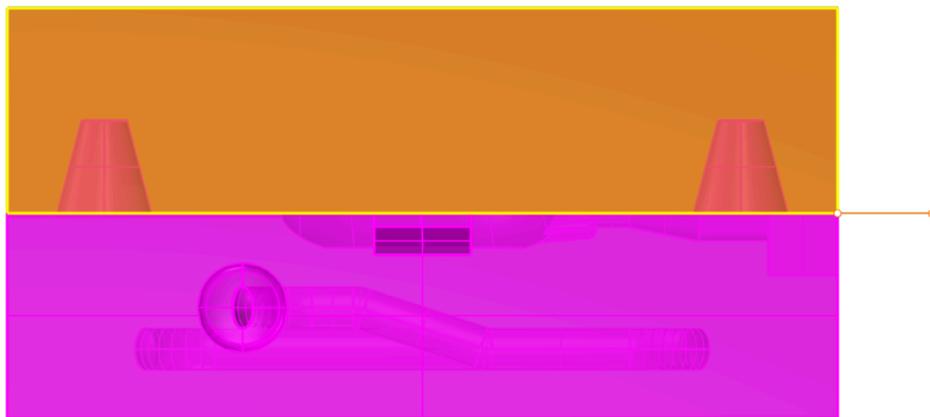
Primeiro, deve ser criado novamente um retângulo com a mesma altura do anterior, para isto novamente teremos o auxílio daquele retângulo inicial que começou o processo, e usaremos neste caso a altura já definida no prisma retangular que criou o macho, para repeti-lo agora com a fêmea, e posteriormente usar o comando *Mirror* para rebater a fêmea por cima do macho, e assim colocá-la no seu devido lugar.

Figura 94 – Iniciando a construção da fêmea – [imagem do autor]

1 Realizando o Extrude



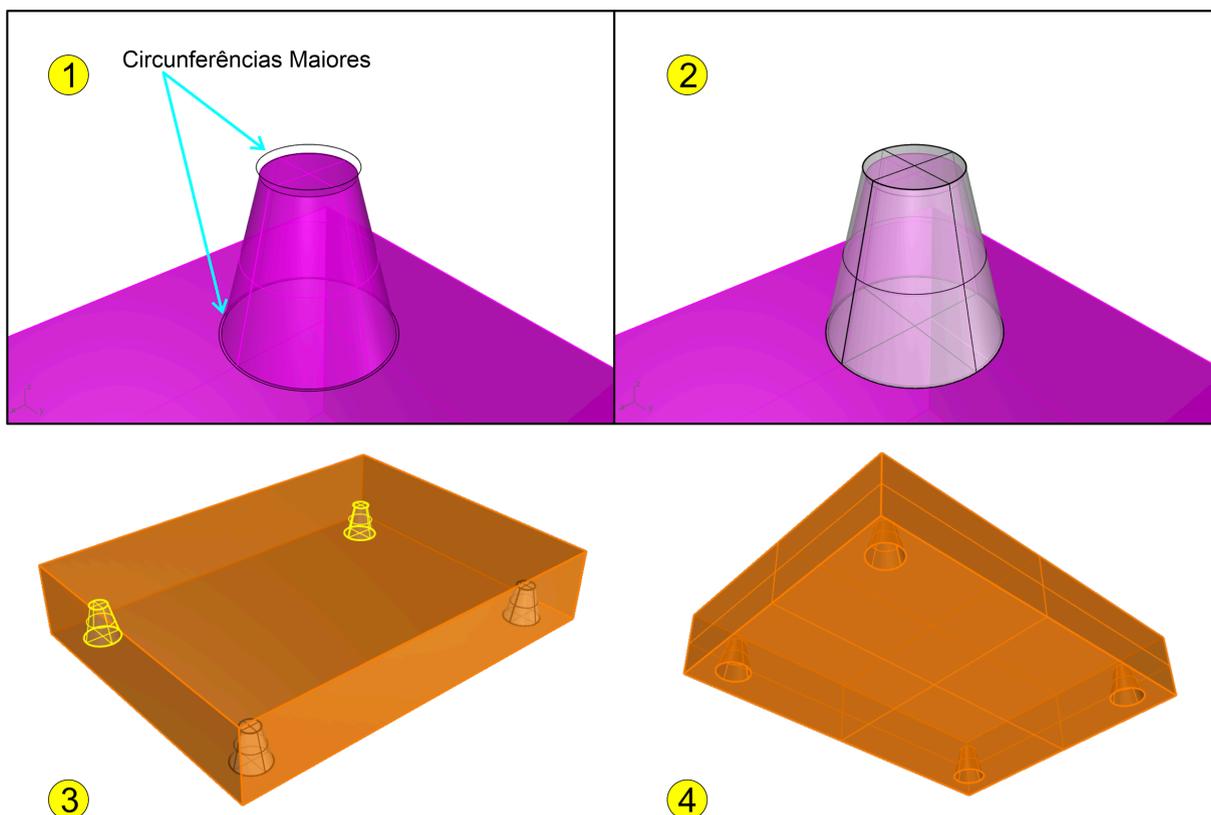
2 Rebatendo a fêmea



Vamos agora fazer os Pinos de Encaixe, embora agora de maneira inversa, na fêmea, os pinos são cavados em seu interior, para receber os do macho e poder travar o molde. Desta vez, usaremos as circunferências de maior diâmetro quando comparadas com suas correspondentes, primeiramente cria-se o Tronco de Cone,

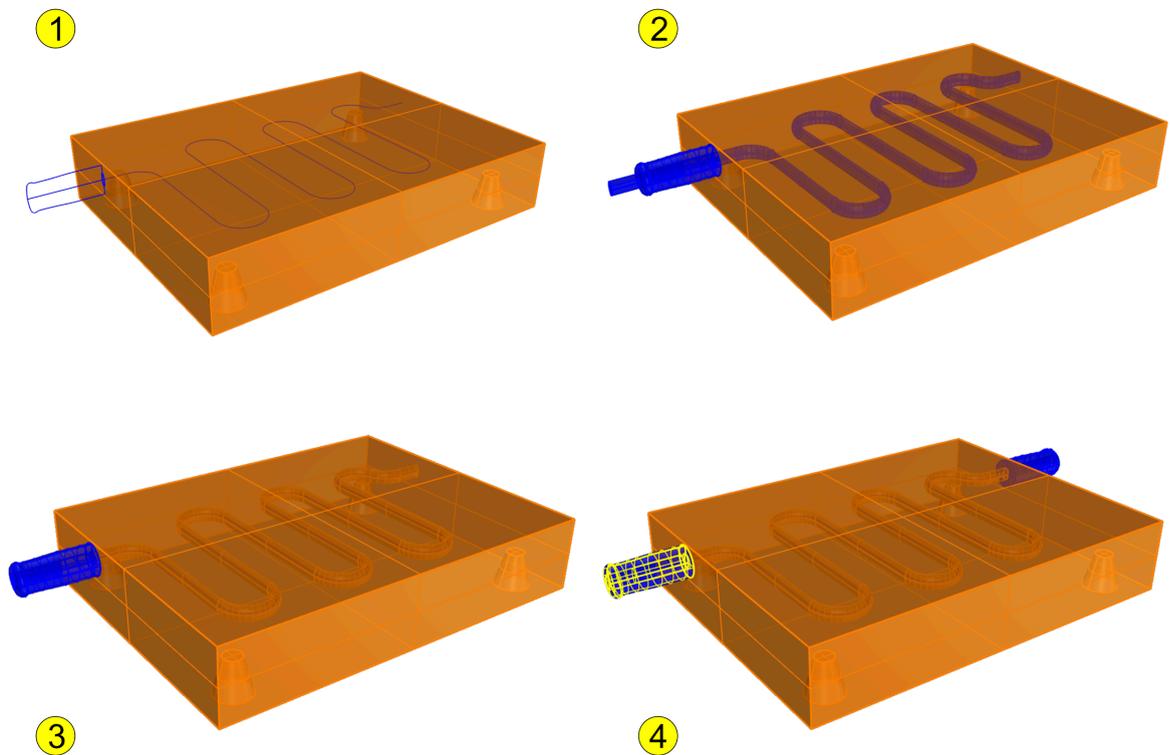
depois se faz uso do comando *Mirror* para espelhá-lo pelos quatro cantos da fêmea, e para fechar deve ser feito o uso do comando *Difference*, para subtrair os elementos, este comando encontra-se dentro do menu *Solid*.

Figura 95 – Pinos de Encaixe da fêmea – [imagem do autor]



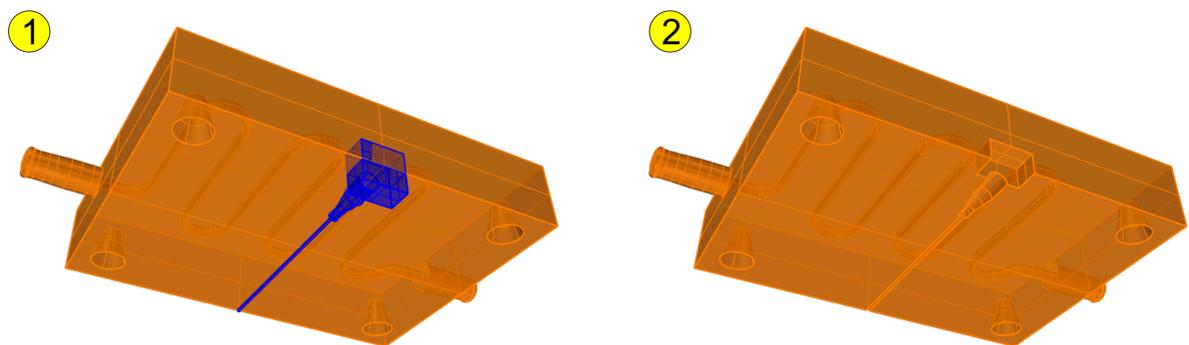
Neste passo novamente vamos construir a serpentina de arrefecimento, usando os comando *Sweep1* (*Sweep 1 rail*, no menu *Surface*), além do comando *Revolve* para a construção do sistema de admissão da serpentina, o comando *Cap* para fazer da superfície da serpentina um sólido, o comando *Extrude* para realizar a perfuração na admissão do sistema, e por último o comando *Mirror* para rebater a admissão do sistema.

Figura 96 – Serpentina da fêmea – [imagem do autor]



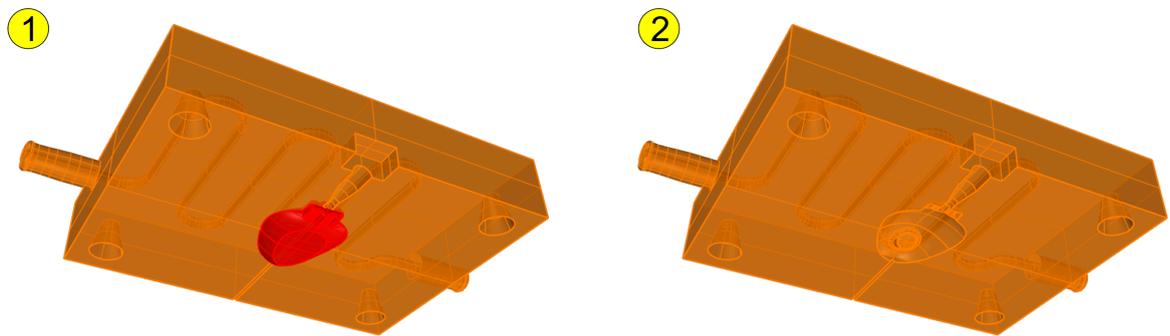
A partir daqui os passos são simples e repetitivos, faremos a seguir a subtração do sistema de admissão e escape da injeção, eu já temos esses elementos criados anteriormente, por tanto, unicamente será necessário o uso do comando *Difference*.

Figura 97 – Sistema de Admissão e Escape da Injeção – [imagem do autor]



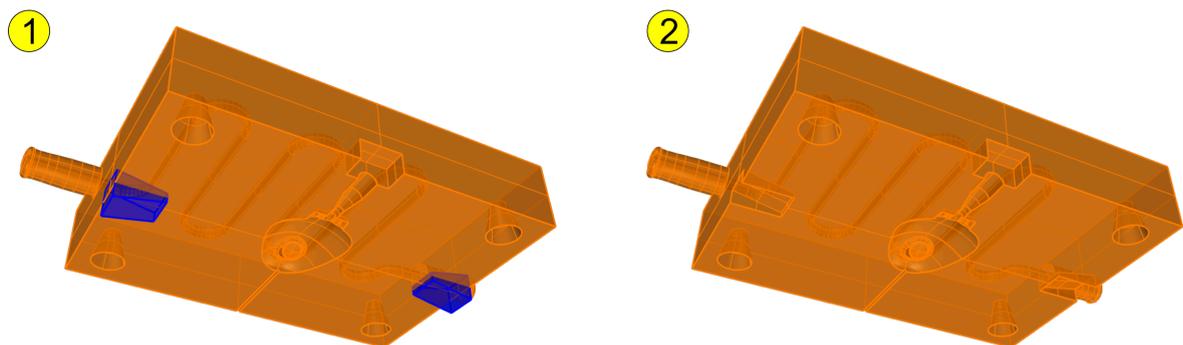
Este passo é simples, vamos retirar o modelo a ser injetado da fêmea do molde, somente se faz necessário o uso do comando *Difference*, assim o processo é idêntico ao anterior.

Figura 98 – Colocando o modelo para injeção – [imagem do autor]



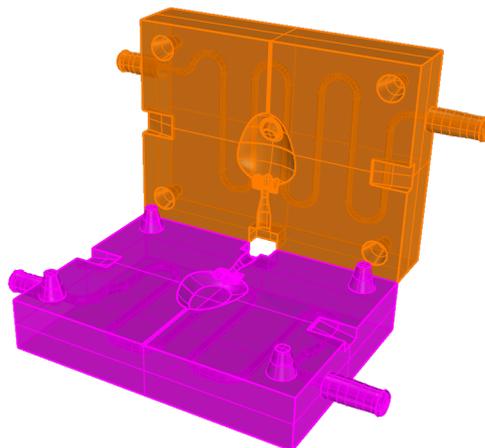
Para concluir os trabalhos na fêmea do molde precisamos novamente fazer a subtração das cunhas de abertura, que já existem, unicamente devemos repetir o processo dos últimos passos.

Figura 99 – Gerando as Cunhas de Abertura – [imagem do autor]



O resultado do metódico processo é recompensador como se mostra na figura a seguir.

Figura 100 – O Resultado do processo construtivo – [imagem do autor]

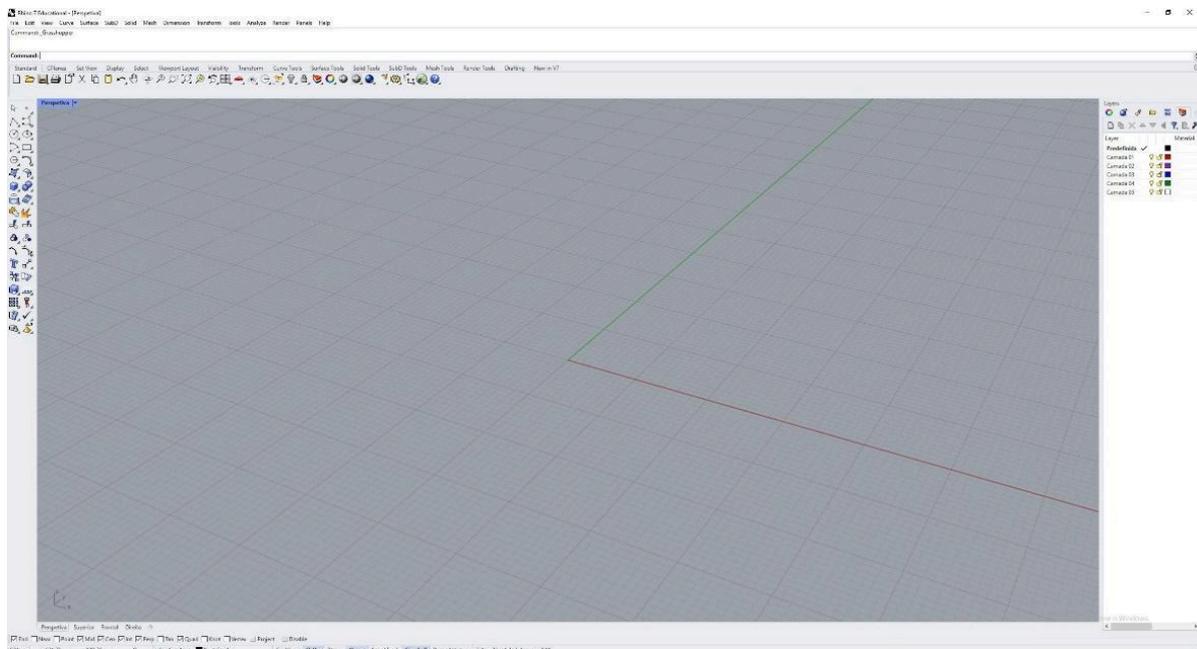


12.2 A Parametrização Do Molde - Passo a Passo

Vamos então, criar um tutorial para exemplificar o processo de criação do molde com o auxílio da modelagem paramétrica dentro do *software* Rhino3D e usando o *Grasshopper*.

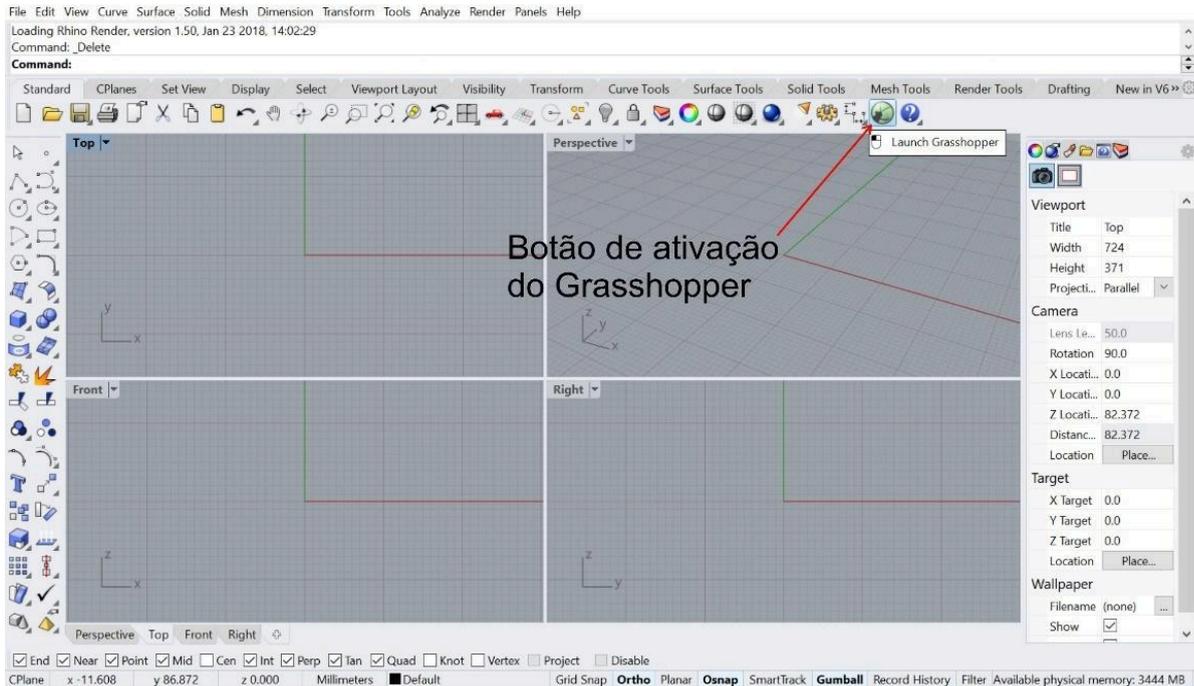
Apresenta-se a seguir a interface do *software* Rhinoceros (Rhino3D), com a janela de visualização Perspectiva habilitada, mas, para navegar entre as quatro janelas de visualização básicas, unicamente é necessário um *click* duplo do *mouse* (botão esquerdo) no nome da janela (neste caso, *Perspective*), e assim mudar para a visualização quádrupla padrão. Para repetir as mudanças entre janelas é sempre necessário clicar no nome da janela duas vezes.

Figura 101 – Interface geral do software Rhino3D – [imagem do autor]



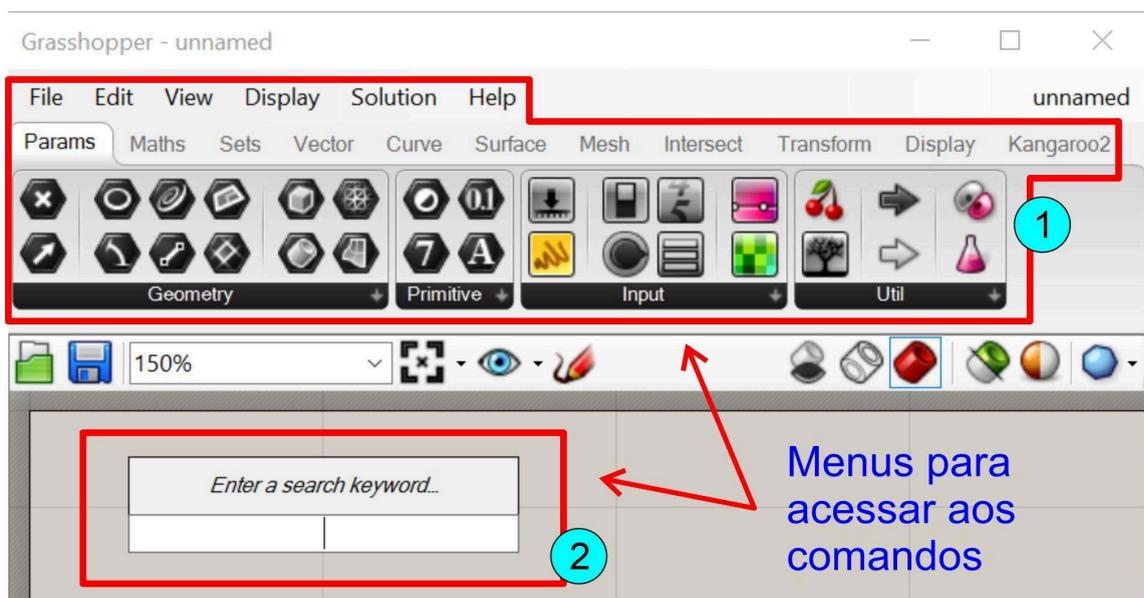
Para ativar o *Grasshopper*, o botão se encontra na chamada *Toolbar* na opção *Standard*, clicando no ícone, ele abrirá o *software*. Uma outra opção é escrever no *Prompt* de Comando a palavra *Grasshopper* e clicar na tecla *Enter*. A interface do *software* *Grasshopper* (que a partir da versão 6 do Rhino3D, já vêm dentro do próprio *software* de modelagem) será aberta em uma janela adicional de trabalho.

Figura 102 – Localização do botão de ativação do Grasshopper – [imagem do autor]



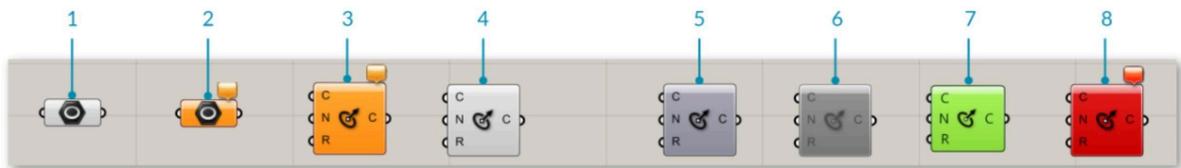
Os menus para acessar aos Parâmetros e Componentes dentro do *Grasshopper* aparecem na parte superior do *layout* do *software*: 1 São os menus em cascata que ao abrir permitem visualizar e chamar os parâmetros e componentes necessários; 2 Clicando duas vezes seguidas com o *Click* (botão esquerdo do *mouse*) e estando sobre a área de trabalho, abre-se a janela de digitar texto, para procurar os parâmetros e componentes pelo seu nome.

Figura 103 – Menus de Parâmetros e Componentes dentro do Grasshopper – [imagem do autor]



Componentes: quando o componente chamado não precisa de conexões para existir, ou quando não estiver selecionado, ele aparecerá inicialmente na cor cinza; quando o componente solicitado seja dependente de conexões, assim que colocado na área de trabalho ele ficará na cor laranja; o componente mudará para a cor verde, quando ele for selecionado; finalmente quando o componente receber uma conexão que não for apropriada para ele, ele se tingirá de vermelho.

Figura 104 – Cores sinalizadoras dos comandos – [imagem Grasshopper]



- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Um Parâmetro sem avisos ou erros | 5. Um Componente com a visualização desativada |
| 2. Um Parâmetro com avisos | 6. Um Componente desativado |
| 3. Um Componente com avisos | 7. Um Componente selecionado |
| 4. Um Componente sem avisos ou erros | 8. Um Componente com erro |

Aproveitando a janela de componentes que abre dentro da área de trabalho quando clicar duas vezes seguidas (botão esquerdo do *mouse*), vamos digitar a palavra *Rectangle*, para poder abrir o componente *Rectangle*. Uma vez selecionado é só posicioná-lo dentro da área de trabalho.

No menu superior, na aba Parâmetros (*Params*) selecionamos o Parâmetro *Number Slider*. para escolher o parâmetro é necessário clicar sobre ele, e arrastá-lo até a área de trabalho.

Figura 105 – Seleção do componente Rectangle e o Parâmetro Number Slider – [imagem do autor]

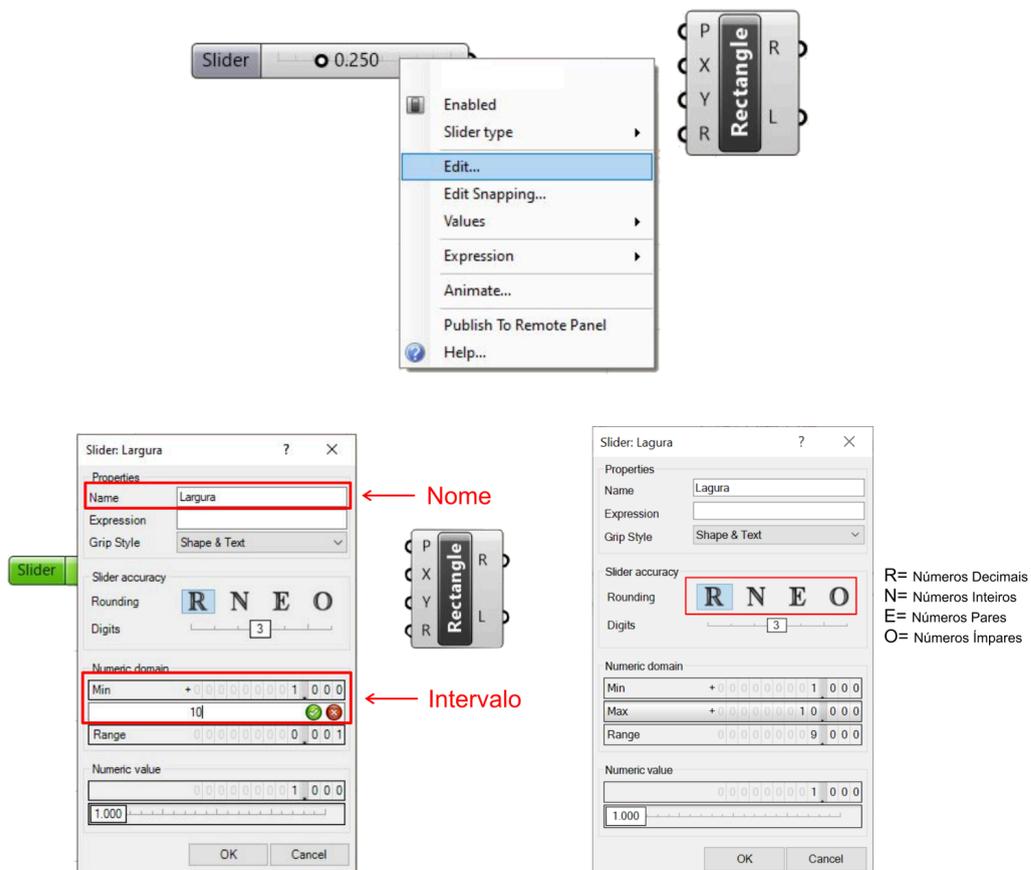


Uma vez tendo o componente dentro da área de trabalho é necessário dar um *Click* (botão direito do *mouse*) sobre o componente, e quando abrir o menu de cascata selecionar a opção *Edit*.

Quando aberto, o menu de cascata de edição do Parâmetro *Number Slider*, muda-se o nome, para aquele que desejar e seja útil ao nosso projeto. No Domínio Numérico, é onde alteramos os valores numéricos do nosso interesse, com um mínimo e um máximo, após definir o valor é só dar um *click* sobre o *Ok* em verde para validar a ação, uma vez alterados os elementos necessários resta só aceitar o *Ok* na parte inferior da janela.

Nos elementos de precisão do *Slider Accuracy*, dentro da mesma janela de edição do Parâmetro *Number Slider*, podemos variar entre quatro diferentes opções, segundo a nossa necessidade. Quando alterarmos um deles, automaticamente altera o Domínio Numérico.

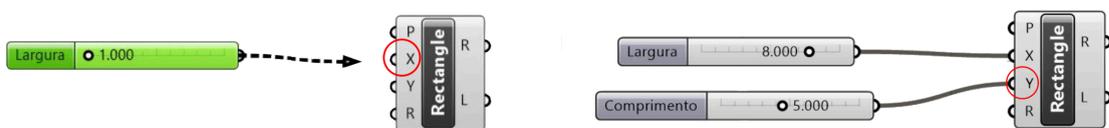
Figura 106 – Abrindo o menu de cascata do Parâmetro Number Slider – [imagem do autor]



Definidos os valores, resta puxar e arrastar a conexão a partir do plugue de saída do parâmetro *Number Slider*, e levá-lo até conectá-lo com o plugue de conexão de entrada do componente *Rectangle* na opção *X Size*, devemos por especial atenção às conexões, já que dependendo do comando que se tratar, alguns tem mais de um plugue de entrada e de saída de instruções.

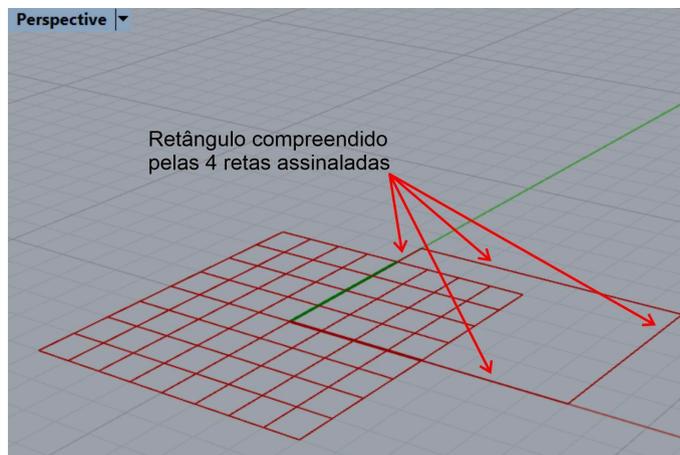
Repetir os mesmos passos (das instruções das imagens 105 e 106), e agora conectar o plugue de entrada de informação *Y Size*.

Figura 107 – Conexão entre comandos – [imagem do autor]



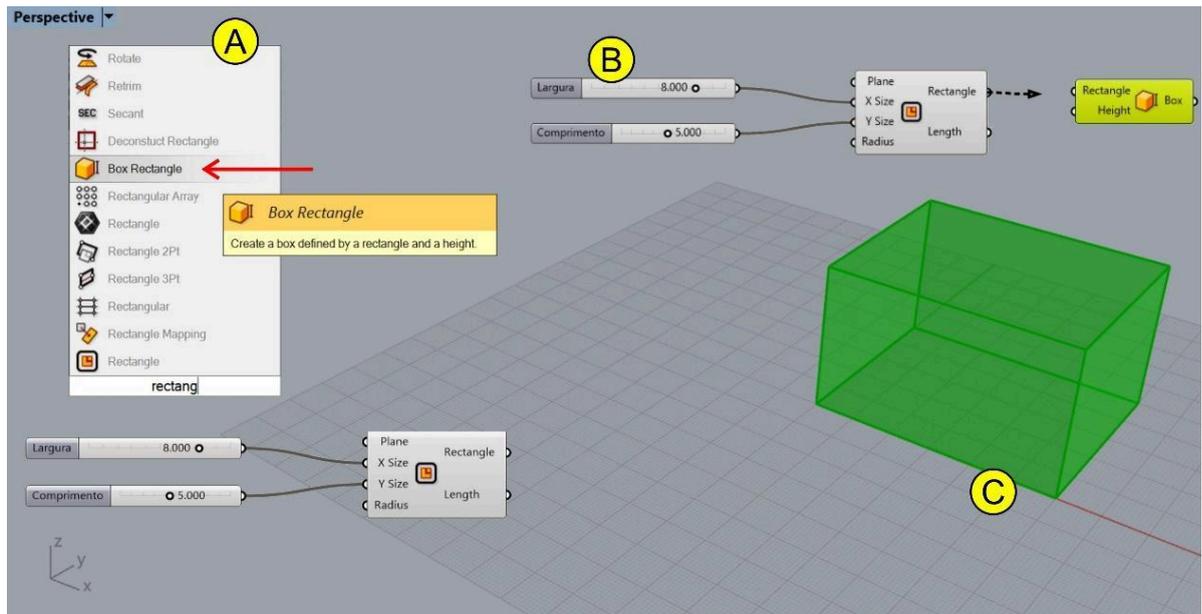
As configurações definidas dentro do *Grasshopper*, aparecem automaticamente de maneira gráfica, dentro das janelas do *Rhino3D*.

Figura 108 – Retângulo criado no *Grasshopper* e representado no *Rhino3D* – [imagem do autor]



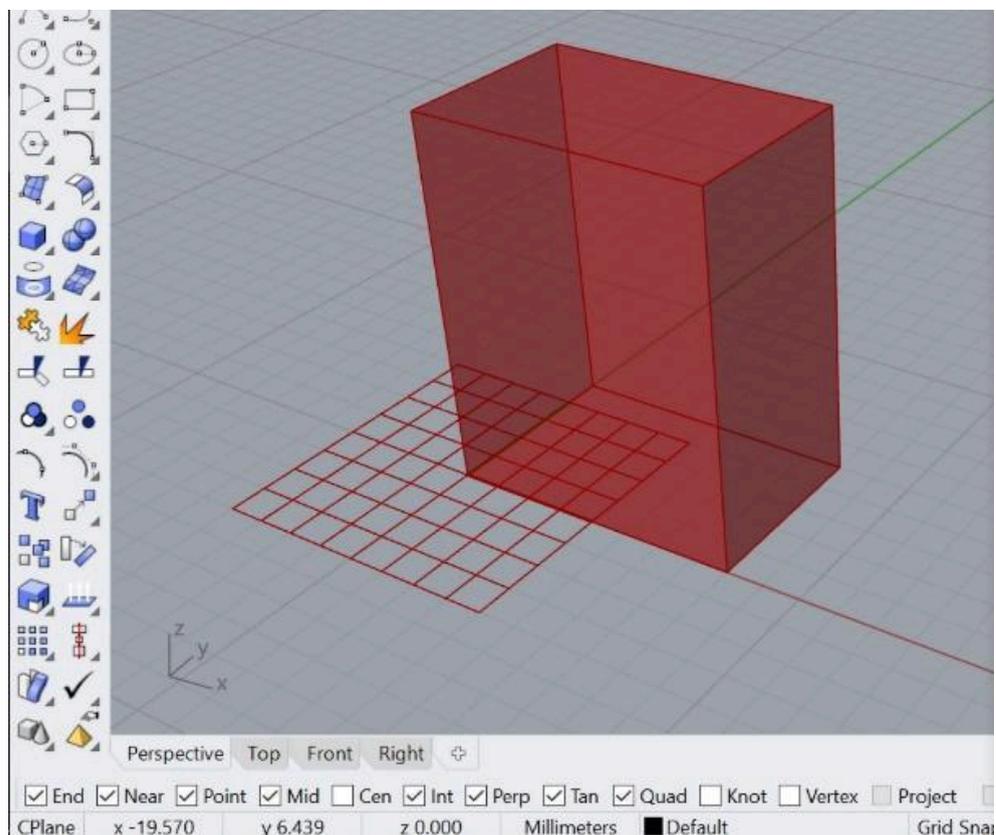
Agora será necessária a escolha do componente *Box Rectangle*, para poder criar a altura do retângulo e transformá-lo em um Prisma (A). Este novo componente deverá ser conectado no plugue de saída do componente *Rectangle* na opção homônima, para a entrada do componente *Box Rectangle*, na opção *Rectangle* (B). Agora na janela do *Rhino3D* (na janela, *Perspective*) observamos a construção do prisma de base retangular, se componente *Box Rectangle* estiver selecionado, a imagem se mostrará na cor verde, senão, ele aparecerá em vermelho (C).

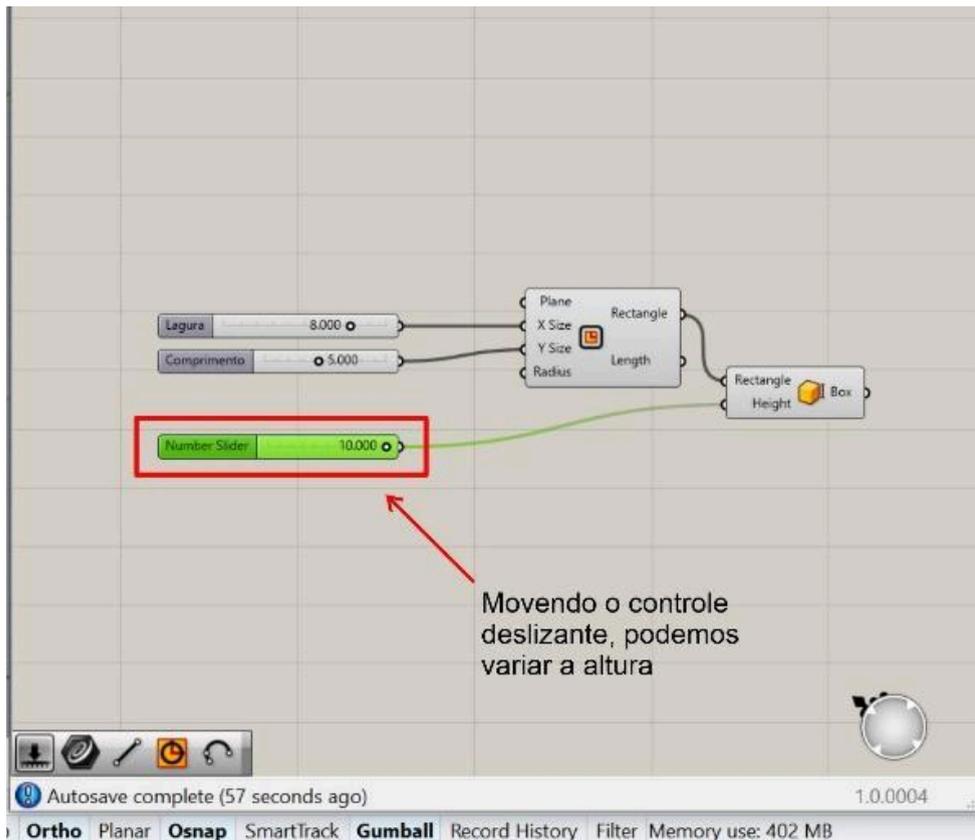
Figura 109 – Chamando o comando Box Rectangle – [imagem do autor]



É necessário acrescentar agora um novo parâmetro *Number slider* dentro do qual alteramos os valores dependendo da necessidade (como feito nos passos das figuras 105 e 106), e conectamos ele na opção de entrada chamada *Height* do componente *Box Rectangle*, isso vai permitir variar a altura do prisma à vontade.

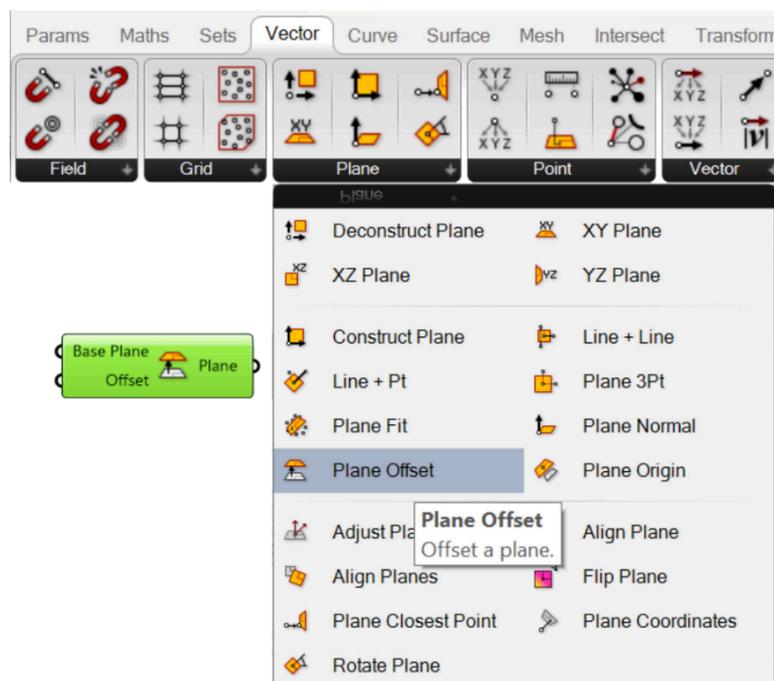
Figura 110 – Variando a altura do prisma – [imagem do autor]





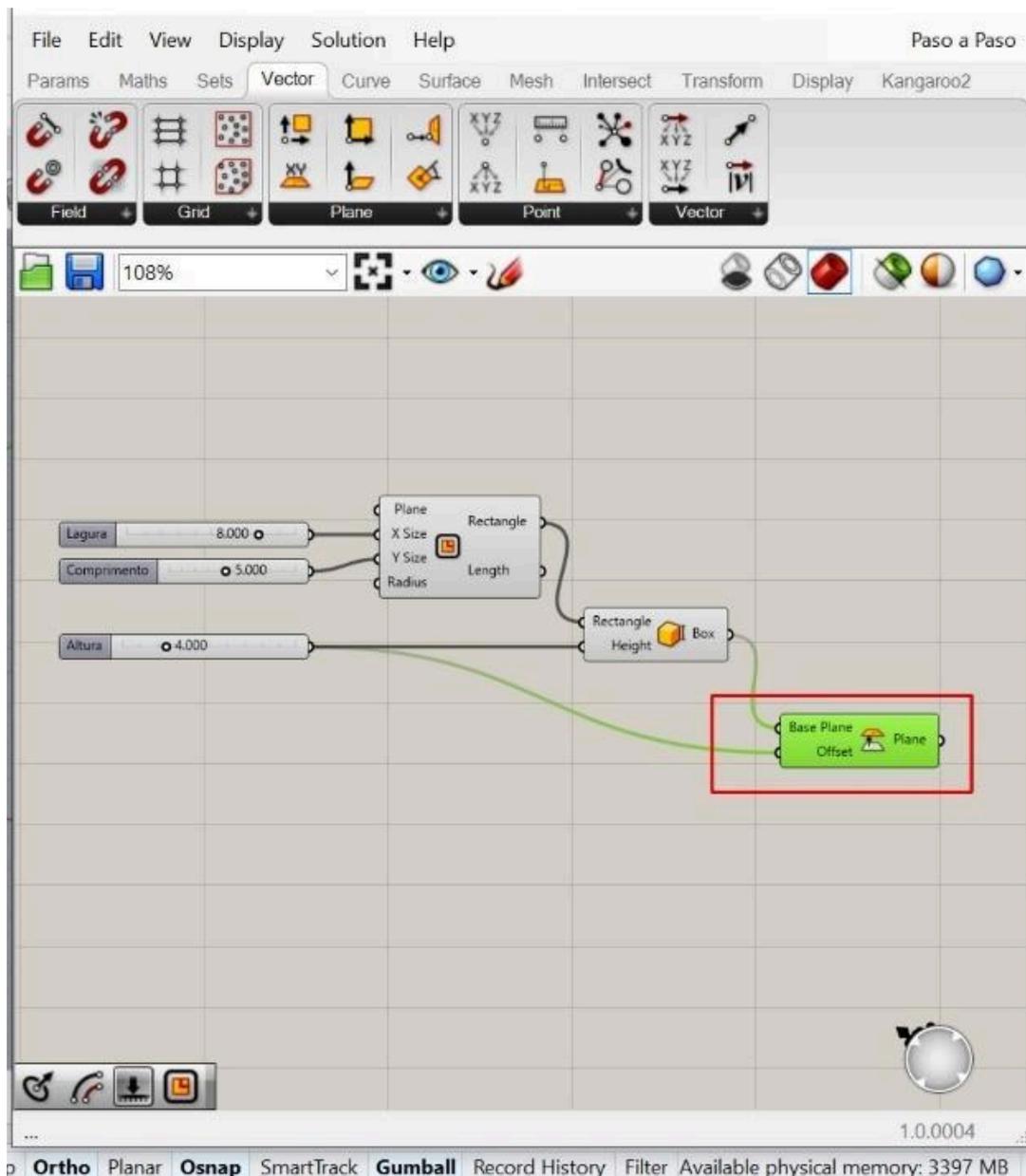
No menu superior na aba *Vector*, e posteriormente no conjunto *Plane*, devemos selecionar o componente *Plane Offset*, isto permitirá criar um plano de trabalho, paralelo ao plano original.

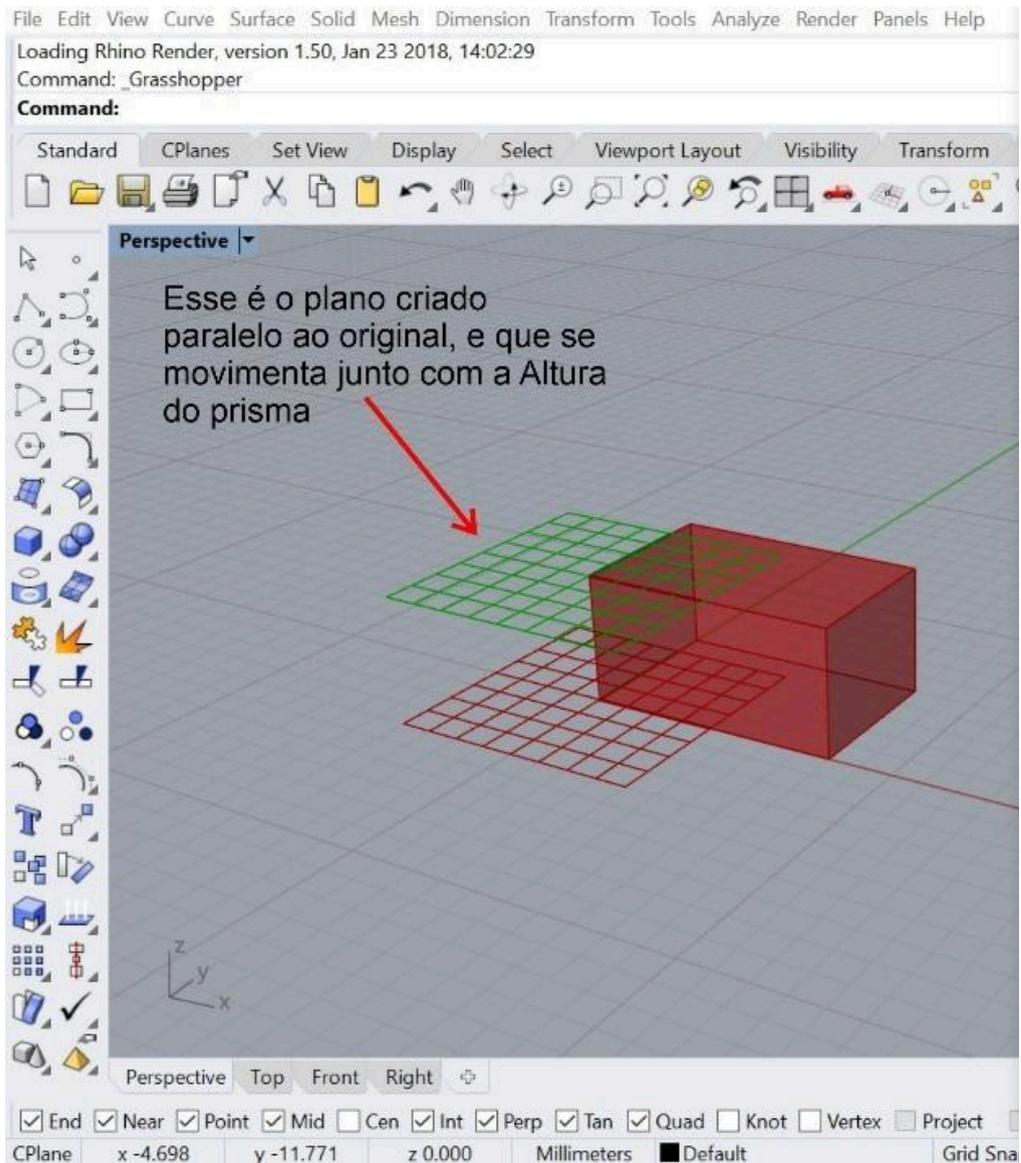
Figura 111 – Seleção do componente Plane Offset – [imagem do autor]



Selecionado o componente *Plane Offset*, conectamos no plugue de saída do componente *Box Rectangle* chamado de *Box*, como o plugue de entrada do *Plane Offset* chamado de *Base Plane*. Na sequência ligamos no plugue de entrada chamado *Offset* do componente *Plane Offset*, com a saída do parâmetro *Number Slider* que definimos como *Altura*, fazendo isso o plano criado será um elemento dependente da altura que decidirmos colocar.

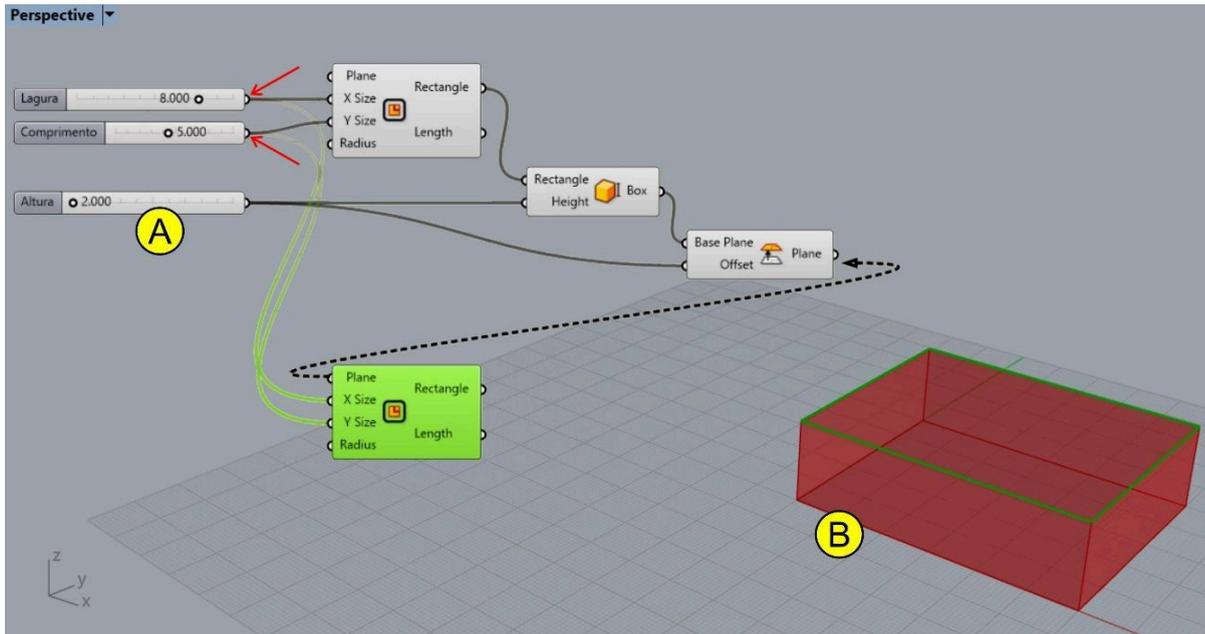
Figura 112 – Conexão entre componentes e parâmetros – [imagem do autor]





É preciso criar um retângulo que estará ligado ao topo do prisma e será construído a partir do plano criado no passo anterior. Para isto gera-se um retângulo (figura 105) e conecta-se os plugues de entrada *X Size* e *Y Size*, com os plugues de saída dos parâmetros *Number Slider* do primeiro retângulo que iniciou a construção, isto provocará que os retângulos se mexam unissonamente. Agora é só ligar o plugue de entrada do componente *Rectangle* chamado de *Plane*, com o plugue de saída do componente *Plane Offset* de nome *Plane*, isto colocará o novo retângulo sobre este plano elevado, automaticamente no topo do prisma.

Figura 113 – Criação do novo comando Rectangle, e sua visualização – [imagem do autor]



Queremos agora colocar um ponto como referência para acrescentar um elemento posterior quando for para o *software* Rhino3D, selecionamos então, no menu superior, na aba *Curve*, na sub aba *Analysis* o componente *Evaluate Curve* (Figura 61). Isto possibilitará ter um ponto que se desloque dentro da curva que é o retângulo, para isto conecte-se a seleção *Curve* do plugue de entrada do componente *Evaluate Curve* com a seleção de saída chamada *Rectangle* do componente *Rectangle*. Dentro do componente *Evaluate Curve* na opção de entrada *Parameter* será conectado um novo parâmetro *Number Slider* onde criaremos um intervalo entre 0 e 2 (onde de 0-1, representará o comprimento de um lado e de 1-2, o comprimento do lado subsequente) e escolhemos arbitrariamente o valor de 1.5 para o ponto ficar posicionado no ponto médio do lado direito.

Figura 114 – Criando um ponto sobre uma curva – [imagem do autor]

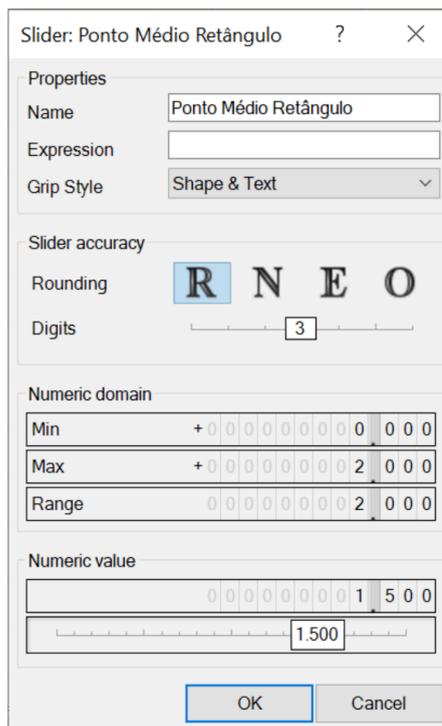
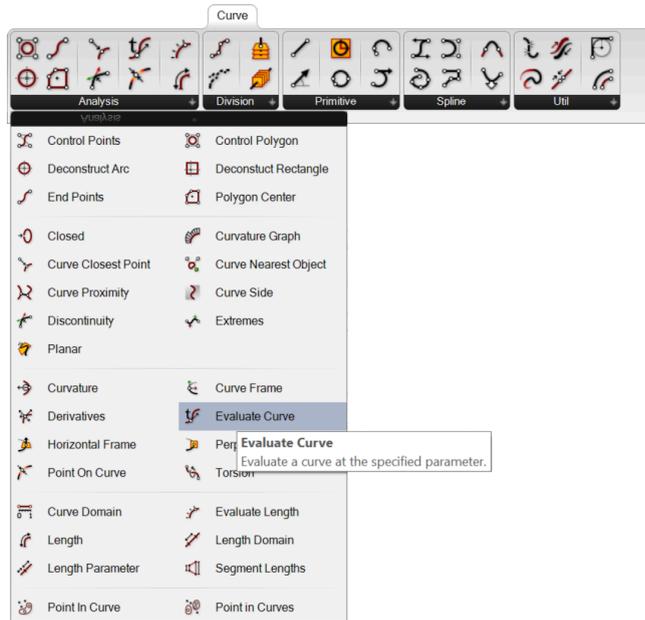
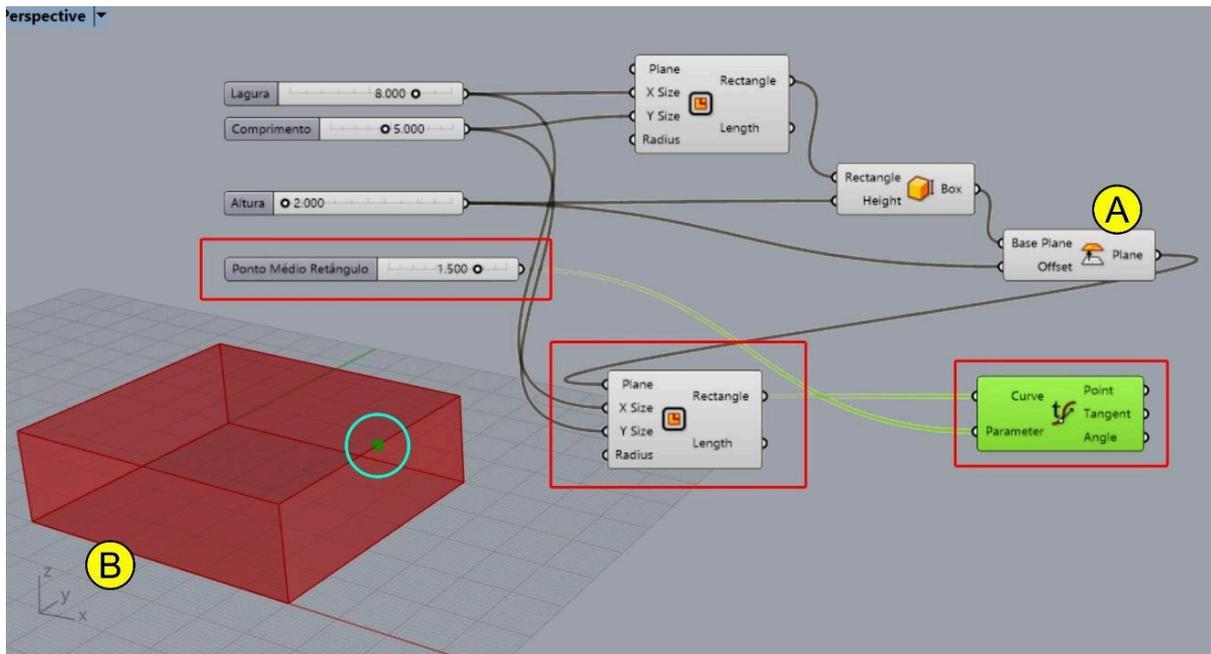


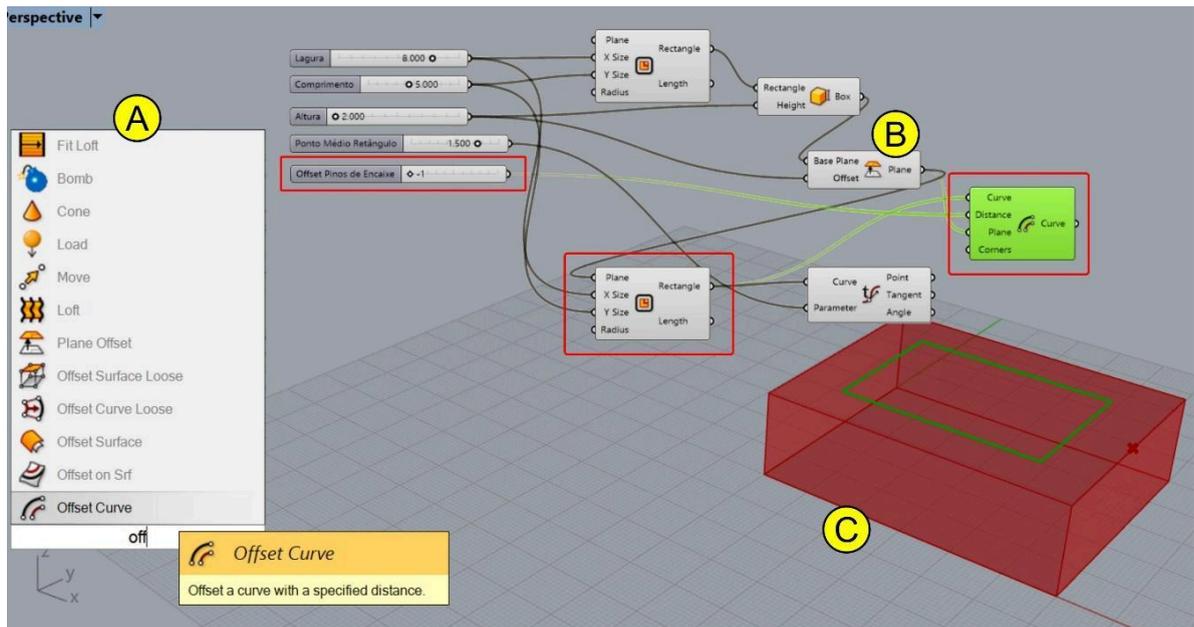
Figura 115 – Conectando o componente Evaluate Curve, e resultado da conexão – [imagem do autor]



A próxima seleção de componente será *Offset Curve*, com esta escolha queremos criar um retângulo concêntrico ao retângulo que se localiza no topo do prisma, isto para gerar uma separação contínua entre os dois (A).

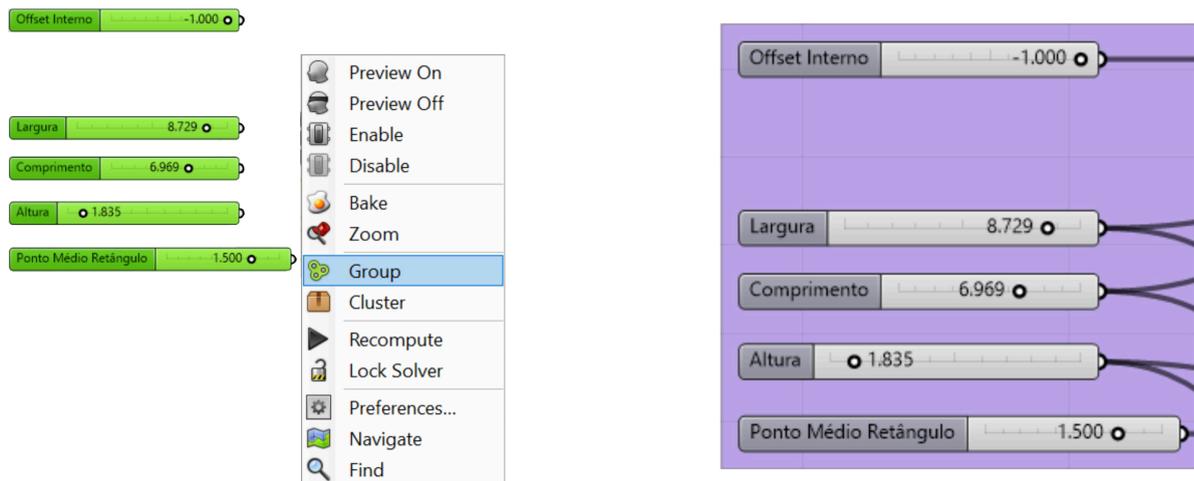
No componente *Offset Curve* é preciso conectar o plugue de entrada *Curve*, com o plugue de saída do componente *Rectangle*, nomeado de *Rectangle*, posteriormente no plugue de entrada do *Offset curve* escolhe-se a opção *Distance*, e será ligada a um novo *Number Slider*, com valor negativo, para forçar o deslocamento do novo retângulo para a parte interna do original. Finalmente liga-se a opção de entrada *Plane*, com a opção de saída *Plane* do componente *Plane Offset*, para que seja posicionado também no topo do prisma (opções B e C).

Figura 116 – Seleção do comando Offset Curve, conexão, e resultado – [imagem do autor]



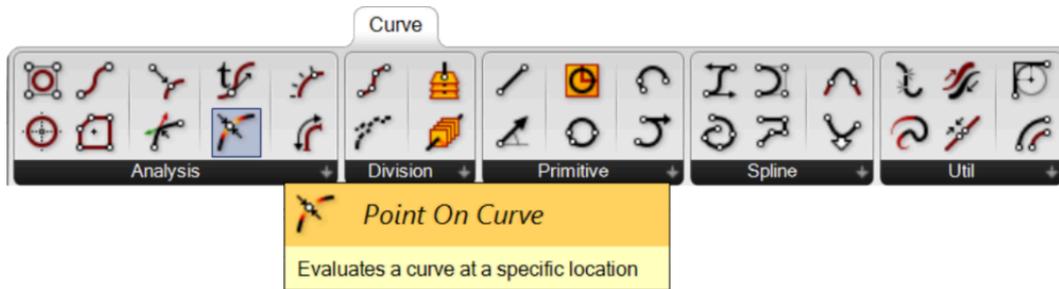
Selecionando os 5 parâmetros *Number Slider* vistos na imagem, clica-se com o botão direito do *mouse* (*click*) sobre a área de trabalho e seleciona-se a opção *Group*, isto agrupa os elementos e os identifica dentro de uma área em destaque, com o intuito de facilitar seu posterior manuseio, pois serão elementos básicos para o controle do molde.

Figura 117 – Agrupando comandos – [imagem do autor]



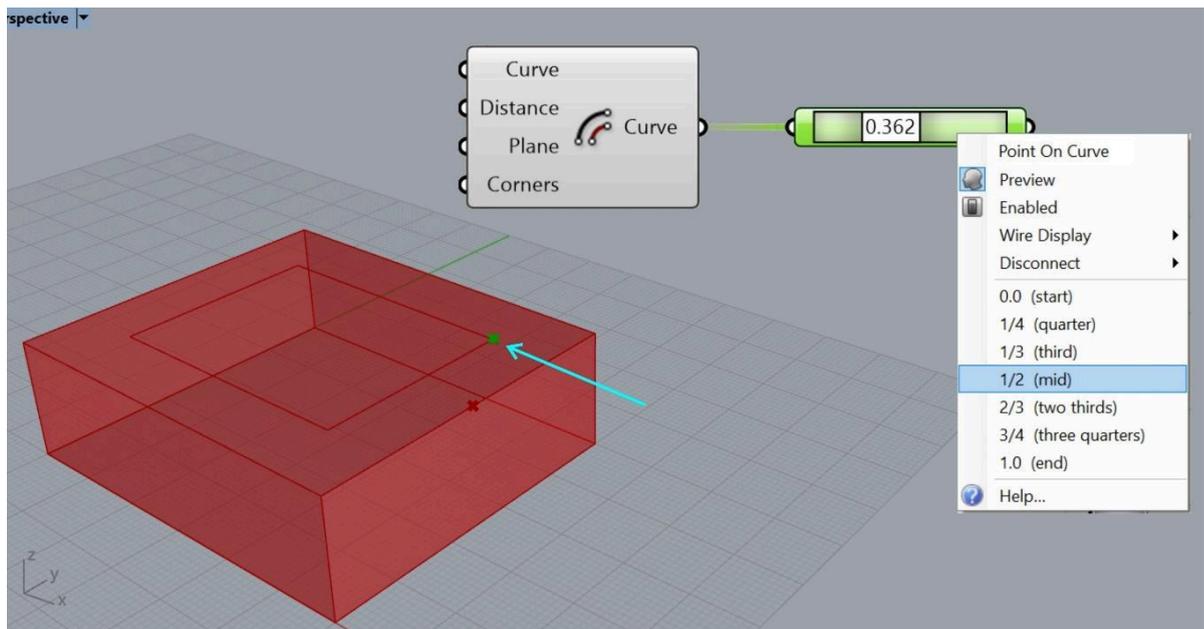
Agora no menu superior *Curve* no conjunto *Analysis*, selecione o componente *Point on Curve*! Isto permite criar um ponto sobre uma curva.

Figura 118 – Seleção do componente Point on Curve – [imagem do autor]



Clicando com o botão direito do *mouse* (*clock*) sobre o ícone *Point on Curve* selecionamos a opção $\frac{1}{2}$ (*mid*), o resultado será posicionar o ponto sobre o terceiro vértice do quadrilátero, isto porque o comando divide o retângulo mediante uma diagonal.

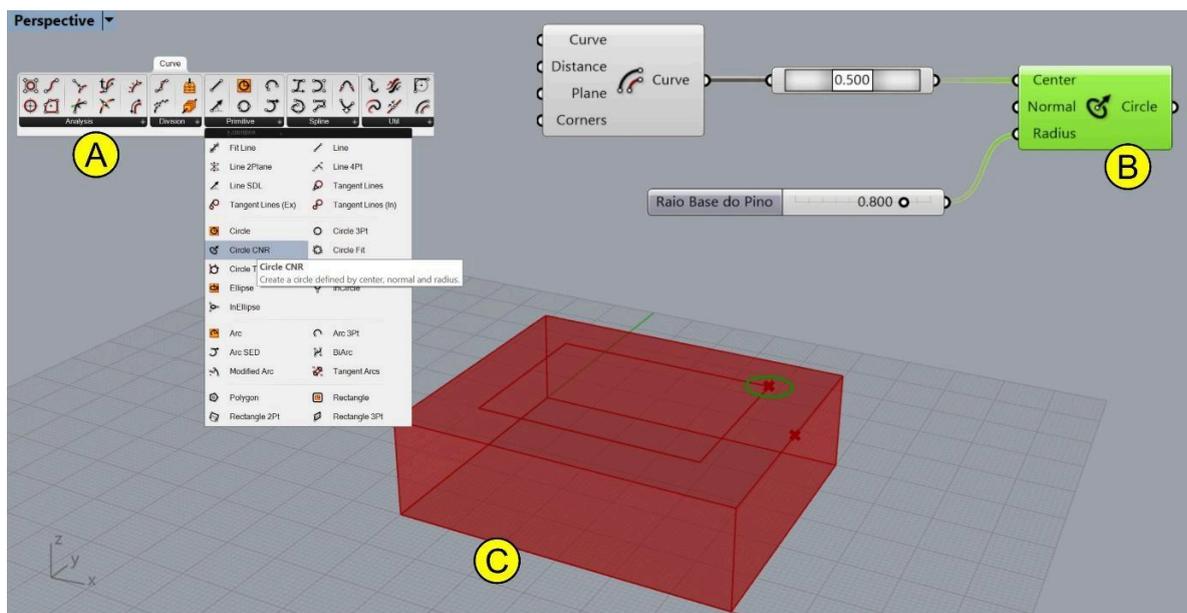
Figura 119 – Conexão do componente Point on Curve, seleção, e resultado – [imagem do autor]



É preciso colocar uma circunferência que esteja ligada ao ponto sobre a curva feito anteriormente, para isto, no menu superior *Curve* e no conjunto *Primitive*, escolhe-se o componente *Circle CNR* (A).

Liga-se então, o plugue de entrada *Center* do componente *Circle CNR* com a saída do componente *Point on a Curve*, e para o plugue de entrada *Radius* do mesmo componente *Circle CNR*, chamamos um parâmetro *Number Slider* onde define-se o intervalo segundo meu interesse (opções B e C).

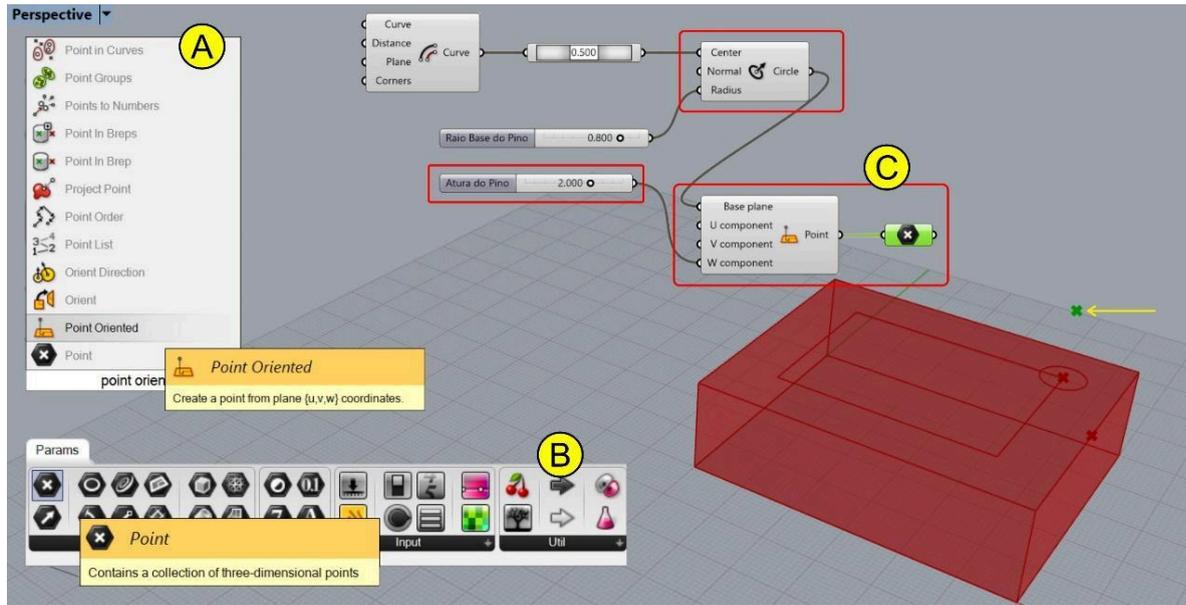
Figura 120 – Seleção do componente, conexão, e resultado da operação – [imagem do autor]



O próximo elemento irá criar uma demarcação de altura por cima dessa circunferência, para isso chama-se o componente *Point Oriented* (A), no menu superior *Params*, dentro do primeiro conjunto seleciona-se o parâmetro *Point* (B). Finalmente chama-se um parâmetro *Number Slider* para definir a altura desse ponto em relação à circunferência na base.

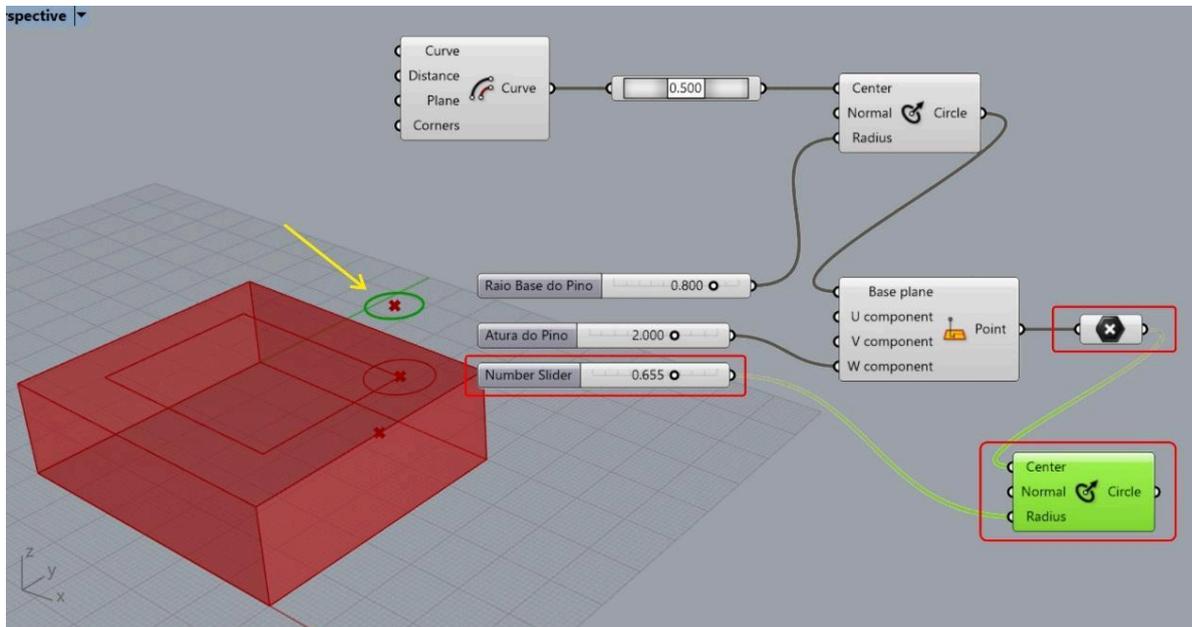
Para ligar esses elementos, primeiro devemos ligar o plugue de saída do componente *Point Oriented* com o plugue de entrada do parâmetro *Point*, seguido disso ligamos o *Point Oriented* na opção de entrada chamada *Base Plane* com o plugue de saída do *Circle CNR* de nome *Circle*, por último são definidos os valores do parâmetro *Number Slider* e conectamos sua saída com a entrada do *Point Oriented* na opção *W component*, pois ele define a altura. Isto cria um ponto flutuante que pode variar sua altura em relação à circunferência (C).

Figura 121 – Seleção dos componentes, conexões, e resultado da operação – [imagem do autor]



Agora devemos criar um componente *Circle CNR* para conectá-lo com um parâmetro *Number Slider* que definirá seu raio, ligado na opção de entrada *Radius* do componente *Circle CNR*, e da opção de entrada *Center* ligamos com o componente *Point* na sua saída para eles se movimentarem de maneira conjunta.

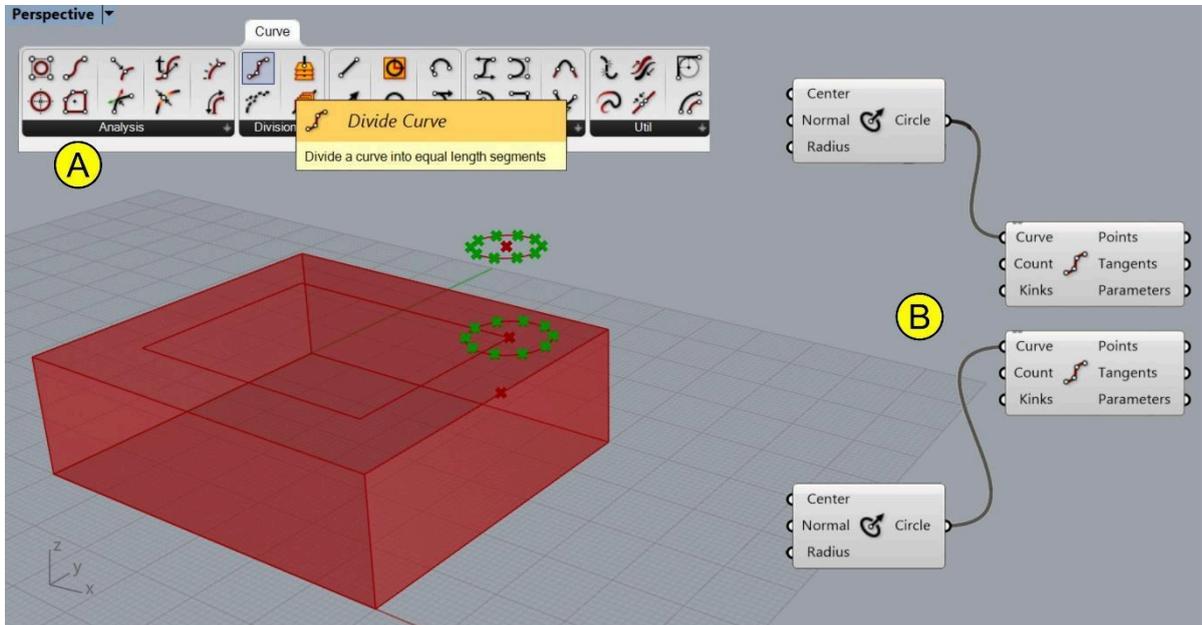
Figura 122 – Esquema de conexão da circunferência superior – [imagem do autor]



No menu superior *Curve* e no conjunto *Division* selecionar o componente *Divide Curve* (A), fazemos isso duas vezes e ligamos cada um deles do plugue de entrada

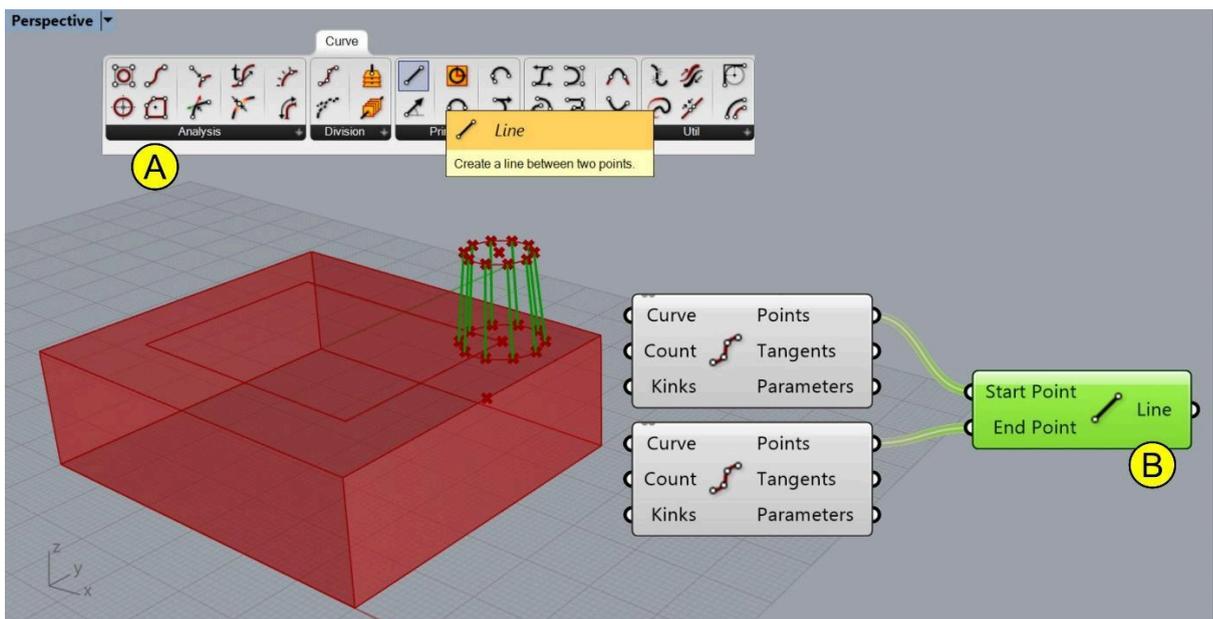
chamado *Curve* para o plugue de saída de um e outro *Circle* *CNR*. O resultado é uma subdivisão das circunferências (B).

Figura 123 – Seleção dos componentes, conexões, e resultado da operação – [imagem do autor]



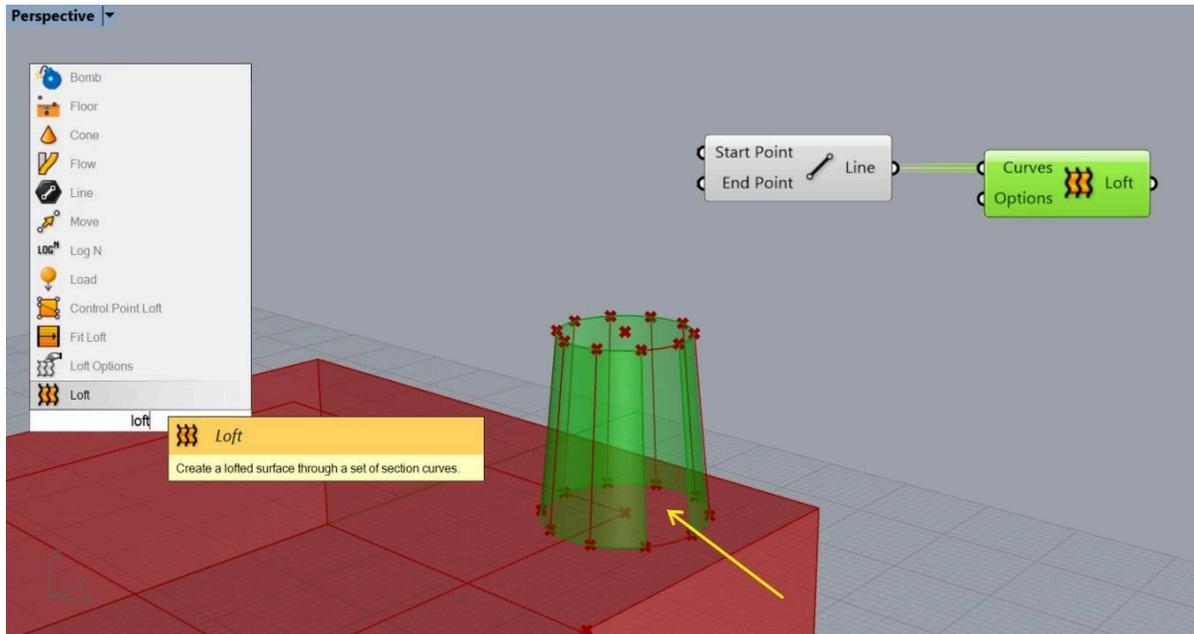
Novamente no menu *Curve*, desta vez dentro do conjunto *Primitive* selecionar o componente *Line* (A). Permite nos ligar os plugues de entrada *Start point* e *End Point* do componente *Line* com os plugues de saída chamados *Points*, um em cada um dos componentes *Divide Curve* (B). As linhas se transformam nas geratrizes geométricas do tronco de cone.

Figura 124 – Componente Line, seleção, conexões e resultado – [imagem do autor]



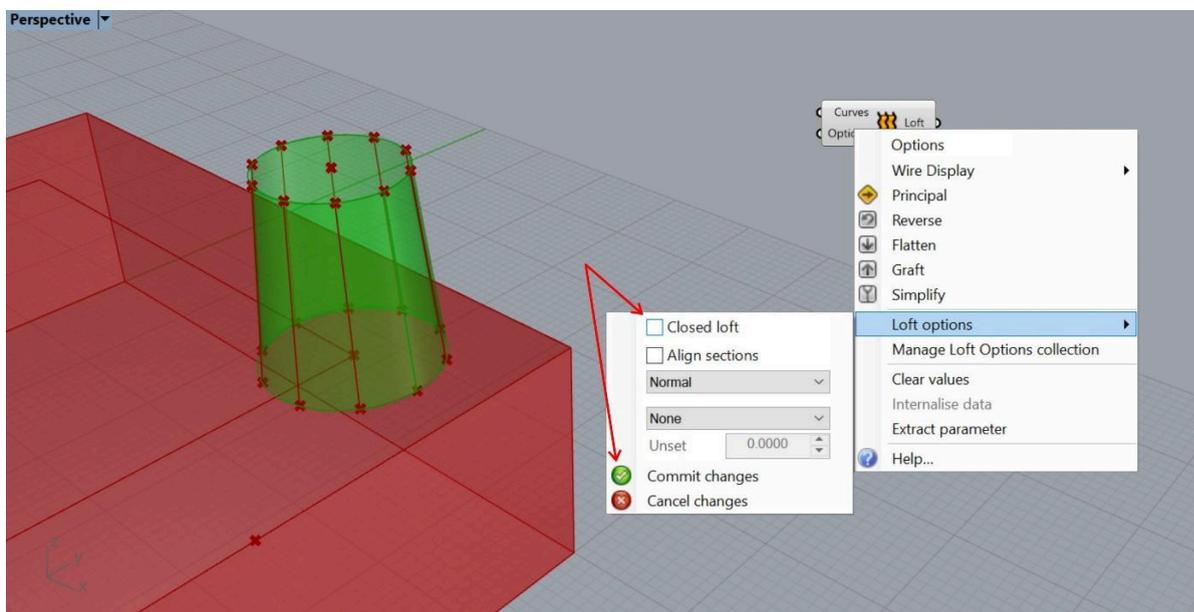
É necessário agora revestir com uma roupaagem o tronco de cone, para isto, seleciona-se o componente *Loft* e conecta-se a opção de entrada dele chamada *Curves* com a opção de saída do componente *Line*, isto cria um envolvente sobre a estrutura aramada. porém, veja a na figura 125 a seta amarela...

Figura 125 – Seleção do componente e ligação – [imagem do autor]



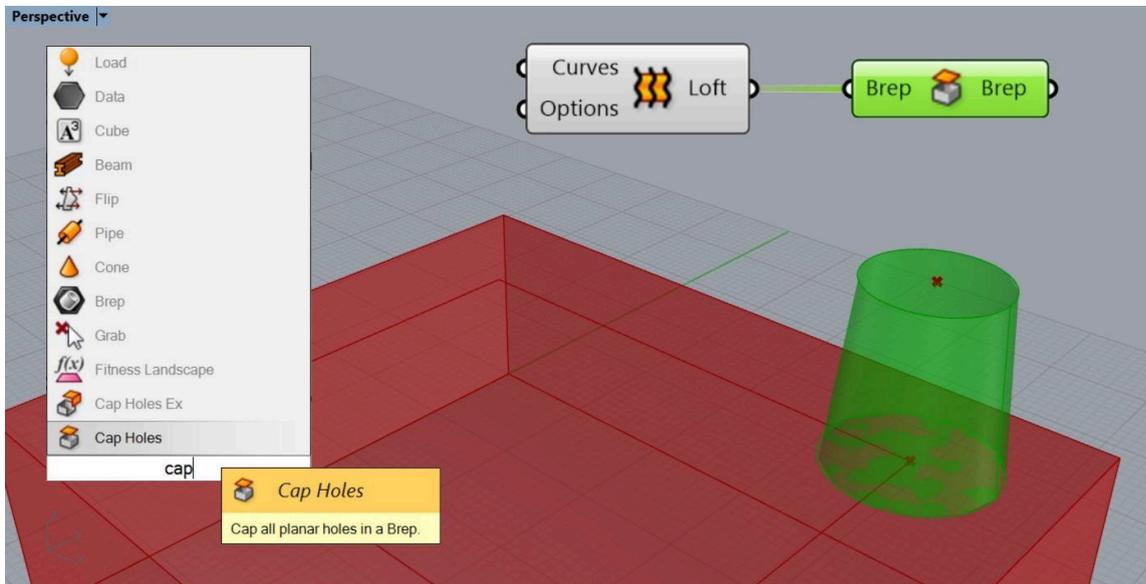
...O envolvente feito, fica com uma abertura, para resolver isso, deve-se selecionar o componente *Loft*, fazer um *clock* (botão direito do *mouse*) ir para o item *Loft Options*, marcar no requadro *Closed Loft* e posteriormente dar um *Ok* no *Commit changes*, automaticamente o envolvente será fechado.

Figura 126 – Operação para fechamento do componente Loft – [imagem do autor]



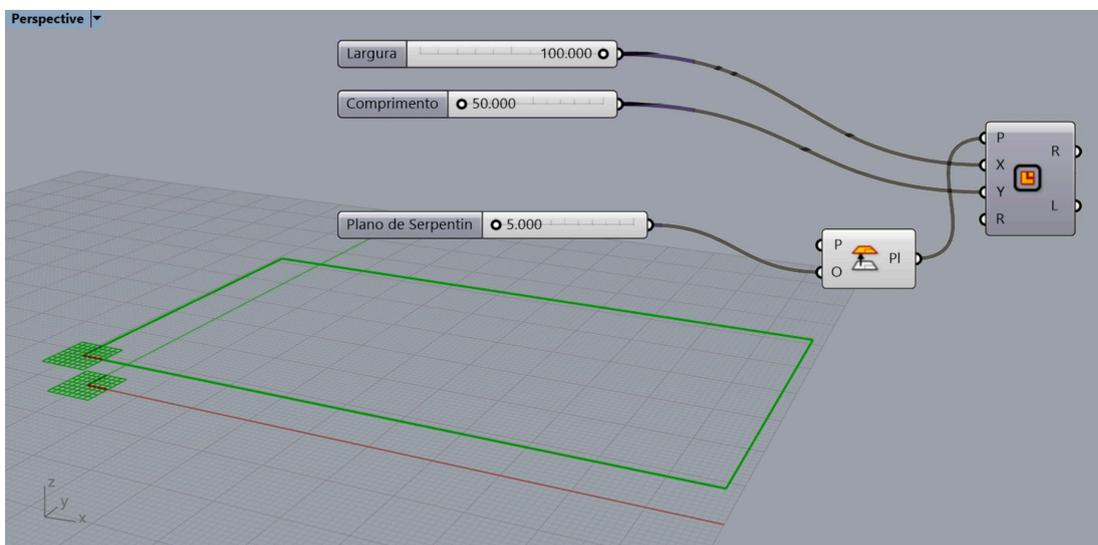
Para concluir esse elemento, chamamos o componente *Cap Holes* e ligamos ele na sua opção de entrada com a opção de saída do componente *Loft*. Assim é criado um tampo sobre o tronco de cone.

Figura 127 – Chamando o componente Cap Holes e conectando-o – [imagem do autor]



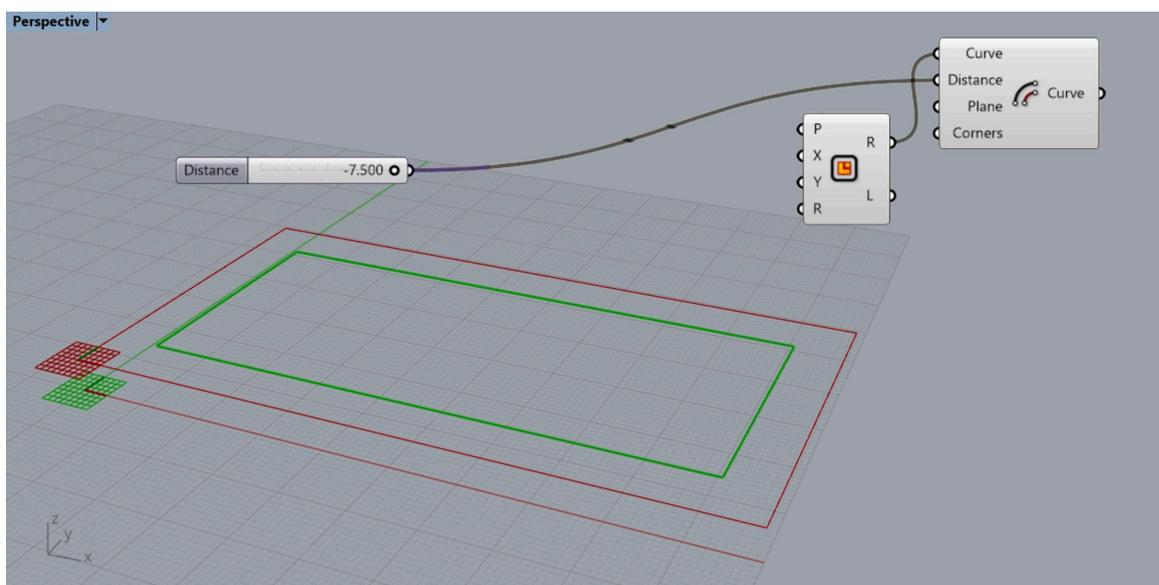
Agora, vamos focar na construção da serpentina de resfriamento, item sumamente importante para o projeto molde. Primeiro é preciso criar um plano paralelo ao plano base, para tal, chamamos o componente *Plane Offset*, como feito anteriormente. Geramos um parâmetro *Number Slider* para dar uma altura variável a esse plano, e conectamos ele com um novo componente *Rectangle* que estará ligado aos parâmetros *Number Slider* do retângulo Inicial, fazendo isto as dimensões serão alteradas conjuntamente.

Figura 128 – Criando um Plano e Retângulo paralelos ao original – [imagem do autor]



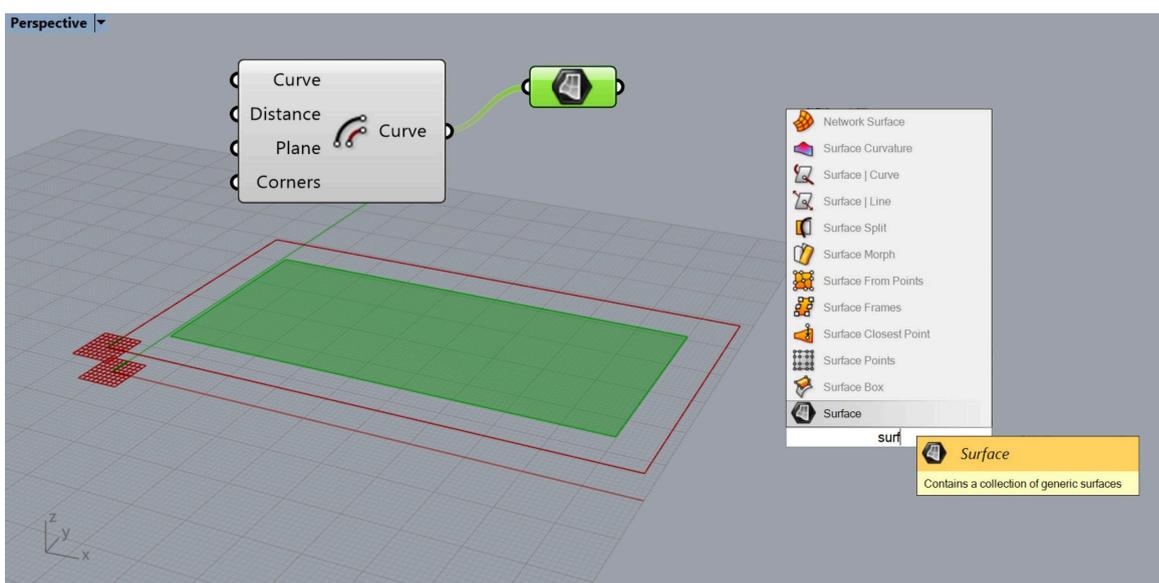
A Partir do novo retângulo criado, precisamos chamar o componente *Offset Curve*, que irá conectado a um parâmetro *Number Slider* que definirá a separação em relação ao retângulo concebido no passo anterior, para que exista ligação entre eles devem ser plugados como como se vê na figura 129.

Figura 129 – Criando um retângulo concêntrico ao anterior – [imagem do autor]



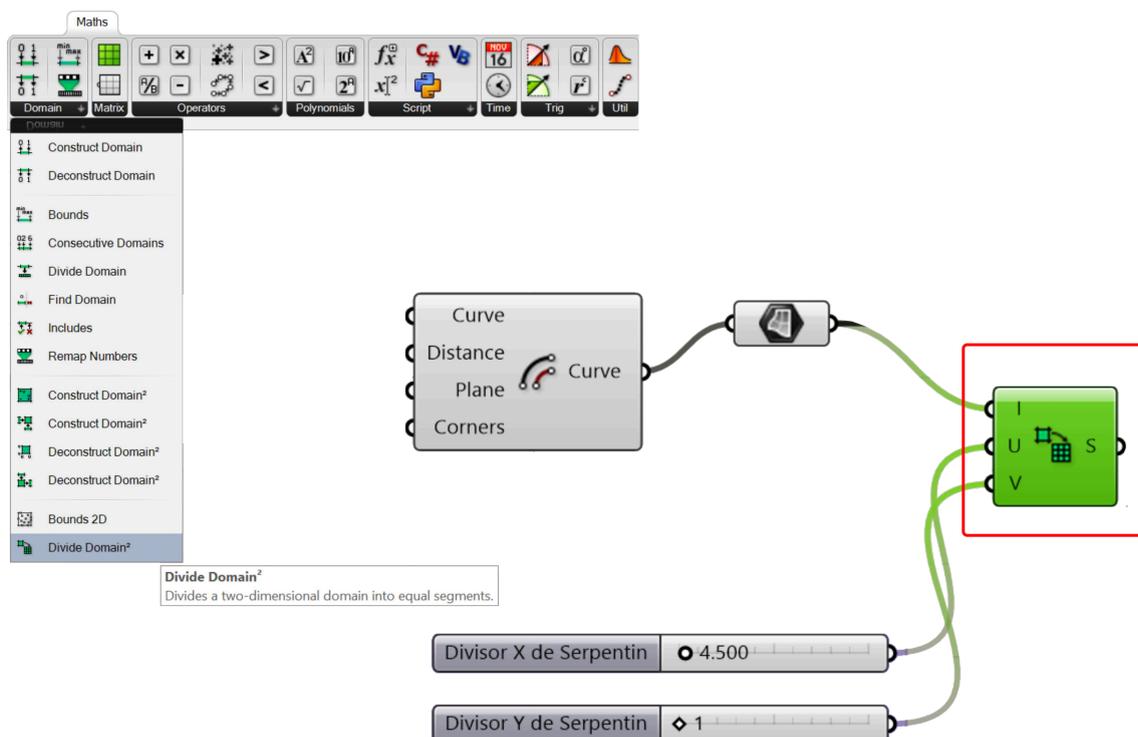
Este passo é simples. Deve-se chamar o componente *Surface* e conectá-lo no plugue de saída do componente *Offset Curve*, criando então uma superfície dentro do retângulo.

Figura 130 – Construindo uma superfície dentro do Offset Curve – [imagem do autor]



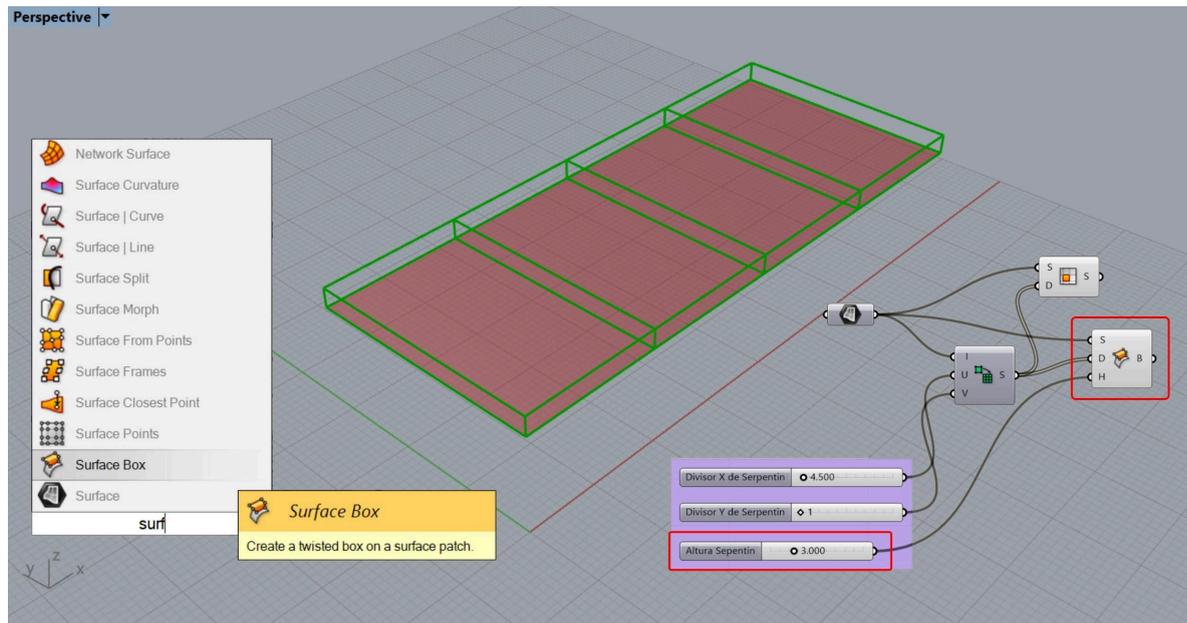
Necessitamos agora ir atrás de um componente chamado *Divide Domain*², qual é a sua função? Dividir a área da superfície criada no passo anterior, para isto chamaremos dois *Number Slider*, um que nomearemos *Divisor X* da serpentina (neste sentido faremos quantas divisões acharmos necessárias), e o outro *Divisor Y* da serpentina (neste sentido unicamente faremos duas subdivisões), por dividirem a superfície nos eixos X e Y, o primeiro irá conectado no plugue de entrada do *Divide Domain*² chamado U, e o segundo no que tem por nome V. Para finalizar, conectamos o plugue de entrada *Domain* (nomeado com a letra i maiuscula), com o plugue de saída do componente *Surface*, este algoritmo não irá produzir nenhuma mudança que possa ser visualizada fisicamente até não ser ligado ao próximo comando.

Figura 131 – Iniciando a subdivisão – [imagem do autor]



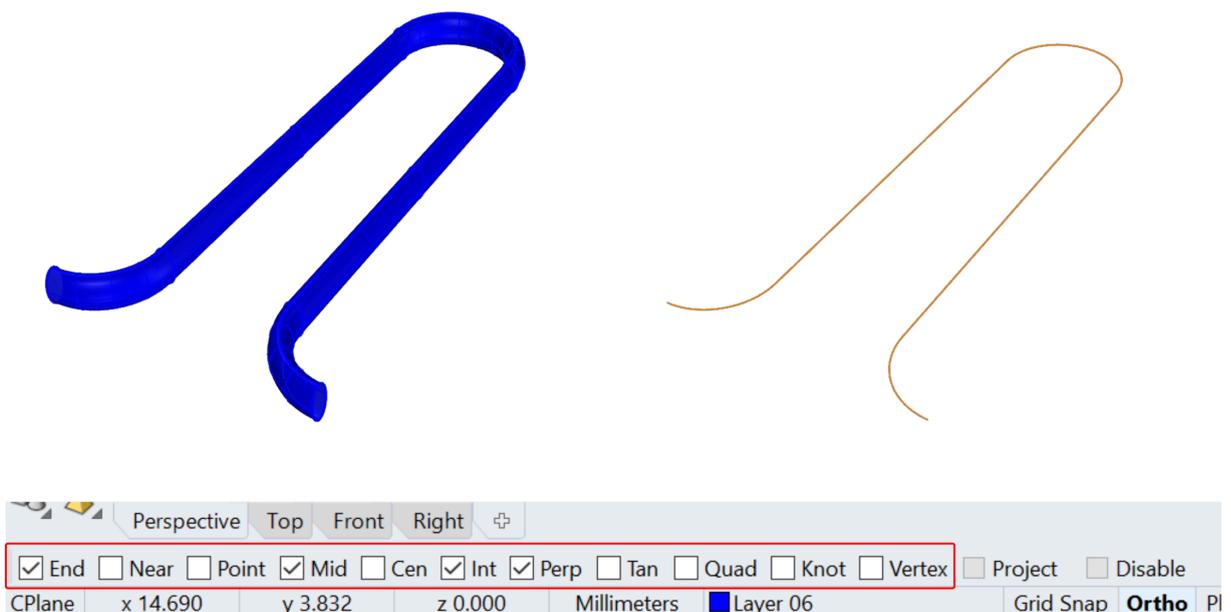
Chamamos o componente *Isotrim*, que existe dentro do menu superior *Surface*, então, conectamos no plugue de entrada *Domain* com o plugue de saída do componente *Divide Domain*² de nome *Segments*, e o plugue de entrada de nome *Surface* com o plugue de saída do comando com o mesmo nome. Automaticamente, o trabalho do algoritmo *Divide Domain*² será evidenciado, dividindo a superfície

Figura 132 – Criando as caixas de contenção da Serpentina – [imagem do autor]



Desde que começamos o processo de projetar o molde esta é a primeira vez que utilizaremos a modelagem dentro do *software* Rhino3D. O primeiro ponto de atenção é reconhecer a *Osnap Toolbar*, barra localizada na parte inferior do *layout*, precisaremos desses *Snaps* (espécie de ímãs que tentarão atrair o cursor no momento da construção) e ativaremos os referidos na figura 133, para isto unicamente precisamos clicar dentro da caixa de seleção.

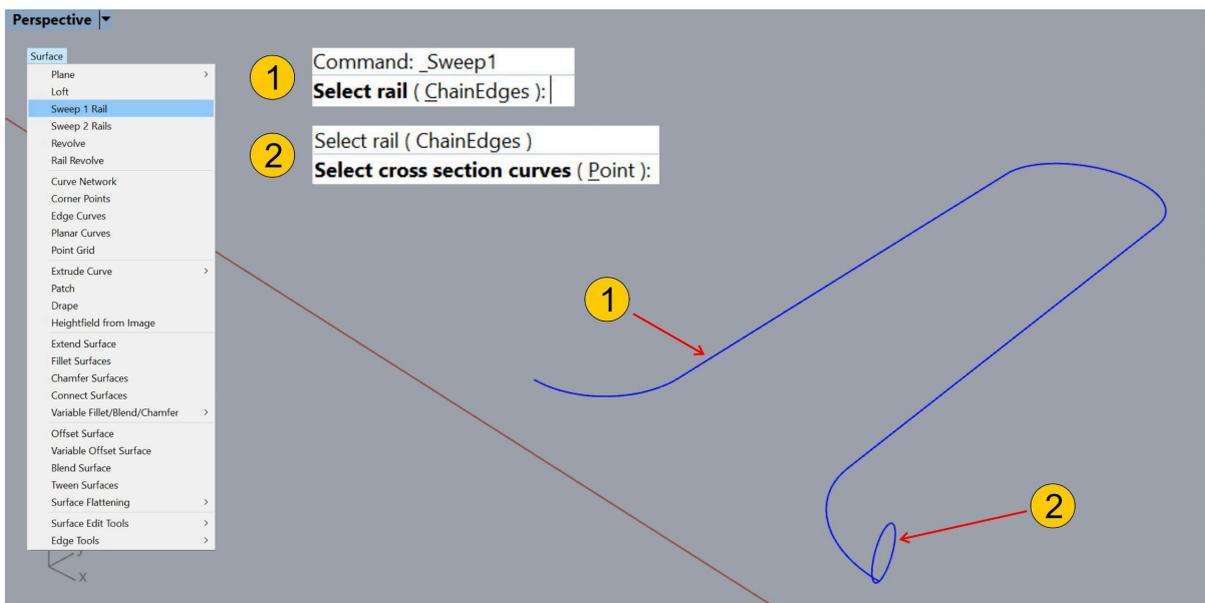
Figura 133 – Usando a interface Rhino3D – [imagem do autor]



Devo agora repetir os passos que aconteceram da figura 76 à figura 79, para poder construir o arcabouço da serpentina.

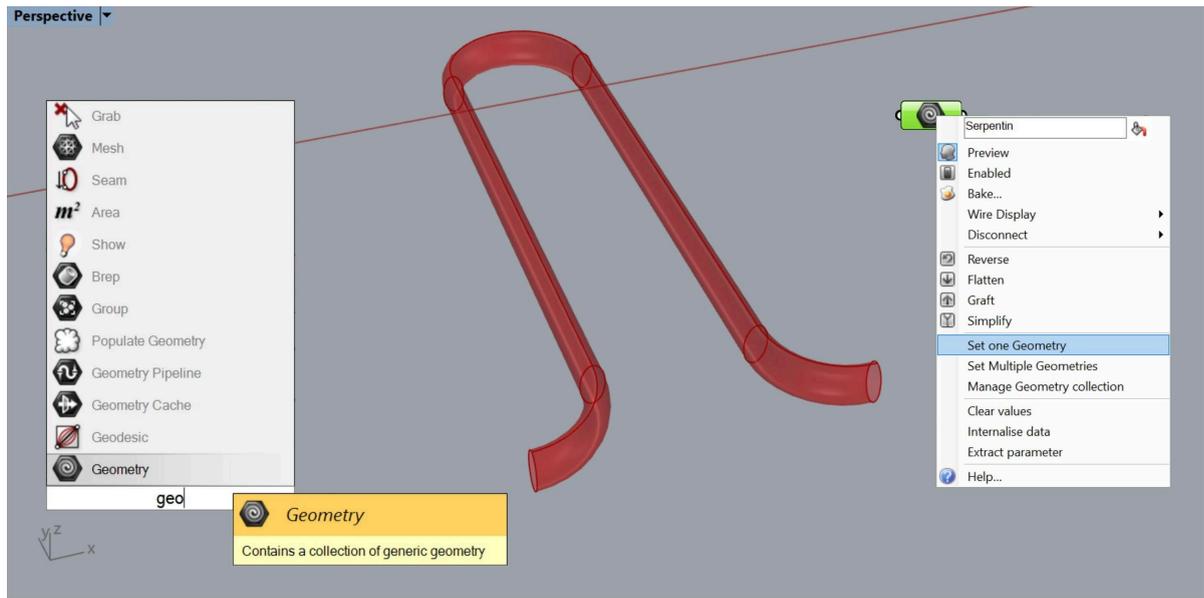
Para concluir este processo de construção, vamos para o passo mais fácil de todos os anteriores. Dentro do menu *Surface*, selecionamos o comando *Sweep 1 Rail*, uma vez escolhido no *Prompt* de comando me dará a indicação para clicar primeiro sobre o caminho (que é a curva de cor azul) feito isto, e sem dar *Enter*, aparecerá no *Prompt* de Comando *selecione agora a curva de seção!* (que é a elipse), quando clicar no comando *Enter* ou na barra de espaço (que serve como enter também) aparecerá a indicação para arrastar o ponto na direção desejada, neste caso não preciso fazer mais nada, a não ser clicar novamente no comando *Enter*, posteriormente abrirá uma janela chamada *Sweep 1 Rail Options*, unicamente é preciso dar mais um comando *Enter*, e a construção da Serpentina estará concluída.

Figura 134 – Materializando a Serpentina – [imagem do autor]



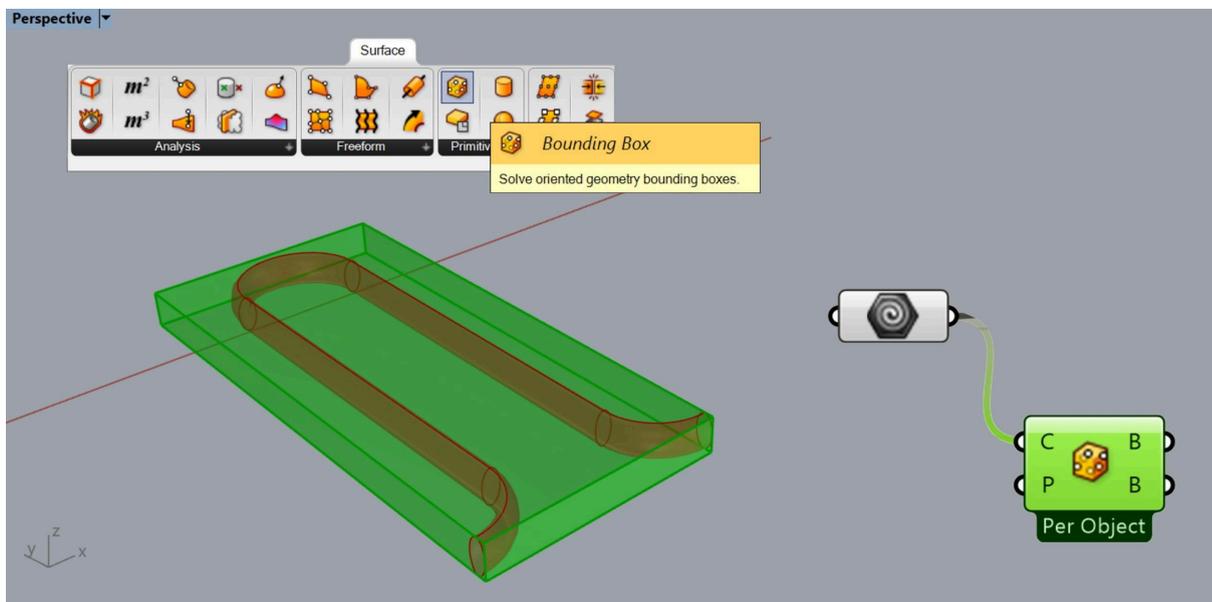
Voltando novamente para o *Grasshopper*, precisamos trazer o componente *Geometry*, uma vez escolhido e colocado na área de trabalho do *Grasshopper*, seleciona-se a Serpentina que foi construída dentro do Rhino3D (quando selecionada, para sinalizar, ficará na cor amarela) e fazemos um *clock* (botão direito do *mouse*) e optamos pela opção *Set one Geometry*, isto fará com que a geometria criada anteriormente dentro do Rhino3D pertença também ao *Grasshopper*.

Figura 135 – Levando a Serpentina para o ambiente Grasshopper – [imagem do autor]



Selecionando o componente *Bounding Box*, conecte o seu plugue de entrada! De nome *Content*, com o plugue de saída do componente *Geometry*, isto criará uma caixa envolvente do elemento modelado (a seção da serpentina).

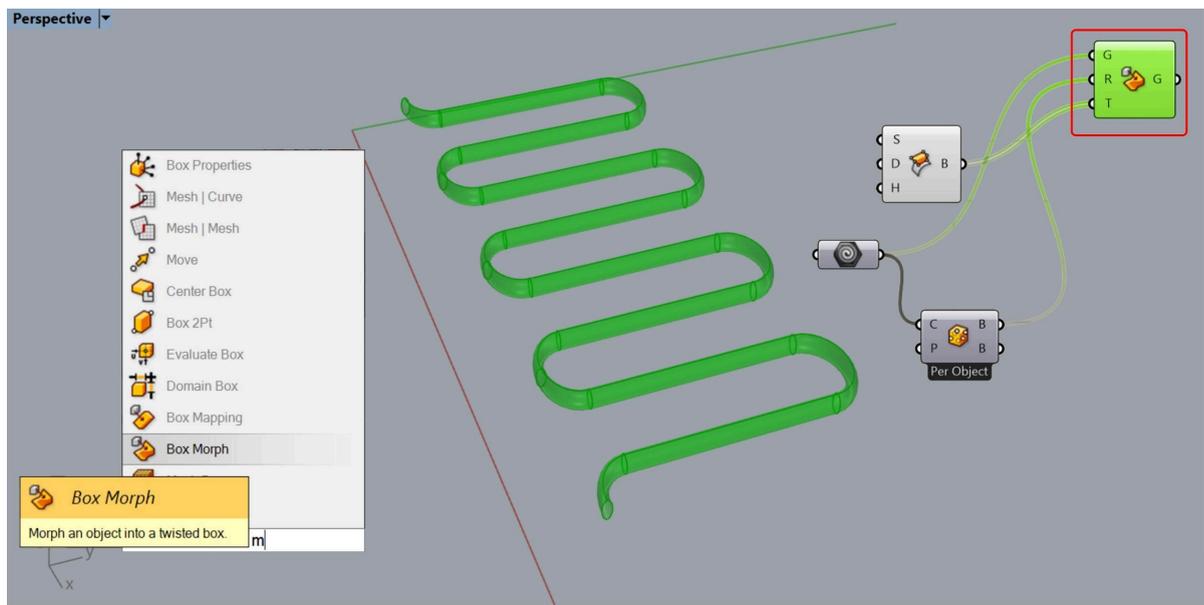
Figura 136 – Envolvendo a Serpentina na sua caixa de contenção – [imagem do autor]



Usando o componente *Box Morph*, isto para poder gerar a Serpentina por inteiro, deve-se conectar o plugue de entrada do componente *Box Morph* que tem por nome *Geometry*, com seu componente homônimo no seu plugue de saída, logo conecta-se o plugue intermediário do componente *Box Morph* chamado *Reference* com um dos

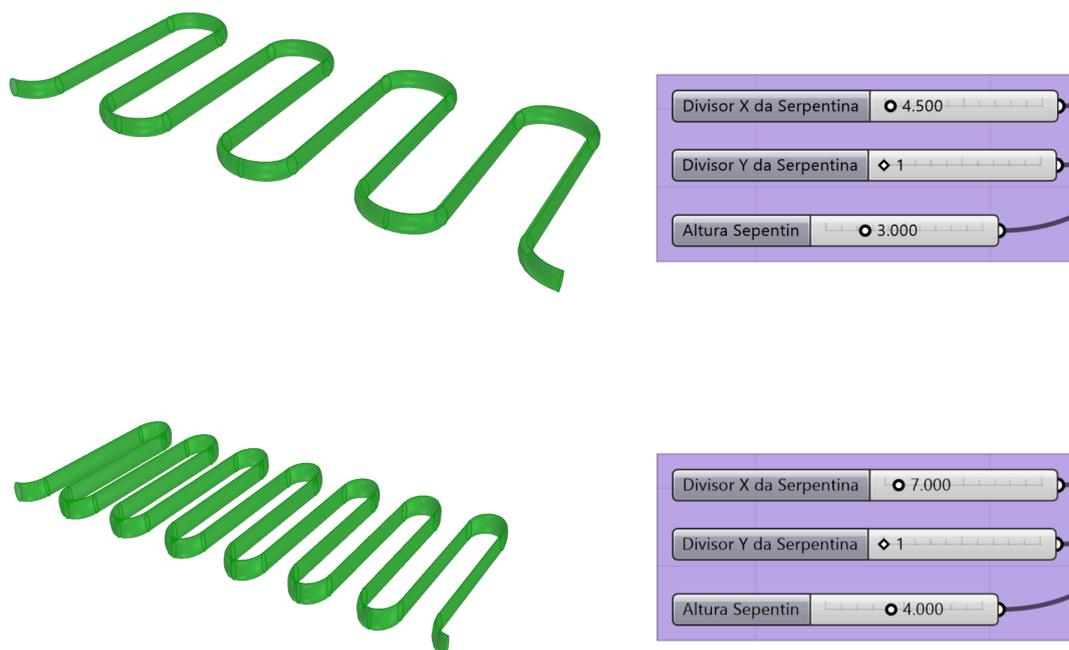
dois plugues de saída do componente *Bounding Box* de nome *Box*, finalmente o terceiro plugue de nome *Target*, com o plugue de saída do componente *Surface Box*, gerando a serpentina que pode ser manipulada com os parâmetros *Number Slider* que tinha sido criada para esse fim.

Figura 137 – Construindo a Serpentina por inteiro – [imagem do autor]



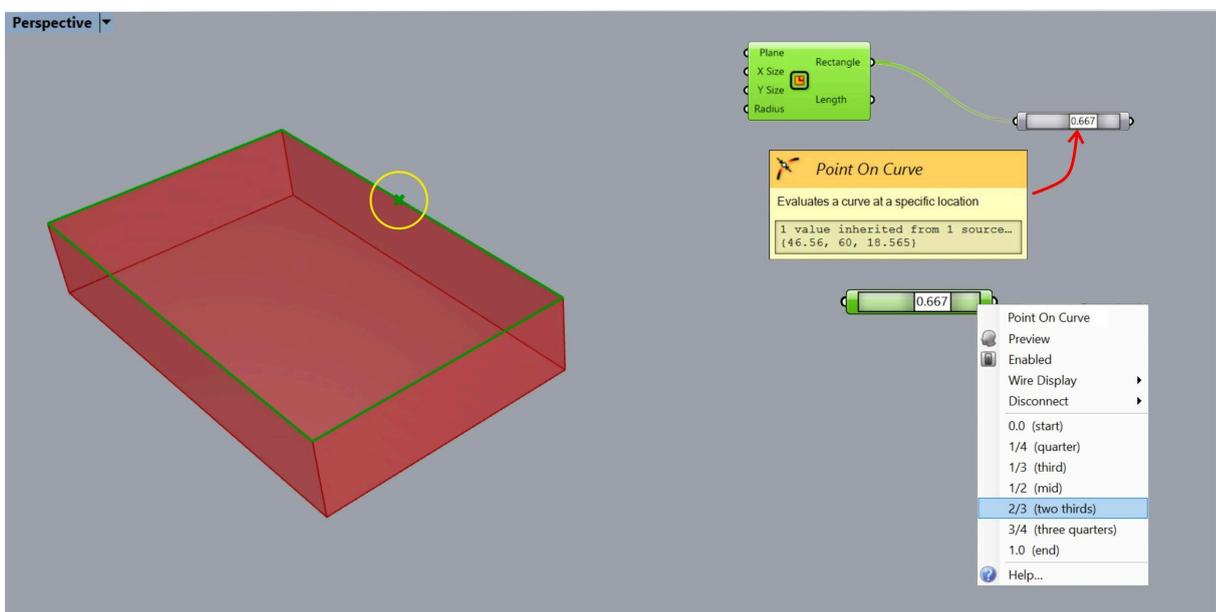
A figura 138 serve para exemplificar as variações que podemos criar na Serpentina quando mudamos os valores dos parâmetros.

Figura 138 – Variações na constituição da Serpentina – [imagem do autor]



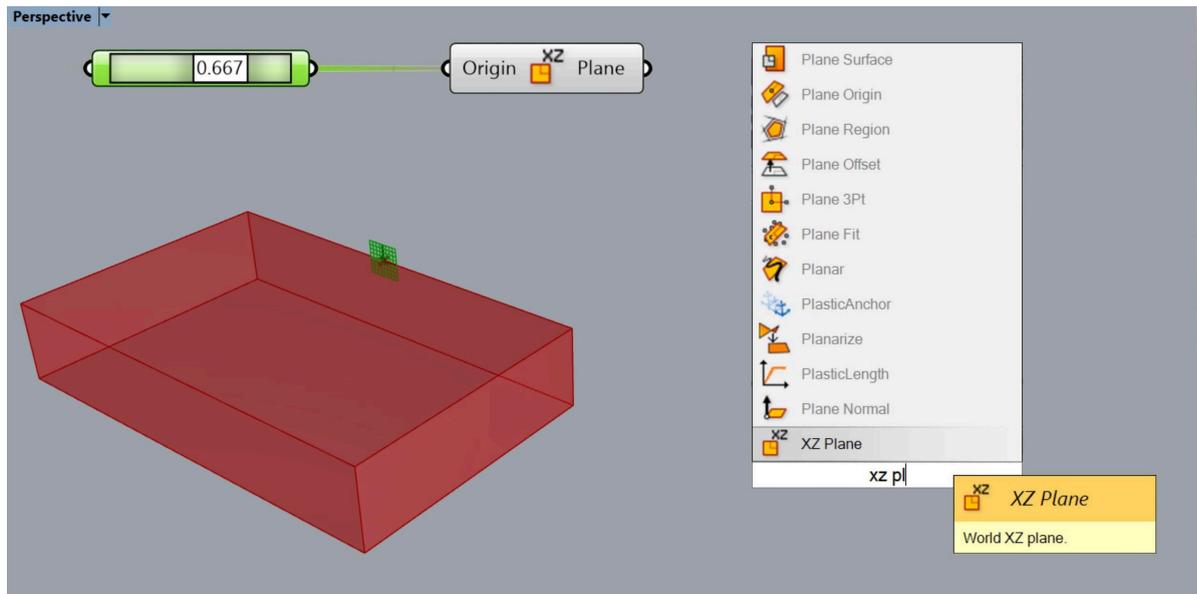
Nos próximos passos devemos criar um cilindro que servirá como a veia de admissão do plástico e também como o canal de escape do ar. Inicialmente devemos chamar o componente *Point on Curve* para conectar seu plugue de entrada com o plugue de saída do componente *Rectangle* que leva o mesmo nome, este retângulo é aquele que tínhamos criado anteriormente no topo do prisma retangular. Na sequência, deve-se dar um *clock* sobre o componente *Point on Curve*, e selecionar a opção $\frac{2}{3}$ (*two thirds*), para assim poder posicionar o ponto em um lugar perto da metade do lado maior do retângulo.

Figura 139 – Colocação de ponto referencial – [imagem do autor]



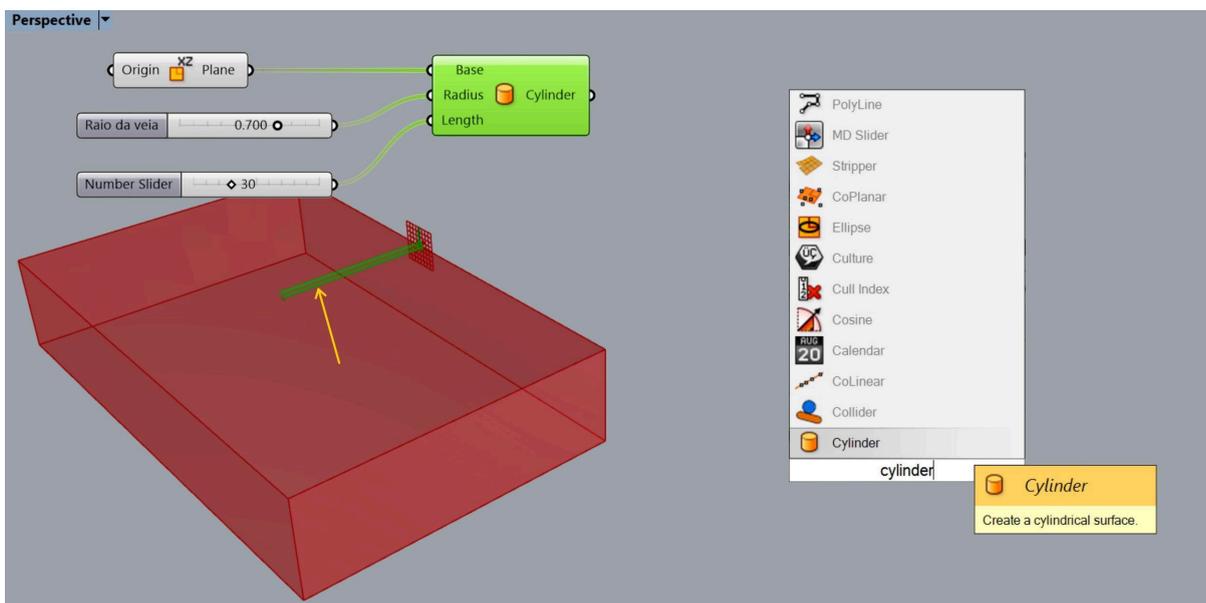
É necessário neste momento criar um plano auxiliar para direcionar os elementos que serão colocados sobre ele. Chama-se o componente *XZ Plane*, e conecta-se no seu plugue de entrada de nome *Origin* com o plugue de saída do componente *Point on Curve*.

Figura 140 – Criando um Plano Auxiliar XZ – [imagem do autor]



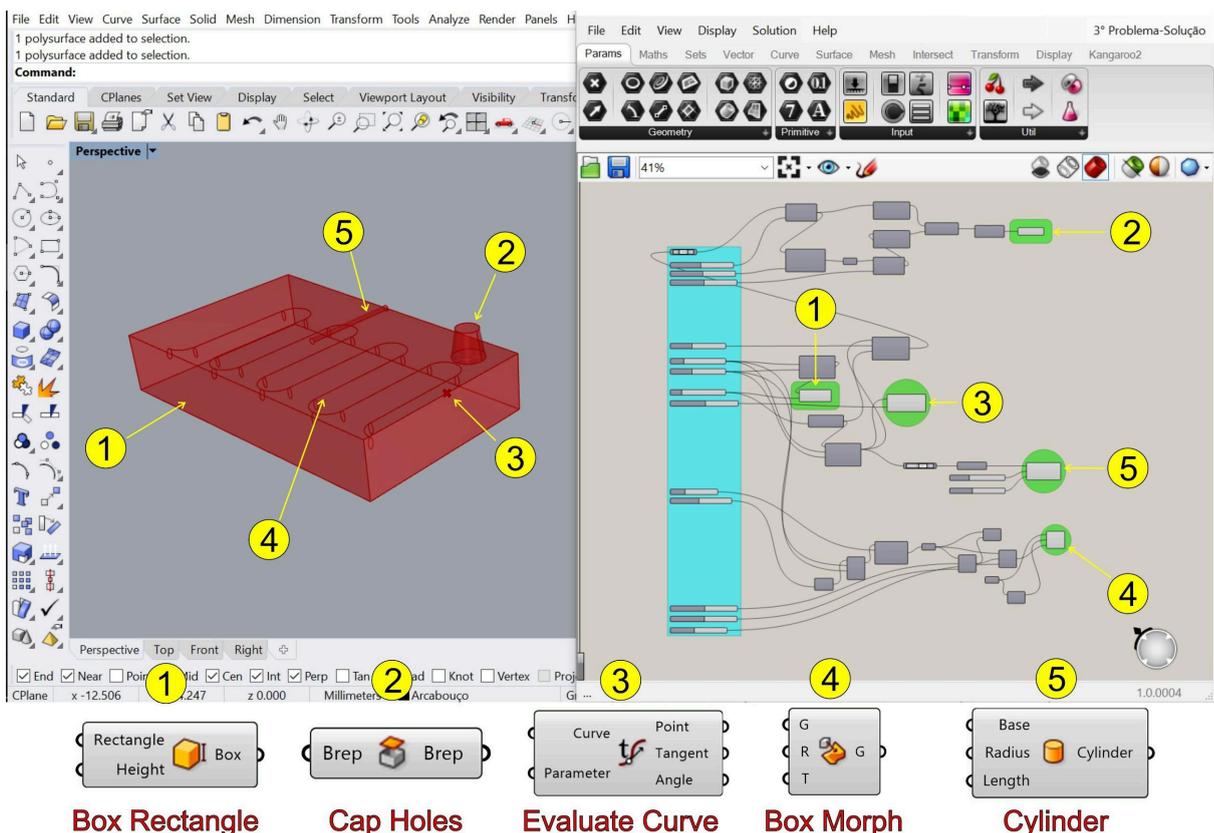
Para a construção da Veia de admissão / Canal de escape, devemos trazer para a área de trabalho o componente *Cylinder*, e criar junto com ele, dois parâmetros *Number Sliders* para realizar as conexões pertinentes. Conecte os plugues de entrada do componente *Cylinder*! Primeiro o que tem por nome *Base* com o plugue de saída do componente *XZ Plane* chamado *Plane*, a seguir conecta-se no plugue *Radius* um dos parâmetros *Number Slider* que chamaremos Raio da veia, por último no plugue de saída restante chamado *Length* conecte o *Number Slider* restante para dar comprimento do cilindro!

Figura 141 – Construindo um cilindro horizontal – [imagem do autor]



É sempre importante destacar os elementos na construção do projeto para posteriormente fazer os ajustes de maneira mais simples, exemplo: dentro da área de trabalho do *Grasshopper* os parâmetros emoldurados no retângulo na cor ciano nos permitem realizar as modificações de dimensionamento que precisamos fazer no modelo. Os componentes com fundo verde destacam os 5 elementos que precisamos manter visíveis para que apareçam também na janela do Rhino3D, já que estes elementos são os que terão a aplicação do comando *Bake* (entendido como cozinhar, e não no seu sentido literal). *Bake* é um comando importantíssimo dentro do *Grasshopper*, ele permite que os elementos até então existentes unicamente no *Grasshopper* possam pertencer também ao Rhino3D e assim poder levá-los para materializá-los em uma impressora 3D.

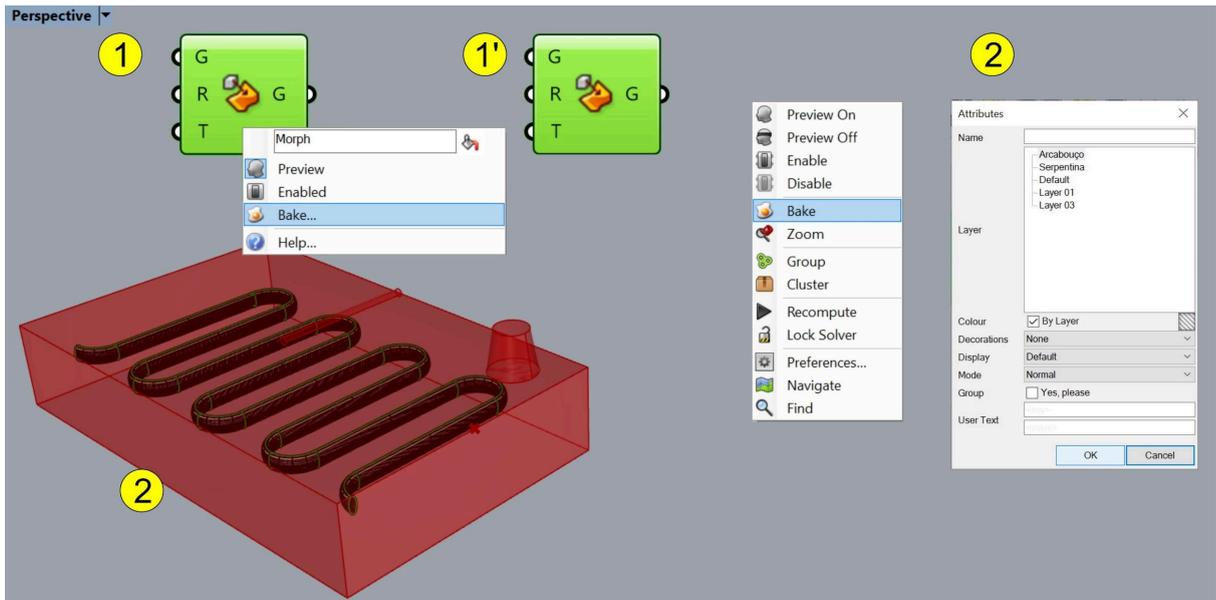
Figura 142 – Separando os elementos importantes – [imagem do autor]



O passo final de todo o processo é o cozinhado dos elementos, para fazer uso do comando *Bake*, existem duas formas de realizá-lo: a 1ª é dar um *clock* diretamente em cima do componente que desejamos cozinhar e quando abrir o menu de cascata selecionar a opção *Bake*; a 2ª é selecionar o componente a ser cozinhar, dá-se um *clock* sobre a área de trabalho do *Grasshopper* e quando abrir o menu de cascata é

só seleccionar a opção *Bake*. Independentemente de qual a forma utilizada, uma vez seleccionada a ação *Bake* abrirá uma janela de atributos, onde unicamente é preciso dar um *Ok* para que o elemento possa ser cozinhado. Sabemos que o comando foi concluído quando o elemento dentro da área de trabalho do Rhino3D se mostre com uma representação diferente (mais escuro), como aparece na figura 143.

Figura 143 – Cozinhando – [imagem do autor]



Cozinharam-se os elementos, e agora? Bom, é necessário trabalhar um pouco no Rhino3D para deixar o molde pronto para que possa ser impresso. O primeiro passo é criar os *layers* necessários para poder identificar os diferentes tipos de elementos e facilitar sua construção. Fazer isto é simples, só é preciso clicar na opção *New Layer* e criar quantos forem necessários.

Figura 144 – Criando Layers – [imagem do autor]



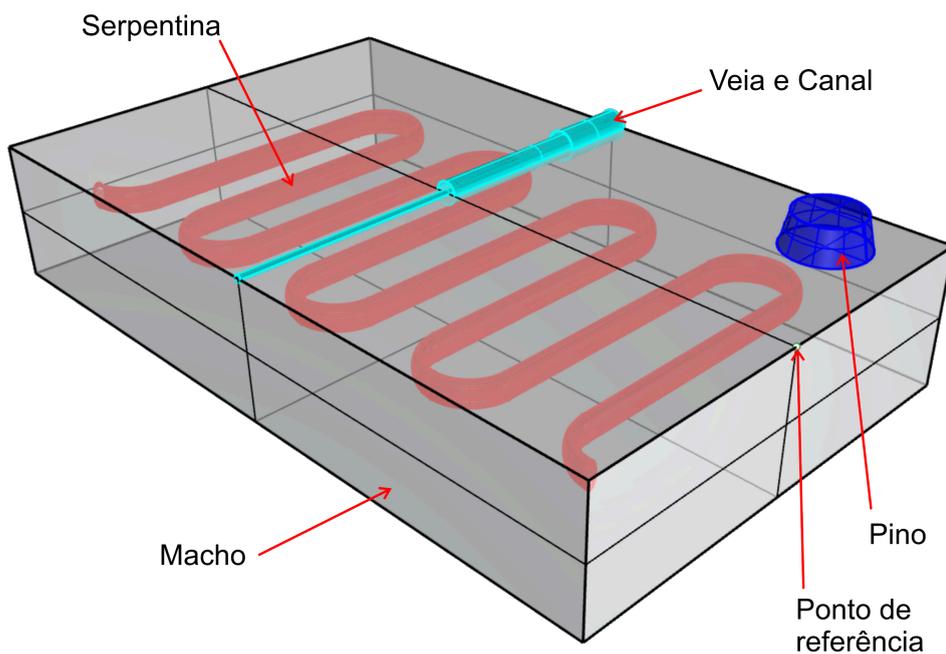
Para designar os *Layers* com seus respectivos elementos existem dois caminhos, em ambos precisa-se selecionar o elemento na área de trabalho do Rhino3d (ficando amarelo saberemos que foi selecionado), depois: podemos dar um *clock* na barra lateral do Rhino3D sobre do nome que queremos dar ao *layer* e por último selecionar a opção *Change Object Layer*; a segunda opção é ir na barra inferior e clicar sobre do nome do *Layer* que aparecer, quando abrir o menu de cascata deve-se clicar em cima do nome que quer se designar para o elemento, pronto!

Figura 145 – Designando Layers – [imagem do autor]



A Seguinte imagem servirá para exemplificar como devemos colocar os *Layers* para poder trabalhar de maneira mais fácil após o processo de cozinhar.

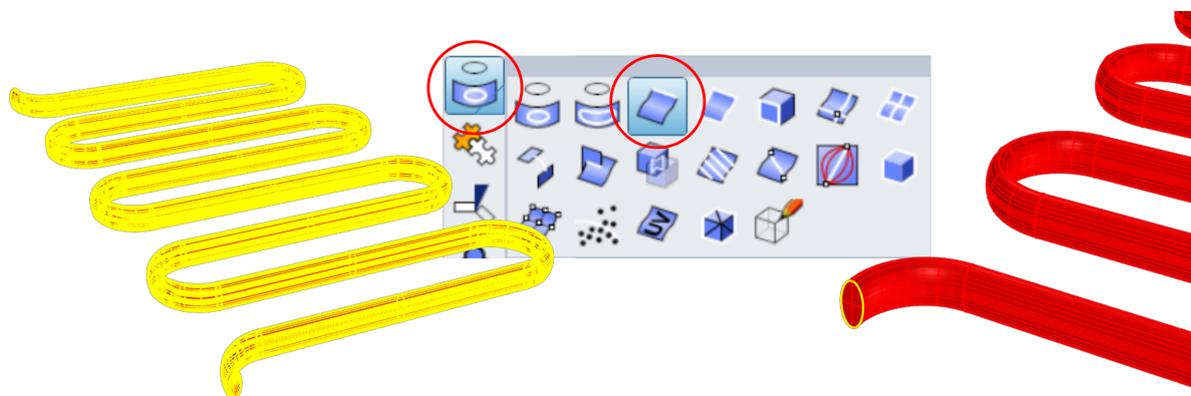
Figura 146 – Elementos diferenciados por Layers – [imagem do autor]



Devemos iniciar o processo de modelagem dentro do Rhino3D, desligam-se todos os *Layers* clicando por cima do ícone de lâmpada no menu lateral, unicamente deixaremos ligado o da serpentina. Seleciona-se um a um cada um dos segmentos que formam a serpentina e digita-se no *prompt* de comando o comando *Cap*, isto tornará os elementos que originalmente eram vazados em tubulações fechadas (elementos maciços). Após esse processo, selecione todos os segmentos! clique no menu superior *Solid* e escolha a opção *Union*! Isso transformará a serpentina em um único elemento.

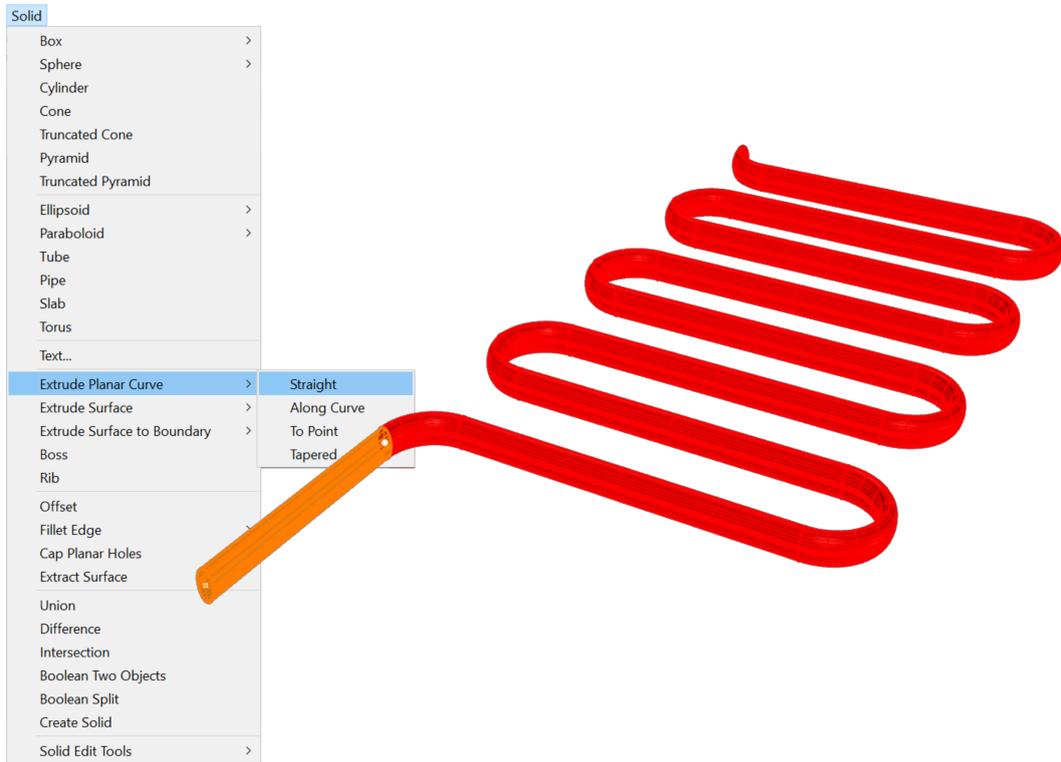
Na barra de ferramentas lateral seleciona-se a ferramenta *Project Curves*, mas a partir da seta cinza localizada no canto inferior direito (aparecerá a legenda *Cascade "Curve From Object"*), uma vez aberto o menu de cascada seleciona-se a opção *Duplicate Edge / Duplicate Mesh Edge*. Com a ferramenta ativa, seleciona-se um extremo da serpentina na sua seção elíptica, se selecionado corretamente se tingirá de amarelo.

Figura 147 – Unindo a serpentina e criando a seção nas extremidades – [imagem do autor]



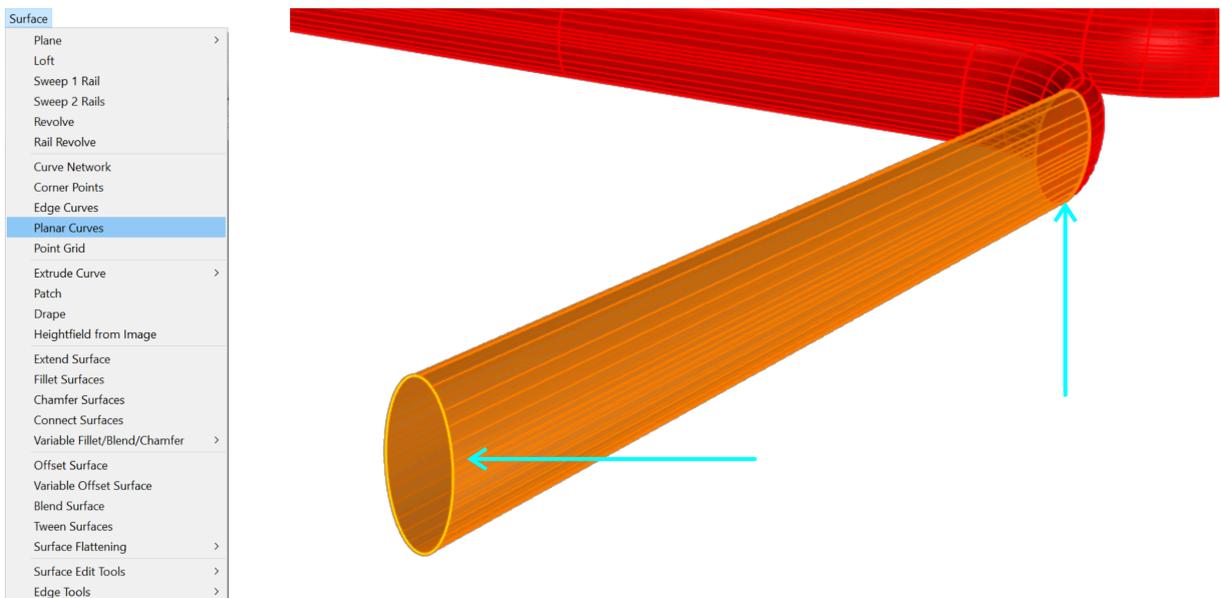
Selecionando as elipses criadas nas extremidades da serpentina, aplicamos a elas um comando dentro do menu *Solid*, na opção *Extrude Planar Curve*, e finalmente *Straight*, após a seleção do comando, arrastamos a elipse para longe da serpentina como se mostra na figura 148, e repetimos a operação com a outra extremidade.

Figura 148 – Unindo a serpentina e criando a seção nas extremidades – [imagem do autor]



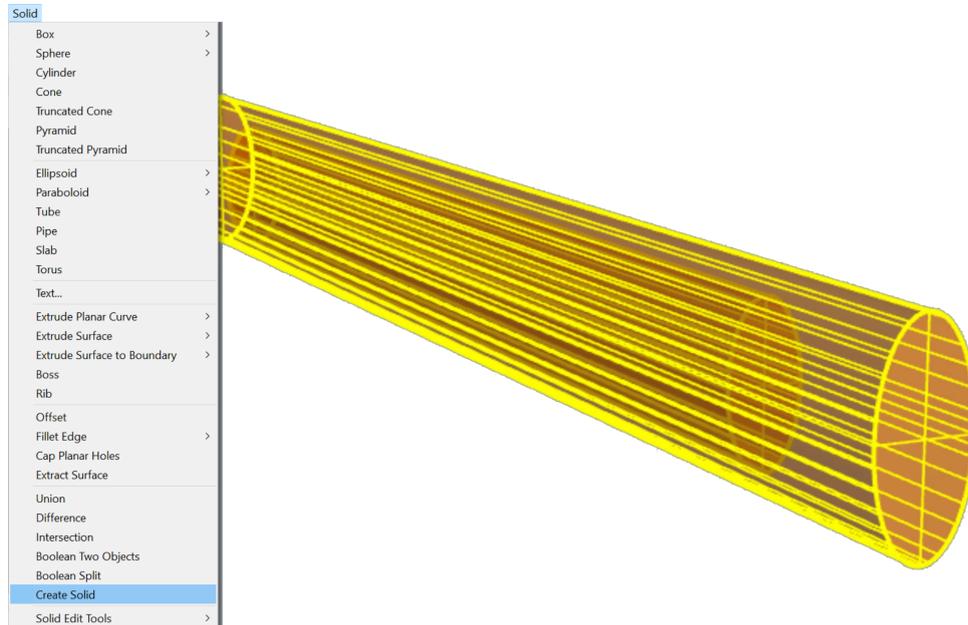
Agora vamos usar o comando *Planar Curves* dentro do menu *Surface*, com ele ativo é só selecionar a seção da tubulação (a elipse que encontra se na extremidade) e dá se um *Enter*, automaticamente criará um tampo na extremidade, fazemos o mesmo com a outra extremidade.

Figura 149 – Tampando os segmentos retos – [imagem do autor]



Para juntar esses tampos com o segmento reto, devemos usar o comando *Create Solid*, dentro do menu *Solid*.

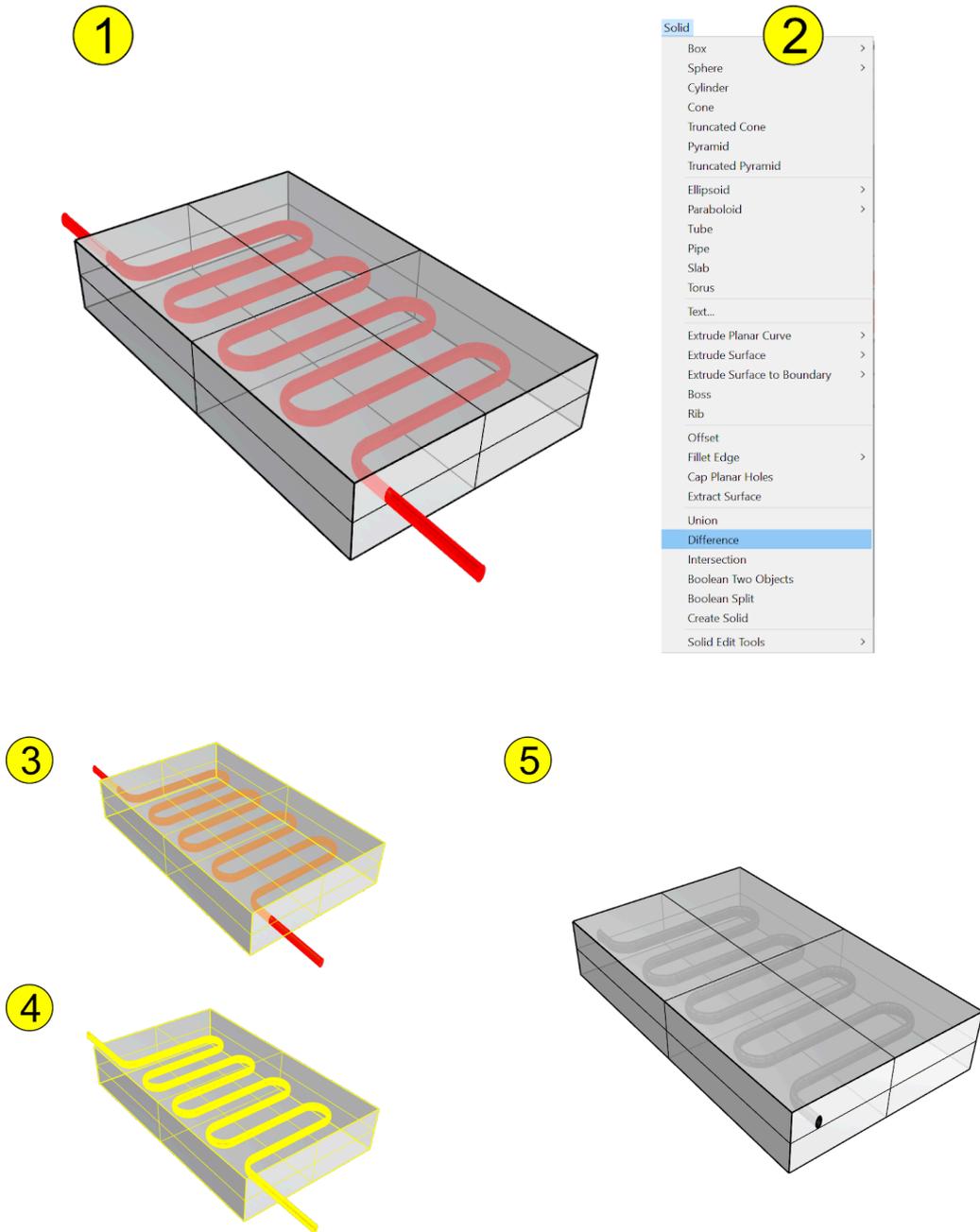
Figura 149 – Criando um sólido – [imagem do autor]



Para finalizar o processo com a serpentina, selecionaremos todos os três elementos que a compõem, a serpentina central e as duas seções retas que acabamos de criar, e devemos aplicar novamente o comando *Union* que encontra-se dentro do menu *Solid*, isto fará dos três elementos um só.

Ligando de volta o elemento que nomeamos nos *Layers* como Macho, teremos na tela o elemento Serpentina mais o elemento Macho, e devemos escolher o comando *Difference* dentro do menu *Solid*, para poder retirar um elemento do outro e criar um furo, como fazer isso? ativando o comando *Difference* seleciona se primeiro o elemento ao qual quero retirar uma parte, ou seja criar um furo, neste caso o Macho, e deve-se clicar no *Enter*; depois, seleciona-se a superfície que quer-se retirar, neste caso a serpentina e aplica-se outro *Enter*. Automaticamente o elemento Macho ficará vazado com o caminho interno criado pela serpentina.

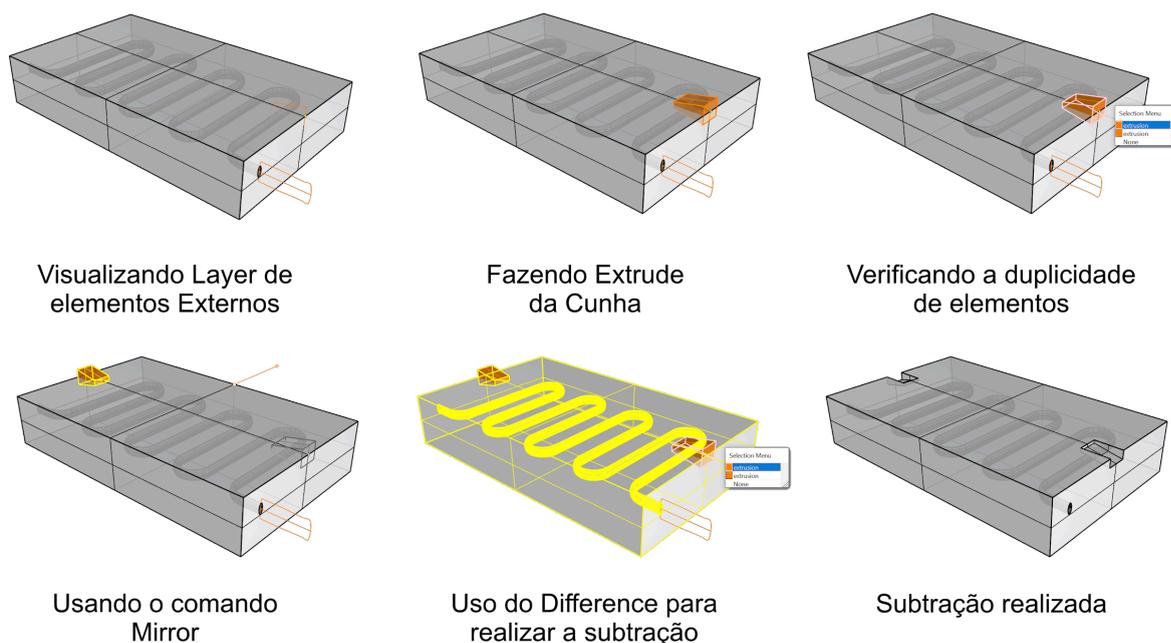
Figura 150 – Tirando a serpentina do macho – [imagem do autor]



Agora precisamos usar os elementos chamados externos, elementos que foram criados fora do ambiente *Grasshopper*, dentro do Rhino3D, um deles é o elemento que ligará as mangueiras para o sistema de arrefecimento e terá um diâmetro de 4mm, o segundo é uma cunha (que irá colocada no ponto chamado de Referência, e que foi trazido do *Grasshopper*) com largura de 3,5mm para inserir uma chave de

fenda e ajudar na abertura do molde. No caso da cunha, novamente precisaremos do comando *Extrude Planar Curve / Straight*, seleciona-se a curva e uma vez começado o *Extrude* digitamos a letra B (*both*), isto fará com que o *Extrude* seja feito a ambos lados da curva base. Ativando a cunha que foi extrudada, digitar no *prompt* de comando a palavra *Copy* e imediatamente depois a letra i (*in place*, quer dizer que a cópia será feita no mesmo lugar, uma sobre a outra). Selecionamos então a construção da cunha (as duas cópias criadas) e escrevemos no *prompt* de comando *Mirror*, isso espelhará a cunha a partir de um eixo de simetria que estará no ponto médio do lado maior do retângulo que forma o molde Macho. Para finalizar esse passo, precisamos fazer uma subtração, novamente com o comando *Difference*, e selecionamos unicamente um elemento Cunha de cada lado do molde, pois as outras cópias serão usadas no molde Fêmea.

Figura 151 – Criação das Cunhas no macho – [imagem do autor]



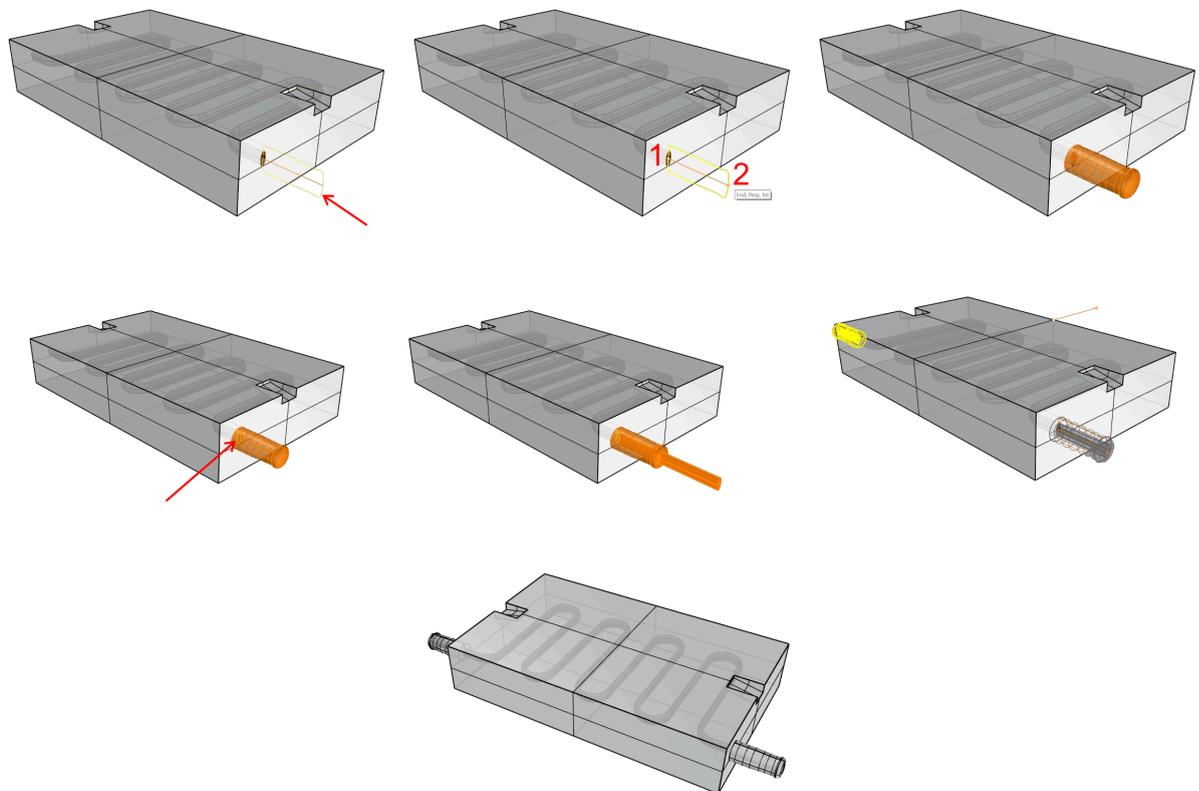
Indo novamente na barra de comandos lateral esquerda, no comando *Project Curves*, abrimos o menu de cascata clicando na seta do canto inferior direito e selecionamos o comando *Duplicate Edge / Duplicate Mesh Edge*, clicamos na seção elíptica que está no extremo da serpentina, para poder replicar a elipse.

Uma vez copiada a elipse, no *prompt* de comando escrevemos o comando *Revolve* e selecionamos o elemento que queremos revolucionar, neste caso o conector para a mangueira, ação seguida, selecionamos o primeiro ponto do eixo e posteriormente

o segundo, esses pontos são o início e o fim do segmento de reta que se encontra no médio do elemento, para finalizar, quando perguntar o ângulo inicial, dá-se *Enter* e no ângulo final também *Enter* (já que estão pré carregados os valores de 0° e 360°).

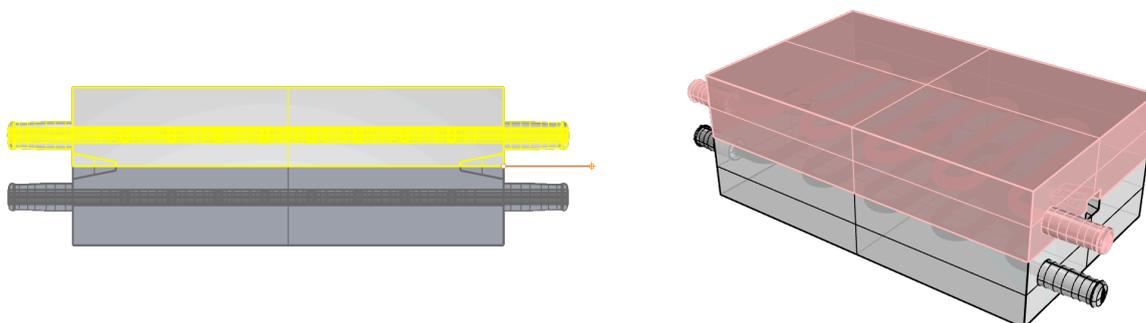
Selecionando a seção elíptica que criamos anteriormente, usaremos o conhecido comando *Extrude*, para dar uma profundidade, e depois, com o comando *Difference*, provocar um furo na peça. Finalmente com o comando *Union* do menu *Solid*, juntamos os 3 elementos.

Figura 152 – Criando as saídas de resfriamento – [imagem do autor]



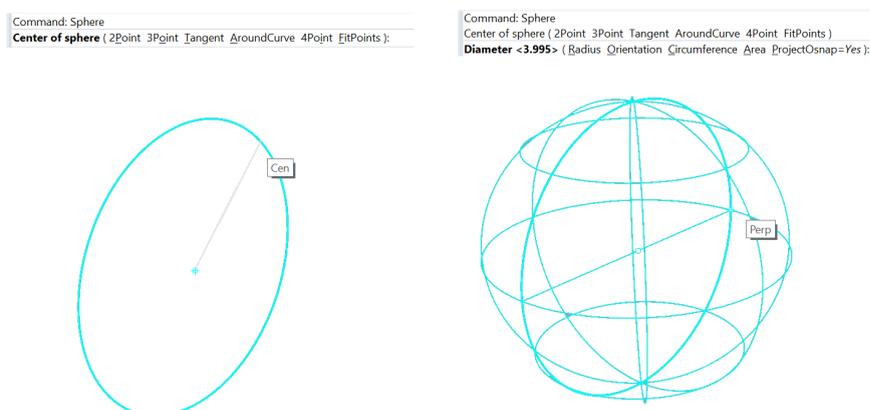
Na vista Frontal, usaremos o comando *Mirror* para iniciar a construção do molde Fêmea, até este momento os dois moldes são exatamente iguais.

Figura 153 – Espelhando os moldes – [imagem do autor]



A seguir precisamos converter os elementos que formam a veia e o canal de escape em sólidos, isso é simples, preciso usar um velho conhecido, o comando *Cap*, digitamos o seu nome no *prompt* de comando e depois selecionamos um a um os três elementos até tampar os extremos de todos eles. Feito isso, na primeira junção, entre o cilindro mais largo e seu sucessor, usaremos o comando *Sphere*, selecionando o raio do cilindro maior e usando como extensão total da esfera, quando finalizada, juntamos todos os elementos com o comando *Union*.

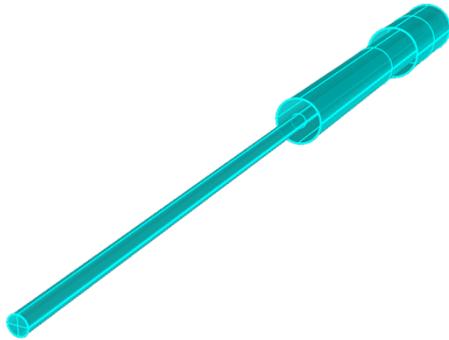
Figura 154 – Construção de uma esfera – [imagem do autor]



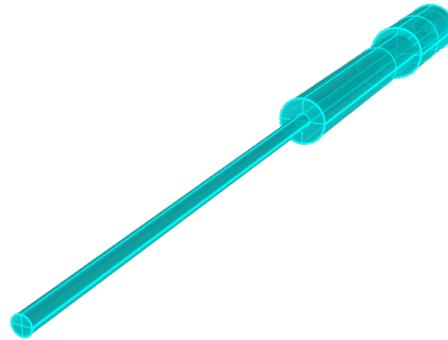
Usando novamente o comando *Mirror*, vamos espelhar duas vezes o pino de encaixe para o molde Macho, para que ele apareça nos quatro cantos do molde: 1º vamos selecionar o pino original e usar como eixo de simetria o ponto médio do lado mais comprido do retângulo; a seguir devemos selecionar os dois pinos (o original e o que criamos) e aplicar novamente o comando *Mirror*, mas agora tomando como

eixo de simetria o centro do lado mais curto do retângulo; para finalizar aplicamos o comando *Union* dentro do menu *Solid* a todos os elementos para virarem um só.

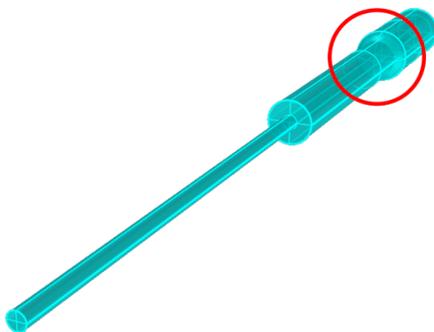
Figura 155 – Criando elementos sólidos – [imagem do autor]



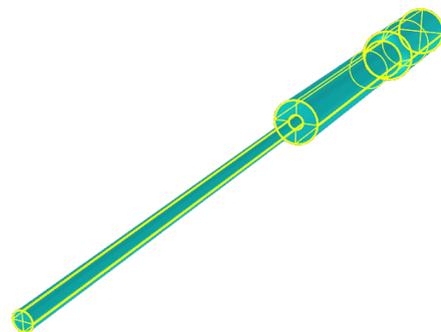
Fazendo o primeiro Cap



Cap no restante dos elementos



Construindo a esfera

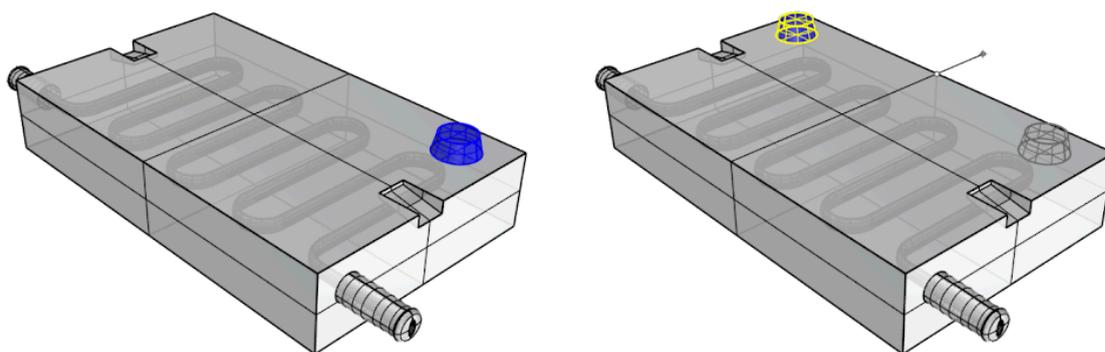


Juntando os elementos

Construímos a esfera para criar a junção suavizada entre o primeiro e segundo elementos. Escrevendo no *prompt* de comando a palavra *Sphere*, aproveita-se que a construção da mesma aparece sempre de praxe ligada ao centro da esfera, e buscamos o centro da circunferência à qual vamos referenciá-la (para buscar o centro da circunferência, unicamente é precisamos aproximar o cursor do perímetro

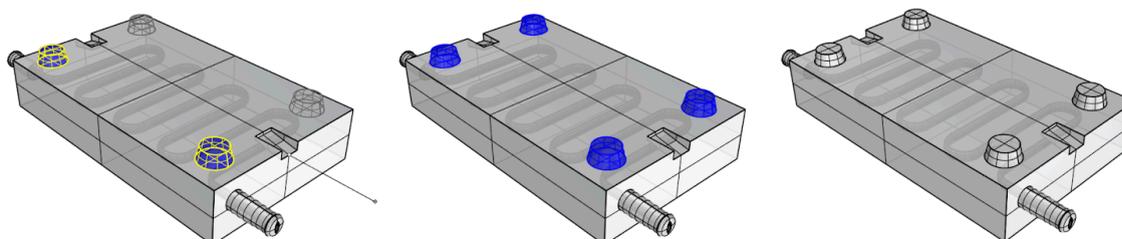
que ele indica o centro). Constroi-se então a partir do centro, e arrasta-se até o perímetro da circunferência e clica-se nesse perímetro, pronto! A circunferência estará concluída.

Figura 156 – Distribuindo os Pinos de encaixe – [imagem do autor]



Pino original
feito no Grasshopper

Realizando um
Mirror horizontal



Selecionando os 2
elementos superiores
para o Mirror vertical

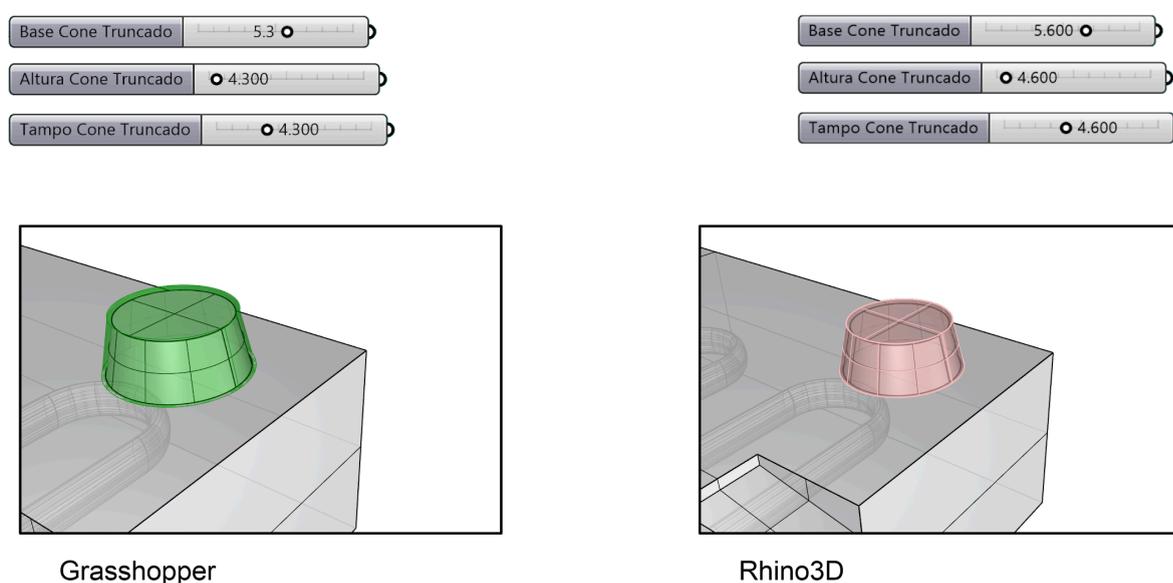
Processo concluído

Aplicando o
comando Union

Fazendo um hiato no uso do Rhino3D e voltando para o *Grasshopper*, é preciso cozinhar novamente um elemento Pino de encaixe, que usaremos para o molde fêmea, dando uma tolerância de 0,3mm em relação ao original, para poder realizar um encaixe que não fique nem apertado nem folgado demais. Como chegou-se a

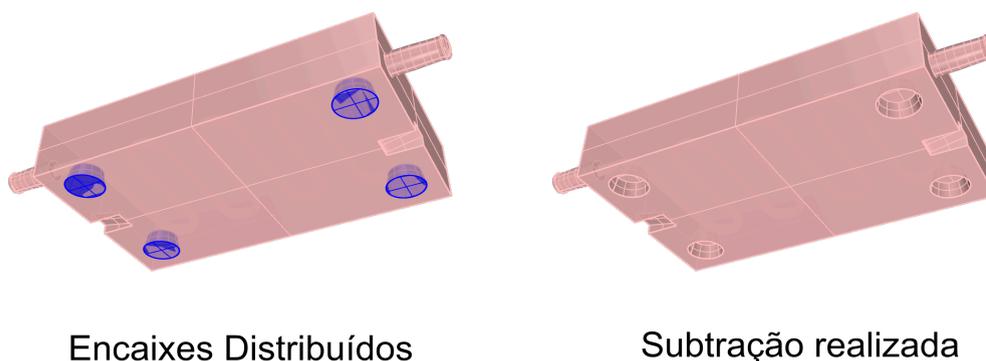
este valor específico? Pela experiência ganha com a impressão 3D e os diferentes exercícios feitos ao longo desse aprendizado que é o processo de trabalho com MA. Este passo da construção do molde é muito importante, porque mostra a importância da modelagem paramétrica, primeiro modelamos um modelo único de pino de encaixe e foi usado para os pinos do molde macho, agora devemos ajustar o valor, cozinhamos novamente para o criar o encaixe no molde fêmea, isso sem desenhar nenhuma outra peça, unicamente alterando os valores.

Figura 157 – Ajustando o novo Pino de encaixe para a fêmea do molde – [imagem do autor]



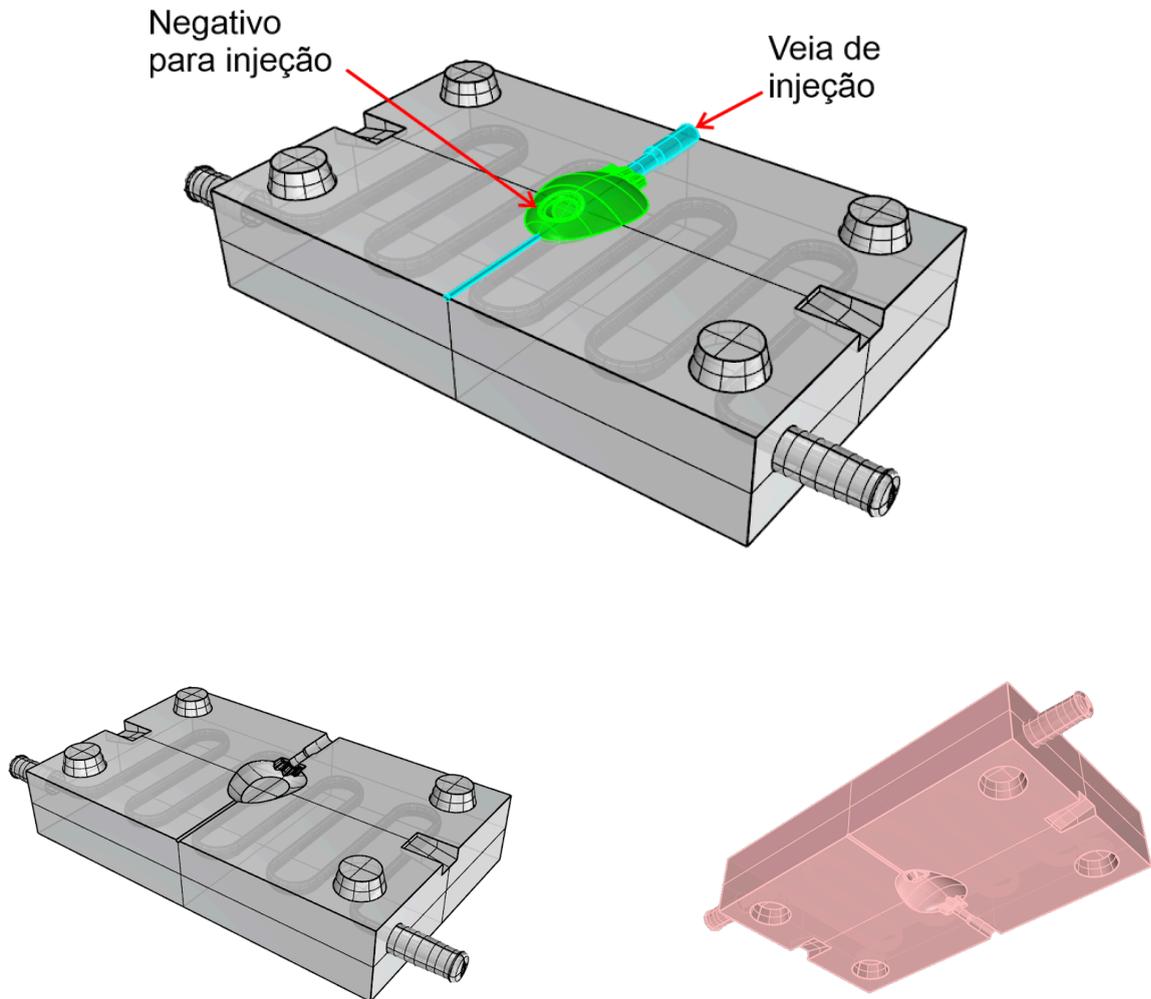
Repetindo o processo da utilização do comando *Mirror* para colocar os novos encaixes nos quatro cantos do molde, mas desta vez no molde fêmea, e depois usar o comando *Difference* (dentro do menu *Solid*), para criar quatro cavidades dentro do molde fêmea.

Figura 158 – Criando os encaixes no molde Fêmea – [imagem do autor]



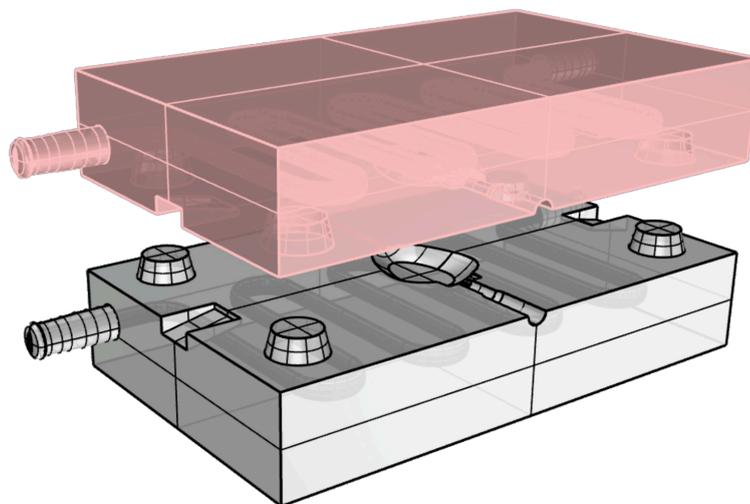
O seguinte passo pede fazer uma duplicação dos veios de injeção e duplicar a peça que será usada como negativo da injeção, por que duplicá-los? Porque usaremos um par deles para fazer subtração no molde Macho e o resto no molde Fêmea.

Figura 159 – Subtraindo a Veia e o Negativo do modelo – [imagem do autor]



O Resultado da modelagem dentro do *software* Rhino3D pode ser visto na figura 160, de fato o processo dentro do Rhino3D foi simples, unicamente houve pegar os elementos cozinhados do *Grasshopper* e fazer operações booleanas, e usar dois elementos preconcebidos dentro do Rhino3D.

Figura 160 – Resultado da modelagem no Rhino3D – [imagem do autor]



Finalmente o processo de projeção e modelagem do molde foi concluído, agora somente resta pegar o resultado, levá-lo para ser impresso, e materializar o anteriormente intangível.

Embora o processo tenha sido finiquitado, foi necessário desenvolver um modelo distinto de moldes, pois, a injetora que existe dentro do laboratório do projeto Plástico Precioso (PP), é um modelo diferente do usado nos primeiros testes, esta última é um modelo mais artesanal, se é que podemos usar esses termos para descrevê-la. Por ter um funcionamento diferenciado da primeira, foi necessário fazer adequações nos moldes, mas, como se teve o auxílio do *Grasshopper*, essas modificações não consumiram mais do que 1 hora de processo produtivo.

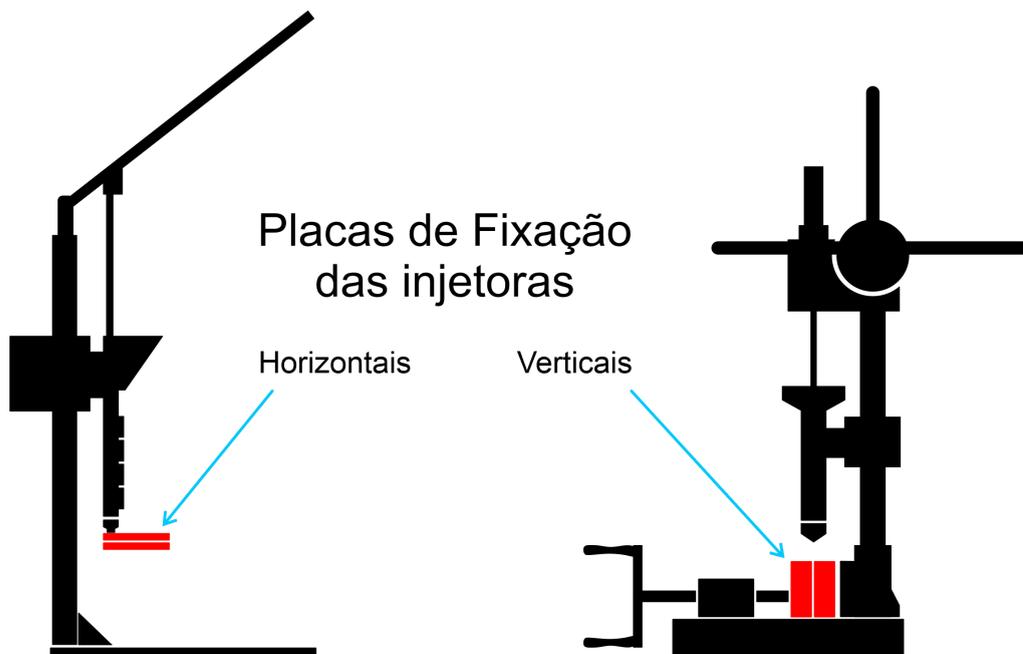
Para não provocar a repetição de elementos dentro do texto do projeto de pesquisa, que possam fazer com que a leitura torne-se exaustiva e monótona, a explicação sobre o desenvolvimento dos moldes alternativos para serem usados na injetora do laboratório do PP, foi incluída no apêndice deste trabalho.

12.3 Criando Moldes Alternativos

Dentro do processo para a realização das modificações, existem muitos passos que já foram realizados anteriormente e que já foram detalhados, razão pela qual, simplesmente faremos menção a eles, para que possam ser revistos no capítulo (Modelagem 3D). A ideia na readequação do projeto, é devido a que na primeira máquina utilizada, as placas para fixar o molde estão na posição vertical: com isto a

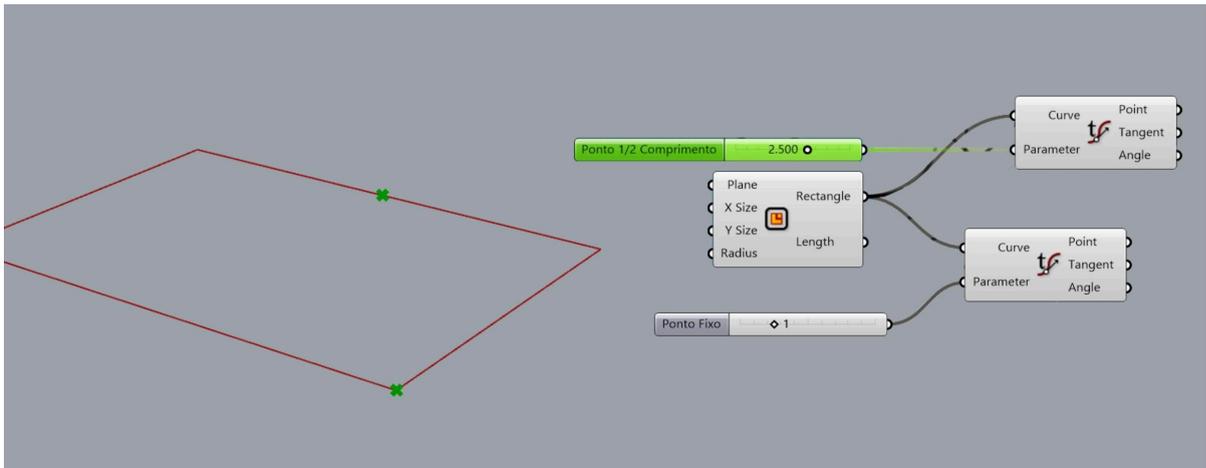
solução do molde é mais simples pois só precisa de um elemento fêmea e um macho; já no segundo caso, as placas ficam na posição horizontal, tendo uma perfuração na placa superior para a injeção do material no molde, isto me obrigou a pensar um molde de 3 peças, duas fêmeas e um macho.

Figura 161 – Posição das placas das injetoras utilizadas – [imagem do autor]



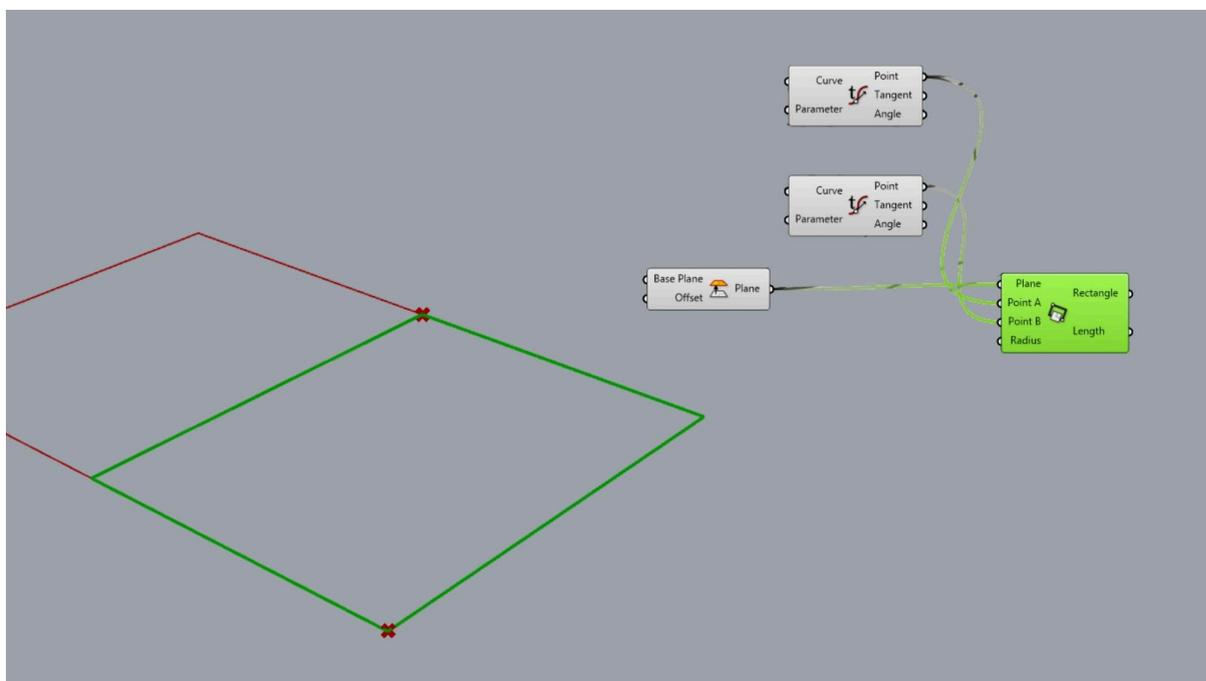
Começamos então, nas operações dentro da plataforma *Grasshopper*, que me ajudaram a criar os elementos que preciso para o ajuste dos moldes (a maior parte deles executada na fêmea do molde). Usando o componente *Evaluate Curve* (preciso de dois deles), conectados diretamente na saída do componente *Rectangle*, que têm o mesmo nome (este retângulo é aquele criado na parte superior do macho do molde). Usando dois parâmetros *Number Slider*, com uma variação de 0-4, em um deles usando números inteiros e no outro decimais, isto se deve a que ao dividir o parâmetro em 4 dígitos, cada um dos vértices do retângulo equivalerá a um dos dígitos. Porém, no lado mais longo do retângulo eu preciso que o ponto seja posicionado na mediatriz do segmento, por isso uso números decimais, para poder definir como valor 2.5, o segundo ponto, colocarei ele no dígito 1, já que quero ele posicionado no primeiro vértice da curva retângulo, da maneira como se apresenta na figura 162.

Figura 162 – Criando pontos na curva Rectangle – [imagem do autor]



A partir desses dois pontos criados, ligo a saída de cada um deles, chamada *Point*, com as entradas do componente *Rectangle 2Pt* que têm por nomes *Point A* e *Point B*, para finalizar este passo, ligo o item de entrada *Plane*, do componente *Rectangle 2Pt* com o item de saída *Plane* do componente do mesmo nome, e que é aquele mesmo plano do retângulo maior. Como resultado eu criei um retângulo a partir dos dois pontos que são a própria diagonal.

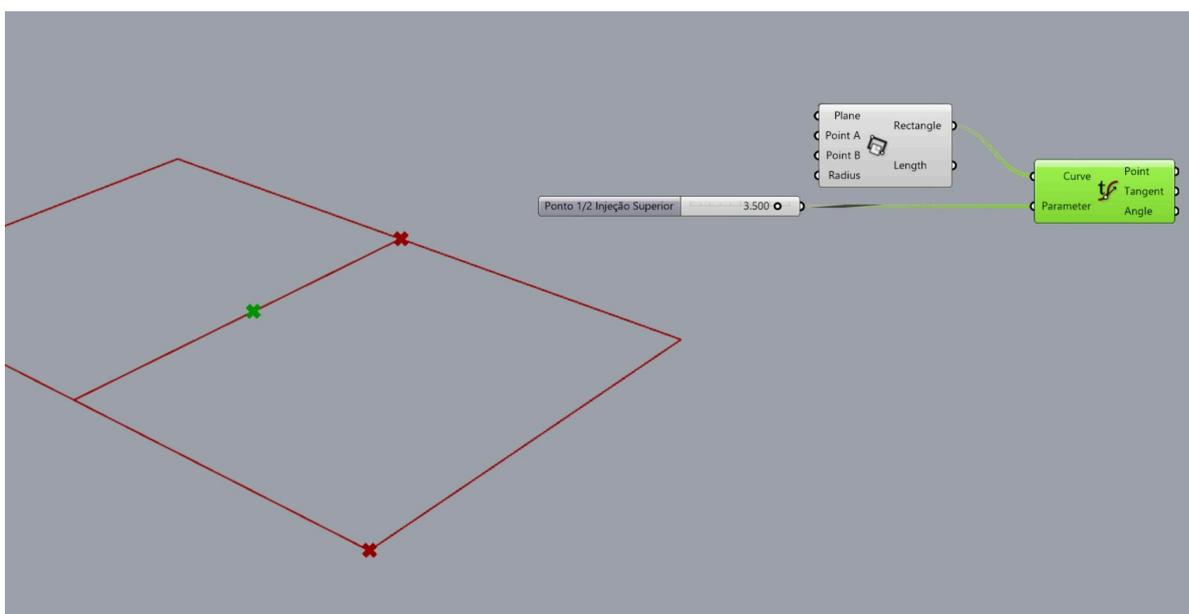
Figura 163 – Criando um retângulo a partir de dois pontos – [imagem do autor]



Faz se necessário criar um novo ponto médio sobre um dos lados maiores do retângulo, para isto, chamo um novo componente *Evaluate Curve* e conecto ele na sua tomada de entrada chamada *Curve*, com a tomada de saída do componente

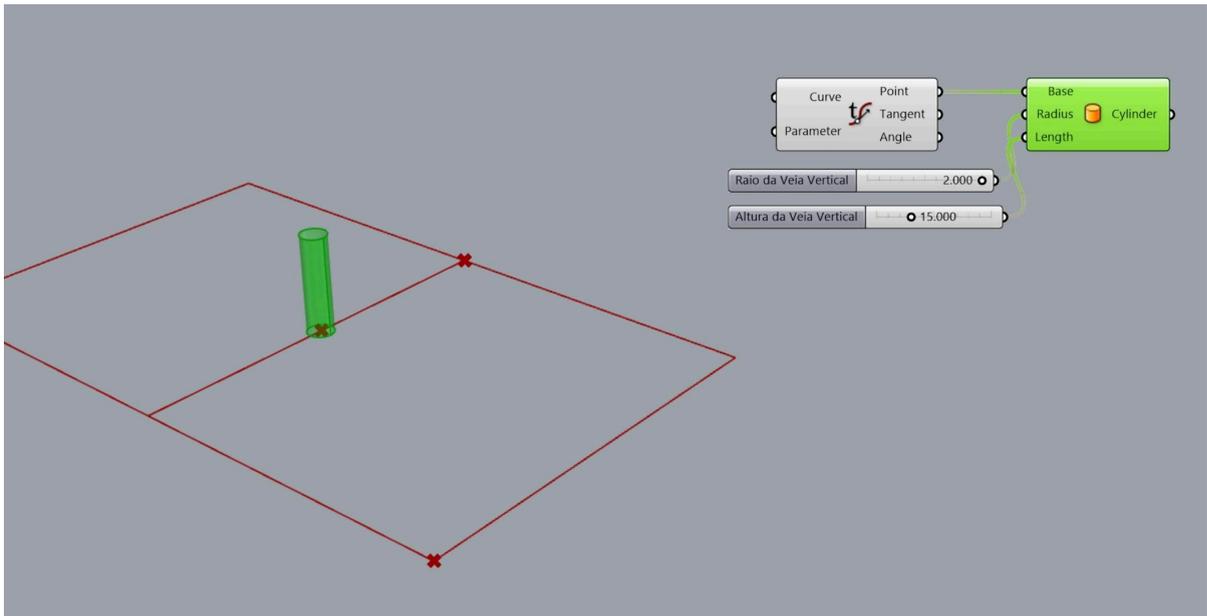
Rectangle 2Pt de nome *Rectangle*. Crio um novo parâmetro que chamarei Ponto Médio Injeção Superior e dou a ele o valor de 3.5, esse valor não é aleatório, como falei anteriormente, quando uso o um Parâmetro *Number Slider*, ligado ao componente *Evaluate Curve*, dou a ele valores entre 0-4 para representar os vértices, por isso que ao colocar um médio entre números inteiros, ele será automaticamente a metade do segmento referido.

Figura 164 – Criando um ponto médio no novo retângulo – [imagem do autor]



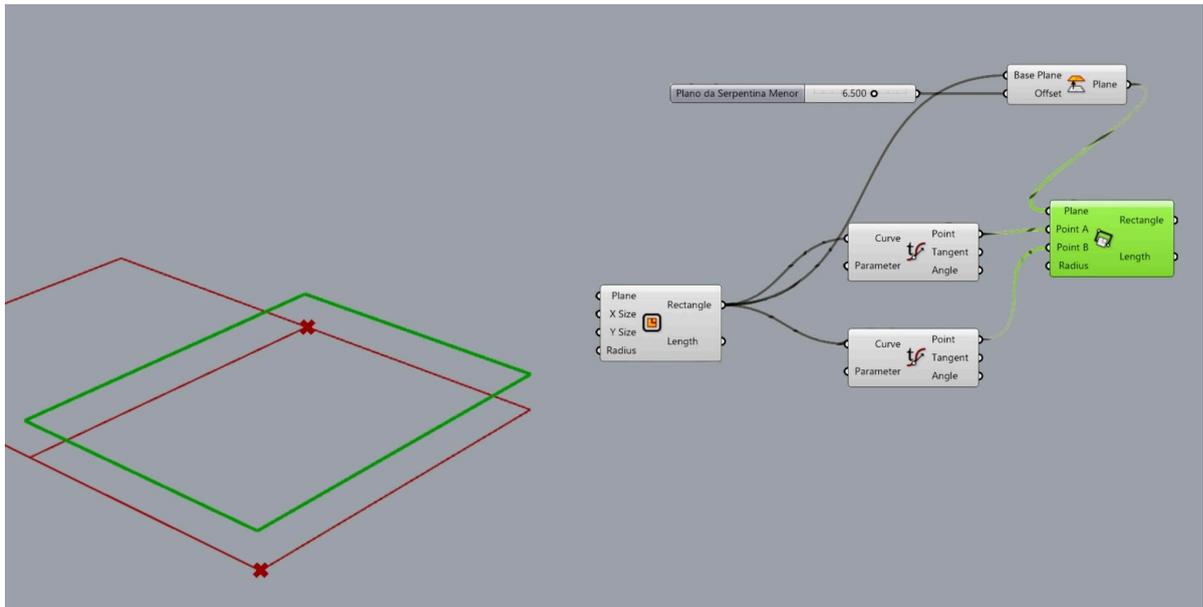
Necessito agora usar um componente *Cylinder*, a partir do qual ligarei a sua tomada de entrada de nome *Base*, como a tomada de saída de nome *Point* do componente *Evaluate Point* que criei no passo anterior. Preciso de dois novos parâmetros *Number Slider* que chamarei Raio da Veia Vertical e que ligarei com a tomada de entrada de nome *Radius* do componente *Cylinder*, e o outro parâmetro que nomeei como Altura da Veia Vertical devo ligá-la à tomada de entrada de nome *Length*, também do componente *Cylinder*.

Figura 165 – Criando um cilindro atrelado a um ponto – [imagem do autor]



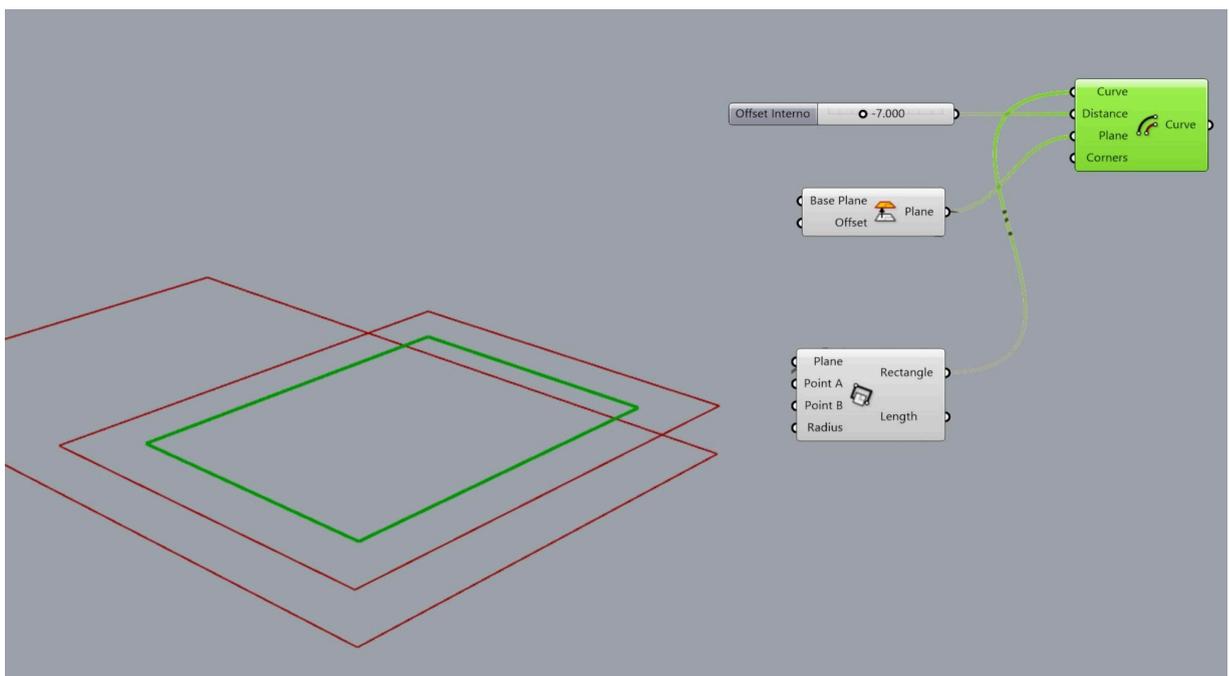
Devo criar a seguir um retângulo flutuante que será o plano base para a nova Serpentina, ele deve ser flutuante para poder subir e descer à vontade segundo precisar. Criando novamente um componente *Rectangle 2Pt* ligo ele nas suas tomadas de entrada *Point A* e *Point B*, com as tomadas de saída de nome *Point*, dos componentes *Evaluate Curve* (que criaram os dois pontos originais neste novo processo de trabalho). Crio depois, um novo componente *Plane Offset*, que será ligado ao retângulo maior original, mediante sua tomada de entrada de nome *Base Plane* para a tomada de saída homônima do componente *Rectangle*. Para finalizar este ponto, chamo um parâmetro *Number Slider* que nomearei de Plano da Serpentina Menor, e será ligado à tomada de entrada chamada *Offset* do componente *Plane Offset*.

Figura 166 – Outro Retângulo em um outro plano – [imagem do autor]



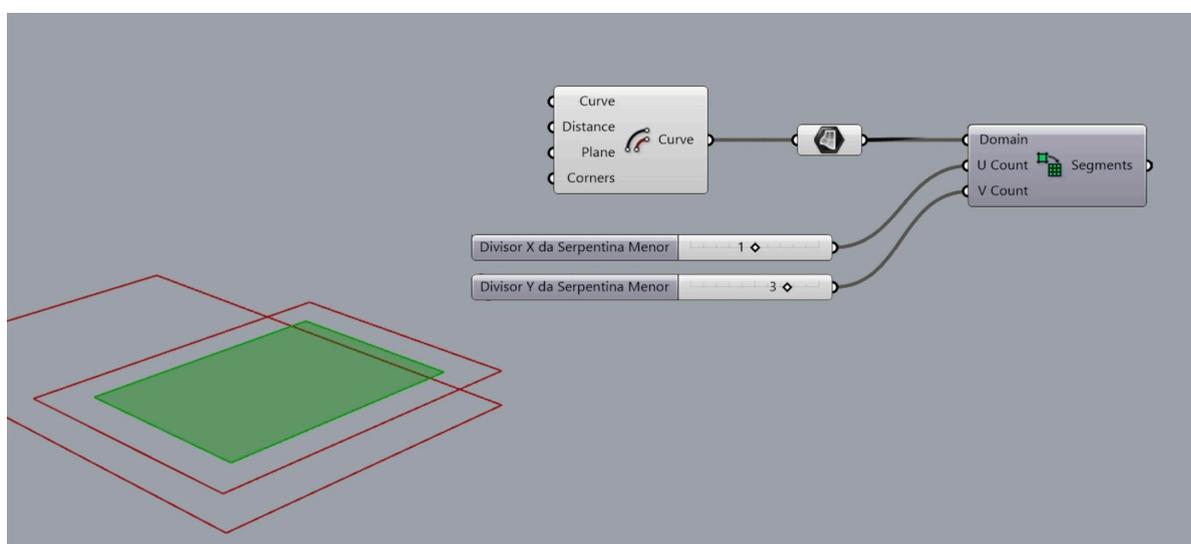
Selecionar o componente *Offset Curve* ligando o seu item de entrada *Curve* como o plugue de saída do componente *Rectangle 2Pt*, que têm por nome *Rectangle*. Cria-se um novo parâmetro *Number Slider* ao qual darei o nome de *Offset Interno*, e definirei o valor dele de acordo com as minhas necessidades, posteriormente ligo ele ao plugue de entrada do componente *Offset Curve* de nome *Distance*. Para finalizar, ligo o plugue de entrada do componente *Offset Curve* que leva por nome *Plane*, como componente *Plane* no seu plugue de saída.

Figura 167 – Criando um Offset no retângulo – [imagem do autor]



Neste passo deve-se criar uma superfície dentro do *Offset* feito anteriormente. Trazendo para a área de trabalho o componente *Surface* ligo seu plugue de entrada ao plugue de saída do componente *Offset Curve*. Para agilizar um pouco, farei outro passo no processo aqui mesmo. Chamando o componente *Divide Domain²*, conecto-o no seu plugue de entrada de nome *Domain* ao plugue de saída do componente *Surface*, Posteriormente chamarei dois parâmetros *Number Slider* aos quais darei o nome de *Divisor X* da Serpentina Menor e irá ligado na porta de entrada *U Count* do componente *Divide Domain²*, e o segundo levará o nome de *Divisor Y* da Serpentina Menor e estará conectado à tomada de nome *V Count* do componente *Divide Domain²*. Para o resultado provocado pela conexão do componente *Divide Domain²* aparecer representada, é necessário criar um novo passo no processo de construção, por esta razão, o efeito do acréscimo do componente parece ser nulo, mas no próximo passo veremos sua aparição e funcionamento, embora, este processo é uma repetição do processo executado anteriormente quando foi criado o macho do molde, ou seja é um elemento do qual já temos conhecimento do seu funcionamento.

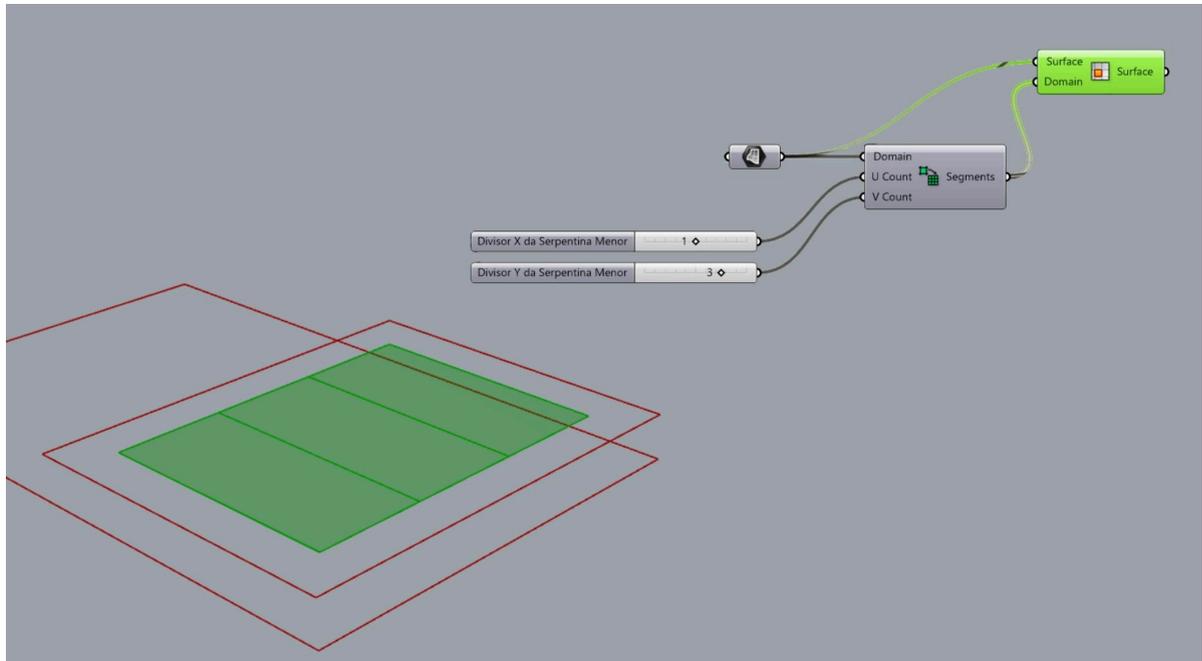
Figura 168 – Criando uma superfície e uma divisão sem representação – [imagem do autor]



Traz-se agora para a área de trabalho o componente *Isotrim*, conecto seu plugue de entrada *Surface* ao plugue de saída do componente *Surface*, posteriormente, o plugue de entrada *Domain* do componente *Isotrim* com o plugue de saída do componente *Divide Domain²*, automaticamente mostrará o resultado provocado pelo

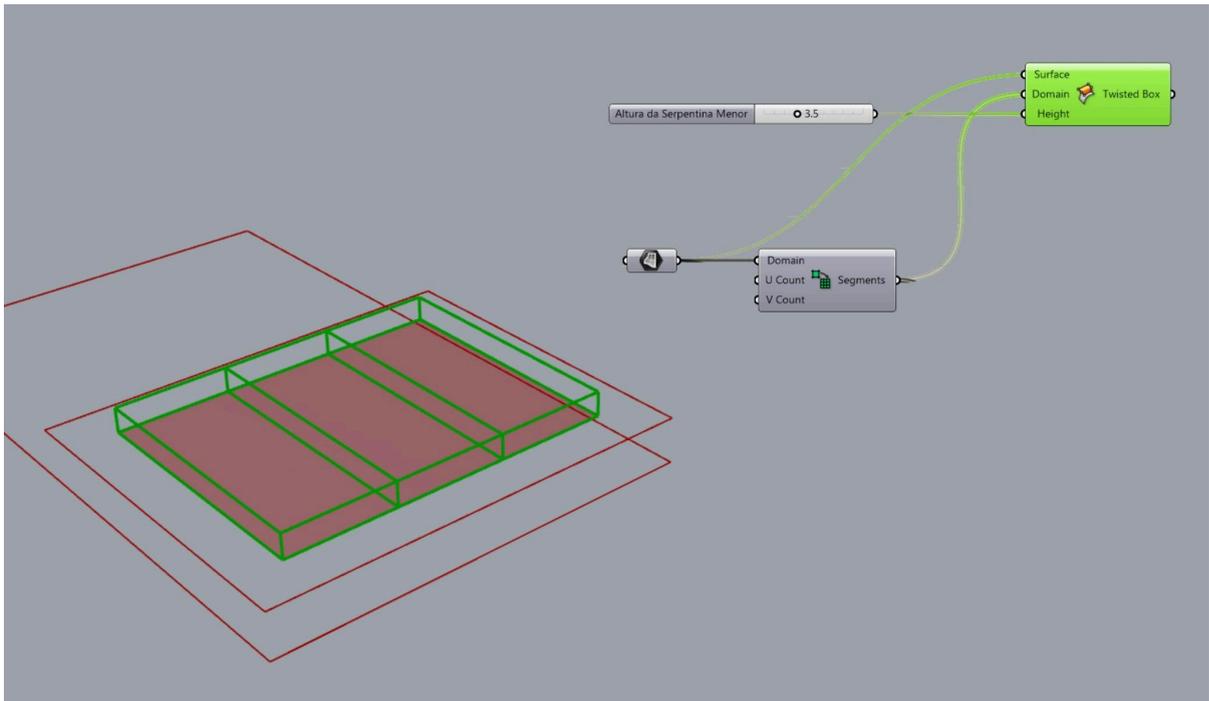
funcionamento do componente *Divide Domain*², a superfície será dividida na quantidade de segmentos indicados nos parâmetros *Number Slider*.

Figura 169 – Dividindo a superfície – [imagem do autor]



Surface Box será o próximo componente a ser usado, para ele funcionar, devo conectar ele no seu plugue de entrada de nome *Surface*, ao plugue de saída do componente *Surface*, depois, o segundo plugue do componente *Surface Box* de nome *Domain* será conectado com o plugue de saída do componente *Divide Domain*², que têm por nome *Segments*, para concluir este passo, chama-se outro parâmetro *Number Slider* e nomeia-se como *Altura da Serpentina Menor* (dando a altura que for ideal para meu projeto), conectando o plugue de saída do mesmo, ao plugue de entrada do componente *Divide Domain*² que nomeado de *Height*. O resultado é a criação de prismas retangulares sobre as divisões na superfície.

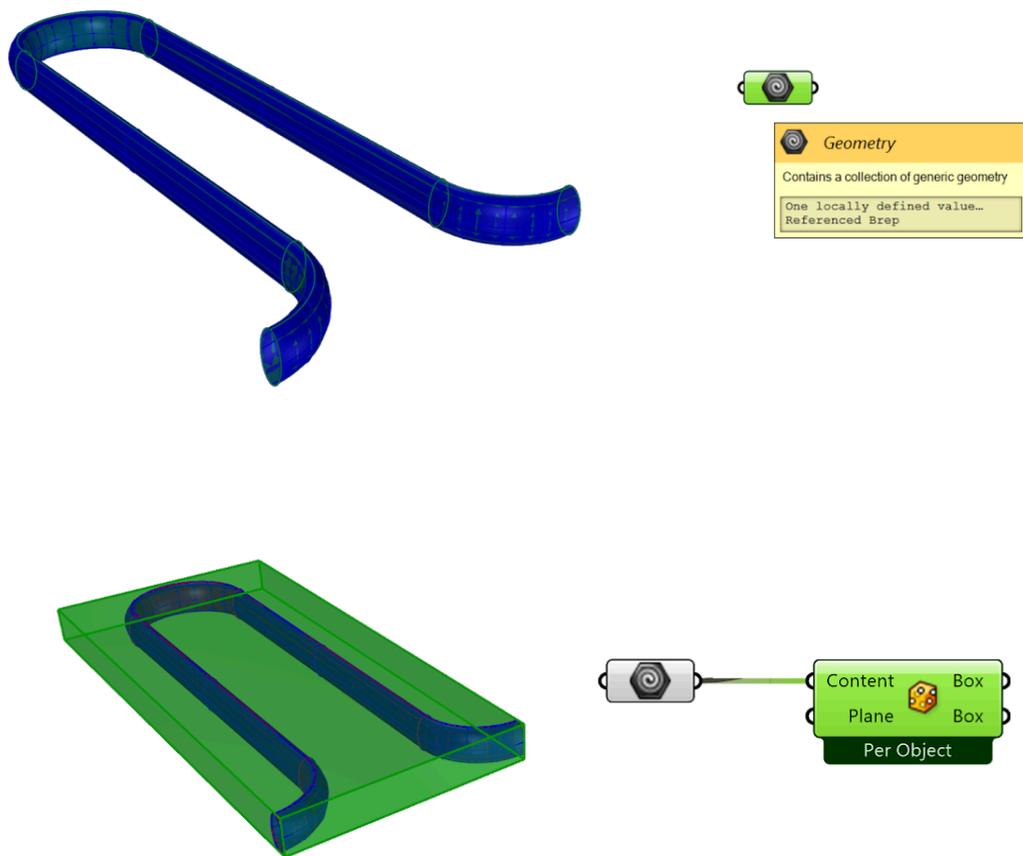
Figura 170 – Criando caixas na superfície – [imagem do autor]



Para este passo deve-se copiar a superfície que representa um segmento da Serpentina criada nas figuras 133 e 134, para copiar elementos dentro da área de trabalho do Rhino3D pode-se facilmente usar o mundialmente conhecido Ctrl+C e Ctrl+V, selecionando esse novo segmento de Serpentina e indo para a área do *Grasshopper*, busca-se o componente *Geometry*, como feito anteriormente, com um *clock* (botão direito do *mouse*) com o cursor sobre o componente será desplegado um menu de cascata, ao abrir, seleciona-se a opção *Set one Geometry*, com isto a seleção da geometria fará parte da interface do *Grasshopper*.

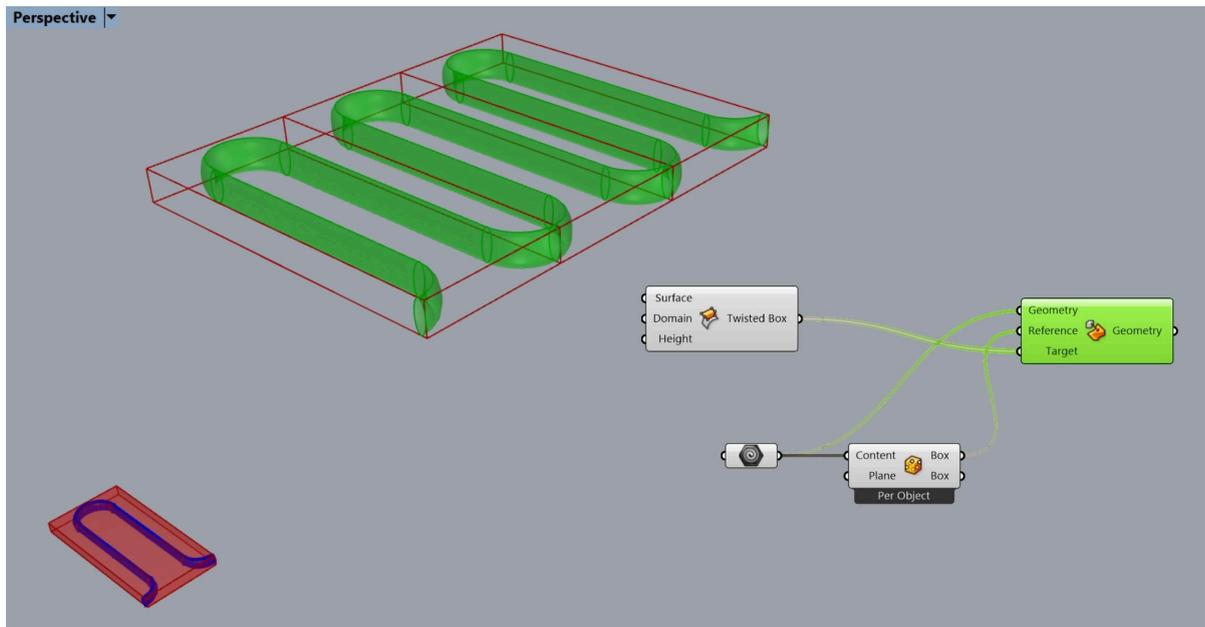
A seguir, chama-se o componente *Bounding Box*, e conecta-o no seu plugue de entrada de nome *Content*, com o plugue de saída do componente *Geometry*, o resultado, cria-se uma caixa que encerra perimetralmente a geometria que é o segmento da Serpentina.

Figura 171 – Selecionando o segmento de Serpentina e envolvendo-o – [imagem do autor]



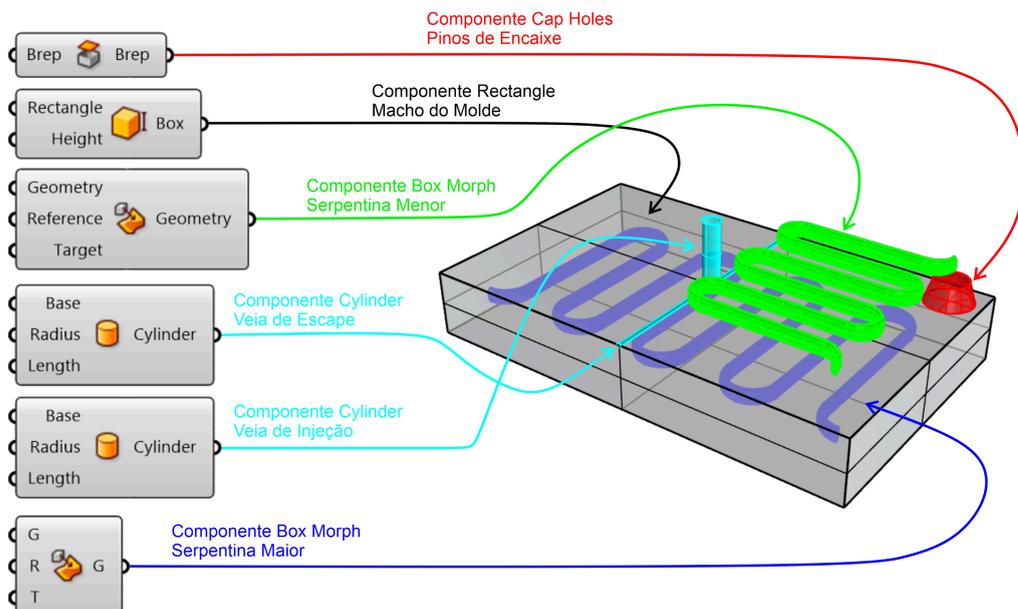
Com o componente *Box Morph* em mãos, deve-se conectar o primeiro plugue de nome *Geometry*, ao plugue de saída do componente *Surface*, o segundo plugue de nome *Reference* deverá estar ligado ao plugue de saída do componente *Bounding Box* (qualquer um deles), para finalizar, o terceiro plugue chamado *Target* deve ir conectado com o plugue de saída do componente *Surface Box*. Automaticamente a Serpentina é formada com a quantidade de divisões ditadas pelos parâmetros *Number Slider*.

Figura 172 – Usando o componente Box Morph para criar a Serpentina – [imagem do autor]



Agora os elementos criados no *Grasshopper* devem ser cozinhados para aparecerem representado realmente na área de trabalho do Rhino3D, isto já foi feito antes, então já temos conhecimento e domínio para executá-lo novamente, neste caso específico, há de se selecionar os componentes e uma vez selecionados juntos dar um *clock* na área de trabalho do *Grasshopper*, desplegar-se-a um menu de cascata e aí, unicamente devemos selecionar a opção *Bake*, pronto, os elementos foram transformadas em superfícies dentro do Rhino3D.

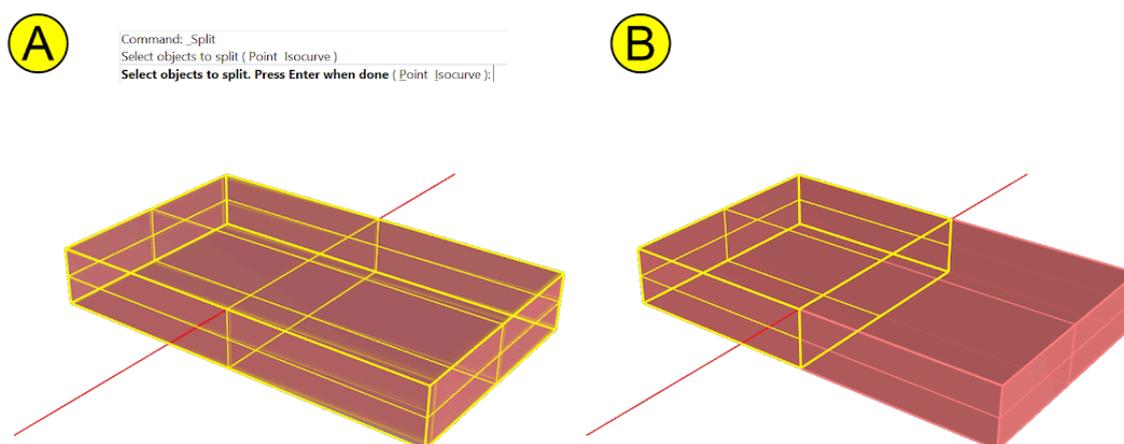
Figura 173 – Cozinhando os elementos – [imagem do autor]



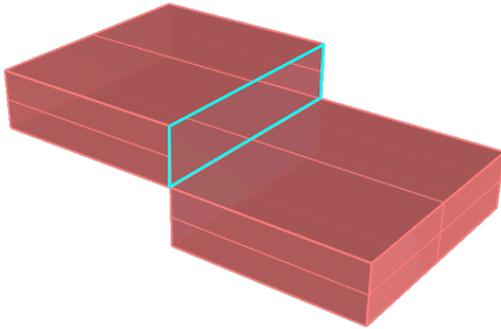
A continuação, iniciaremos o processo de interiorização dos moldes na interface Rhino3D, isto já foi mostrado anteriormente, a partir da figura 146. tendo as quatro janelas da interface Rhino3D abertas, na janela de visualização Front, usaremos o comando *Mirror* para espelhar o Macho do molde e como resultado do processo criar a Fêmea, para posterior facilidade de identificação também mudaremos seu *Layer* para poder trabalhar de maneira mais simples.

Uma vez criado por espelhamento a Fêmea do molde, na janela de visualização *Top*, traça-se um segmento de reta qualquer que passe pela mediatriz do lado mais longo do prisma retangular. Aplicando o comando *Split*, seleciona-se primeiro a Fêmea do molde e posteriormente o segmento de reta que será o provocador da separação dos lados do prisma retangular (A e B), existe um inconveniente como resultado da separação de um elemento em duas partes, isto é, os elementos resultantes são ocos (qualquer superfície oca, que carece de espessura, não é reconhecida, quando levada para os *softwares* fatiadores para o processo de impressão) (C, requadro na cor Ciano), para fazer deles novamente elementos maciços, unicamente é necessário selecionar o elemento e aplicar o comando *Cap*, que pode ser escrito no *prompt* de comando do Rhino3D, isto fechará automaticamente a superfície e voltará a ser um sólido, o mesmo deve ser feito com o outro lado.

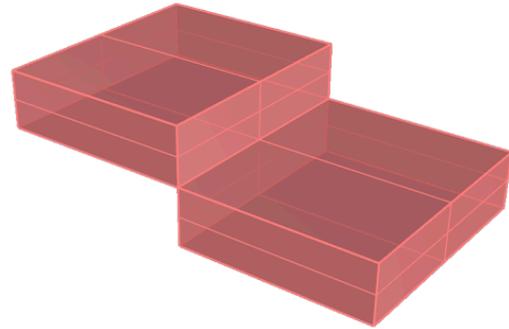
Figura 174 – Separando a Fêmea do molde – [imagem do autor]



C

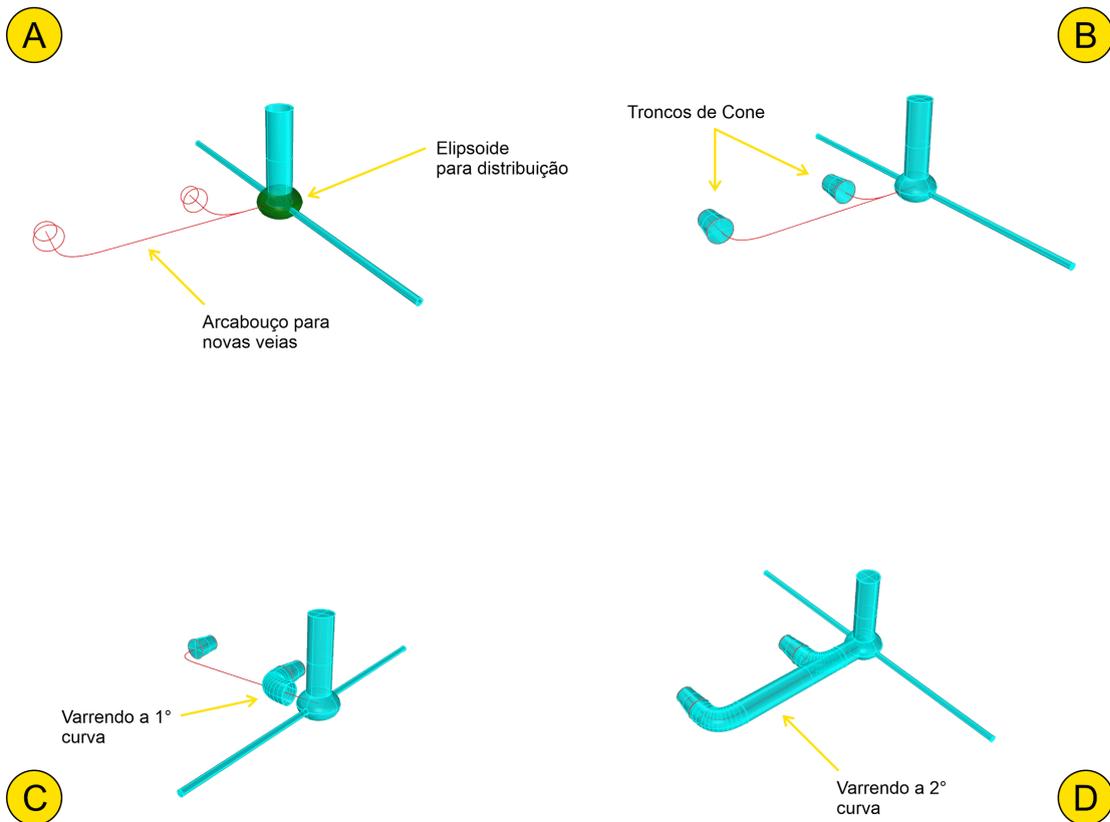


D



Vamos trabalhar agora nas Veias de Injeção e Escape, para isto, é necessário criar os arcabouços (esqueletos guia) que usaremos para construir os caminhos que precisamos para direcionar as Veias para os lugares que desejamos, esse tipo de construção já foi mostrada a partir das figuras 88 ou 154. Construir um elipsoide usa o mesmo princípio que uma esfera, com a diferença que depois de selecionar o centro devem-se selecionar os raios nos três eixos. Para construir os Troncos de Cone, usamos as circunferências que colocamos no arcabouço inicial (em vermelho) e escolhe-se o comando *Truncated Cone* dentro do menu *Solid*, então se seleciona o ponto central da circunferência maior, depois seu raio, posteriormente se passa ao centro da circunferência menor e para finalizar seu raio, como resultado se formara o Tronco de Cone. as construções C e D dentro da figura 90 já foram exemplificadas anteriormente, evitaremos explicá-las novamente para não virar repetitivos.

Figura 175 – Criando o caminho das Veias – [imagem do autor]



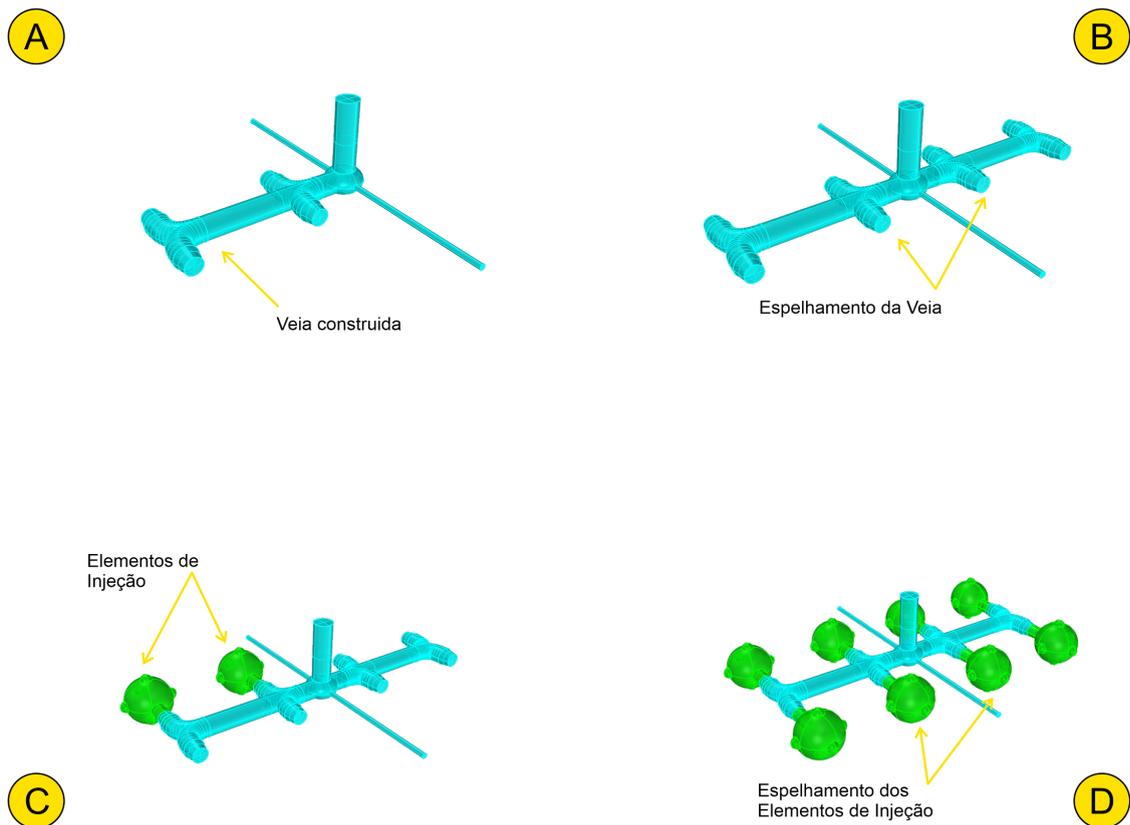
É necessário agora espelhar novamente as Veias para fazer uma distribuição equilibrada a partir da Veia vertical, os elementos que foram modelados, os elementos que serão injetados (neste caso específico, as minas para jogo Batalha dos Mundos), serão colocados no extremo final da Veia.

No final os elementos que aparecem na imagem D da figura 175, deverão ser copiados por triplicado, isto para posteriormente poder fazer as subtrações nos elementos Macho e Fêmeas, usando o comando *Copy* que pode ser escrito no *Prompt* de Comando, ou selecionado na barra de menu lateral no *layout* do *software*, uma vez escrito ou selecionado o comando, é necessário escolher todos os elementos a serem copiados, dar um *Enter*, e digitar a letra "i" (*in place*, para a cópia ser executada no mesmo lugar).

É sempre importante também ter um arquivo de Rhino3D salvo com os este tipo de elementos (Veias e modelos para injeção), assim cada vez que for necessário reeditar novos moldes, podemos inseri-los nesses modelos de uma maneira simples

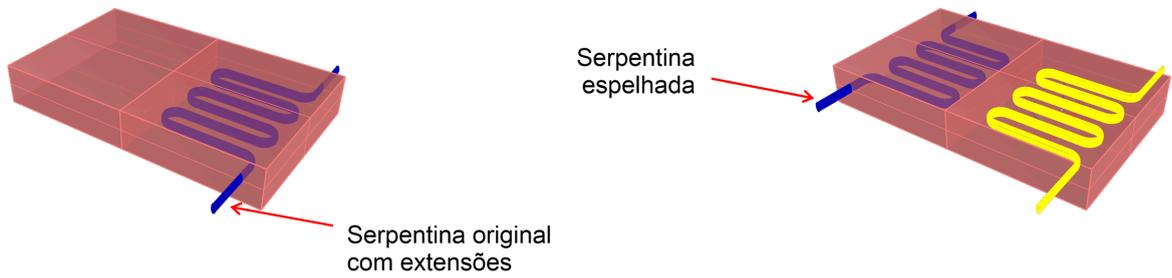
importando esses arquivos para o nosso arquivo dos moldes em questão. Importar um arquivo no Rhino3D é do mais fácil de ser executado, simplesmente precisamos chamar o comando *Import*, selecionar o arquivo desejado e colocá-lo na área de trabalho.

Figura 176 – Espelhando as Veias e colocando os itens de Injeção – [imagem do autor]



Usando a Serpentina menor, aquela que será usada para as duas Fêmeas, devemos fazer a prolongação dos extremos da mesma, da maneira como foi mostrada na explicação das figuras 148 à 149, uma vez feito o prolongamento e criado uma Serpentina sólida, a mesma deve ser espelhada, para isto se usa como eixo a junção das duas parte dos moldes Fêmea, e se realiza a subseqüente operação.

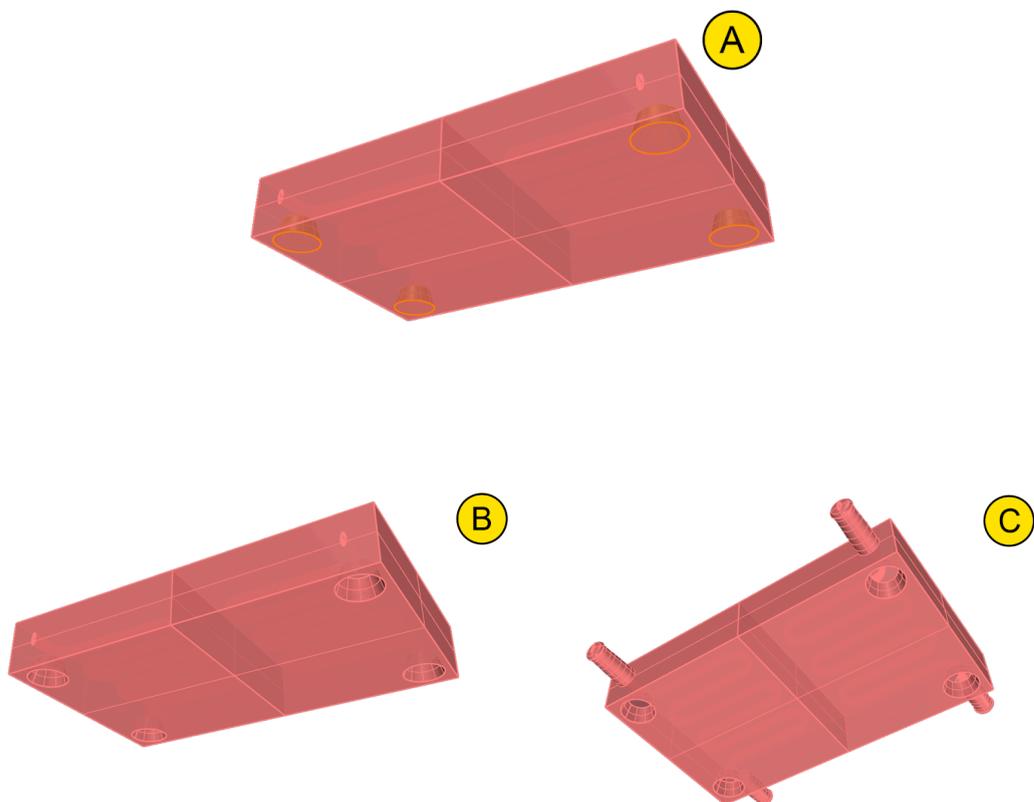
Figura 177 – Espelhando a Serpentina Menor – [imagem do autor]



Concluído o processo, deve-se realizar a operação booleana de subtração para tirar a serpentina do resto do molde e fazer dos dois elementos um só, mas integrando o caminho da Serpentina no bloco Fêmea, para isto é necessário repetir a operação feita na figura 150.

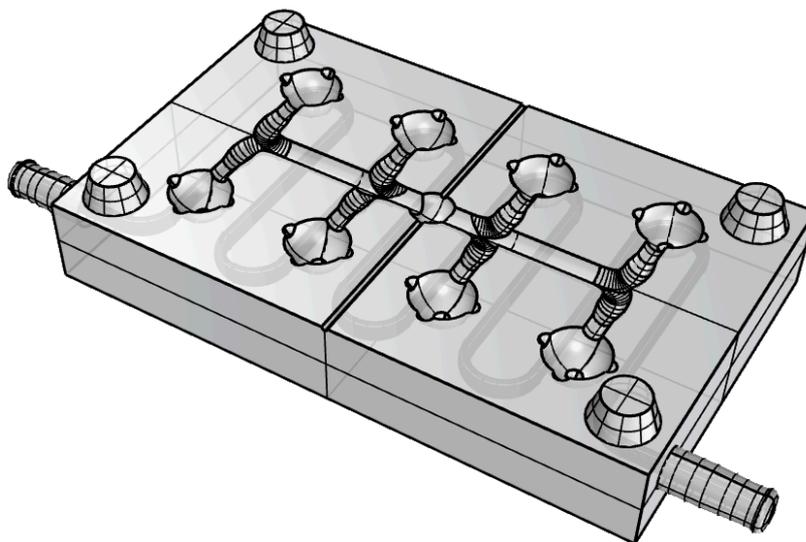
Tendo definido o dimensionamento dos pinos de encaixe é momento de colocá-los no seu devido lugar, da mesma forma que foi feito na figura 156.

Figura 178 – Criando as cavidades de encaixe nos moldes Fêmea – [imagem do autor]



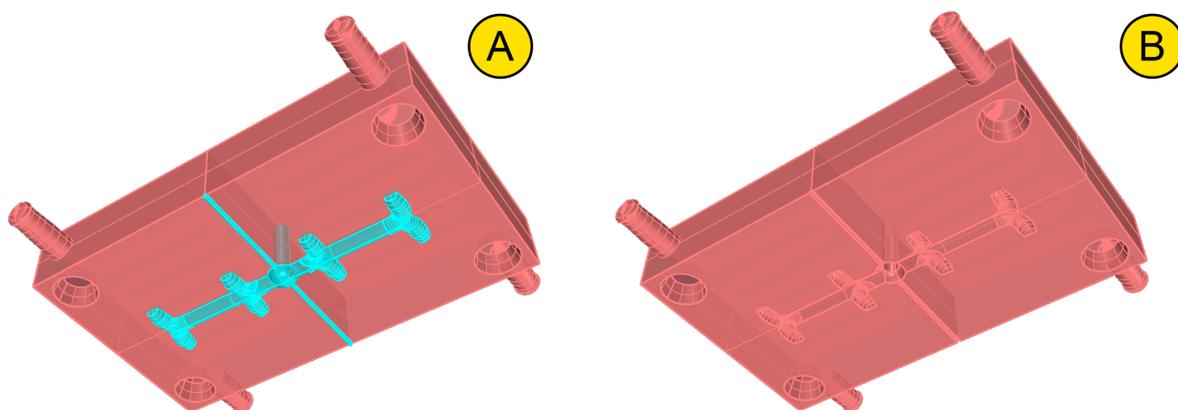
Na figura 159, se mostra o processo de subtração das Veias de Injeção e dos modelos a serem injetados, para isto precisamos unicamente repetir os passos realizados.

Figura 179 – Subtração das Veias e os modelos de injeção – [imagem do autor]



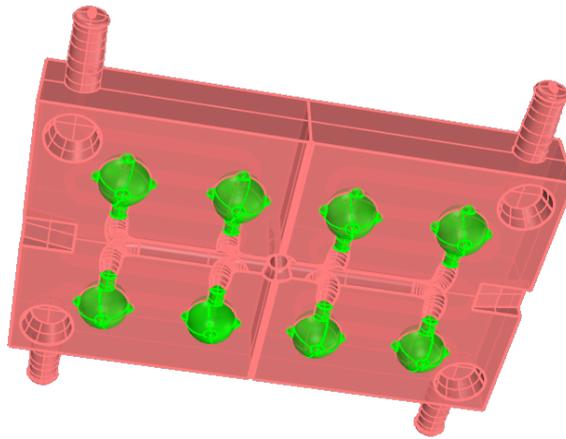
A seguir, deve-se executar uma repetição do passo anterior, mas em duplicidade, por serem dois elementos os que compõem o molde Fêmea, por tanto devo subtrair as Veias do elemento Esquerdo e posteriormente do Direito, ou vice-versa.

Figura 180 – Subtraindo as Veias das Fêmeas do molde – [imagem do autor]



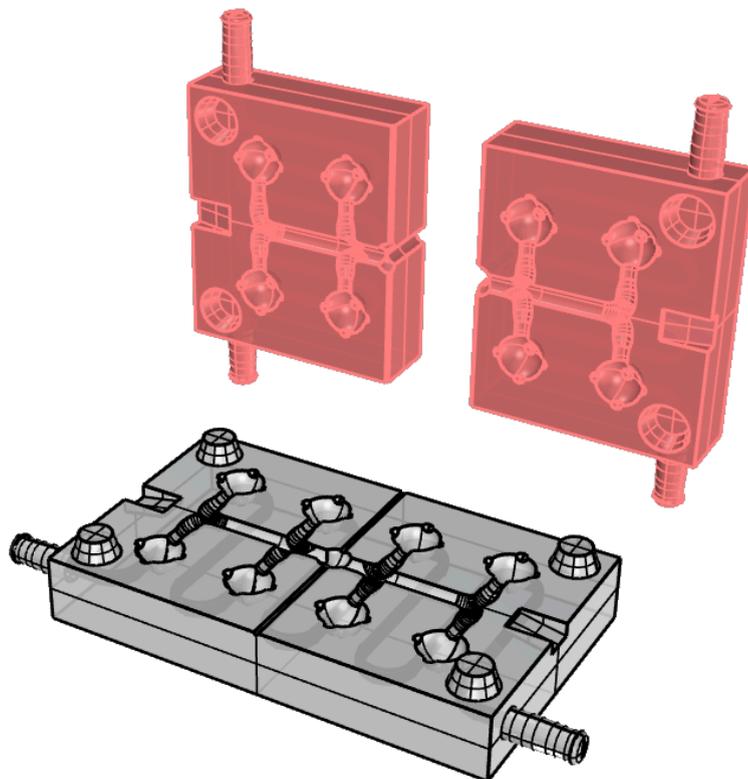
Repetir-se-á o passo anterior, para criar as cavidades dos elementos que serão injetados nos moldes.

Figura 181 – Subtraindo os Modelos de injeção das Fêmeas do molde – [imagem do autor]



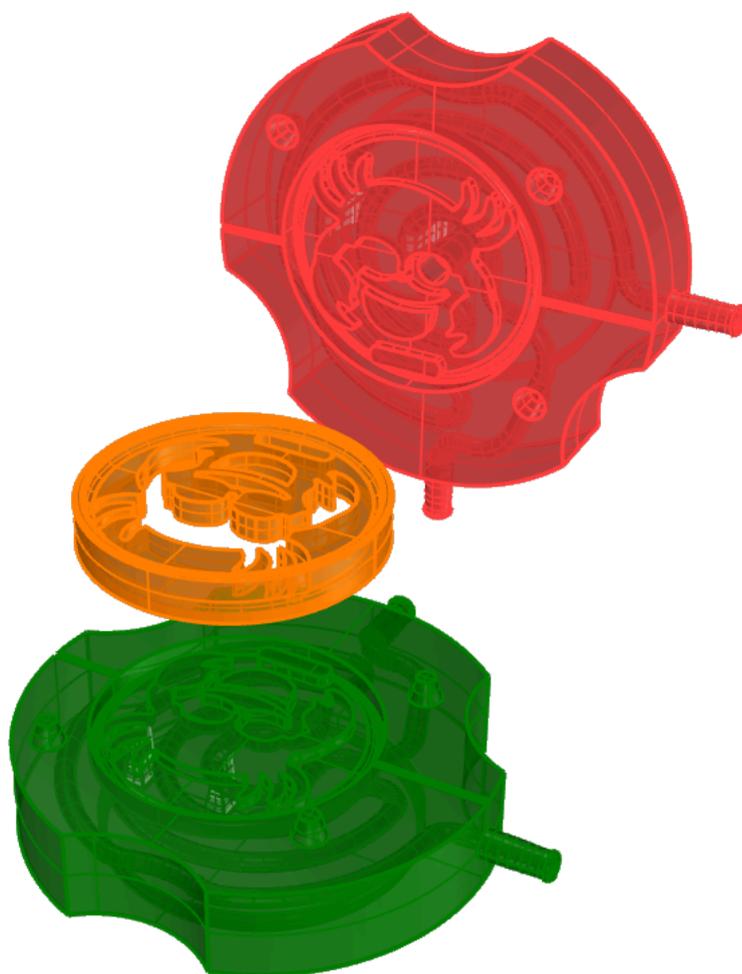
Resultado final da adaptação do molde para o segundo equipamento de injeção de termoplásticos. Como pode ser visto, tudo isto foi facilitado pela parametrização, sem ela, o tempo gasto para realizar qualquer modificação seria sempre maior.

Figura 241 – Molde Finalizado – [imagem do autor]



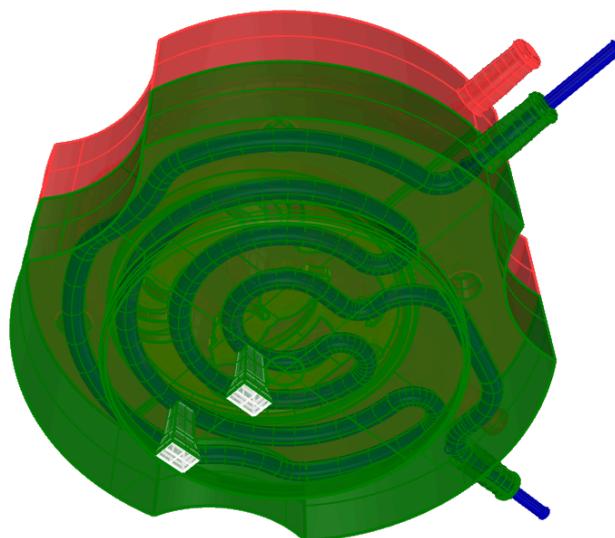
Paralelo ao projeto original, existiu também a construção do molde circular para a injeção das medalhas para o “XV *International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design - GRAPHICA2024*” este molde a diferença dos primeiros testados foi feito de maneira circular, para se adaptar aos elementos de fechamento que foram criados especificamente para um molde de um pião feito em alumínio, mas que achamos serem uma ferramenta de auxílio básica para manter o molde fechado quando fosse usada a injetora do laboratório Plástico Precioso da UFPE. O design do molde em questão ficou como mostra a figura 182 a seguir.

Figura 182 – Molde Circular Finalizado – [imagem do autor]



O diferencial neste molde em relação aos anteriores, foi que a serpentina de resfriamento foi proposta de maneira espiral, para ter um melhor aproveitamento do formato do molde.

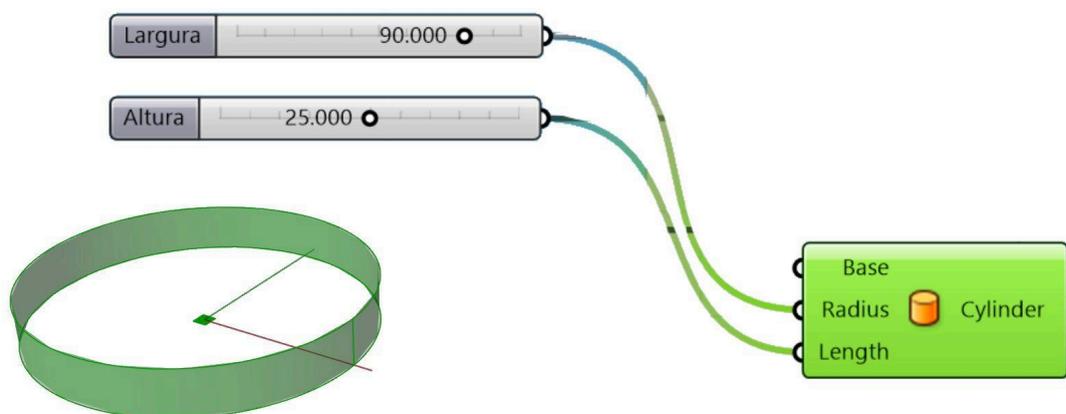
Figura 183 – Molde e sua serpentina de resfriamento – [imagem do autor]



Para a criação deste molde, novamente se recorreu ao uso do *Grasshopper* para poder fazer parte dele de maneira parametrizada. O processo foi o seguinte.

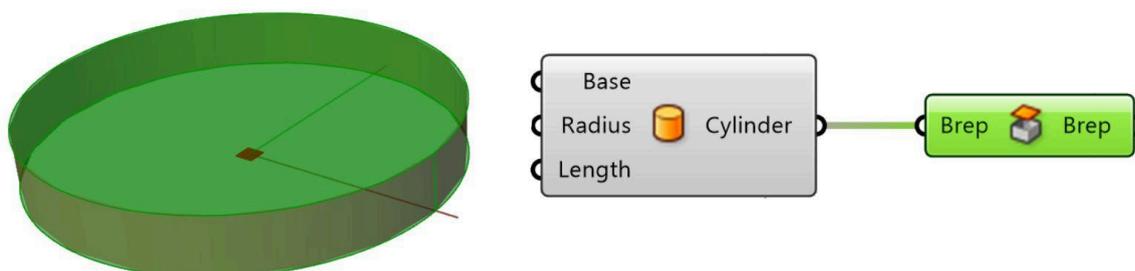
Inicialmente começamos criando um cilindro, isto é feito da seguinte maneira: Pegamos o componente *Cylinder* (dentro do menu *Surface*); ligamos suas entradas chamadas *Radius* e *Length* a dois parâmetros dos denominados *Number Slider* (estes estão dentro do menu *Params*); finalmente definimos em números reais esses parâmetros que neste caso denominamos *Largura* e *Altura* (mas que podiam ter qualquer outro nome), as medidas dependem de cada projeto.

Figura 184 – Criando um cilindro no Grasshopper – [imagem do Autor]



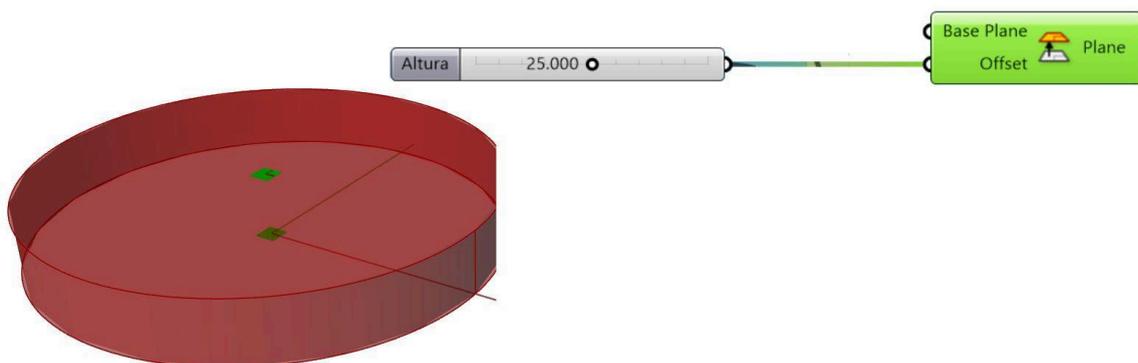
Precisamos então colocar tampas na superfície, para criar um sólido, para isto: Selecionamos o componente *Cap Holes* (que está dentro do menu *Surface*, clicando duas vezes seguidas na área de trabalho do *Grasshopper* podemos chamar a janela de texto e digitar diretamente o nome do componente para ser utilizado); conectamos ele na saída do componente *Cylinder*, feito isso, automaticamente teremos criado um sólido.

Figura 185 – Criando um sólido com o cilindro – [imagem do Autor]



Vamos agora criar um novo plano que esteja colocado na parte superior do cilindro (tampo): primeiro, chamamos o componente *Plane Offset*; depois, ligamos a sua entrada, com a saída do *Number Slider* denominada *Altura*, com isso, o plano coloca-se no topo, na parte central do cilindro.

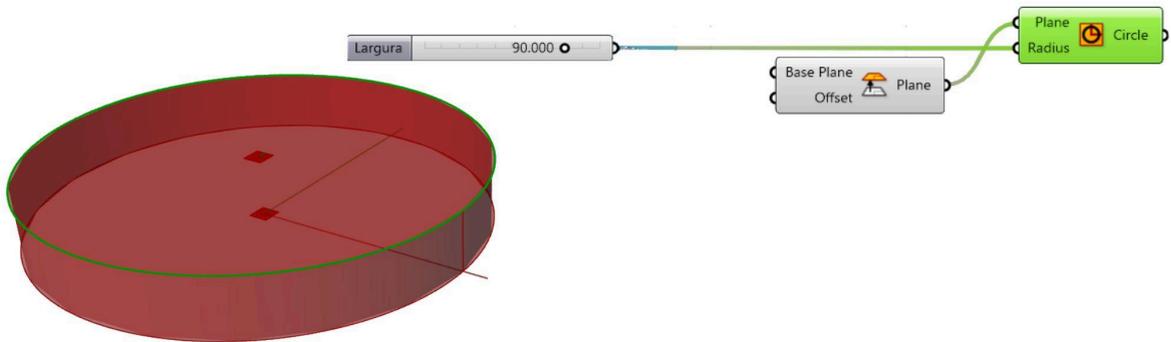
Figura 186 – Criando um novo plano – [imagem do Autor]



É necessário agora, criarmos uma circunferência a partir do seu centro, chamamos um componente denominado *Circle CNR*, ligando ele na sua entrada chamada *Radius* como a saída do parâmetro *Number Slider* que denominamos *Largura* e posteriormente ligando seu outro item de entrada chamado *Plane* com a saída do

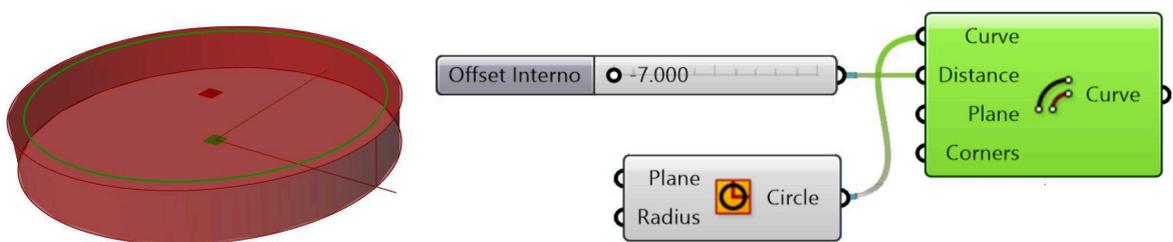
plano auxiliar do mesmo nome criado anteriormente, isso colocará a circunferência no topo do cilindro e com o mesmo diâmetro deste.

Figura 187 – Criando uma circunferência – [imagem do Autor]



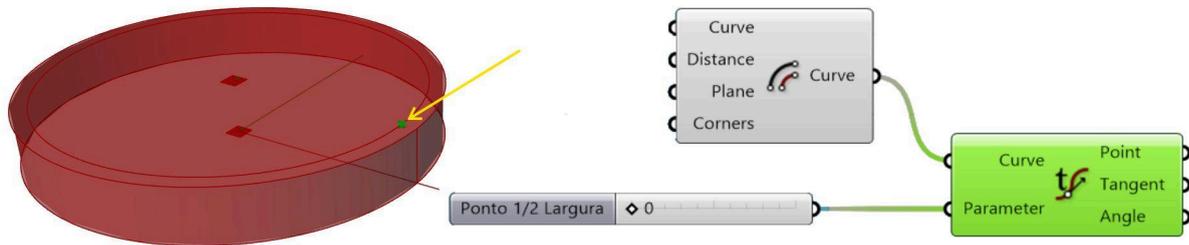
Usando a circunferência anterior como base, cria-se uma circunferência concêntrica para seu interior: Primeiro traz-se um componente chamado *Offset Curve*, e um parâmetro *Number slider* que foi nomeado de *Offset Interno*, conectamos a saída do *Number Slider* com a entrada chamada *Distance* (esta será a separação entre as circunferências); ligamos a entrada chamada *Curve*, com a saída do componente *Circle CNR* de nome *Circle*, isso criará a relação entre as duas circunferências. Esta circunferência foi criada com o intuito de colocar sobre ela colocar os pinos de encaixe do molde.

Figura 188 – Criando uma circunferência concêntrica – [imagem do Autor]



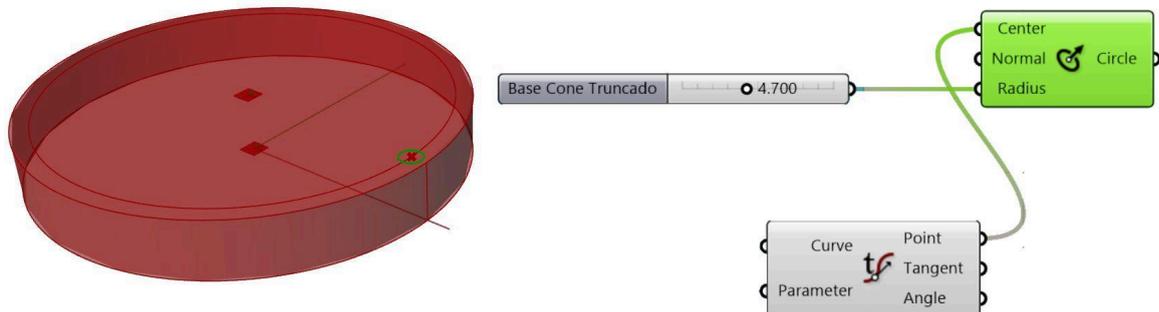
Seleciona-se o componente *Evaluate Curve*, e liga-se sua entrada de nome *Curve*, com a saída do mesmo nome do componente *Offset Curve*, traz-se um novo parâmetro *Number slider*, que aqui foi chamado de ponto $\frac{1}{2}$ Largura, esse parâmetro me permitirá colocar o ponto sobre qualquer lugar da curva.

Figura 189 – Colocando um ponto na circunferência – [imagem do Autor]



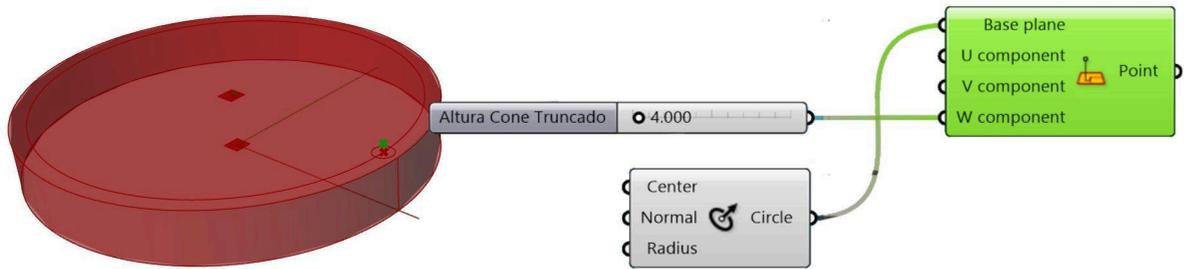
Novamente busco um componente *Circle CNR* e ligo sua entrada de nome *Center*, com a saída do componente *Evaluate Curve* de nome *Point*, chama-se um parâmetro *Number Slider* que nomeia-se de *Base Cone Truncado* e ligamos sua saída com a entrada de nome *Radius* do componente *Circle CNR*, isto será a base do pino de encaixe do molde.

Figura 190 – Criando uma circunferência sobre do ponto – [imagem do Autor]



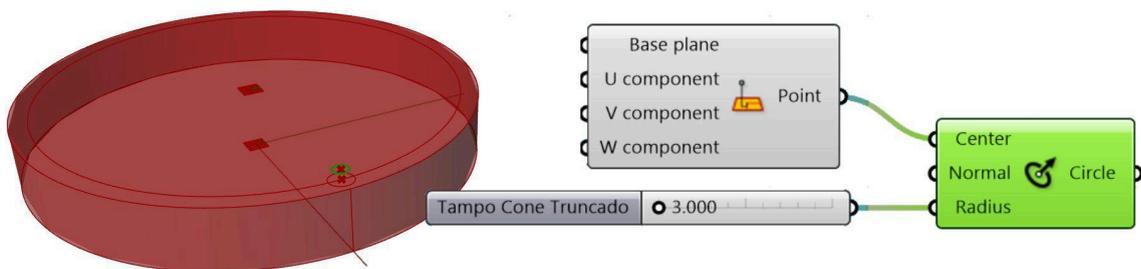
Para criar um ponto flutuante que me permita colocar posteriormente uma nova circunferência cujo centro esteja alinhado com ele: trazemos um componente chamado *Point Oriented* e ligamos sua entrada de nome *Base Plane*, com a saída do componente *Circle CNR*; logo chamamos outro parâmetro *Number Slider* que chamdo de *Altura Cone Truncado*. Este ponto permitirá definir a altura do pino de encaixe do molde.

Figura 191 – Criando um ponto flutuante – [imagem do Autor]



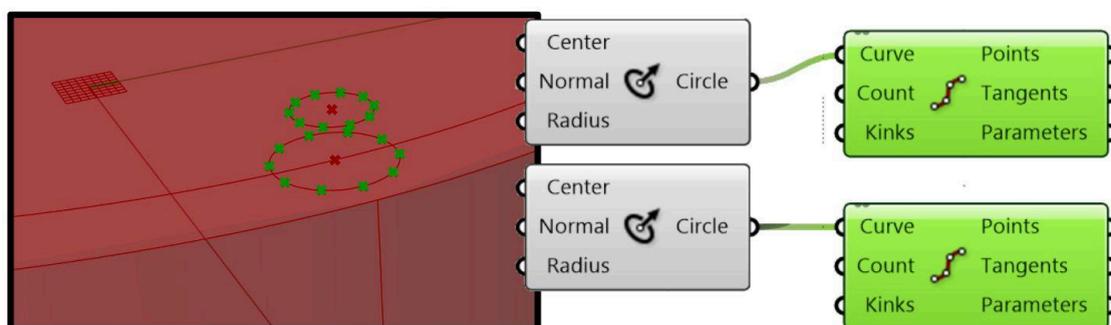
Da mesma maneira que fizemos a base, faremos o topo: com um componente *Circle* *CNR* que ligamos sua entrada *Center* com a saída do componente *Point Oriented*; depois, com um novo *Number slider* que foi chamado de *Tampo Cone Truncado*, ligando sua saída com a entrada de nome *Radius* do componente *Circle* *CNR*.

Figura 192 – Criando uma circunferência ligada ao ponto flutuante – [imagem do Autor]



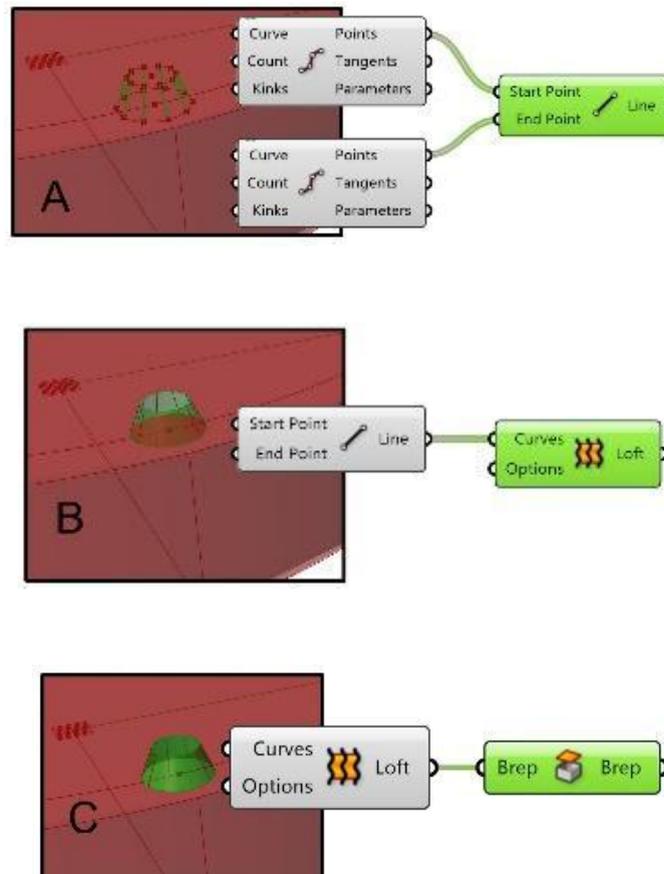
Trazendo dois componentes *Divide Curve* e ligando-os suas entradas de nome *Curve* com as saídas dos componentes *Circle* *CNR*, criam-se uma série de pontos equidistantes sobre ambas circunferências.

Figura 193 – Criando pontos nas circunferências – [imagem do Autor]



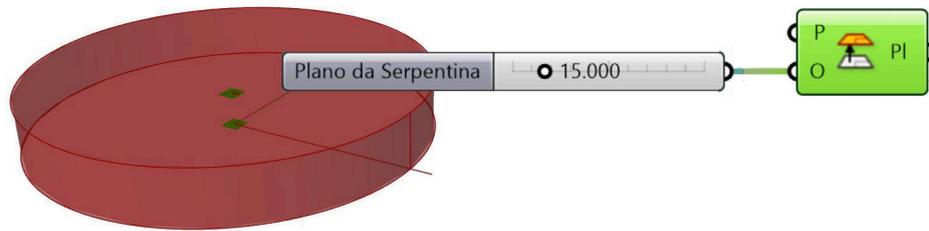
Para criar o Pino de Encaixe: Usa-se o componente *Line* e liga-se aos componentes *Divide Curve* na saída de ambos de nome *Points* com as entradas do componente *Line* (isso criará um aramado); usando *Loft* liga-se sua entrada de nome *Curves* com a saída do componente *Linhas*, o *Loft* se fecha com um *clock* e a opção *Closed Loft*; para finalizar chamamos novamente o componente *Cap Holes*, para tampar o pino.

Figura 194 – Criando o Pino de Encaixe – [imagem do Autor]



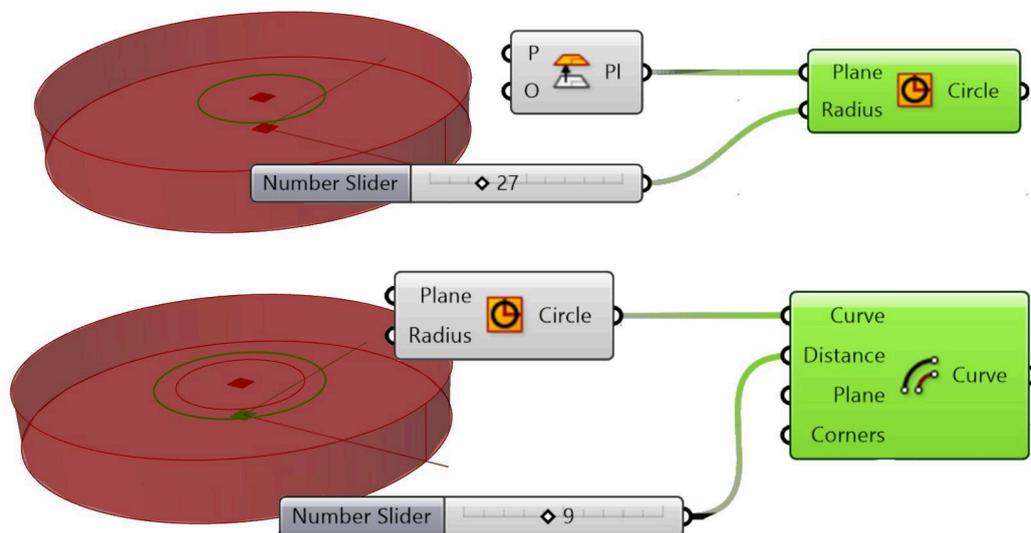
Uma maneira simples de trabalhar o sistema de resfriamento espiral, é fazer círculos concêntricos e depois dar o resto das definições dentro da interface do Rhino 3D. Construindo círculos concêntricos, necessitamos um novo plano que possa ser regulado, para isso: chamamos o componente *Plane Offset* (ele fará um plano paralelo ao plano original); depois trazendo um parâmetro *Number Slider* nomeado aqui como plano da serpentina (este *Slider* movimenta para cima e para baixo o plano para aproximar como desejarmos a serpentina do núcleo de injeção).

Figura 195 – Criando um plano regulável – [imagem do Autor]



Ligado a esse plano móvel é necessário relacionar uma circunferência: com o componente *Circle CNR* liga-se sua entrada de nome *Plane* à saída do componente *Plane Offset*; traz-se um *Number Slider* que servirá para definir o diâmetro do círculo, ligando sua saída com a entrada de nome *Radius* do Componente *Circle CNR*. Precisa-se outra circunferência concêntrica externa à anterior e com uma distância regulável em relação à circunferência original: chama-se o componente *Offset Curve* e ligamos sua entrada *Curve* com a saída do *Circle CNR*; traz-se um parâmetro *Number slider* (para definir a separação entre as circunferências) e liga-se sua saída com a entrada *Distance* do componente *Circle CNR*.

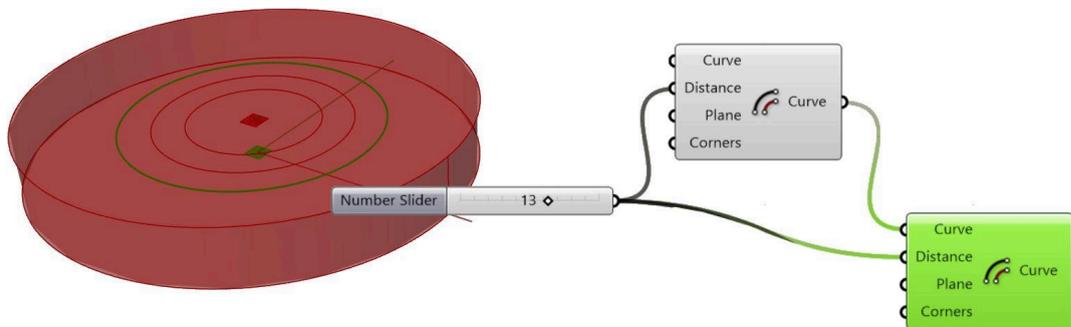
Figura 196 – Criando circunferências concêntricas – [imagem do Autor]



Isto deve ser repetido dependendo da quantidade de voltas que quisermos dar a espiral, unicamente chama-se o componente *Offset Curve* e liga-se sua entrada de nome *Curve*, com a saída do *Offset Curve* anterior e liga-se sua entrada de nome *Distance* ao parâmetro *Number Slider* definido desde a primeira circunferência

(alterando esse parâmetro varia-se a distância entre cada uma das circunferências), agora é só repetir esse passo quantas vezes quiser.

Figura 197 – Criando as circunferências da espiral – [imagem do Autor]



No teste, a primeira injeção é sempre muito importante para avaliar as várias variáveis envolvidas (pressão, tempo, temperatura etc), nem sempre é fácil conseguir uma boa injeção na primeira tentativa, no caso deste molde, o resultado foi o seguinte, como pode ser visto na figura 198.

Figura 198 – Primeira injeção para este molde – [imagem do Autor]

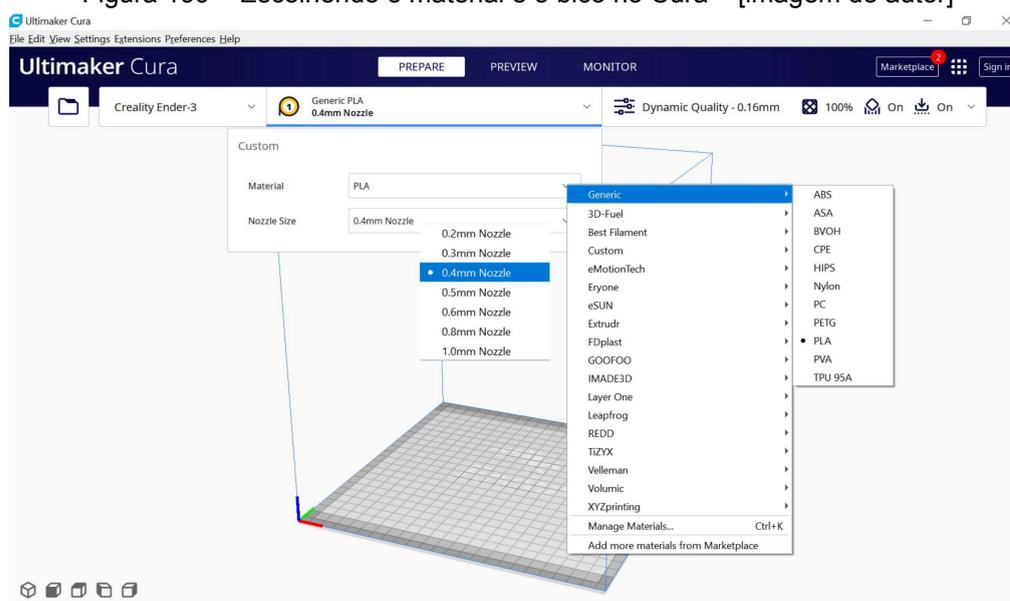


12.4 O Processo de Fatiamento passo a passo

Como definir o diâmetro do bico e o material? Clicando na seta que aparece no lado direito da janela de seleção para estes itens, será desplegado um menu de cascata com as opções Material e Tamanho do Bico, escolhe-se primeiro o bico que tem menos parâmetros para serem definidos, por definição padrão, as impressoras tem um bico de 0,4mm de diâmetro, e não mudaremos isso, pois é o tamanho ideal para a maioria das impressões, salvo contadas exceções, exemplo: se requerer uma impressão com maior qualidade de impressão, é melhor usar um bico 0.2mm; já se por outro lado precisa de velocidade sem importar o acabamento, pode ir até a opção de 1mm de diâmetro.

No caso do material, o projeto trabalhou com 3 diferentes tipos de materiais, PLA (Ácido Polilático), PETG (Polietileno Tereftalato Glicol) e TRITAN, o *software* permite carregar as configurações de material até pela marca do filamento, infelizmente, por ser um *software* norte-americano unicamente trabalha com marcas que raramente tem presença no Brasil, mas ele tem uma opção que funciona de maneira muito boa, que é a de configurações genéricas, nelas é possível selecionar o material desejado para o momento específico do trabalho, com uma exceção, o TRITAN, por ser um material muito específico não aparece dentro das opções pré-carregadas, para esse caso usaremos as mesmas configurações do PLA.

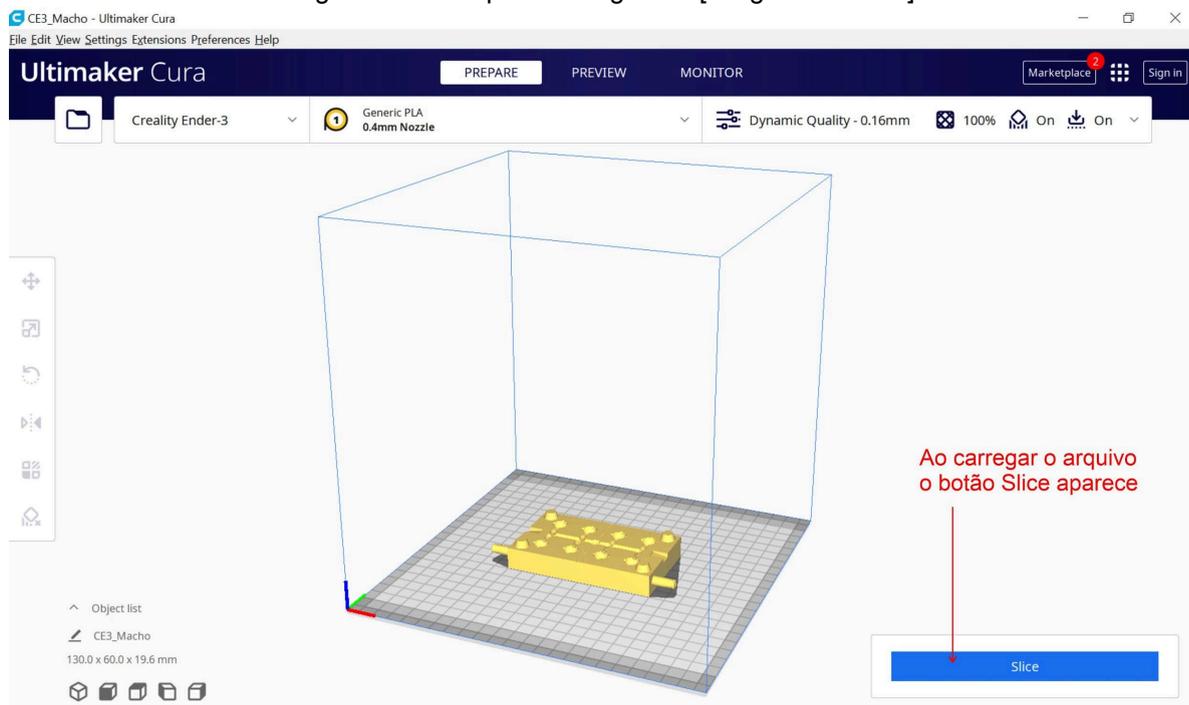
Figura 199 – Escolhendo o material e o bico no Cura – [imagem do autor]



3 - Seleção do material e o diâmetro do bico

Assim que carregado o modelo para impressão, no *layout* do Cura, automaticamente aparece o botão de fatiamento (*slice*), no canto inferior direito, em um retângulo azul.

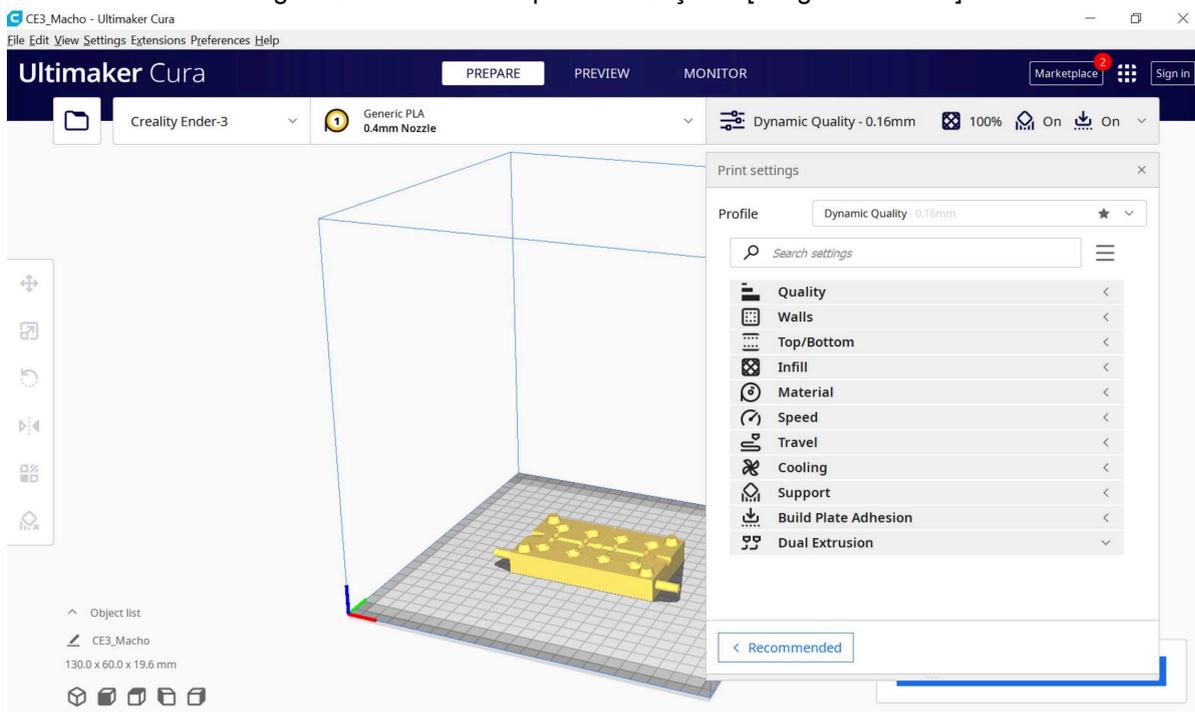
Figura 200 – Arquivo carregado – [imagem do autor]



4 - Janela PREPARE é a janela selecionada ao abrir o software

Para abrir a janela das configurações do projeto, basta clicar em cima dela, aparecerão 11 opções para realizar o arranjo necessário no modelo, nem todos os parâmetros serão utilizados, isso devido a que alguns deles são parâmetros muito específicos que neste caso em particular não são necessários.

Figura 201 – Janela de parametrização – [imagem do autor]

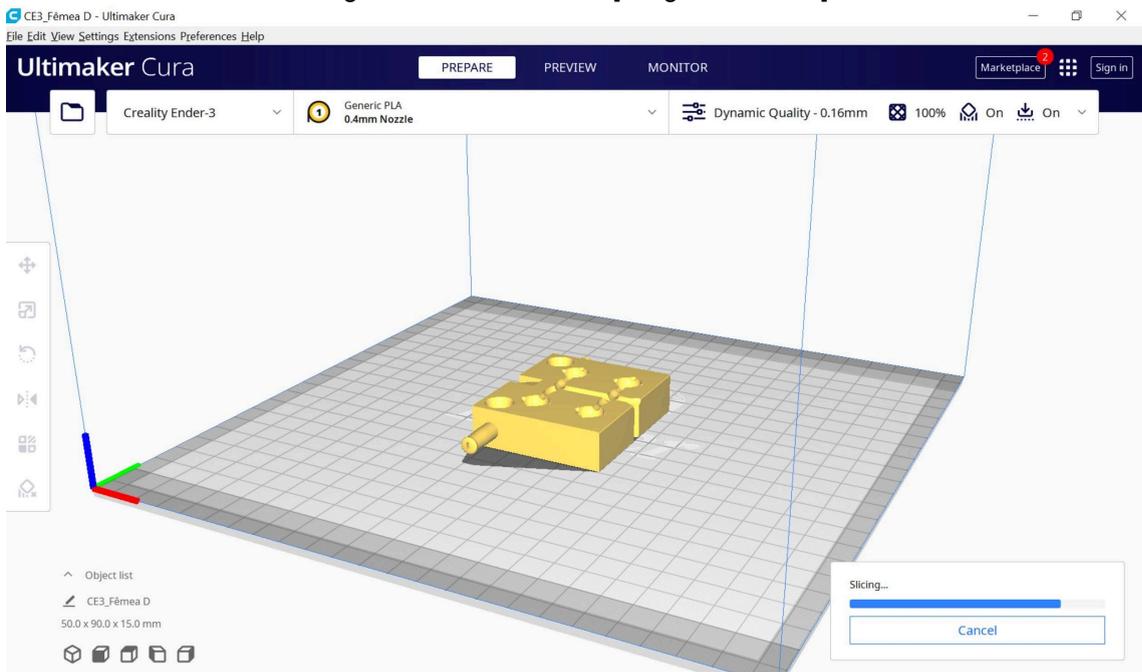


7 - Área para carregar as configurações no arquivo para impressão

Mais adiante, em posteriores imagens será explicado o processo de fatiamento passo a passo, a intenção agora é fazer uma introdução rápida do *layout* geral e sua utilização.

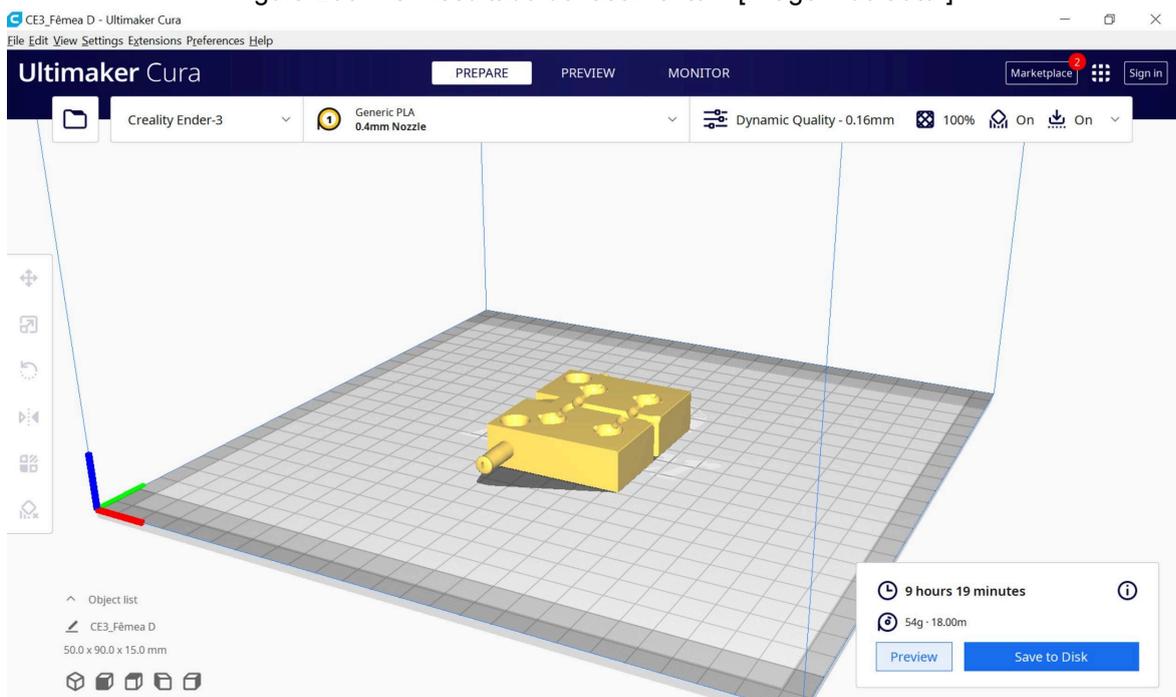
Uma vez definidos os parâmetros de impressão, somente será preciso clicar no botão *Slice*, para que o *software* realize os cálculos necessários, e assim entregar o resultado do projeto que será impresso.

Figura 202 – Fatiando – [imagem do autor]



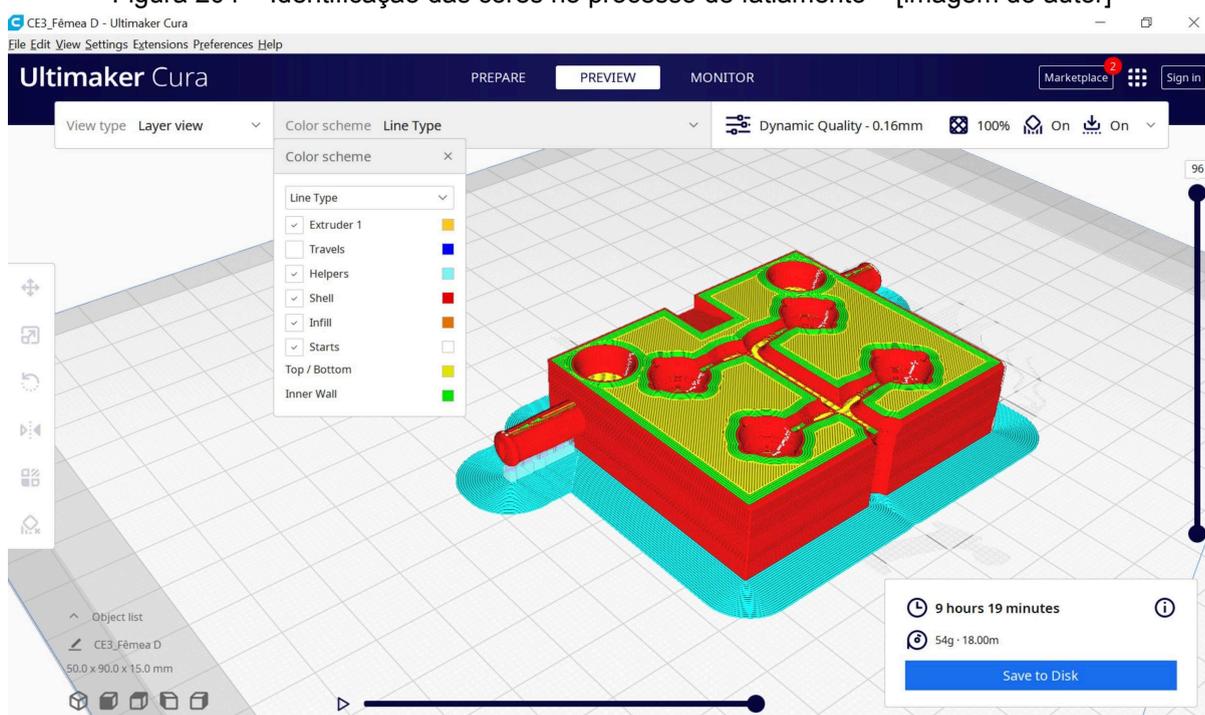
Qual será o resultado? Uma vez feito o fatiamento o *software* mostrará uma estimativa do tempo e do material gasto para aquela impressão com os parâmetros definidos até então, e dará duas novas opções, a visualização prévia (*preview*), e o Salvamento (*Save to Disk*).

Figura 203 – O Resultado do fatiamento – [imagem do autor]



Selecionando a opção *PREVIEW*, o modelo trocará sua maneira de apresentação, o que aparecia como um modelo homogêneo na cor amarela, agora se mostrará colorido. Se clicar na parte superior da tela, na área central onde diz “*Color Scheme Line Type*” será desplegado um menu de cascata com a classificação de cada uma das cores que aparecem no modelo: na cor Ciano, aparecem os chamados “*Helpers*” os auxiliares para a produção do modelo, elementos como *Brims*, *Skirts*, e Suportes (posteriormente serão explicados), todos eles serão representados nessa cor; “*Shell*” na cor vermelha identifica a construção das paredes externas; “*Infill*” assinala com laranja todo o processo construtivo interno do modelo; em branco aparecem os “*Starts*”, os inícios de cada camada que será construída; em amarelo aparecem “*Top/Bottom*” a Base e o Topo da construção da peça; e finalmente na cor verde, o “*Inner Wall*”, ou as paredes internas do modelo.

Figura 204 – Identificação das cores no processo de fatiamento – [imagem do autor]



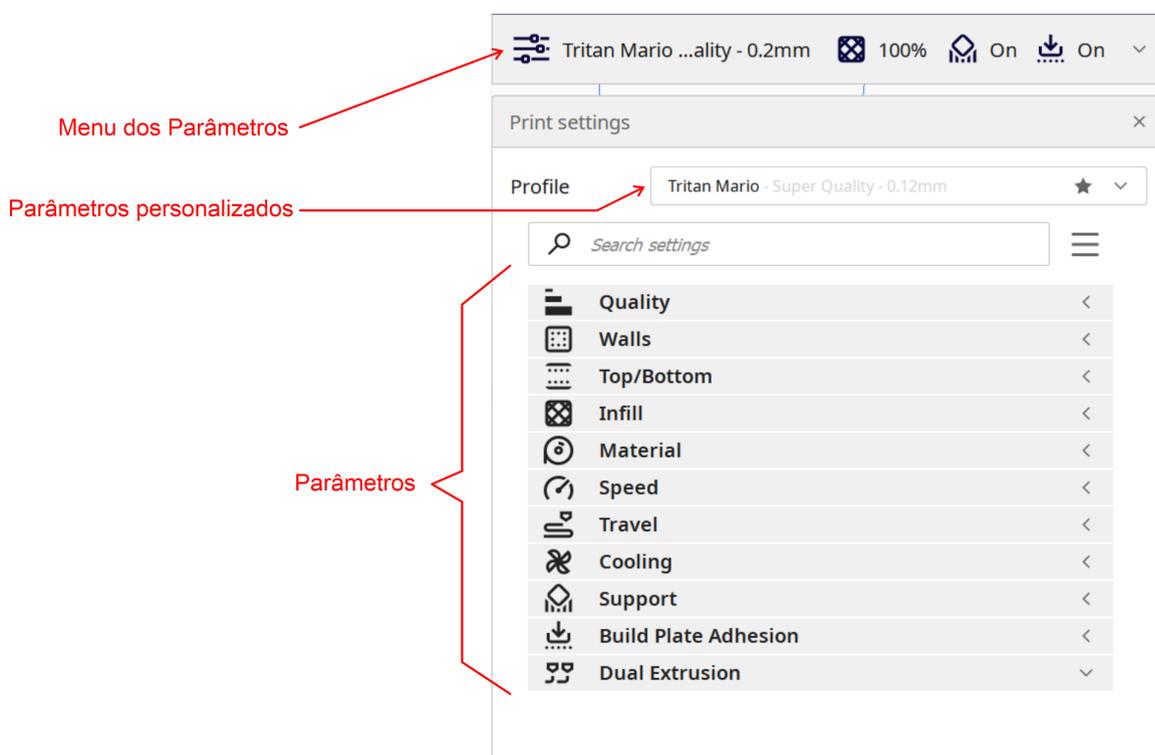
12.5 Criando Perfis e definindo parâmetros

Criar Perfis, é organizar os parâmetros de maneira personalizada, ou seja, ter perfis próprios, que sejam os ideais para nosso trabalho e para as máquinas que usamos.

Para gerar meus Perfis é preciso clicar no menu dos Parâmetros, automaticamente será aberto o menu de cascata com as opções de parametrização possíveis, esses

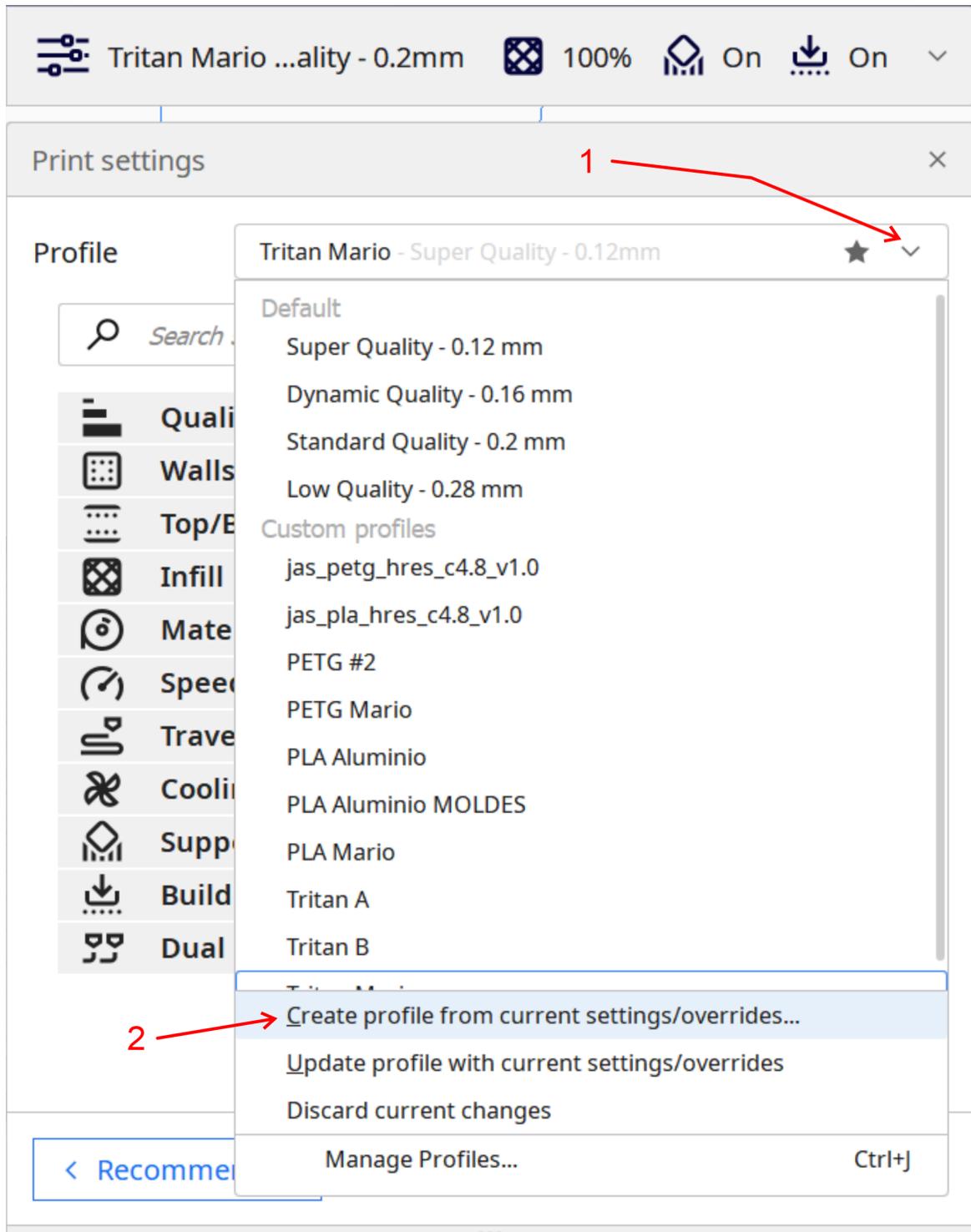
parâmetros serão ajustados a depender do material e a impressora que for usar (no caso das impressoras, somente mudarão se elas variam muito de um modelo para outro).

Figura 205 – Menu de Parâmetros e parâmetros – [imagem do autor]



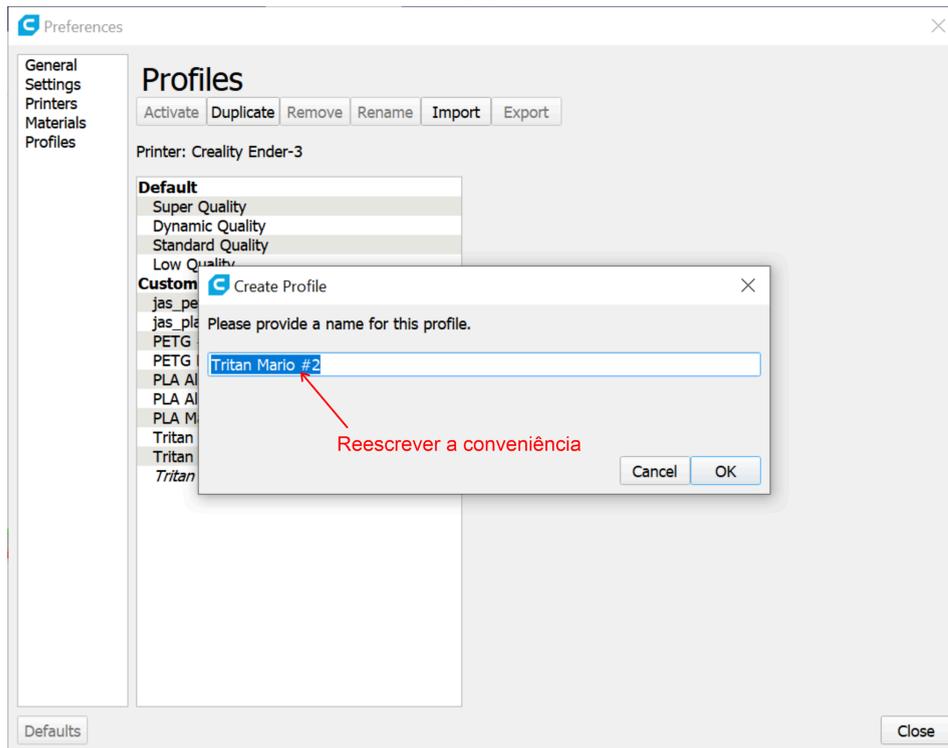
Criar um perfil para um material específico, é relativamente simples, somente é preciso clicar na seta que aponta para baixo, localizada no menu *Profile*, ao lado da estrela. essa seleção abrirá um menu de cascada onde deve-se escolher a opção “*Create profile from current settings/overrides...*”

Figura 206 – Criando um novo perfil A1 – [imagem do autor]



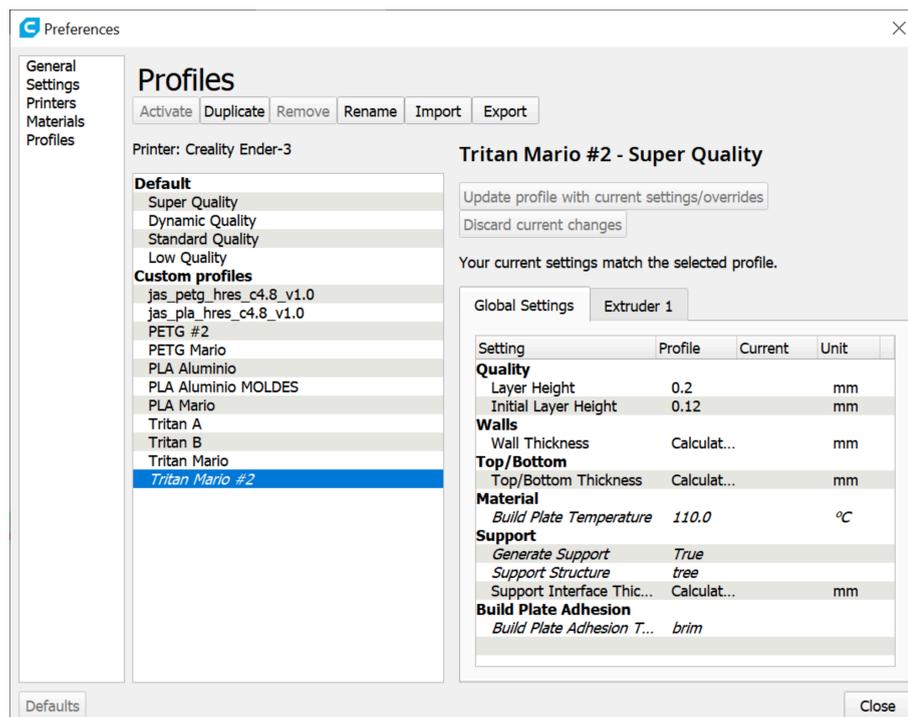
A ação anterior, abrirá uma nova janela onde deve-se reescrever o nome que deseja dar a esse perfil, esse nome é particular mas precisa ter alguma indicação de para qual tipo de material ele será usado.

Figura 207 – Criando um novo perfil A2 – [imagem do autor]



Uma vez reescrito o nome, é necessário clicar em **OK**, isso abrirá uma nova janela que nos mostrará os parâmetros que se encontram carregados dentro desse perfil, e é sobre esses parâmetros que iremos trabalhar.

Figura 208 – Criando um novo perfil A3 – [imagem do autor]



Para finalizar essa etapa, unicamente precisa-se clicar na opção *Close*, que esse comando fechará a janela e deixará carregado esse novo Perfil.

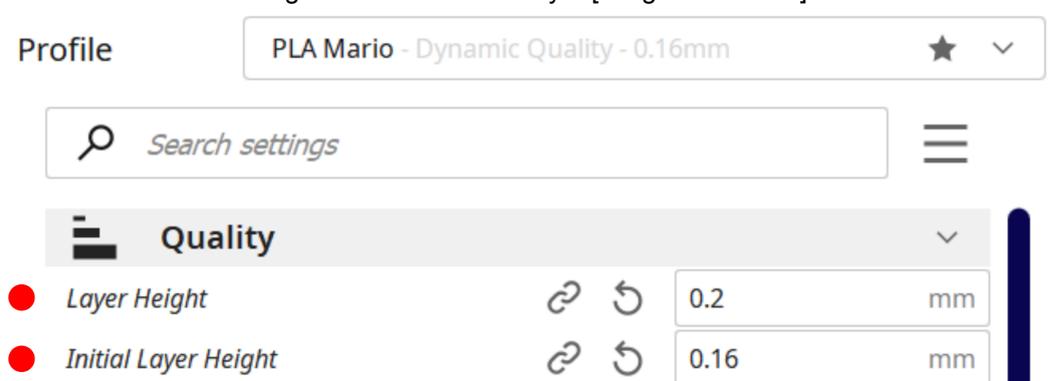
O primeiro material que será colocado aqui para ser trabalhado é o PLA, dos 3 diferentes materiais a serem trabalhados é o mais simples de ser trabalhado, é difícil uma impressão em PLA não dar certo.

A sigla PLA remete ao Ácido Polilático, que é um polímero termoplástico. Esse material é derivado de fontes naturais como o milho e a cana de açúcar, e por isso pode ser chamado de bioplástico (“[Filamento PLA para Impressora 3D - 3D Fila](#)”, [s.d.]).

Segundo a 3D Fila [s.d.] “O PLA se destaca no mercado por ser um dos materiais mais fáceis para se utilizar na impressão 3D, garantindo bons resultados para as peças fabricadas com ele. Se destaca também por ser um material renovável e biodegradável, o que significa que as peças impressas utilizando o filamento PLA podem ser descartadas na natureza e irão ser decompostas dentro de alguns anos (existem condições específicas de compostagem)”.

Dentre os três materiais usados para as impressões FDM, o PLA é o que tem a menor resistência à compressão e à tração. No item **Quality** os parâmetros escolhidos foram os que aparecem na figura 209, isto para a segunda leva de moldes, que trouxe moldes maciços e mais refinados, especificamente enquanto a utilização dos parâmetros usados nos primeiros (as indicações de pontos vermelhos nas figuras, servem para assinalar os parâmetros que foram ajustados a esses valores, especificamente para esta pesquisa).

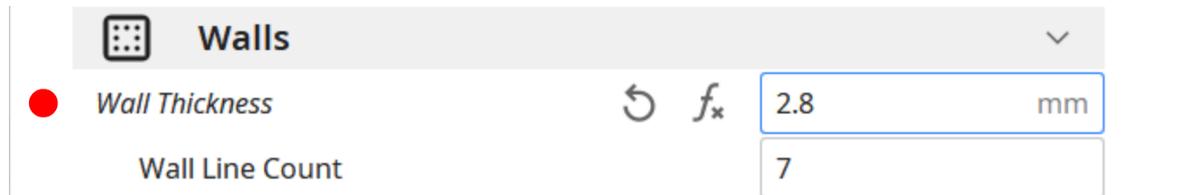
Figura 209 – PLA Quality – [imagem do autor]



No tocante ao item **Walls**, para o primeiro exercício com os moldes, foram colocadas paredes de 4mm de espessura (isto também se deve a que nestes primeiros

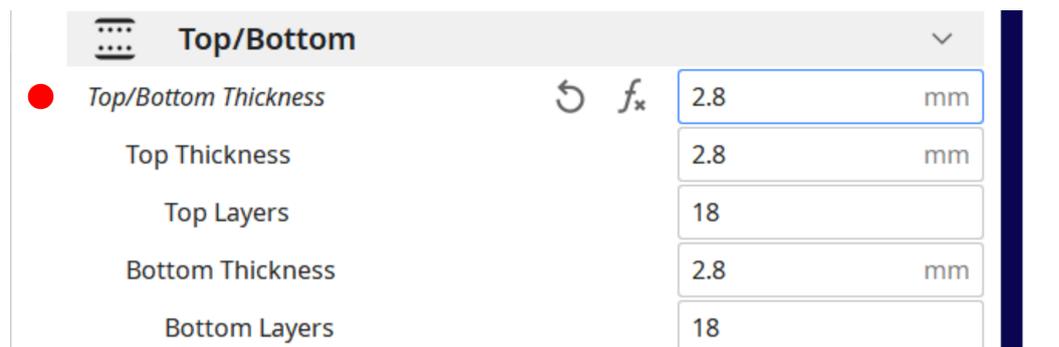
modelos, o Infill não era saturado, e sim trabalhado ao 40%), já na segunda leva de moldes o infill foi saturado e isso fez com que as paredes diminuíssem para 2,8mm.

Figura 210 – PLA Walls – [imagem do autor]



Top/Bottom altera os parâmetros iniciais e finais da impressão, enquanto a sua altura, a largura do fluxo de impressão é determinada pelo item *Walls*. Neste passo, não é necessário alterar todos os parâmetros existentes, já que todos eles estão atrelados ao primeiro, então, ajustando o primeiro o resto se altera automaticamente.

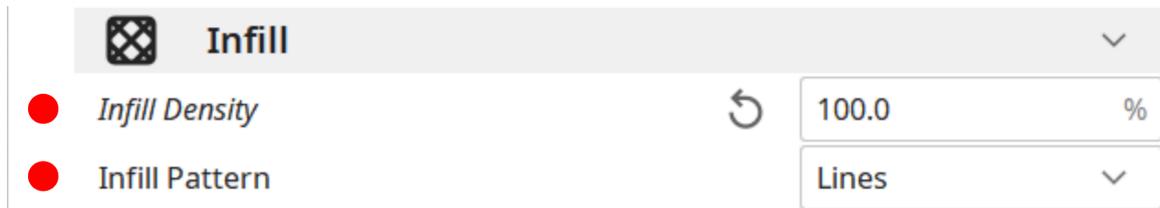
Figura 211 – PLA Top/Bottom – [imagem do autor]



Infill, este item dita a construção interna do modelo, ela pode ser alterada dentre mais de 10 possíveis opções, nos primeiros projetos foi usado um *Infill Triangles* com uma proporção de 40%, já para os segundos foi escolhida uma opção de Infill saturado, ou seja ao 100%, isto depois de avaliar que as superfícies em contato direto transmitem melhor as mudanças de temperatura.

Para o segundo exercício, o sistema atualiza o padrão do *Infill (Infill Pattern)* para Linhas (*lines*) automaticamente quando o preenchimento é de 100%, pois com esse padrão a impressora economiza tempo no momento de imprimir.

Figura 212 – PLA Infill – [imagem do autor]



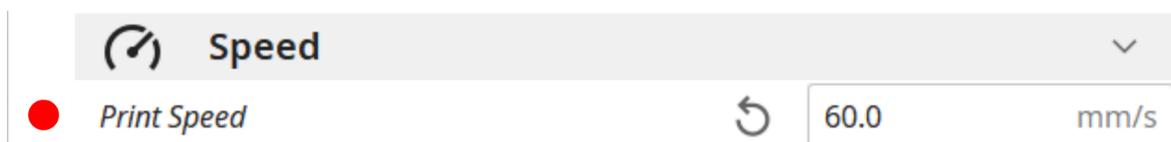
Falando das impressões em PLA, elas foram trabalhadas nos dois modelos de impressoras FDM que o projeto tinha disponíveis. A impressora Ender 3 PRO, tem um bico (*hotend*) de aço inoxidável, que trabalha melhor quando a temperatura é elevada para 210° C, já a impressora Ender 3 V2, tem um bico (*hotend*) normal de Latão, que trabalha bem desde os 200° C. a Mesa (no Brasil, nos EUA é chamada de Cama [*Bed*]) mantém a mesma temperatura para ambas impressoras. A seguir se mostram os dois parâmetros alterados no item **Material**.

Figura 213 – PLA Material – [imagem do autor]



O item **Speed** (velocidade), quando se trabalha com o PLA que é o material mais nobre enquanto a resultados, permite velocidades maiores sem problemas, e sem maiores ajustes no momento da impressão.

Figura 214 – PLA Speed – [imagem do autor]



O **Travel** (Percurso), envolve a retração, que é a ação do bico se afastar da impressão a cada ciclo de deposição de material, este item é importante para não criar uma impressão cheia do que popularmente se chama “cabelinhos” (grande quantidade de plástico que é puxado pelo bico ao se afastar da peça, quando não foi

calibrada da maneira correta). Neste item, unicamente temos que habilitar o quadro que ativa a retração, e verificar que os parâmetros apareçam como na figura 215.

Figura 215 – PLA Travel – [imagem do autor]



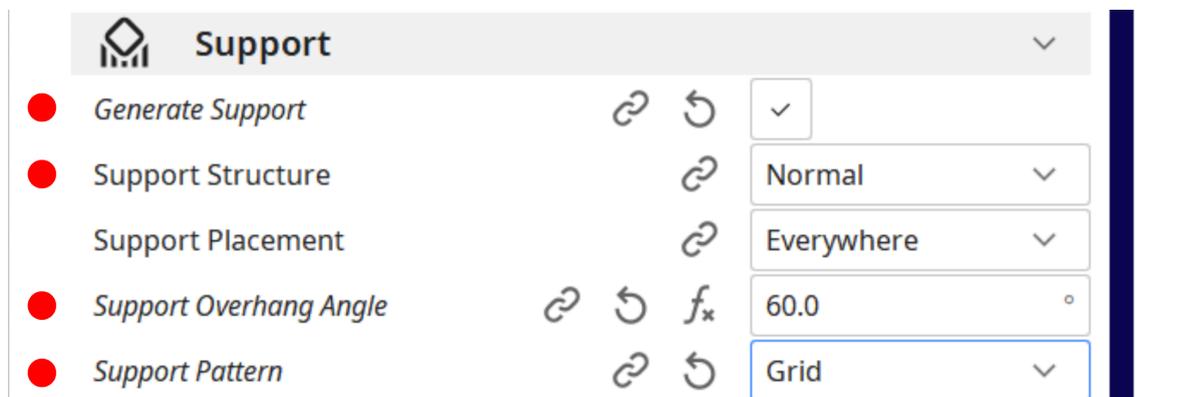
Cooling, neste item, unicamente devemos verificar que esteja ativo e que esteja no 100% do seu funcionamento, o PLA precisa de um resfriamento máximo..

Figura 216 – PLA Cooling – [imagem do autor]



Support (o suporte) é essencial para sustentar elementos que se encontram com uma angulação maior a 60° em relação à mesa (essa variável foi atingida depois de vários testes de aumento da angulação, até encontrar a máxima, sem comprometer o projeto), deve estar ativo, podemos escolher entre 2 opções de estrutura e localização, e mais de 5 modelos diferentes.

Figura 217 – PLA Support – [imagem do autor]



A maneira como o modelo estará ancorado à mesa, o **Built Plate Adhesion**, é importante para que o modelo não descole da mesa no meio da impressão (situação que provoca, além de raiva, perdas importantes de material), recomenda-se usar a opção *Brim* que é uma espécie de extensão da base da peça para ter maior área de contato.

Figura 218 – PLA Built Plate Adhesion – [imagem do autor]



O último item, **Dual Extrusion**, somente será usado no caso de ter uma impressora de bico duplo.

Os tempos de impressão, e as quantidades de material utilizados, exemplificados em gramas e metros lineares, são indicados como explicados anteriormente, quando aplicada a opção Slice, que realiza o cálculo e o fatiamento da peça para posterior impressão. No meu projeto (no caso a segunda leva de moldes, do molde específico de explosivos) os tempos e quantidades estimadas, aparecem a seguir (lembrando que estamos falando do PLA).

Figura 219 – PLA, Tempo e Material empregados – [imagem do autor]



O segundo material a ser trabalhado foi o **PETG**, Segundo a 3D Fila [s.d.] O filamento PETG é um copoliéster durável. O PET, pense no plástico de garrafas, e o G do glicol modificado para durabilidade extra. Alta resistência, dureza e odor neutro de processamento.

Ele veio nessa sequência, por ser também o material com dificuldade de tratamento intermediária, o **PETG**, é um material mais resistente, mas também mais elástico quando comparado com o PLA, porém, ele tem maior dificuldade de impressão, precisa de uma velocidade menor e bem controlada, assim como também é mais sensível às mudanças de temperatura. O material **PETG** foi trabalhado na impressora Ender 3 PRO.

Figura 220 – PETG, parâmetros de impressão – [imagem do autor]

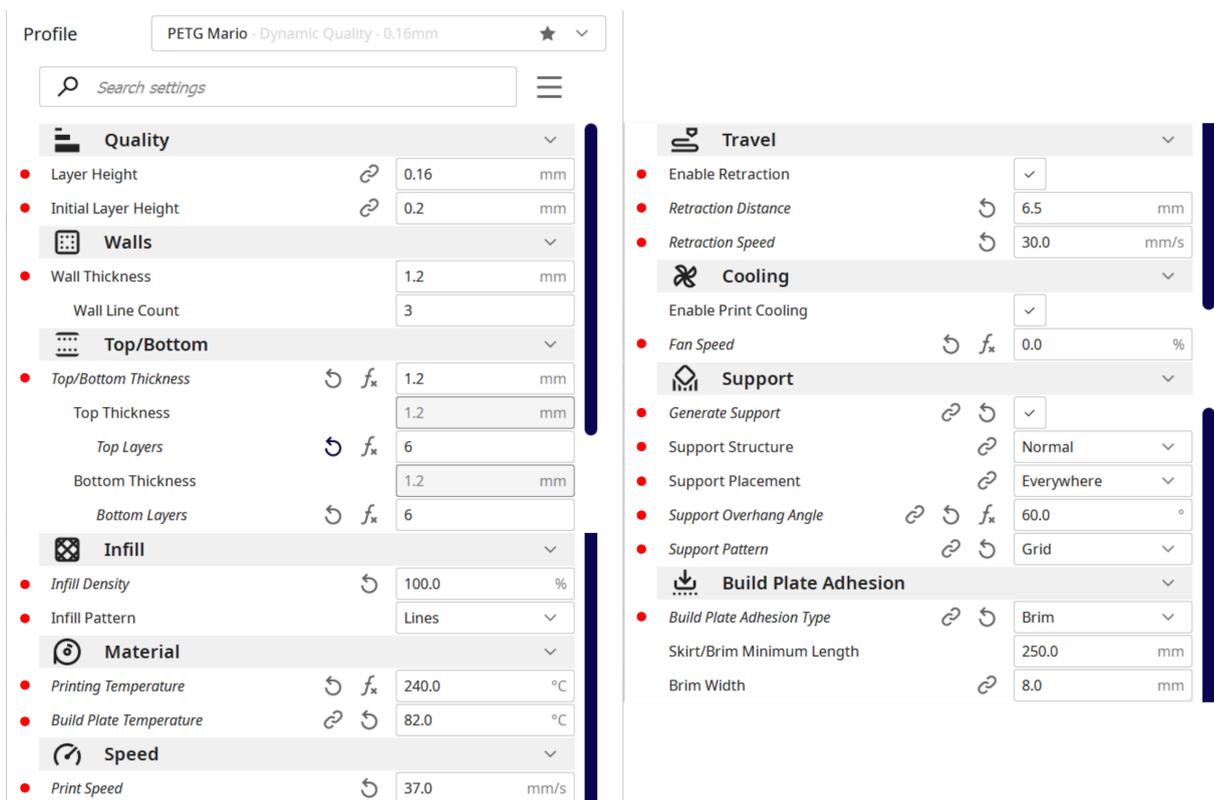
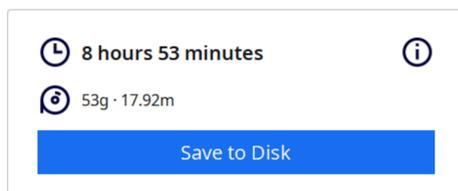
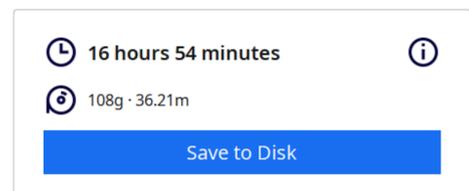


Figura 221 – PETG, Tempo e Material empregados – [imagem do autor]



Fêmea D e E / PETG



Macho / PETG

O último material usado nas impressoras FDM foi o **TRITAN**, ele é um material muito menos comum que os dois anteriores.

“O *Filamento Tritan HT* é um copoliéster durável, sendo o material de maior resistência térmica e mecânica do mercado. Essa excelente resistência mecânica é suficientemente forte para todos os tipos de forças a serem aplicadas na peça (tração, impacto, cisalhamento). Além disso sua maior resistência térmica é apreciada, já que as peças produzidas com esse filamento para impressão 3D resiste a altas temperaturas de aproximadamente aos 100°C. Outra característica importante é sua excelente resistência química, às soluções alcalinas, ácidas e água” ([Filamento PLA para Impressora 3D - 3D Fila, \[s.d.\]](#)).

Este material foi impresso na impressora Ender 3 V2, pois apresentou melhores resultados em relação à 3 PRO, os parâmetros aparecem a seguir.

Figura 222 – TRITAN, parâmetros de impressão – [imagem do autor]

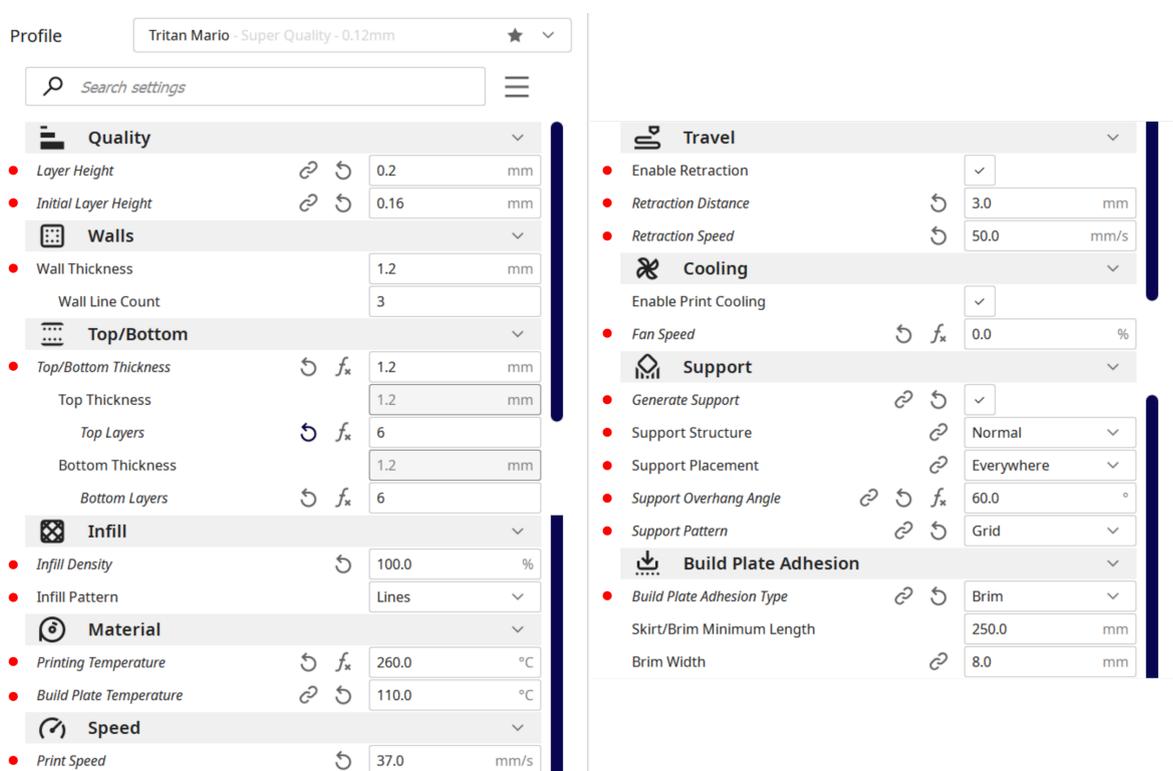
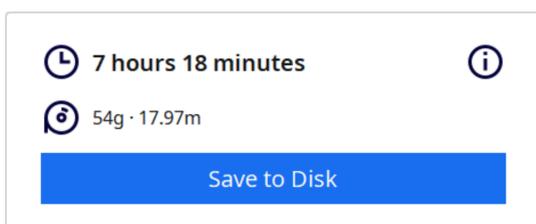
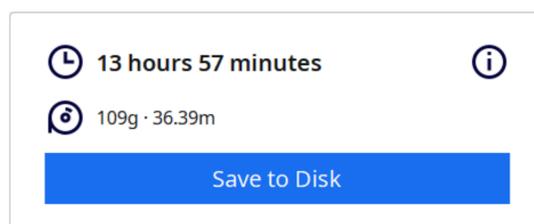


Figura 223 – TRITAN, Tempo e Material empregados – [imagem do autor]



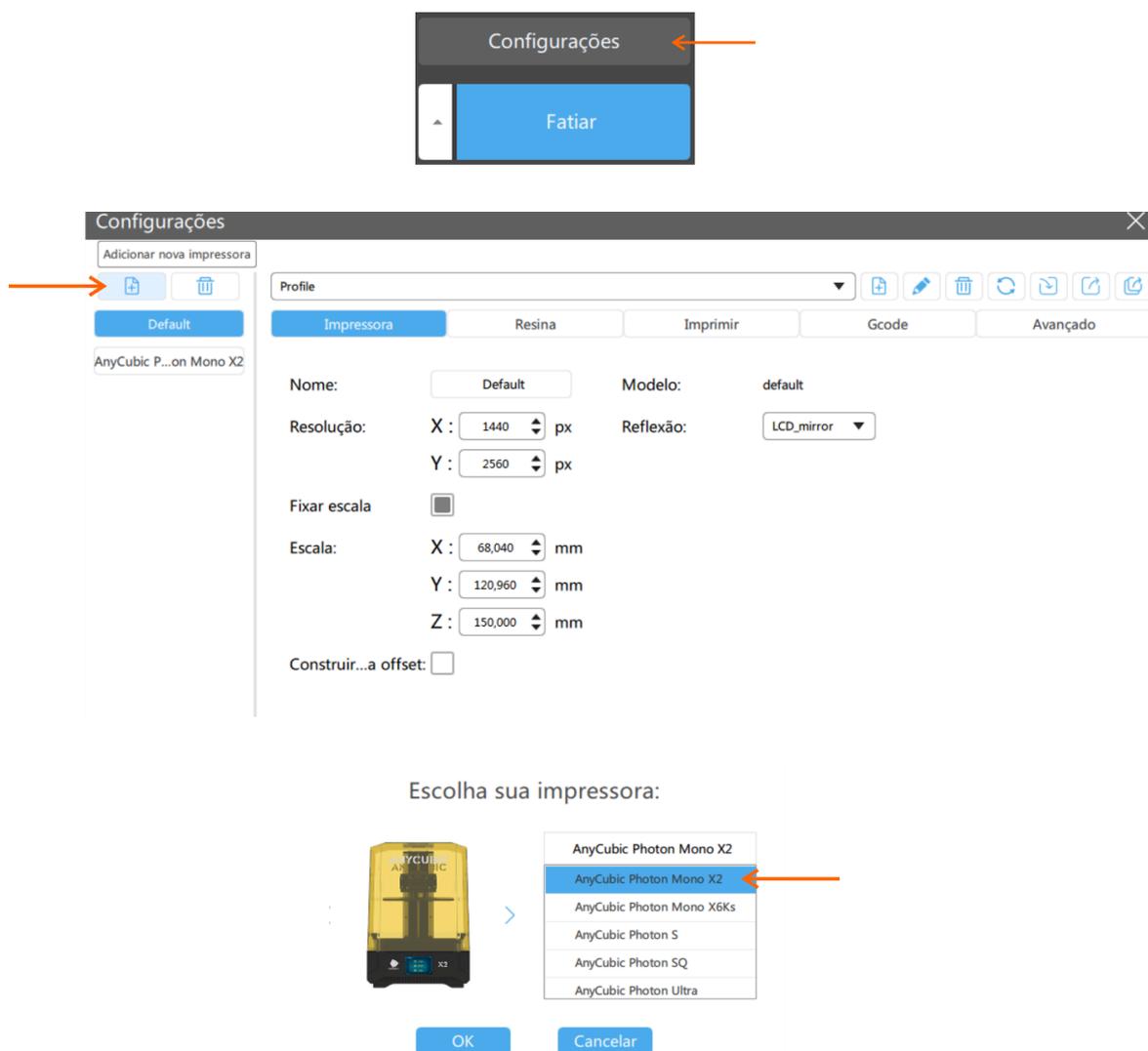
Fêmea D e E / TRITAN

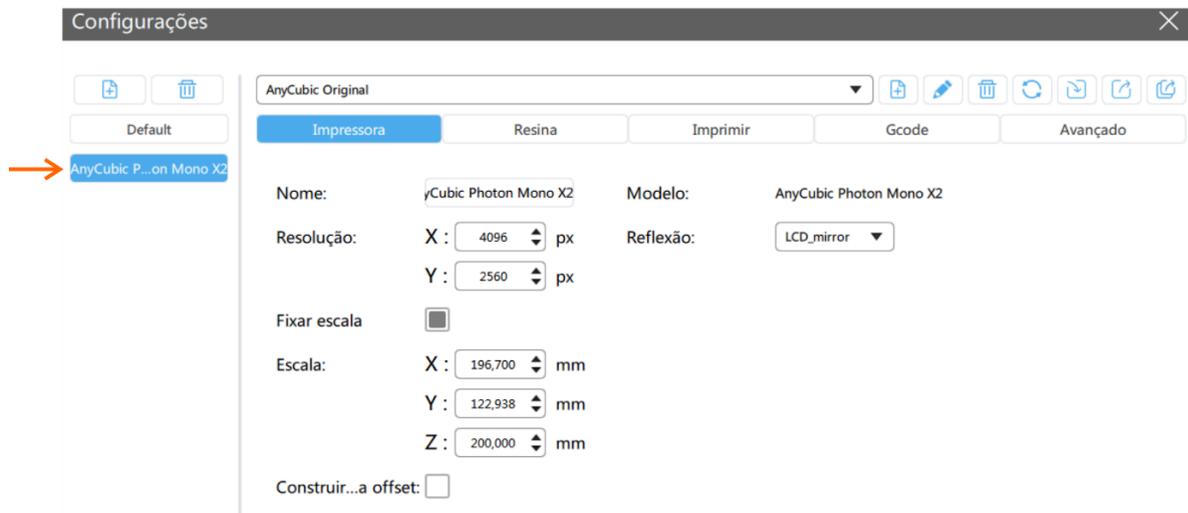


Macho / TRITAN

O processo de organização dos parâmetros iniciais dentro do Chitubox também é mais simples do que o realizado no Cura. Primeiramente deve-se clicar na opção Configurações (opção acima do botão Fatiar), esta ação abrirá a janela Configurações, onde será feito o carregamento da impressora a ser utilizada, da mesma forma que no Cura, se o modelo de impressora que for usado não estiver cadastrada, existe um modelo padrão chamado *Default* para ser usado. No caso específico do projeto, o laboratório Grea3D conta com uma impressora modelo Anycubic Photon Mono X2, e esse modelo vem configurado previamente dentro do *software* de fatiamento Chitubox. Isto é feito dentro da opção **Adicionar nova Impressora** é só uma questão de seleção do modelo, uma vez escolhida, aparecerá abaixo da opção *Default*, como o modelo ativo.

Figura 224 – Carregando o modelo de impressora – [imagem do autor]





Dentro do modelo de impressora selecionada, deverá ser ativado o menu **Imprimir**, este será o único menu dentro do qual faremos ajustes para a impressão, o resto dos menus geram alterações muito específicas, mas os parâmetros ajustados são suficientes para nossas necessidades. Como partiu-se da configuração base para a impressora Anycubic Photon Mono X2 os parâmetros encontram-se ajustados, tendo isso em mente, é só mandar imprimir para ver o resultado.

O resultado com os parâmetros base, não foram totalmente satisfatórios, foram impressos dois dados, um diretamente apoiado na mesa de impressão com um ângulo no seu eixo X de 30° o outro com suportes e disposto paralelo à base, este último apresentou um envergamento na face que estava orientada para a mesa de impressão; e o que foi impresso oblíquo à mesa, apresentou uma base deformada e com muito material depositado na aresta de contato. Ambos testes utilizaram a resina Cristal.

Figura 225 – Primeiros testes de impressão SLA – [imagem do autor]



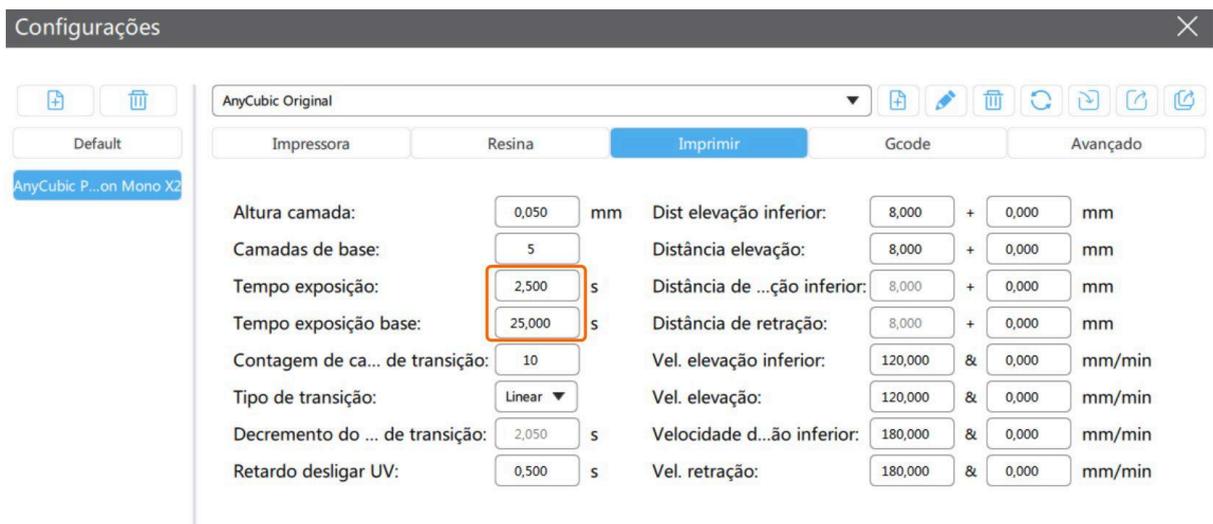
O resultado da impressão teste, obrigou a fazer ajustes milimétricos em dois parâmetros principalmente, eles foram, **Tempo de exposição** e **Tempo de**

Exposição da base, o que foi feito foi diminuir décimos de milímetro no primeiro e milímetros no segundo. Para cada ajuste realizado, foi criado um novo perfil, além do existente que chamamos de Anycubic Original, isto é fácil de realizar, ao lado direito do nome do perfil existe a opção Adicionar novo perfil, clicando nela, o *software* faz uma cópia do primeiro acrescentando ao nome o número 1 (ou o número seguinte segundo for o caso), depois, é só clicar na opção Editar o nome do perfil (esta fica ao lado da anterior), desta maneira temos um novo perfil que pode ser modificado a contente.

Figura 226 – Ajustando para um novo perfil – [imagem do autor]



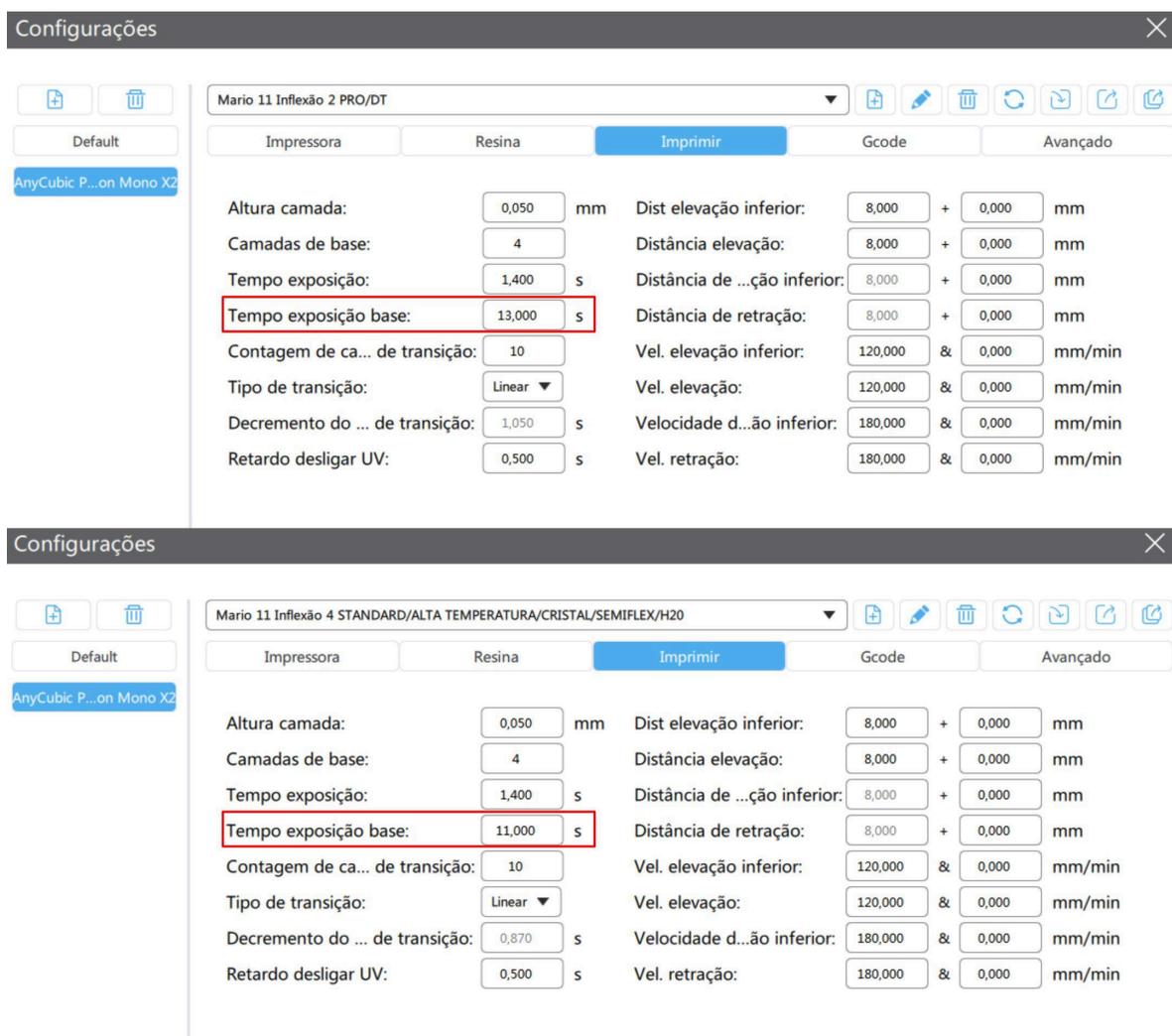
Figura 227 – Parâmetros a ser ajustados com tecnologia STL – [imagem do autor]



Ao todo, foram feitos 11 testes com a resina **Cristal**, diminuindo o valor dos parâmetros como foi indicado, até chegar no momento em que um dos elementos

não pode ser construído, a partir daí, unicamente foi alterado o parâmetro **Tempo de exposição da base**, continuando com a diminuição de um milímetro a cada vez, ao final do exercício, o resultado para a resina **Cristal** foi: **Tempo de exposição 1,4s**; e **Tempo de exposição da base 11s**. A partir da segunda resina experimentada (no caso a resina **Pro**) o processo foi simplificado, uma vez que já tínhamos parâmetros base como guia, no caso da resina **Pro** foram feitos unicamente 3 testes com os últimos parâmetros aplicados na resina Cristal, o resultado foi: **Tempo de exposição 1,4s**; **Tempo de exposição da base 13s**. Para a resina Standard o resultado foi: **Tempo de exposição 1,4s**; **Tempo de exposição da base 11s**, para finalizar com a resina de **Alta Temperatura** o resultado foi: **Tempo de exposição 1,4s**; e **Tempo de exposição da base 11s**.

Figura 228 – Variação do tempo de exposição da Base – [imagem do autor]



12.6 Tangibilizando o processo

Para transitar entre os diversos menus do software da impressora é usado o Botão de controle manual, Pressionando-o, faz-se a mudança de tela, para ir adentrando nos menus existentes, e para subir ou descer nos posteriores menus unicamente é necessário girar o botão para a direita (descer) ou esquerda (subir), todos os menus têm sempre no item superior a opção para voltar ao menu anterior.

A impressora conta com três caminhos para realizar o seu aquecimento e poder funcionar: o 1º carregar o arquivo a ser impresso, neste caso, a impressora realizará o processo automaticamente, este modo funciona muito bem quando trabalha-se com PLA, pois o aquecimento da Mesa sempre é mais demorado que o do Bico, quando for usar outro material, pode ser mais viável usar uma das outras duas opções; 2º através do menu Prepare encontram-se duas opções pré-configuradas, o aquecimento para PLA ou ABS, selecionando qualquer uma das opções, pode se realizar o aquecimento do Bico e da Mesa em conjunto, ou separadamente;

Figura 229 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor]

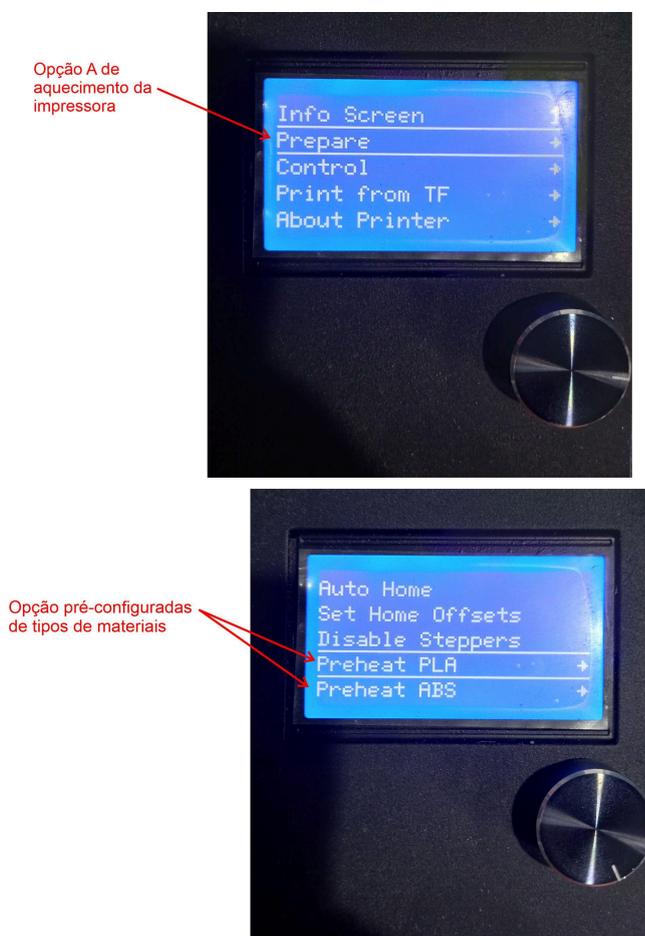
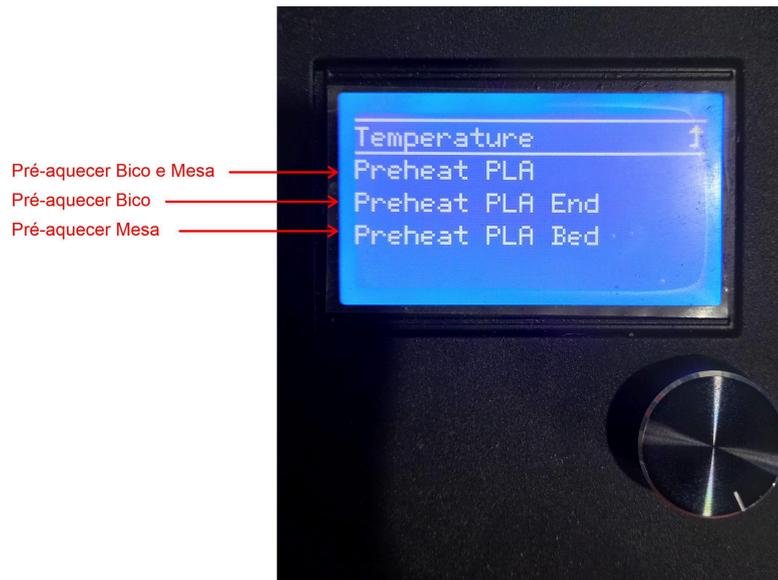


Figura 230 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor]



A 3ª opção, é entrar pelo menu Control, selecionar a opção *Temperature*, e no próximo menu podemos realizar a configuração de temperatura que desejar de maneira individual para o Bico (*Nozzle*) e para a Mesa (*Bed* [lembrando que no Brasil não dá-se o nome de Cama para esse elemento]). Podemos também dentro desse menu, se precisar, usar a opção para regular a percentagem de arrefecimento da ventoinha, é só entrar dentro do item *Fan Speed* e escolher a percentagem que pensar adequada para o processo ou um momento isolado.

Figura 231 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor]

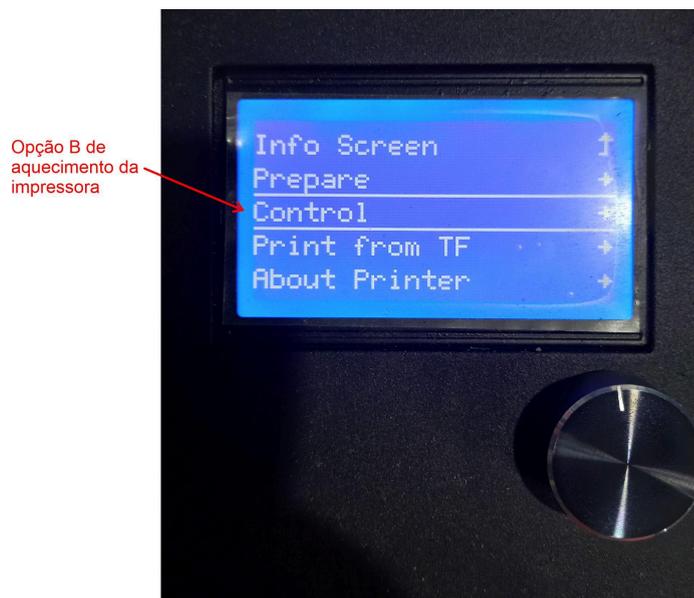




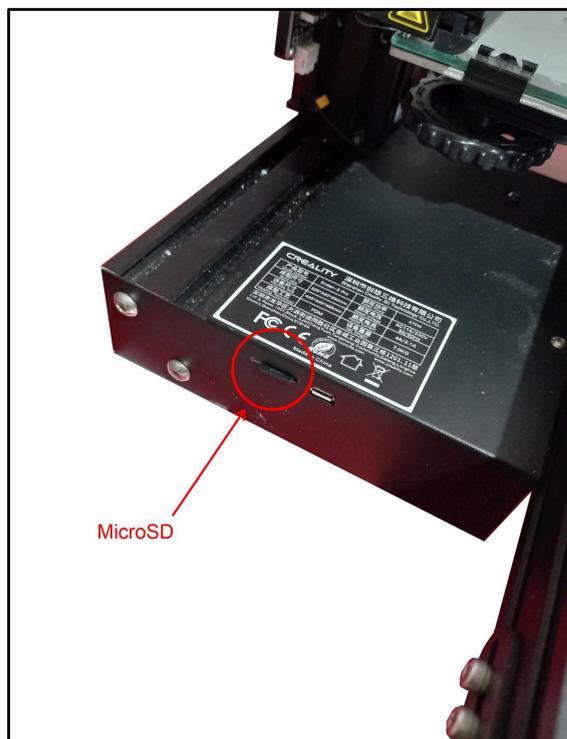
Figura 232 – Processo de Aquecimento da Impressora – [imagem do autor]



Realizar o processo de impressão em ambas as máquinas com tecnologia FDM, é muito simples, tanto na Creality Ender 3 Pro quanto na Ender 3 V2 o primeiro passo é a inserção da memória MicroSD, por questões de durabilidade dos cartões de memória, e por experiência própria, recomendamos fazer isto antes de ligar a

máquina, para uma vez acessa o cartão já esteja no seu devido lugar, fazer isto prolongará a vida do cartão.

Figura 233 – Colocação da memória MicroSD na Ender 3 Pro – [imagem do autor]



Feito o anterior, para mandar uma impressão na Ender 3 Pro é preciso seleccionar a opção *Print from TF* para posteriormente seleccionar o arquivo e a máquina fará o resto.

Figura 234 – Mandando o arquivo para impressão – [imagem do autor]



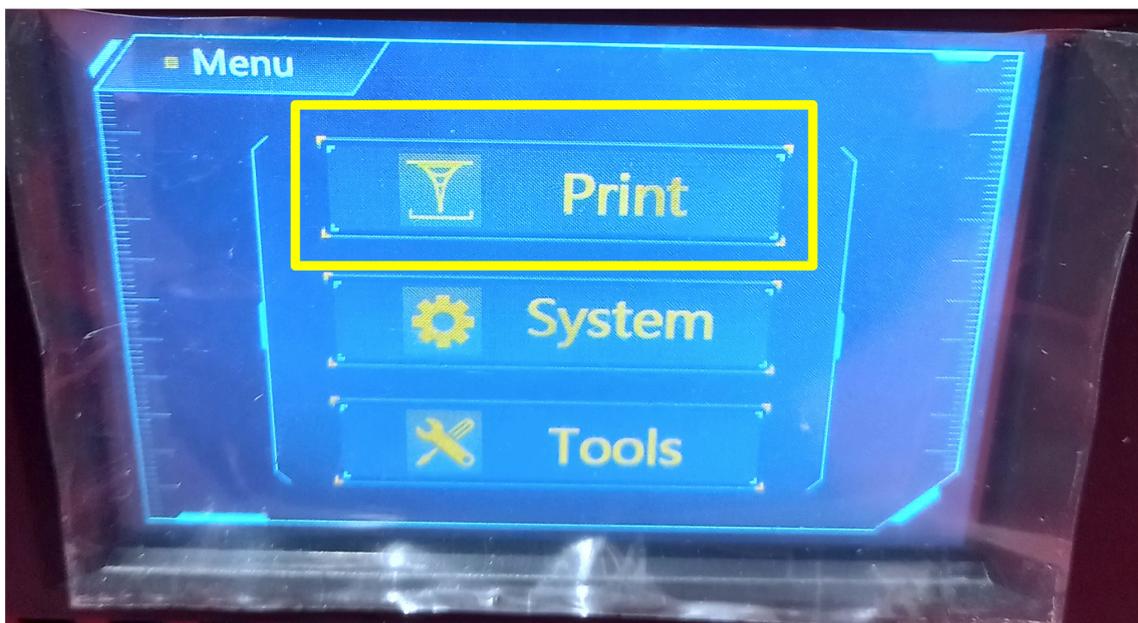
Um fator importante a ser considerado no momento de imprimir, fator que melhora a probabilidade de tudo dar certo desde a primeira vez é (e isto vale para as duas impressoras FDM), diminuir sempre a velocidade de maneira manual (com o botão da impressora) para garantir que as primeira camada tenha uma perfeita aderência na Mesa, e que as próximas continuem com essa mesma característica. Como fazer isto? Quando a impressora começar a trabalhar mexendo a altura do Bico para se aproximar da Mesa, assim que ela começar a fazer a linha de limpeza do Bico e teste de aderência na lateral da Mesa, é nesse momento que girando o Botão de controle manual no sentido anti-horário (esquerda) diminui-se a velocidade de impressão, no caso da ender 3 Pro, trabalhou perfeitamente com **70%** da velocidade normal, já na Ender 3 V2, foi somente foi diminuído para um **90%** da velocidade de impressão, passando 3 camadas de impressão, volta-se para o 100% da velocidade de impressão, isto no caso do material **PLA**.

Quando trabalhou-se com o **PETG**, este material foi unicamente impresso na Ender 3 Pro, e a regulagem manual de início com o Botão de controle foi para **60%** nas 3 primeiras camadas e o resto do processo trabalhou a **80%** da velocidade. As vezes que tentamos trabalhar a 100% da velocidade com esse material, a impressão perdia muita qualidade.

No caso do material **TRITAN**, nos primeiros testes indicaram melhores resultados na Ender 3 V2, por isso os moldes feitos com esse material foram impressos nela. da mesma maneira que nos casos anteriores, a velocidade inicial para as 3 primeiras camadas diminuiu para **70%** e o resto da impressão foi trabalhada com uma velocidade de **90%**.

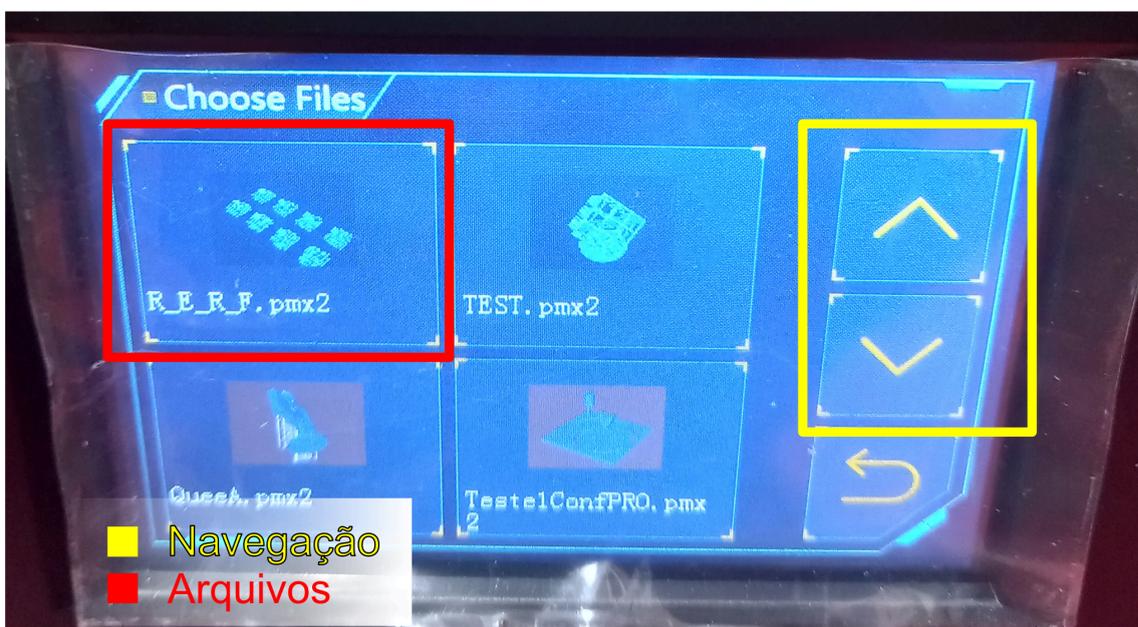
Na impressora com tecnologia SLA, uma vez conectado o *pendrive* na impressora, e tendo ligado à mesma, o que deve ser feito na tela táctil é clicar na opção *Print*. Esta opção mostrará todos os arquivos que se encontram no *pendrive*.

Figura 235 – Iniciando a impressão – [imagem do autor]



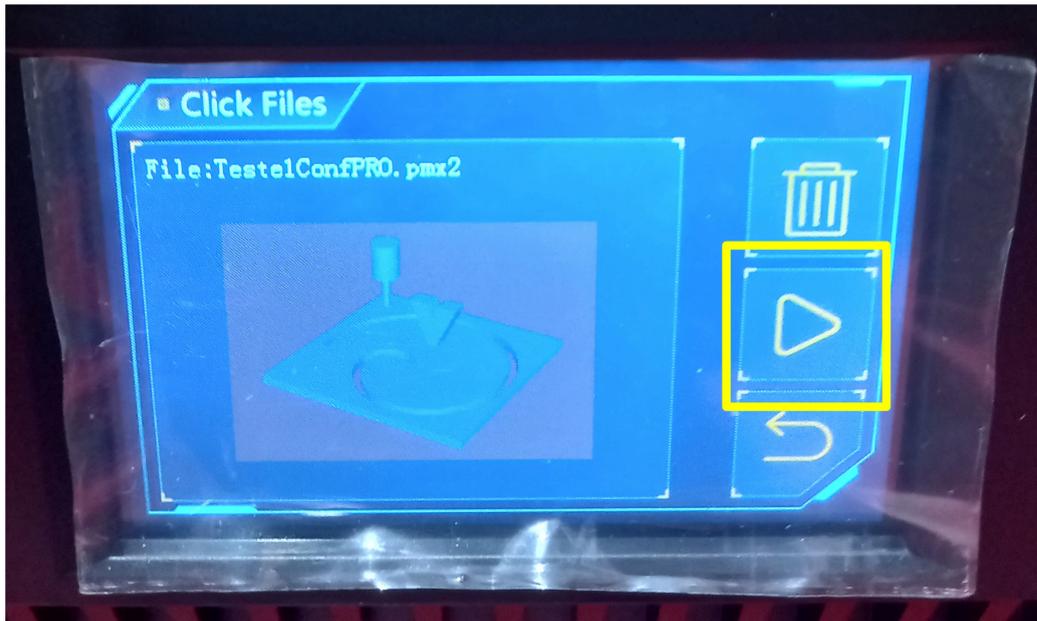
É possível navegar no menu de arquivos mediante as setas que se encontram do lado direito, até seleccionar o arquivo desejado.

Figura 236 – Navegando no menu para escolher o arquivo desejado – [imagem do autor]



Uma vez encontrado o arquivo é só clicar nele e posteriormente confirmar a ação a ser feita, a partir daí até a finalização o processo corre exclusivamente por conta da máquina.

Figura 237 – Começando a impressão – [imagem do autor]



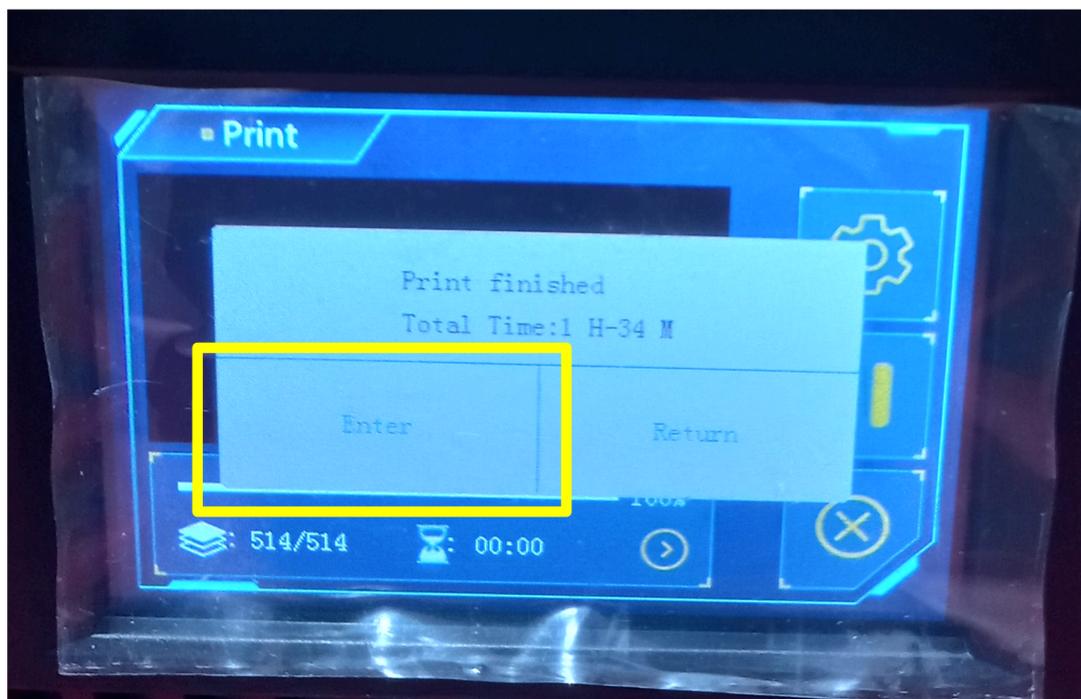
Enquanto a impressora está realizando o processo de impressão, a tela permanece preta intercalando com lapsos onde aparece o formato da camada que está sendo construída no momento, a tela indica também o tempo restante, a porcentagem que já foi impressa e a camada que está sendo elaborada no momento exato.

Figura 238 – Durante o processo de impressão – [imagem do autor]



Quando a impressora finaliza o processo, é desplegada por cima da tela inicial, uma mensagem, perguntando se queremos confirmar o processo, clicando na palavra *ENTER*, o processo é aceito e finalizado.

Figura 239 – Encerrando a impressão – [imagem do autor]



12.7 Entrevistas

12.7.1 Entrevista com Maria Clara Lins de Amorim

Mario

Pronto, Clara, então é. Vou começar a gravar, tá? Tudo o que o que a gente conversar está para poder anexar no, no projeto está. Então eu preciso primeiro que você apresente. Diga o seu nome e o curso que você faz atualmente e em que semestre você está.

Clara

Certo! Meu nome é Maria Clara Lins de Amorim. Eu faço o curso de licenciatura em expressão gráfica e estou. No oitavo período.

Mario

Ok, perfeito, Clara, é a primeira pergunta é. Qual é a tua experiência com o processo de injeção de termoplásticos?

Clara

Então, minha experiência é totalmente com o *Precious Plastic*, através do *Precious Plastic*. Eu já tenho 2 anos que eu estou no projeto e toda essa parte injeção sempre foi muito trabalhada com moldes de alumínio, é de ferro. E o máximo que a gente tentou em relação à injeção, foi com o molde de acrílico.

Mario

OK!

Clara

Os... em relação ao tipo de plástico que eu uso para injeção, eu. Admito que a gente acaba usando mais o PEAD que é o plástico proveniente das tampinhas.

Mario

Ok! Perfeito vocês não tem testado?

Clara

Em geral, é isso?

Mario

Com o deste o polietileno? Ou o PP digo, no caso que é o 5 que é mais mole.

Clara

Então é o PP. Quando a gente... assim foi muito no começo do projeto, há uns 2 anos atrás, é, a gente tinha muita dificuldade, porque queimava muito Ele acabava queimando.

Mario

É porque como ele parece uma temperatura menor, né? Para para fundir. Por isso te perguntar porquê? O Projeto vai trabalhar principalmente com o PEAD, né? E o projeto está destinado para ele trabalhar com o PEAD, mas. Visto o sucesso de, do... do exercício que a gente fez. Na minha cabeça, o PP é funcionaria mais nesse sentido, né? De... de o molde pelo menos resistir muito melhor ao plástico PP por ele tem uma temperatura de fusão mais baixa.

Clara

Eu acredito que o problema do PP, no caso da injeção com a gente não é o material em si, seria a máquina.

Mario

A injetora, não é?

Clara

A injetora, porque tem aquela aquela situação de o canhão da injetora, ele é furado. O meio e o plástico, ele entra ali dentro e fica muito tempo preso. Então, o que que acontecia? Eu acho que, por a gente usar muito PEAD para fazer as injeções, acabava que o PEAD ficava preso lá dentro, juntava com o PP quando a gente adicionava ele e na hora de fazer injeção acabava dando errado.

Mario

Entendi, entendi!

Clara

Mas assim, isso foi uma coisa também e que eu peguei. Uma experiência que eu peguei dos outros monitores. Talvez se eu tivesse tentado mais a utilização do PP, eu tivesse gostado, só que os outros monitores já não gostavam de usar e já diziam ó.

Clara

A gente vai usar a Pedra aí porque é mais fácil.

Mario

Você herdou a aversão?

Clara

Também porque vou dizer assim. A gente está no laboratório. Uma hora ou outra esquece que o material está esquentando para fazer e tal. E o PEAD vai ter essa esse tempo maior de lembrar. Eita, está está na hora de fazer impressão... A injeção. E o PP, não. PP tem que ter...

Mario

Tem que ter mais cuidado com ele. Não é?

ele tem. É uma coisa mais cuidadosa. Agora já com a fabricação de placa. Melhor ele, porque a gente faz mais rápido.

Mario

Isso o menor tempo, né? *OK*, perfeito Clara. Você sabia antes de eu trazer os moldes é que era possível fabricarmos os moldes de de resina ou de filamento. É para poder injetar?

Clara

Não! assim os moldes que eram usados eram os alumínio ou ferro. E no máximo a gente tentou fazer a experiência com acrílico, mas deu muito errado, que é o acrílico ele acabou...

Mario

Empenando?

Clara

Empenando! Eu acho que também é a espessura do acrílico que a gente tinha visto o pessoal usando e tal era outra eh. Aí foi o projeto que a gente meio aqui deixou de lado por que viu que dava errado. E em relação à resina. Eu sabia que a resina era suportava eh! um pouquinho de calor mas não que seria tanto calor, por isso que ele toda a ver. Consideração. De injeção. Isso mesmo. Em relação a molde, a gente já tentou molde de silicone. Quando ele tem pouco detalhe, dá certo e tudo mais, mas com injeção só alumínio e ferro.

Mario

Os materiais tradicionais?

Clara

Eh! os materiais tradicionais.

Mario

Ok! perfeito.

Mario

Eh! você acha que os moldes feitos com manufatura aditiva trariam algum benefício para uma... eh! falando metodologicamente para como auxílio para o professor como uma ferramenta para ele produzir material?

Clara

Sim, com certeza. Porque assim o molde de.. falando em relação ao molde?

Mario

Isso!

Clara

Eh! O molde de ferro. Ele é um molde muito inacessível. E quando a gente está em relação ao professor, quando a gente está dentro de sala de aula, a gente precisa de coisas personalizadas. Então, trazendo essa, essa tecnologia aditiva e tal, a impressão, é mais fácil

com que eu chegue uma coisa personalizada, uma coisa que eu vou precisar usar na hora, quando eu vou pensar em Ah, nossa, eu quero usar, quero fazer um equipamento e eu só vou usar aquele momento. Ou o ferro não faz sentido com o alumínio, o metal, ele não, não vai fazer sentido porque vai acabar dando aquela quebra, né? De. A gente está querendo fazer uma coisa rápida, que vai ser custo baixo e que vai ser personalizada, só que você vai fazer o que vai ficar ali por muito tempo e que é caro...

Mario

O investimento, não é?

Clara

O investimento, e que às vezes é complicado você conseguir uma pessoa que faça uma... faça determinada...

Mario

Que produça!

Clara

É, porque se você quer fazer uma forma tridimensional dentro do molde com impressão é uma coisa, mas, fazer com todo. Toda a parte no metal... é altamente perigoso, mas complicado.

Mario

É bem mais complicado.

Clara

É totalmente diferente, mas complicado.

Mario

OK! Você acha que ter moldes a base dessa tecnologia... né de de impressão, eh!

Clara

Só abrir.

Mario

Eu vou pausar aqui, não tem problema. Pronto! Eh! Você acha que os moldes feitos eh, dessa maneira, né? Com a manufatura aditiva, eles são funcionais ou servem com o propósito de criar material didático, mesmo? para vocês futuramente, como professores?

Clara

Acredito que sim. Se a gente for trabalhar com com a injeção ou nessa perspectiva de coisa personalizada, é uma... é um facilitador, querendo ou não. É facilitador, além de ser mais acessível, então quanto mais a gente tipo pensar e testar em relação aos moldes de... dessa, dessa Manufatura Aditiva eh... Vai ser melhor, vai, vai dar para desenvolver. Aí usar do dentro do contexto educacional.

Mario

OK. Perfeito, eh... E outra outra pergunta, O que de relevante você extrai da... dessa experiência injetando com esse tipo de moldes específico?

Clara

Então eh... a gente tinha que conversar bastante sobre isso. E... possibilidades eu acho que a palavra é possibilidade. É você ter uma possibilidade de fazer uma criação, eh... de forma barata, né? o custo mais baixo e você tem certeza que vai, que vai rolar. Porque sempre que se tem o pedido sobre alguma coisa personalizada, vamos dizer assim, eh... sobre alguma coisa pensada pela gente mesmo. É muito difícil a gente conseguir fazer, porque a tem que, ou têm uso de CNC ou eh... ou uma infinidade de situações. Mas se você for levar em consideração que tipo. Eh... com esses moldes a gente consegue fazer realmente o que a gente pensou a partir do do conhecimento que o professor de, que vai estar utilizando têm conhecimento de modelagem e toda essa parte, então eu acho que a possibilidade de de executar ah... Os pensamentos, os processos de projetos, no geral, é isso.

Mario

Ok, perfeito. Achas que esses testes foram encorajadores, ou seja, que os resultados foram bons para para continuar usando essa essa tecnologia?

Clara

Sim, sim, com certeza. A gente até estava falando sobre quando a gente tivesse acesso a, a essa resina que ela é mais firme e tal, com impressora tudinho. Que a gente queria fazer, queria fazer outros testes de novos testes e trabalhar sobre realmente ah, ah... Como é que o molde vai ser trabalhado? Eh... se aquela quantidade de detalhes que tem realmente é impossibilita dele, dele fazer alguma situação? E se como é que a gente, como é que o plástico vai correr dentro dele toda essa toda essa parte? Então, a gente ficou bem interessado.

Mario

Ok! perfeito Clara.

Clara

Não sei se respondi a tua pergunta.

Mario

Não, sim, sim, era isso. Sim! ou seja. Se você vê futuro, né? Era isso. Você vê futuro na... nesse tipo de tecnologia.

Mario

E para finalizar, eh, eh... era esse. Você considera que é um futuro promissor para usar esse tipo de, de materiais dentro ah... da área educacional, ou seja, como professora?

Clara

Se tiver acesso, se, se tiver acesso, é interessante.

Mario

E tendo acesso. Vamos supor que você tenha acesso a um laboratório como o Plástico Precioso. Tá? Você usaria dentro de uma de uma das tuas disciplinas? Hoje você é já professora, então, por exemplo, de que maneira você se imagina usando esse tipo de tecnologia?

Clara

Então, posso falar da perspectiva sobre o que é o hoje. Quando o Auxiliar de, de professor *Maker*, a gente percebe que os... a interdisciplinaridade, por exemplo, os outros professores, eles chegam muito para a gente com a... com aquele questionamento de o que eu faço nessa minha determinada aula? E a gente acaba correndo para coisas específicas, tipo, Ah, vou imprimir, vou me cortar laser, vou... manufaturar de outra forma, e tudo mais, mais. E se a gente quiser trabalhar essa parte da sustentabilidade que trabalha com plástico reciclado, é uma alternativa. Se a gente quiser inovar. Em relação ao material, vai ser usado o, o molde com com a injeção ele, ele é entra como outra alternativa. E dentro de ah... assim. Eh... pensando agora no meio educacional, se eu fosse levar para o lugar o local que eu trabalho, seria uma coisa que seria muito bem explorado a partir do momento que a gente, o professor *Maker*, ele está ali para auxiliar oh... o professor do aca... do resto do perfil curricular, dá para aplicar em qualquer coisa que a gente acha interessante, desde a facção de um, sei lá, o molde de célula, oh...

Mario

Independente da área de, de, de educação?

Clara

É, independente da área de educação, um modelo matemático, um molde de célula, o aplicado na Geografia, tudo mais. Eh... então acho que massa! essa parte é massa! É mais uma ferramenta para auxiliar no educacional, porque ele traz, além de tudo, esse esse tipo de trabalho ele traz eh... a atenção do, do estudante. Então, quando a gente trabalha com a situação dessa dentro de sala, eh... o estudante que já está acostumado com a impressão 3D e corte a laser ele vai perdendo aquele encanto todo por, pelo... pela fabricação, né? Mas quando a gente traz esse, esse novo, essa nova aplicação, acho que ele vai achar massa! Não só ele, como qualquer pessoa que vem, que dá para trabalhar com material sustentável, utilizando é meio que integrando tecnologias.

Mario

Ok Clara! perfeito, Clara. Eh... muito obrigado! Era isso, então, muito, muito obrigado mesmo pela pela entrevista.

12.7.2 Entrevista com Adelson Tiago Pereira da Conceição

Mario

Pronto. Então eh... vamos começar, Adelson eh, primeiro eu preciso que você se apresente, tá? Me diga seu nome completo, eh... qual é o curso que você cursa, e o semestre no qual você está atualmente?

Adelson

Meu nome é Adelson Tiago Pereira da Conceição, eu faço atualmente nesse setor, né? Expressão Gráfica na UFPE. E eu estou no nono período.

Mario

Perfeito Adelson! Obrigado. Qual é a tua experiência anterior a este projeto? Qual é a tua experiência com a injeção de termoplásticos?

Adelson

Assim! muito pouca. A gente antes eh... injetava com o molde de ferro, não é? Eh... com esse molde eu tive pouca, pouca experiência. Já presenciei muita injeção e ajudei um pouquinho em outras, mas nunca participei de forma mais ativa na injeção com outro molde.

Mario

OK, perfeito. E antes de, de, de bom, você já tinha essa experiência, mas antes de de fazermos este projeto, você sabia que era possível usarmos moldes impressos de maneira... pode ser com tecnologia de, de FDM, que é de filamento, ou com de Estereolitografia?

Adelson

Não. A única coisa que a gente fez com em relação à tecnologia aditiva para fazer moldes foi com o molde de silicone. Não é como a base base desse molde. A gente nunca fez o próprio molde para ser. Onde a gente vai injetar? Não é porque a gente não sabia que tinha um material tão forte que resistiria ao calor da injetora.

Mario

OK, perfeito Adelson. Eh... tu achas que esse tipo de moldes, como, como os que a gente testou, trazem algum benefício para a metodologia do professor no dia a dia? Você, por exemplo, amanhã que vai ser professor, você acha que...?

Adelson

Com certeza, trazem. É uma forma muito mais próxima de abordar esse, esse assunto. Não é? Essa questão dos moldes, porque antes era um todo um processo.

Ou você fazia um molde de silicone, não é? Para poder tentar, que você não conseguiu injetar, não é? Ela só pro forno ou você vai ter que encomendar um molde de ferro em outro lugar, procurar provavelmente muito mais caro. Então trazer... é uma facilidade, né? Você modela, você imprime com o material certo, ou você já pode injetar. É muito melhor, traz muito a nossa realidade, né? Muito mais próxima.

Mario

OK, perfeito Adelson. Tu achas que ter esses moldes abaixo a base de de, da manufatura aditiva eh... são bons para, como professor, produzir material didático, especificamente material didático?

Adelson

Sim, para produzir material didático. Como falei antes, né? Assim pra, pra mim que eu vim do do curso de Expressão Gráfica, na Expressão Gráfica, né? A gente vê muita modelagem, 3D já é uma coisa que a gente vê no nosso dia a dia. Então basicamente usar os conhecimentos que a gente aprendeu nisso, não é? A gente já produz muito. Didático e é uma forma nova, não é? É uma forma de explorar o mundo inteiro que a gente não vê. A gente corta. Coisa a laser imprime. Com filamento, não, com silicone, perdão, com, resina, mas eh... com isso ficaria muito melhor, são muito mais fortes. Mas resistência ao calor, dá para fazer outras coisas. Eh... é um leque, né? Que se abre.

Mario

Perfeito Adelson. O que de relevante você extrai dessa experiência que a gente teve, testando os moldes de, de resina?

Adelson

Assim, eu hoje, como eu tenho falado durante a entrevista, me senti muito mais próximo a tentar fazer uma coisa dessa. Eu senti que eu sou capaz de fazer um molde desse e aplicar. Eu já tenho essa experiência com a injeção, posso usar? Do molde que a gente viu, né? Viu? Que você fez usar a questão do resfriamento para tentar deixar o molde mais durável. Eu acho que é uma experiência muito boa e que eu sinto capaz de tentar. Eu que eu me sinto capaz de tentar.

Mario

Eh... tu que és bom de modelagem. Tu achas que isso te permite muita mais liberdade para criar teus próprios projetos do que, por exemplo... A gente sabe que na cortada a laser a gente tem limitação bidimensional praticamente, e a gente sabe que a impressora nos proporciona a mesma forma, assim mais orgânica. Que o molde. Só que a velocidade dele é muito menor do que uma injeção. Então tu achas que isso, para você, sabendo modelar do jeito que você sabe, para produzir amanhã, é material, seria, seria muito bom?

Adelson

Ah! com certeza modelagem, quando você vai entrando, né? Na modelagem. 3D, dependendo do *software* que você adota, né, que você se especializa, você tem infinidade, você consegue nitidamente fazer o mínimo detalhe, principalmente com resina, né? Fazer o mínimo detalhe e conseguir aplicar isso na injeção. Eu acho isso revolucionário, que é uma coisa que eu achava que não conseguiria, até o que a gente fez, né, que foi uma coisa bem detalhada até conseguir sair muitos, muitas das injeções saíram muito boas, então com certeza, é um processo muito bom.

Mario

Ok! Eh... você achou oh... os testes que a gente fez eh... encorajadores para, para o amanhã, por exemplo?

Adelso

Sim.

Mario

E. Você tenha conhecimento antes deste, desse, teste que a gente realizou. Que podíamos criar um sistema de arrefecimento para tentar auxiliar no resfriamento do molde de maneira mais rápida ou, ou durante o próprio processo de injeção?

Adelso

Não, não fazia mesmo ideia, assim. Eu sabia que tinha que ter o arrefecimento, não. A gente jogava na água oh... os de ferro. Direto na água para esfriar, não, se não se dava para tirar de vez, especialmente porque ia grudar tudo, eu realmente não fazia ideia. Foi bem engenhoso isso e é uma coisa que eu acho que dá para se repetir bastante, não é? Eu acho que eu falta um pouquinho, não é? A gente tem o conhecimento da modelagem, a gente sabia da injeção, mas a gente...

Foi esse clique, não é? Não deu essa pensada de poxa, vou criar uma coisa desse jeito. Até porque eu acho que não dava não com os modos de ferro. É os antigos, né? Acho que não dá pra fazer. Sistema como esse?

Mario

Eles, eles têm o sistema, os moldes antigos. De fato, foi aí que me inspirei no sistema de resfriamento. Só que, por ser metal, as ferramentas que por fundamental são brocas, né? Então elas só fazem caminhos retos. Então as serpentinas não dão para ser tão elaboradas quanto a gente faz, como você falou, na modelagem 3D.

Eh... e trabalhando com resina nos permite criar formas muito mais orgânicas, não é? E aproximar as serpentinas do núcleo de injeção, que um artigo falava precisamente sobre isso. Quanto mais próxima estiver a serpentina do núcleo de injeção, melhor vai resfriar a peça para a formá-la melhor e desmoldar mais fácil.

Adelso

Quando você está modelando, você tem muito mais ideia de dimensão não é...

Mario

Isso. Isso.

Adelso

Do que você teria fazendo manualmente. Com certeza, muito melhor.

Mario

Então essa sim! É uma vantagem em relação aos de aço, porque tem os de aço e de alumínio resfriados, mas as serpentinas não conseguem ficar tão próximas do coração, né? Do do coração do, do molde.

Eh... e por último. Você vislumbra como professor amanhã um futuro promissor ou, ou funcional para esse tipo de tecnologia? Ou seja, usar moldes feitos em resina, que são muito mais económicos que os moldes metálicos para, no caso da, de, da educação, prototipar seus projetos e levar para seus alunos?

Adelso

Sim! Com toda a certeza, não é? Você vai fazer uma coisa muito mais detalhada, muito mais forte do que você. Cortar a laser, por exemplo, é muito menos perigoso também por conta dos gases. Você não pode cortar, não posso... não pode queimar plástico, não é. Nesse caso, a gente falando de plástico, acho que dá para se usar outros materiais também com esse moldes e com certeza, né? É uma janela que se abre, é uma coisa que você tem muito mais ideia do que fazer, você imprime o molde. Ele vai ficar mais durável por conta do arrefecimento e você pode fazer vários testes e vários produtos de forma muito rápida, muito difícil, muito diferente do que você fazer um forno e fazendo em um forno pequeno ou ter que imprimir tudo isso. Se você quiser dar brinde ou se você quiser fazer peças de uma máquina de um sistema que você está fazendo, a injeção com certeza é um caminho muito bom, muito rápido, muito prático quando você aprende. Não é difícil, não é difícil fazer.

Mario

Perfeito, e tu achas que isso assim... dominar isso, favorece ah... a originalidade de novos projetos vai ser diferente do que, do que já existe?

Adelso

Sim, não é. É uma coisa que eu ach... eu assim, pelo menos do que eu conheço, não é muito explorado, né? Eu nunca vejo por aí, pessoal... aqui injetei isso com plástico injetei aquilo. Acho que especialmente por conta do custo e do molde. Também, né? Com isso, dá para se diminuir o custo e a gente consegue ver muito mais disso por aí.

Mario

E tu, como, como professor e como modelador 3D tu achas que isso te permite criar projetos diferenciados, inéditos? Sair do que tem no mercado, não é? do que existe, para criar o que Adelso faz?

Adelso

Ah, com certeza, né? Assim, né? Eu acho que como já foi falado. Eh... quando a gente soube dessa tecnologia, quando a gente soube que dessa possibilidade, no momento já me deu um clique e já tive ideias e várias ideias de como utilizar. Isso não é seja de modo comercial, de modo na educação, a gente quer muito testar. É uma coisa que a gente está querendo bastante.

Mario

Perfeito, Adelso, obrigado, obrigado, muito obrigado.

12.7.3 Entrevista com Letícia Teixeira Mendes

Mario

Pronto, professora. Então vamos, vamos começar? Eu preciso primeiro eh... que se apresente. Eh... seu nome completo, seus títulos e seu cargo dentro da universidade.

Profa. Letícia

Tá. Meu nome é Letícia. O nome completo, ne?

Mario

Sim.

Profa. Letícia

Letícia Teixeira Mendes é eu sou arquiteta, né? Tenho um mestrado em engenharia civil e doutorado em arquitetura, tecnologia e cidade.

Profa. Letícia

Sou professora adjunto do departamento de expressão gráfica e coordeno o laboratório de fabricação digital Grea3D e o projeto *Precious Plastic* UFPE.

Mario

OK, obrigado. E, a primeira pergunta é, qual é sua experiência com o processo de injeção de termoplásticos?

Profa. Letícia

É a minha experiência é como pesquisadora, não é? O projeto iniciou em 2018, 2019, que foi quando a gente teve acesso a uma primeira injetora, né? Com um modelo similar a esse que a gente realizou os testes. No entanto, eu não tenho uma experiência profissional. É mais no sentido de pesquisa e analisar o potencial que o uso dessa, desse maquinário Com o uso de fabricação digital, o potencial que isso tem pra é novos modelos de negócio pra inovação, né? Pra criação de, de pesquisas que vão ser desdobradas a partir disso, né? Mas eu não tenho uma experiência relacionada realmente comercial, né? E industrial. Sobre o sobre a... injeção de plástico.

Mario

OK, perfeito. Eh... A segunda pergunta que eu fiz para os meninos era, se sabiam que usar moldes impressos com manufatura aditiva era possível, não é? Essa não vale para você, porque você já sabia isso, mas...

Profa. Letícia

Não, eu não sabia, eu acho que também não sabiam, sabiam?

Mario

Isso! Não. Eles não... Pelo menos Adelson, eu perguntei. Ele disse que ele tinha muito... ou seja, sabia, mas não sabia que era possível usar resina para fabricar os moldes.

Profa. Letícia

Ah, mas é que o Joaquim, que era sempre quem eu pedi para fazer alguns moldes, né? É, sei.

Mario

Não é? Então, no seu caso, bom, já sabia, mas eu quero saber o que achou de realizar pessoalmente o experimento.

Profa. Letícia

Sim, ah... Ok. Então, eu já tinha visto experimentos de uso de impressão, tanto de ABS, eu acho, quanto de resina para molde dentro da comunidade *Precious Plastic* Mas a gente nunca tinha executado. eh... né? Eh... no nosso laboratório e, e... aí a experiência. Ela foi muito enriquecedora justamente pra gente entender os desafios, né? Os primeiros testes eh... principalmente quanto essa questão da, do resfriamento eu nunca tinha visto. Mesmo nesses outros experimentos. Existem tutoriais do *Precious Plastic* para a produção de, de molde que não consta essa informação. Né? De como criar um mecanismo para resfriar que aumenta a durabilidade do, do molde, que foi algo que eu aprendi, né, com a sua pesquisa e com a sua experiência também, né? No caso, Mário eh... já com injeção de termoplástico, né? Usando eh... injetoras manuais, né, que ainda não tem um padrão industrial. Então isso realmente foi aprender na prática os desafios, tanto das limitações da questão da durabilidade do molde, quanto é do, dos melhoramentos que podem ser feitos, como o sistema que você criou de resfriamento, que eu nem imaginava que aumentaria a durabilidade e que a gente conseguiria resultados muito melhores.

Mario

Próxima pergunta é, você acha que ter moldes a base de manufatura aditiva serviria para fabricar material didático?

Profa. Letícia

Sim, sem dúvida. A gente não chegou a produzir agora, né? O material didático, mas a gente teve. O exemplo é da, da Oceaniadas, que é uma Olimpíada do Congresso de oceanografia e que era um, um... uma demanda muito semelhante à de material didático, que são uma quantidade reduzida de uma tiragem reduzida de peças e que não justifica criar, por exemplo, uma, um molde. Com custo elevado, como por exemplo de inox, não é? Usinado. Desculpa... porque o custo não justifica. E é algo que tem uma data, né? Assim que não vai, não vai ser utilizado depois. Mesmo que o alumínio seja um material reciclável, né? É o material didático. Ele às vezes ele tem uma tiragem maior, mas dentro de um contexto, né, de escolas, e, e, e de demandas específicas de material didático. Eu acho que isso justifica muito usar um, um molde de baixo custo, porque ele permite inclusive dentro do próprio processo de aprendizagem Né? A primeira vez que a gente cria uma metodologia de

um exercício, por exemplo, quando a gente aplica a primeira vez, a gente nota que tem dificuldades, melhorias que a gente pode fazer, inclusive no experimento e no material didático, que se a gente tivesse trabalhando com um molde de alto custo desde o início e impossibilitaria, que você testasse, ó. Mas esse molde aqui, né? Seria mais interessante arredondar os cantos, né? Se você faz um molde definitivo e para tirar desses maiores, você não consegue fazer esse tipo de melhoramento. E então eu acho que a impressão não é? O uso. De manufatura aditiva para produção de baixo, de moldes de baixo O custo ele viabiliza tiragens menores, né? Mas que possibilita a implantação, por exemplo, de várias salas de aulas que vão usar o mesmo material e também, muitas vezes, como um projeto piloto pra depois pensar o material didático produzido numa escala industrial, né? Então eu acho que as 2 aplicações, né? Esse experimento se mostrou, é muito eficaz, OK?

Mario

Ok, Perfeito. É, e você acha que o uso de moldes feitos com com uma manufatura aditiva, traria um benefício para a metodologia do professor, se um acréscimo a sua...?

Profa. Letícia

Sem dúvida. Agora que você falou e, e baseado também no que eu comentei, né? Essa questão do professor sempre melhorando a própria didática, né? Muitas vezes a gente cria material didático, testa a primeira vez e aí fala, Ah, podia ter menos peça, mais peça ou a peça poderia ter determinada forma Não é, eh...? Enfim, não é o encaixe que vai ser melhorado. E aí você tem esse recurso de, além de personalizar moldes de uma forma muito mais barata, né? Porque mesmo que a gente possa usar o alumínio e uma fresadora CNC, né? O insumo. Já, já tem um custo muito maior, né, que é reduzido usando eh... resina. E a questão de ser uma tecnologia muito mais acessível, de você ter uma impressora. O custo de do equipamento de uma impressora 3D pro insumo é muito mais barato do que ter uma fresadora CNC, mesmo que ela seja num porte menor, né? E o insumo que é o alumínio? Então, tudo isso viabiliza que o professor. Né? Vá cada vez mais aprimorando. Então, num primeiro teste ele já verifica alterações que que iam favorecer a metodologia, né? O manuseio do material didático que está sendo criado é e permite que ele faça esse... esses testes, né? um, um, um. Molde de uma primeira peça, que aí ele melhora a modelagem, imprime de novo e testa tanto a questão da qualidade da injeção, de saber quanto o material, quanto o material usar, Ah, eu posso criar uma peça menor, que vai usar menos material, por exemplo? Né, quanto? ah... a questão da replicabilidade mesmo, né? De Ah, é uma peça muito pequena que eu tenho que injetar muitas vezes, ou de aprimorar o molde de, em vez de injetar um a um, ele conseguir aprimorar o próprio processo de produção, que é criar um molde que vai injetar várias peças de uma mesma, né? É, é numa mesma injeção esse tipo de coisa, então. Eu acho que a aplicação ele eh... ele traz muitos benefícios, principalmente na educação, que é uma coisa que o tempo todo a gente tem que aprimorar, ainda mais com a questão de, da tecnologia, do acesso dos estudantes a esses conteúdos, né? Ó, o professor exige muito do professor essa adaptação ao contexto, né? Ah, ah, ah... realmente buscar melhores soluções. Então é da prática do docente e você ter uma tecnologia que favorece isso, né, para criar materiais didáticos duradouros, né, como no caso da injeção do plástico, é muito positivo.

Mario

Ok, professora, obrigado. Eh... o que de relevante consegue você extrair de, da sua experiência com a injeção, não é? E com esses moldes de, de, feitos a partir de manufatura aditiva. Isso se, se... Qual é a relevância de de, de, de... desse projeto, por exemplo, que você consegue enxergar?

Profa. Letícia

Do potencial que ele tem? Esse projeto específico? Ele trabalhou com a questão de produção de molde para o material didático, mas o potencial que tem, de descobrir como produzir esses moldes não é em termos de... parâmetros. É em termos de quantidade de material, de como eles são fabricados, como também entender ah... ó... o comportamento desse material, né? Da manufatura aditiva, de moldes produzidos com resina. E a durabilidade, né? Usando injetora e o que a gente pode fazer pra eh... aumentar a durabilidade. Isso vai ajudar em várias outras pesquisas. Nesse caso, ele é voltado a essa pesquisa específica para educação, mas a gente consegue ver a aplicação de Isso é para desenvolver pesquisas ou negócios de impacto socioambiental usando essa tecnologia, né? Então, para produzir eh... acessórios, né? A gente tem projetos de extensão que, gente trabalha com público ó... Alvo são adolescentes e jovens em situação de vulnerabilidade social. E que a gente consegue. Criar modos personalizados para a geração de renda, né? E moldes de baixo custo, porque normalmente a questão dos... de recursos, tanto do terceiro setor quanto do investimento do setor público, ele é limitado. Então tem essa possibilidade de criar de uma forma com valor reduzido. É muito eh... positiva, como também em outros setores que a gente nem imaginava. É usar esses moldes para... Testar componentes construtivos, né? Ou em escala reduzida ou dependente, dependendo do componente em escala real mesmo. Não é que seja, por exemplo, um conector, né? Um revestimento de parede é com determinado relevo. Então a gente consegue ver a aplicação em várias outras áreas além do ensino e que com certeza, essa essa, esse experimento voltado para material didático, ele já vai trazer esse *know how* que a gente vai aplicar em outros setores, como arquitetura, engenharia eh... em projetos fomentando economia circular, geração de renda é e vários outros projetos que hoje nós desenvolvemos dentro do *Precious Plastic* UFPE.

Mario

Ok, perfeito. Hum Hum. Você acha que os testes realizados foram eh... encorajadores para eh, eh, eh...? E, e que com esse sistema de arrefecimento os moldes conseguem ter uma vida mais longa. E, e ser um... como você já falava anteriormente, não é. E ser um projeto que que possa ser mais do que ele foi definido para a educação, ou seja, que possa ir para o âmbito profissional. Microempresas não é? Microempreendedores, coisas assim.

Profa. Letícia

E como! Completando o que eu comentei, né? Eu acho que aqui teve o foco da educação, mas ele mostrou esse experimento, o potencial que tem, inclusive para impulsionar pequenos negócios, né? É negócios de impacto socioambiental, né? Para fomentar dentro de comunidades, é, e, e o mais interessante peças personalizáveis o que isso aumenta ainda mais a questão do da visibilidade do, da visibilidade do produto, de você ter um

pequeno negócio que consegue criar uma tiragem eh... menor eh... medalhas personalizadas, chaveiros personalizados. Isso para a geração de renda, né? Para a economia circular é muito importante. É a questão de, de, é dos resultados. Eu acho que foram muito encorajadores, inclusive porque a gente não tinha pesquisa dentro do *Precious Plástic* UFPE com os recursos e os equipamentos que a gente tem disponível. A gente não tinha realizado testes e aí a gente imaginava, né? Algumas, alguns resultados em potencial, alguns a gente viu que não era possível e vimos a potencialidade que isso tem por meio da, da impressão em resina, né? Como o uso do resfriamento para aumentar a durabilidade, né? E, e aí a aplicação que isso tem nos vários outros projetos que a gente desenvolve, inclusive projetos que a gente desenvolve junto com ah... ah, com a as é as ciências biológicas, medicina, que a gente já teve demandas para criar. É como se chama? Válvula do de respiradores na época do COVID, que a gente, né, gostaria de ter feito por meio de injeção, mas acabou usando uma só, uma manufatura aditiva. Com esses resultados, a gente poderia revisitar esse esse experimento e produzir essa essas peças, né? Esses, essas peças que eram usadas na manutenção dos respiradores, né, que estavam com uma alta demanda, com um plástico injetado, seria muito mais rápido, é. Porque ah.. a impressão dessas peças, ela demorava bastante tempo. E teria também a questão do do viés de, de reutilização, né? Que a gente usava o filamento, que é plástico virgem e substituiria, nesse caso, por plásticos, né? Que a gente estava dando uma, uma segunda vida a eles. Então eu acho que isso traz um impacto imenso.

Mario

Ok, professora. Mmm... e para finalizar, continuando a mesma, o mesmo caminho, não é? Você considera que é um futuro promissor para usar moldes à base de manufatura aditiva em injetar o plástico reciclado para produzir novas realidades? Para uhum.. ou seja, diversificar o que o que é feito até hoje? Porque, por exemplo, a indústria, sim, ela, bom... sempre está na vanguarda, né? Uhum... Só que tudo que a indústria produz é início de um projeto novo. É caro, sim, porque as matrizes de injeção são caras pelo próprio material de fabricação, mas como se falava com esses projetos, conseguimos dar uma individualização, inovação enquanto ah, ah, o projeto que a pessoa quer ou deseja. Mais...

Profa. Letícia

Sim, agora eu ia falar, só, e agora que eu entendi. Eu ia falar sobre a questão da personalização, né? Esse tipo de tecnologia, ele traz um novo paradigma para a produção, é que a gente chama de é *Mass Customization*, que é customização em massa, né? Que normalmente na indústria isso é algo muito caro, justamente por essa questão das, da, da matriz, se é um material que já é um material definitivo e que tem um alto valor e que muitas vezes ó... o que a indústria precisa fazer, ou pequenas empresas, enfim, diferentes tipos de negócio, né, de setores.

Mario

Isso.

Profa. Letícia

Eles precisam realmente customizar, né? Ah, eu preciso de determinado produto, mas eh, se eu fosse produzir, ele eh... customizado na indústria, custaria muito mais caro do que se eu criasse diversas matrizes com uma pequena variação, né? Então, você agregar a questão do eh... do que a gente chama do arquivo para a fábrica, né? Do *File to Factory*, então você, por exemplo, tem um molde, que é que ele foi projetado dentro de uma lógica de modelagem paramétrica, ou seja, que você consegue alterar. Parâmetros pra eh... personalizar de acordo com a demanda e isso você consegue né, por meio do *File to Factory* produzir ele né? E já pra viabilizar ah... a sua... implementar né? Viabilizar a fabricação de novos produtos a partir disso é muito promissor, né? Ele traz uma, uma, um novo paradigma pra que a gente consiga introduzir a personalização em série, né? O *Mass Customization* em pequenos negócios em eh... em, em negócios inovadores que precisam testar de forma rápida e barata, né? Um, um determinado protótipo então é, eu acho que. E é saber como funciona esse molde, ver realmente por meio desse experimento, entender a viabilidade, né? Perceber que tem viabilidade, isso eh... traz novos horizontes assim pra eh... negócios em diferentes setores, né? Como construção civil, é design, arquitetura e diversos outros.

Mario

OK, bom. Era só isso. Muito obrigado! por nada é pronto.

Profa. Letícia

por nada!

Mario

Eh... pronto! Vou encerrar a gravação agora.

13 Anexos

13.1 Termo de Consentimento

(CABEÇALHO DA INSTITUIÇÃO À QUAL O PESQUISADOR RESPONSÁVEL ESTÁ VINCULADO)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa (**título completo da pesquisa**), que está sob a responsabilidade do (a) pesquisador (a) (**nome COMPLETO do pesquisador, com endereço COMPLETO e CEP – Telefone do pesquisador e e-mail para contato do pesquisador responsável (inclusive ligações a cobrar.**

Também participam desta pesquisa os pesquisadores: (_____) Telefones para contato: (_____) e está sob a orientação de: _____ Telefone: (_____), e-mail (_____).

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- **Descrição da pesquisa e esclarecimento da participação:** O pesquisador deve justificar o motivo pelo qual a pesquisa está sendo desenvolvida e qual é o **OBJETIVO** dela. Em seguida, deve detalhar os procedimentos para a coleta de dados, explicando como ocorrerá a participação do voluntário nessa pesquisa: **O que será feito com o participante (ex: entrevista, responder um questionário, participação em um treinamento, participação em uma avaliação física, participação em um tratamento, permitir coleta de sangue etc).** **O pesquisador deve explicar: Onde será feita a coleta (qual o local físico ou virtual)? Como será feita a coleta (presencial ou online)? Individualmente ou em grupo? Em quantas vezes será feita a coleta? Qual o tempo de duração da coleta? O que será solicitado ao voluntário da pesquisa, para que a coleta de dados seja realizada?** OBS: O TCLE deve redigido de maneira concisa e de fácil compreensão por um indivíduo leigo, com qualquer grau de escolaridade. Não deve ser omissivo em relação aos procedimentos, nem conter termos técnicos. Esse TCLE deve elaborado com sentenças redigidas com afirmações do pesquisador dirigidas ao participante de pesquisa. Termos de consentimento longos e excessivamente detalhados com teorias e referencias simplesmente copiadas do projeto detalhado não são desejáveis, segundo manual de orientações da CONEP.
- **RISCOS:** O pesquisador deve descrever os potenciais riscos aos participantes (em relação aos procedimentos a que serão submetidos), sem subestimá-los e explicar quais medidas serão tomadas para minimizar os possíveis riscos. OBS: Não é papel do pesquisador graduar os riscos, portanto, o TCLE não deve mencionar que os riscos serão mínimos. **Os riscos devem ser descritos de maneira explícita e em seguida, devem ser detalhadas as providências e as cautelas que serão adotadas para evitar ou diminuir os riscos associados à pesquisa.**
- **BENEFÍCIOS diretos/indiretos** para os voluntários: O TCLE deve apresentar, de forma clara e objetiva, os potenciais benefícios da pesquisa ao participante, sem supervalorizá-los. Caso o estudo não antecipe qualquer benefício direto ao participante, essa informação deve constar do TCLE de forma explícita, mencionando então os benefícios indiretos da pesquisa para a população em geral.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (**gravações?, entrevistas?, fotos?, filmagens?, etc**), ficarão armazenados em (**pastas de arquivo? computador pessoal?**), sob a responsabilidade do (**pesquisador? Orientador?**), no endereço (**acima informado ou colocar o endereço do local**), pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: (**Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br**).

(assinatura do pesquisador)

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo _____ (**colocar o nome completo da pesquisa**) _____, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos,

assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade (ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento).

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Impressão
digital
(opcional)

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome:	Nome:
Assinatura:	Assinatura:

13.1.1 Termo de Consentimento Adelson Tiago Pereira da Conceição

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa (PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR: Resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado), que está sob a responsabilidade do pesquisador MARIO RUIZ MANRIQUE; Av. Gov. Carlos de Lima Cavalcante, nº 4631, Ap. 201, Rio Doce, Olinda/PE; CEP: 51040-125; fone: (81) 99484 2622; e-mail: mario.ruiz@ufpe.br e está sob a orientação de: Dr. Prof. Pedro Aléssio Martins Telefone: (81) 98191 1691, e-mail: pedro.alesio@ufpe.br

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- A pesquisa tem como intenção encontrar o material ideal de entre vários, filamentos de tecnologia STL e resinas de tecnologia STL, para produzir material didático a base de PEAD reciclado. O **OBJETIVO** dela é: Selecionar dentre vários materiais a serem usados no processo de MA os de melhor funcionalidade para produzir moldes para a injeção de plástico PEAD reciclado. COM A INTENÇÃO DE PROJETAR UM SISTEMA DEMOCRÁTICO para a confecção de modelos didáticos econômicos, duradouros, ecologicamente corretos e replicáveis.
- A sua participação dentro da pesquisa será feita através de: **uma entrevista, de cunho presencial, individual, em uma única seção, com um tempo médio estimado de 30 minutos**. A entrevista consta de 8 perguntas simples referentes a seus conhecimentos sobre a injeção de termoplásticos, uso de modelagem 3D com o auxílio da Manufatura Aditiva, produção de Modelos Didáticos e criação de Moldes feitos com tecnologia de Manufatura Aditiva.
- **RISCOS:** A sua participação na pesquisa carece de riscos para sua pessoa e a sua saúde.
- **BENEFÍCIOS:** Uma vez que o participante tem relação com a pesquisa por fazer parte do curso de Expressão Gráfica ou como docente ou discente, abrirá um novo leque de oportunidades enquanto a produção de material didático com uma tecnologia não usada antes dentro do curso.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações, entrevistas, fotos, etc), ficarão armazenados em (pastas de arquivo de Drive pessoal), sob a responsabilidade do pesquisador Mario Ruiz Manrique, no endereço (do Drive mario.ruiz@ufpe.br), pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço **Avenida da Engenharia s/n- 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br**.



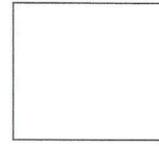
Mario Ruiz Manrique

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, Adelson Tiago Pereira da Conceição, CPF 712.344.194-08, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR: Resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos,

assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data Recife, 17/05/2024
Assinatura do participante: [assinatura]



Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: <u>Wenício da Silva Soares</u>	Nome:
Assinatura: <u>[assinatura]</u>	Assinatura:

13.1.2 Termo de Consentimento Letícia Teixeira Mendes

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa (PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR: Resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado), que está sob a responsabilidade do pesquisador MARIO RUIZ MANRIQUE; Av. Gov. Carlos de Lima Cavalcante, nº 4631, Ap. 201, Rio Doce, Olinda/PE; CEP: 51040-125; fone: (81) 99484 2622; e-mail: mario.ruiz@ufpe.br e está sob a orientação de: Dr. Prof. Pedro Aléssio Martins Telefone: (81) 98191 1691, e-mail: pedro.alesio@ufpe.br

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- A pesquisa tem como intenção encontrar o material ideal de entre vários, filamentos de tecnologia STL e resinas de tecnologia STL, para produzir material didático a base de PEAD reciclado. O **OBJETIVO** dela é: Selecionar dentre vários materiais a serem usados no processo de MA os de melhor funcionalidade para produzir moldes para a injeção de plástico PEAD reciclado. COM A INTENÇÃO DE PROJETAR UM SISTEMA DEMOCRÁTICO para a confecção de modelos didáticos econômicos, duradouros, ecologicamente corretos e replicáveis.
- A sua participação dentro da pesquisa será feita através de: **uma entrevista, de cunho presencial, individual, em uma única seção, com um tempo médio estimado de 30 minutos**. A entrevista consta de 8 perguntas simples referentes a seus conhecimentos sobre a injeção de termoplásticos, uso de modelagem 3D com o auxílio da Manufatura Aditiva, produção de Modelos Didáticos e criação de Moldes feitos com tecnologia de Manufatura Aditiva.
- **RISCOS:** A sua participação na pesquisa carece de riscos para sua pessoa e a sua saúde.
- **BENEFÍCIOS:** Uma vez que o participante tem relação com a pesquisa por fazer parte do curso de Expressão Gráfica ou como docente ou discente, abrirá um novo leque de oportunidades enquanto a produção de material didático com uma tecnologia não usada antes dentro do curso.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações, entrevistas, fotos, etc), ficarão armazenados em (pastas de arquivo de Drive pessoal), sob a responsabilidade do pesquisador Mario Ruiz Manrique, no endereço (do Drive mario.ruiz@ufpe.br), pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço **Avenida da Engenharia s/n- 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br**.



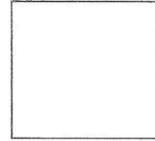
Mario Ruiz Manrique

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, Letícia Teixeira Mendes 302.592.428-45, CPF abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR: Resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos,

assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data Recife, 04 de junho de 2024
Assinatura do participante: [assinatura]



Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: <u>NUBIA MARIA SAUGADO RUIZ</u>	Nome:
Assinatura: <u>[assinatura]</u>	Assinatura:

13.1.3 Termo de Consentimento Maria Clara Lins de Amorim

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa (PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR: Resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado), que está sob a responsabilidade do pesquisador MARIO RUIZ MANRIQUE; Av. Gov. Carlos de Lima Cavalcante, nº 4631, Ap. 201, Rio Doce, Olinda/PE; CEP: 51040-125; fone: (81) 99484 2622; e-mail: mario.ruiz@ufpe.br e está sob a orientação de: Dr. Prof. Pedro Aléssio Martins Telefone: (81) 98191 1691, e-mail: pedro.alesio@ufpe.br

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com o pesquisador responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

- A pesquisa tem como intenção encontrar o material ideal de entre vários, filamentos de tecnologia STL e resinas de tecnologia STL, para produzir material didático a base de PEAD reciclado. O **OBJETIVO** dela é: Selecionar dentre vários materiais a serem usados no processo de MA os de melhor funcionalidade para produzir moldes para a injeção de plástico PEAD reciclado. COM A INTENÇÃO DE PROJETAR UM SISTEMA DEMOCRÁTICO para a confecção de modelos didáticos econômicos, duradouros, ecologicamente corretos e replicáveis.
- A sua participação dentro da pesquisa será feita através de: **uma entrevista, de cunho presencial, individual, em uma única seção, com um tempo médio estimado de 30 minutos.** A entrevista consta de 8 perguntas simples referentes a seus conhecimentos sobre a injeção de termoplásticos, uso de modelagem 3D com o auxílio da Manufatura Aditiva, produção de Modelos Didáticos e criação de Moldes feitos com tecnologia de Manufatura Aditiva.
- **RISCOS:** A sua participação na pesquisa carece de riscos para sua pessoa e a sua saúde.
- **BENEFÍCIOS:** Uma vez que o participante tem relação com a pesquisa por fazer parte do curso de Expressão Gráfica ou como docente ou discente, abrirá um novo leque de oportunidades enquanto a produção de material didático com uma tecnologia não usada antes dentro do curso.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (gravações, entrevistas, fotos, etc), ficarão armazenados em (pastas de arquivo de Drive pessoal), sob a responsabilidade do pesquisador Mario Ruiz Manrique, no endereço (do Drive mario.ruiz@ufpe.br), pelo período de mínimo 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço **Avenida da Engenharia s/n- 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br).**



Mario Ruiz Manrique

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, Maria Clara Lins de Amorim, CPF 121.603.114-21, abaixo assinado, após a leitura (ou a escuta da leitura) deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo PLASTIFICAR PARA DESPLASTIFICAR: Resolução de um sistema democrático para a confecção de modelos didáticos feitos a partir de polietileno de alta densidade reciclado, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo(a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos,

assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Local e data Recife 17/05/2024
Assinatura do participante: Maria Clara Lemos de Amaral



Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar. (02 testemunhas não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: <i>Márcio da Silva Soares</i>	Nome:
Assinatura: <i>[Signature]</i>	Assinatura: