

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE DESIGN – HABILITAÇÃO EM DESIGN DE PRODUTO

ALICE ALBUQUERQUE E SOUZA DE OLIVEIRA

**O DESIGN COMO FERRAMENTA DE TECNOLOGIA SOCIAL:
EQUIPAMENTO DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS**

Porto Alegre
2015

CIP - Catalogação na Publicação

Albuquerque e Souza de Oliveira, Alice
O design como ferramenta de tecnologia social:
equipamento de processamento de resíduos / Alice
Albuquerque e Souza de Oliveira. -- 2015.
169 f.

Orientadora: Lauren da Cunha Duarte.
Coorientadora: Ruth Marlene Campomanes Santana.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade
de Arquitetura, Curso de Design de Produto, Porto
Alegre, BR-RS, 2015.

1. resíduos sólidos. 2. processamento de materiais.
3. design social. 4. filamentos de impressão 3D. 5.
extrusora. I. da Cunha Duarte, Lauren, orient. II.
Campomanes Santana, Ruth Marlene, coorient. III.
Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CURSO DE DESIGN – HABILITAÇÃO EM DESIGN DE PRODUTO

ALICE ALBUQUERQUE E SOUZA DE OLIVEIRA

**O DESIGN COMO FERRAMENTA DE TECNOLOGIA SOCIAL:
EQUIPAMENTO DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS**

Trabalho de Conclusão de Curso II submetido ao Curso de Design de Produto, da Faculdade de arquitetura e Urbanismo da UFRGS, como quesito parcial para a obtenção do título de Designer.

Prof.^a. Orientadora: Lauren da Cunha Duarte
Prof.^a. Co-orientadora: Ruth Marlene C. Santana

Porto Alegre
2015

BANCA EXAMINADORA

ALICE ALBUQUERQUE E SOUZA DE OLIVEIRA

**O DESIGN COMO FERRAMENTA DE TECNOLOGIA SOCIAL:
EQUIPAMENTO DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS**

Trabalho de Conclusão de Curso II submetido ao Curso de Design de Produto, da Faculdade de arquitetura e Urbanismo da UFRGS, como quesito parcial para a obtenção do título de Designer.

Prof.^a. Orientadora: Lauren da Cunha Duarte

Prof.^a. Co-orientadora: Ruth Marlene C. Santana

Aprovado em: Porto Alegre, 8 de Julho de 2015

Prof.^a. Lauren da Cunha Duarte – Orientadora

Elisa G. Ashton – UFRGS

Prof.^a. Clariana Fischer Brendler – UFRGS

Prof. João Rogério M. Pereira – Externo

DEDICATÓRIA

À todas as pessoas que se envolveram neste projeto e que colaboraram para a sua realização de forma direta ou indireta: Lauren da Cunha Duarte, Ruth Marlene Santana, Centro de Triagem Vila Pinto, Associação de Recicladores de Dois Irmãos, Projeto Ecoprofetas, Lissandro Cantidio e Viviane Pestano, Laboratório de Seleção de Materiais, Elisa Ashton, Luis Henrique Candido, Claudio Salvalaio, Laboratório de Materiais Poliméricos, Andrea Bercini, Amanda Griebeler, Fabíola Pecce, Abbi e Ilana, Fernando Flores, Rafael Cardoso, Mariana Piccoli, Leonardo Barilli, Vera Felippi e Heloisa Crocco. À professora Maria do Carmo e aos meus amigos e colegas – Alice, Natália, Lemes, Paulista, Duda, Gui Rbsk, Camila e Arthur. O mundo precisa de mais pessoas como vocês. Às minhas queridas amigas e musas inspiracionais Larissa, Luiza Leoa, Manu e Petra. Aos amigos do Ronaldinho. Aos meus pais, o Pedro, o Thomas.... e o tini.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo o projeto de uma extrusora de polímeros compacta voltada para a produção de filamentos de impressão 3D nos centros de triagem, utilizando-se como matéria-prima sacolas plásticas recicladas. Em sua primeira etapa (TCCI), o trabalho consiste no planejamento do projeto, na investigação do contexto dos resíduos sólidos urbanos e centros de triagem em Porto Alegre e na análise de materiais descartados e processamentos alternativos de reciclagem. Em sua segunda etapa, consiste na definição e especificação do conceito projetual e o desenvolvimento do mesmo, na qual foram realizados os estágios de geração de alternativas, definição de sistemas e componentes e apresentação e detalhamento do produto desenvolvido.

Palavras-chaves: resíduos sólidos, processamento alternativo, design social, centros de triagem, impressão 3D, filamentos, caracterização de materiais, extrusora, design de produto

ABSTRACT

This Course Final Project (TCC) focuses on the developing of a compact polymer extruder intended to be used in recycling centers. This equipment was designed to produce 3D printing filaments from recycling waste such as plastic bags. In the first part of the project (TCCI) the work consists of project planning, research of the context of municipal solid waste and recycling centers in Porto Alegre and the analysis of waste materials and possible alternative recycling processes. The second part of the project consists in the definition and specification of the project concept and its development, in which activities such as alternatives generation, definition of systems and components and the presentation of the developed project have been verified.

Keywords: waste, material processing, social design, recycling centers, 3d printing, filaments, material science, polymer extrusion, product design

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa Ilustrativo das etapas do <i>Design Innovation Process</i>	20
Figura 2 – Gráfico do processo <i>Human Centered Design</i>	21
Figura 3 - Faixa Etária dos catadores e recicladores de Porto Alegre	42
Figura 4 - Fluxograma do percurso dos resíduos sólidos na Cooperativa de Dois Irmãos.	44
Figura 5 – Tambores específicos para cada material na triagem da Associação de Recicladores de Dois Irmãos.....	45
Figura 6 - Fluxograma da reciclagem mecânica da Cooperativa de Dois Irmãos.	46
Figura 7 – a) 1ª. Moinho, processo de lavagem e secagem e b) 2º. Moinho.	47
Figura 8 – Plásticos flexíveis aglutinados.	49
Figura 9 – Galpão de Triagem de Resíduos Sólidos do Centro de Triagem Vila Pinto.	51
Figura 10 - Extrusora em Cascata da empresa recicladora Valimplast.....	53
Figura 11 - Exposição do material em Cascata.....	54
Figura 12 – Matrizes cambiáveis desenvolvidas pela Valimplast.....	55
Figura 13 – Avisos de Segurança na Extrusora da Valimplast	56
Figura 14 - Símbolos de Classificação dos polímeros recicláveis	59
Figura 15 - Embalagens alimentícias analisadas compostas de BOPP.....	59
Figura 16 - Índice de reciclagem do Isopor®	61
Figura 17 - Amostras de Sacolas Plásticas em Porto Alegre numeradas.....	64
Figura 18 - Comparação do Espectro da Amostra 1 com material semelhante na base de dados do infravermelho.....	65
Figura 19 - Elementos do ensaio de densificação com Sopro	70
Figura 20 - Da esq. para dir., amostras 1 e 2 dos Ensaios com Sopro.	72
Figura 21 - Da esq. para a dir., amostras 3 e 4 dos Ensaios com Sopro.	73
Figura 22 - Registro do processo de Rompimento da Amostra 4	73
Figura 23 – Da esq. para a dir., amostras 5 e 6 do Ensaio com Sopro.....	74
Figura 24 – Da esq. para a direita, amostras 7 e 9 do Ensaio com Sopro.....	75
Figura 25 – Resultado da Amostra 8 do Ensaio com Sopro	75
Figura 26 – Da esq. para a direita, amostras 10 e 11 do Ensaio com Sopro.....	76
Figura 27 – Gaiola metálica para o 2º Ensaio de Sopro	77
Figura 28 - Resultados das amostras do 2º ciclo de Ensaios com Sopro.	78
Figura 29 - Da esq. para a dir., imagens eletrônicas de varredura do tipo BSE do material antes e após o aquecimento por sopro, aumento de 1000x.....	79

Figura 30 – Produtos artesanais fabricados com a fusão de sacolas plásticas.....	80
Figura 31 – Da esq. para a direita, amostras 1 e 2 dos ensaios com Ferro.....	81
Figura 32 – Da esq. para a direita, frente e verso das amostras 3 e 4 dos ensaios com Ferro	82
Figura 33 – Liquidificador doméstico utilizado no Ensaio.....	83
Figura 34 – Material preso às lâminas do Liquidificador	84
Figura 35 – Material recortado na tampa da Liquidificador	86
Figura 36 – Configuração das sacolas plásticas utilizadas nas Amostras 5, 6, e 7 do Ensaio	87
Figura 37 – Material da Amostra 8, antes (A) e após (B) o ensaio com liquidificador.....	87
Figura 38 – Extrusora Monorosca do LAPOL.....	88
Figura 39 – Material recortado pré- processo (A) e o material resultante (B).....	89
Figura 40 – Filamento obtido na primeira sessão de extrusão no LAPOL	90
Figura 41 – Produção de filamentos de PEAD na extrusora do LAPOL	92
Figura 42 – Histograma da Variação de diâmetro do filamento da 2ª. Sessão de extrusão	93
Figura 43 – Fotografia microscópica de secções transversais do filamento extrusado	94
Figura 44 - Microscopia digital de uma porção longitudinal do filamento.....	95
Figura 45 - Imagem eletrônica de varredura do tipo BSE da da fatia transversal do filamento, ampliação de 50x	96
Figura 46 – Imagem eletrônica de varredura do tipo BSE da vista lateral de <i>pellets</i> processados pela Valimplast, ampliação de 100x (elipses vermelhas indicam os <i>pellets</i>)	97
Figura 47 – Corpo de prova do Ensaio de tração com filamentos.....	97
Figura 48 – Corpo de prova posicionado no equipamento para realização do Ensaio	98
Figura 49 – Resultados do Ensaio de Tração	99
Figura 50 – Sobreposição dos gráficos do Ensaio de Tração. Cada cor representa os dados para uma determinada amostra.....	100
Figura 51 – Caneta 3D 3Doodler 1.0	101
Figura 52 – Filamento obtido pela extrusão de sacola plástica (PEAD) sendo utilizado na Caneta 3D	102
Figura 53 – Filamentos de ABS comercializados pela <i>3Doodler</i>	103
Figura 54 – Bolsas produzidas pelos artesãos da <i>G-lish Foundation</i>	104
Figura 55 - Fabricação, Fios e Tecido do projeto <i>Precious Waste</i>	105
Figura 56 – Da esq. para a direita, sacola recortada em tiras e o tecido resultante do projeto.	106
Figura 57 – Peças da linha <i>Wearable Lace</i> da designer Laura Anne Marsden.....	106
Figura 58 – Peças de joalheria da artista Gretel Kalínska produzidas com sacolas plásticas.....	107
Figura 59 – Sapato produzido no projeto <i>Everything You Buy is Rubbish</i>	108

Figura 60 – Processo de fabricação dos sapatos <i>Everything You Buy is Rubbish</i>	109
Figura 61 – Cadeira do Projeto <i>Sea Chair</i> do <i>Studio Swine</i>	110
Figura 62 – Sistema para fundir os resíduos plásticos utilizados na <i>Sea Chair</i>	111
Figura 63 – Bancos de alumínio produzidos no projeto <i>Can City</i>	112
Figura 64 – Processo de fabricação do banco do projeto <i>Can City</i>	113
Figura 65 – O equipamento <i>Polyfloss Machine</i>	114
Figura 66 - Testes de aplicação e técnicas de pós-produção do <i>Polyfloss</i> : a) revestimento,	115
Figura 67 – Miniestação de Processamento de polímeros do projeto <i>Precious Plastic</i>	116
Figura 68 – Equipamento de Rotomoldagem do Projeto <i>Precious Plastic</i>	117
Figura 69 – Injetora desenvolvida no Projeto <i>Precious Plastic</i>	118
Figura 70 – Extrusora desenvolvida no projeto <i>Precious Plastic</i>	119
Figura 71 – Da esq. para a dir.: “bicimáquina” que opera um liquidificador e “bicimáquina” com sistema próprio de moagem de alimentos.....	120
Figura 72 – Bancos produzidos pelos participantes do projeto <i>Cucula</i>	121
Figura 73 – Vista explodida da extrusora projetada pela organização <i>PlasticBank</i>	122
Figura 74 – Desenho tridimensional da extrusora projetada pela organização <i>PlasticBank</i>	123
Figura 75 – Estrutura de suporte da extrusora da <i>Plastic Bank</i>	124
Figura 76 – Uma extrusora <i>Filabot Wee</i> desmontada com todas suas peças	125
Figura 77 – Vista lateral da extrusora <i>Filabot Wee</i> montada.	126
Figura 78 – Sistema da extrusora Lyman/Mulier.....	127
Figura 79 - Vista fatiada do sistema de extrusão da extrusora Lyman/Mulier.....	128
Figura 80 – Ações realizadas pelo usuário na operação da extrusora	134
Figura 81 –Motor de Passo Nema 23 com redutor planetário	137
Figura 82 – Painel de expressão do produto	139
Figura 83 – Alternativa de posicionamento linear com 1 motor	139
Figura 84 – Alternativas de posicionamento linear com dois motores.....	140
Figura 85 – Vista superior de diferentes arranjos e posicionamentos dos eixos da extrusora	142
Figura 86 – Alternativas com cilindros em sentidos contrários	143
Figura 87 – Alternativas de proteção para a zona de degasagem.....	144
Figura 88 – Referências conceituais da configuração da proteção da zona de degasagem	144
Figura 89 – Estudo preliminar da forma e estrutura dos componentes da extrusora	145
Figura 90 – Vista geral da estrutura final da extrusora	146
Figura 91 – Base da extrusora, composta por madeira <i>Pinus Elliotti</i>	147
Figura 92 - Estrutura central vertical da extrusora, composta por madeira <i>Pinus Elliotti</i>	148

Figura 93 – Vista explodida dos componentes do Sistema da Extrusora Inferior	148
Figura 94 – Desenho técnico do sistema da Extrusora Inferior	149
Figura 95 – Parafuso do Sistema 2 da extrusora	150
Figura 96 – Detalhe da montagem da matriz, banda e disco de ruptura do sistema da Extrusora Inferior	150
Figura 97 – Disco de Ruptura do Sistema da Extrusora inferior.....	151
Figura 98 – Desenho técnico das vistas frontal, lateral e de um corte da seção central da matriz.	151
Figura 99 – Identificação das zonas de aquecimento presentes nas bandas das resistências elétricas	152
Figura 100 – Dois sistemas de extrusora fixados nos componentes de sustentação da extrusora.	153
Figura 101 – Vista Explodida dos componentes do Sistema 2	154
Figura 102 – Rosca do Sistema 1 da extrusora	154
Figura 103 – Detalhe da zona onde ocorre o processo de degasagem entre os cilindros.	155
Figura 104 – Vista explodida das peças que compõem o Sistema de Estiramento.	155
Figura 105 – Posicionamento do Sistema de estiramento na montagem da extrusora.....	157
Figura 106 – Proteção do motor de baixo composto por madeira <i>Pinus Elliotti</i>	157
Figura 107 – Exemplos de modelos similares que utilizam madeira como base da sua estrutura.	158
Figura 108 – Simulação da montagem das chapas da proteção do motor de baixo na base da extrusora.....	159
Figura 109 – Sinalização de perigo localizada na face frontal da chapa lateral da Proteção do motor de baixo.	159
Figura 110 – Montagem da extrusora até o momento da introdução da proteção do motor de cima	160
Figura 111 – Conjunto de peças eletrônicas <i>RepRap Arduino Mega Polulu Shield (RAMPS)</i>	161
Figura 112 – Elementos de composição da proteção do motor de cima.....	161
Figura 113 – Posicionamento do botão de emergência na face frontal da proteção da caixa de cima	162
Figura 114 – Montagem das chapas de madeira da proteção do motor de cima	163
Figura 115 – Painel de Controle da extrusora localizado na tampa da proteção do motor de cima	163
Figura 116 - Mudança cromático dos LEDs no controle de velocidade indicando o acionamento e o alcance da temperatura desejada	165
Figura 117 – Proteção acoplável do sistema de degasagem.....	166
Figura 118 – Vista frontal da extrusora montada na sua configuração completa.	166

Figura 119 – Vista frontal fatiada, em uma secção ao centro das roscas da extrusora	167
Figura 120 – Vista frontal do protótipo tridimensional da extrusora.....	168
Figura 121 – Simulação da utilização do painel de controle da extrusora	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais mudanças ocasionadas pela PNRS	25
Tabela 2 – Composição Gravimétrica média dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2008.	27
Tabela 3 – Quantidade de resíduos no Brasil e a sua destinação	28
Tabela 4 – Estimativas de Benefícios da Coleta Seletiva.....	31
Tabela 5 – Estimativa dos benefícios econômicos e ambientais da reciclagem.....	31
Tabela 6 – Classificação dos polímeros beneficiados pela Cooperativa de Dois Irmãos	45
Tabela 7 – Resultado da pesquisa HQI da Análise FTIR	65
Tabela 8 – Propriedades do PEAD.....	66
Tabela 9 – Durabilidade do PEAD em relação a fluidos e luz solar	67
Tabela 10 – Gasto energético e pegada de carbono no processamento de PEAD	68
Tabela 11 – Reciclagem do PEAD	68
Tabela 12 – Ensaio de Aquecimento com Sopro	71
Tabela 13 – Testes realizados no 2º ciclo de ensaios com Sopro.....	77
Tabela 14 – Ensaio com Ferro de passar.....	81
Tabela 15 – Amostras do Ensaio com Liquidificador	85
Tabela 16 – Configurações da Extrusora no 1º. Ensaio	90
Tabela 17 – Configurações iniciais da segunda sessão de extrusão no LAPOL	91
Tabela 18 – Quadro comparativo entre as extrusoras similares analisadas	129
Tabela 19 – Relação entre as ações realizadas pelo usuário e os componentes da extrusora	135
Tabela 20 – Medidas típicas dos parafusos de extrusora Monorosca	136
Tabela 21- Quadro Comparativo entre motor de passo e motor de corrente contínua	137
Tabela 22 – Peças que compõem o Sistema 1 da extrusora	149
Tabela 23 – Peças que compõem o Sistema 2 da extrusora	153
Tabela 24 – Peças que compõem o Sistema de Estiramento.....	156
Tabela 25 – Acionamentos presentes no Painel de controle da extrusora.....	164

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABS	Acrlonitrila butadieno estireno
AREVIPA	Associação de Recicladores da Vila dos Papeleiros
BOPP	Polipropileno biorientado
BSE	<i>Back-scattered electrons</i>
CBO	Classificação Brasileira de Ocupações
CETEA	Centro de Tecnologia de Embalagem
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
DIR.	Direita
DLC	Divisão de Limpeza e Coleta
DMLU	Departamento Municipal de Limpeza Urbana
EPS	Poliestireno Expandido
ESQ.	Esquerda
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
HCD	<i>Human Centered Design</i> (design centrado na pessoa)
HIPS	Poliestireno de alto impacto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LAPOL	Laboratório de Materiais Poliméricos da UFRGS
LDSM	Laboratório de Seleção de Materiais da UFRGS
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MNRS	Movimento Nacional de Recicladores de Resíduos
N	Newton(s)
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PEVs	Postos de Entrega Voluntária
PLA	Poliácido láctico ou ácido poliláctico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de Vinila
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTs	Unidades de Triagem
TS	Tecnologia Social
VTAs	Veículos de Tração Animal
VTHs	Veículos de Tração Humana
XPS	Poliestireno extrusado

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: PLANEJAMENTO DE PROJETO	15
1.1. Contextualização do Problema	15
1.1.1. Problematização	17
1.1.2. Justificativa	18
1.2. Objetivos	19
1.3. Estrutura Metodológica	20
CAPÍTULO II: INVESTIGAÇÃO	24
2.1. Resíduos Sólidos Urbanos	24
2.1.1. Coleta Seletiva e Reciclagem.....	29
2.2. Design Social e Economia Solidária	32
2.2.1 Filamentos Éticos	35
2.3. Catadores e Unidades de Triagem	36
2.3.1. Unidades de Triagem e Recicladores de Porto Alegre	40
2.4. Saída de Campo	43
2.4.1. Cooperativa de Recicladores de Dois Irmãos	44
2.4.2. Visita ao Centro de Triagem da Vila Pinto.....	50
2.4.3. Visita a Valimplast	52
CAPÍTULO III: Análise	57
3.1. Materiais Problema	57
3.2. Sacolas Plásticas	63
3.2.1. PEAD.....	65
3.2.2. Alternativas de Processamento: Densificação por Sopro	70
3.2.3. Alternativas de Processamento: Densificação por Ferro de passar	80
3.2.4. Moagem com Liquidificador (Simulação Caseira de Aglutinador)	82
3.3. Processamento por Extrusão.....	88
3.3.1 Ensaio com Impressão	100
3.4 Análise de Similares	103
3.4.1. Similares que utilizam a reciclagem de sacolas plásticas	104
3.4.2. Similares com Processamentos Alternativos	108
3.4.3 Similares de Design Social	119
3.4.4. Similares de Extrusoras de Filamentos	121
CAPÍTULO IV: Desenvolvimento	130
4.1 Conceito	130
4.2 Especificações de Projeto	133
4.2.1 Concepção do Estilo.....	138
4.3 Geração de Alternativas.....	139
4.4 Apresentação do Produto	146
4.4.1. Protótipo tridimensional	167
5. Referências	171

CAPÍTULO I: PLANEJAMENTO DE PROJETO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DE PROJETO

“Talvez a imobilidade das coisas ao nosso redor lhes seja imposta pela nossa certeza de que tais coisas são elas mesmas e não outras, pela imobilidade de nosso pensamento em relação a elas”
Proust

A produção em escala industrial e a utilização de materiais sintéticos possibilitaram o surgimento de uma maior quantidade de produtos no mercado com custos mais baixos. Isto fez com que, de maneira geral, a qualidade de vida do indivíduo aumentasse, possibilitando o acesso a bens de consumo e serviços que anteriormente estavam destinados apenas às classes sociais mais altas. Porém, este avanço também trouxe algumas desvantagens. Apesar de fundamentais para a qualidade de vida desejada para a sociedade, o crescente consumo de produtos, também está relacionado, de maneira direta ou indireta, com parte da poluição e esgotamento de recursos causados pela ação humana (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2001). A abundância de bens de consumo disponíveis no mercado é um aspecto contrastante com o aumento da conscientização de que matérias-primas não são inesgotáveis e assim, cada vez mais surgem questionamentos sobre as implicações e consequências da maneira que a sociedade se relaciona com o que consome, como retrata o escritor e historiador Rafael Cardoso (2008):

“O conflito entre consumo e meio ambiente não é um problema ultrapassado e nem uma questão de alarmismo ou 'ecochatice', como dizem alguns. Não resta dúvida de que o modelo consumista da prosperidade pela expansão contínua da produção e das vendas é insustentável a longo prazo. Em alguns aspectos, já atingimos há muito tempo os limites do equilíbrio e ingressamos na contagem regressiva para o esgotamento desse ou daquele recurso natural” (Rafael Cardoso, 2008, pág. 247).

A necessidade de mudança desta interação se apresenta de modo mais objetivo quando se analisa a maneira com que se lida com o material que é descartado. De maneira geral, a população encara aquilo que é descartado como lixo, porém “Se lixo é uma ideia que se faz do objeto, então segue que é possível redimir uma parcela das coisas

que tratamos como lixo pela requalificação do seu sentido” (CARDOSO, 2012, pág. 158). O documentário *Lixo Extraordinário*, que retrata o trabalho realizado pelo artista plástico brasileiro Vik Muniz com catadores de materiais recicláveis do aterro do Jardim Gramacho, demonstra a disparidade semântica em relação aos materiais descartados. Aquilo que é visto como lixo por boa parte da sociedade, e portanto, é inútil para estes, é indispensável para os trabalhadores do lixão do Jardim Gramacho, que dependiam deste material como fonte de renda. Já o artista, ao analisar os artefatos descartados com um olhar diferenciado, identificou neles elementos valiosos para a representação da sua arte. O mesmo se dá para o design. Por meio de processos de ressignificação, materiais descartados também podem adquirir novas interpretações.

A implementação de novas estratégias para o descarte é uma necessidade de extrema importância e interesse público, visto que recursos naturais e humanos são limitados. A rematerialização e reciclagem do material que é descartado consiste em um grande desafio para a prática do design como agente de transformação, que busca proporcionar uma mudança no estilo de vida e consumo da sociedade, perante a crise ambiental existente (DOS SANTOS, 2008). Quanto a geração de produtos, deve-se buscar uma produção mais consciente, implementando uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos de fabricação. Neste sistema, o designer tem um papel fundamental, pois está presente em todas as etapas do desenvolvimento de produtos. Devido ao seu grande potencial de atuação, o design é um dos fatores mais influentes no avanço de um sistema de produção sustentável (GIUDICE, ROSA e RISITANO, 2006). O ideal é a concepção de um produto que utiliza de modo eficiente matérias-primas, água e energia, minimizando a quantidade de resíduos gerados. "Não há problema em consumir produtos industrializados ou feitos em plástico, mas devemos estar cientes sobre a sua destinação correta e sobre como evitar o aumento do volume dos resíduos" (ABREU e PALHARES, 2010). O design pode ser utilizado como ferramenta de impacto social, que através da busca de soluções para este problema social e urbano, possa promover mudanças no modo em que nos relacionamos com o que descartamos. Novas políticas e legislações ambientais, podem impulsionar um aumento da conscientização da indústria quanto a utilização consciente de recursos e a possibilidade

de reutilização e reciclagem de materiais descartados, visto que vantagens econômicas e ambientais associadas a estas práticas, tem se mostrado cada vez mais efetivas.

O sistema de coleta seletiva é uma etapa essencial para a reinserção de materiais descartados no mercado e, conseqüentemente, para a redução da quantidade de resíduos depositados nos aterros sanitários. Atualmente no Brasil, parte da coleta de materiais recicláveis é feita por catadores de resíduos sólidos de maneira informal. Estes sujeitos atuam de maneira independente, coletando resíduos nas cidades e lixões ilegais. A formação de cooperativas e associações de recicladores de resíduos sólidos é uma alternativa que busca proporcionar melhores condições de trabalho, resgatando a posição de cidadão destas pessoas, com direito a benefícios sociais e a possibilidade de ascensão social (FADINI e FADINI, 2011). Mesmo atuando em unidades de triagem, os recicladores ainda encontram dificuldades, principalmente em relação às condições de insalubridade na realização do seu trabalho e no atual arranjo mercadológico que não valoriza a sua função. Dentro da cadeia atual de reciclagem, cabe aos centros de triagem a função de separação dos materiais descartados, de acordo com aquilo que é demandado pela indústria recicladora. Usualmente, o material triado pela associação é vendido para empresas que irão aplicar neste material os beneficiamentos necessários para a sua utilização na indústria. Deste modo, ao serem processados, estes materiais recebem um novo significado, deixam de ser considerados resíduos, para se tornar insumos de produção. A possibilidade dos próprios catadores e triadores transformarem os resíduos, dentro das unidades de triagem, convertendo-o em novos produtos ou insumos de produção, pode acarretar na valorização do trabalho realizado por eles. O processamento de materiais se mostra como uma possibilidade para geração de maior renda para estes sujeitos.

1.1.1. PROBLEMATIZAÇÃO

Pode o design atuar no contexto dos centros de triagem e contribuir para o desenvolvimento ambiental, tecnológico e social, por meio da criação de ferramentas alternativas de processamento de materiais?

1.1.2. JUSTIFICATIVA

Muitos resíduos sólidos urbanos que são recicláveis, acabam não sendo de fato reciclados devido a inviabilidade econômica do seu beneficiamento. Este fato é usualmente uma consequência do desinteresse por parte do mercado de materiais recicláveis em consumir este material em virtude de diferentes fatores. Seja devido ao baixo custo de produção com material virgem ou ao alto custo de uma reciclagem que garanta a qualidade do material reciclado, todos estes aspectos acarretam na desvalorização do material comercializado pelos centros de triagem. Neste contexto, a reciclagem mecânica é uma alternativa de geração de renda com a capacidade de promover bem estar para as pessoas que trabalham junto aos centros de triagem.

Dentro do ciclo da reciclagem, a participação dos centros de triagem está nas etapas iniciais de separação, prensagem e enfardamento de resíduos. A renda média de triadores e recicladores está entre R\$420,00 e R\$520,00 reais, não atingindo o salário mínimo (FREITAS e FONSECA, 2011). Pode-se admitir que a ampliação da sua participação no ciclo da reciclagem, possibilitaria a geração um maior rendimento individual para os recicladores, além de motivar um maior reconhecimento da importância do trabalho realizado pelas cooperativas e associações de reciclagem. A coleta seletiva e a reciclagem não só oferecem benefícios em relação a sustentabilidade por meio da redução de resíduos passivos depositados em aterros, mas também por proporcionar uma atividade econômica inclusiva.

Levando em consideração o contexto de muitos centros de triagem no Brasil, percebe-se a necessidade de um projeto de processamento alternativo que viabilize a realização da reciclagem mecânica de certos resíduos sólidos dentro do próprio centro de triagem. Estes chamados processos alternativos, são alternativos em relação aos processos existentes de beneficiamento de resíduos que na sua grande maioria ocorrem em escala industrial, sendo assim inadequados para o contexto do centro de triagem.

1.2. OBJETIVOS

O Trabalho de Conclusão de Curso do Design de Produto é realizado em duas etapas. Durante a primeira etapa, TCCI, o objetivo geral foi compreender o cenário da reciclagem de resíduos sólidos urbanos e identificar materiais descartados que possam ser beneficiados nos próprios centros de triagem. Foram objetivos específicos realizados na primeira etapa do projeto:

- Identificar os materiais encontrados nos resíduos sólidos recicláveis e seus valores no mercado de reciclagem local;
- Estipular possíveis materiais de descarte a serem beneficiados, de acordo com o seu valor e disponibilidade;
- Investigar processos de beneficiamento e reciclagem de materiais adequando-os aos resíduos escolhidos para o desenvolvimento do projeto;

Com o andamento e a finalização do Trabalho de Conclusão de Curso I foram identificados materiais presentes nos resíduos sólidos que poderiam através do seu beneficiamento, trazer benefícios para as associações de recicladores. Optou-se por trabalhar com as sacolas plásticas de PEAD e a possibilidade de transformação deste material em filamentos. As informações coletadas nesta primeira etapa colaboraram para que se buscasse como objetivo no TCCII projetar uma extrusora voltada para a produção de filamentos, com o objetivo de serem utilizados para equipamentos de impressão 3D. Os objetivos específicos desta segunda etapa do projeto são listados abaixo:

- Identificar os processos necessários para a produção dos filamentos;
- Buscar e analisar similares de extrusoras;
- Identificar requisitos projetuais;
- Elaborar alternativas e analisar possibilidades de mecanismos e configurações;
- Desenvolver o projeto de uma extrusora monorosca para a produção de filamentos de impressão 3D capaz de atender as necessidades do usuário e seu contexto, além dos requisitos estabelecidos.

1.3. Estrutura Metodológica

A estruturação deste trabalho ocorre pela combinação entre o processo de HCD (*Human Centered Design* ou Design Centrado na Pessoa) e a metodologia apresentada por Vijay Kumar (2012). Algumas ferramentas apresentadas no Guia de Design da *Delft University of Technology* (BOEIJEN, 2013) e no livro “Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos” de Mike Baxter, também serão aplicadas ao longo do projeto.

O método de Kumar (2012), intitulado *The Design Innovation Process*, se movimenta através de modos de atividade que oscilam entre os polos real ou abstrato e compreensão ou fazer, passando por 7 principais etapas de atividade. Na Figura 1 está presente o mapa ilustrativo das etapas do *Design Innovation Process*.

Figura 1 – Mapa Ilustrativo das etapas do *Design Innovation Process*

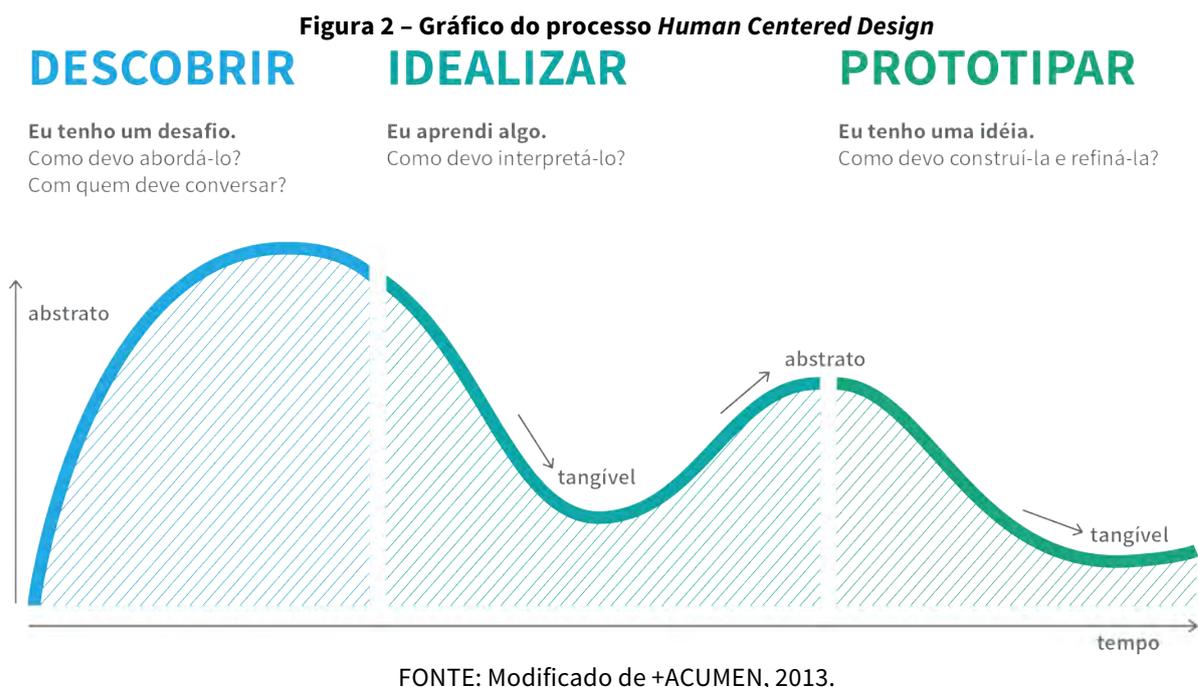


FONTE: Modificado de KUMAR, 2012.

O quadrante inferior esquerdo representa a pesquisa e a investigação de fatores presentes na situação atual. Por meio de uma profunda compreensão desta situação, segue-se para o próximo quadrante, superior esquerdo, que representa a análise, onde as informações sobre a realidade são processadas e busca-se criar abstrações e modelos conceituais que possam reformular o problema inicial de novas maneiras com a intenção de impulsionar inovação. O quadrante superior direito é a síntese, etapa na qual os

modelos desenvolvidos durante a análise são tomados como base para a geração de novos conceitos e alternativas. O quadrante inferior direito define a realização, ou seja, a implementação do conceito projetual.

O processo de HCD possui três etapas que decorrem de maneira iterativa e oscilam entre os conceitos de tangível e abstrato (Figura 2). O design centrado na pessoa (HCD) tem como base a investigação empática, ou seja, o reconhecimento da importância da comunicação com os usuários, a observação de seus comportamentos e a análise de suas visões e necessidades (IDEO, 2009). A primeira etapa, **DESCOBRIR** (*discover*), começa pela obtenção de informações e pesquisa do contexto projetual, buscando uma profunda compreensão da situação atual e necessidades dos envolvidos. O conceito de aprender com as pessoas, também inclui a consulta com especialistas, pois estes possibilitam a apreensão de uma grande quantidade de informações em um espaço mais curto de tempo, além de poderem indicar um direcionamento a pesquisa e apresentar os avanços e resultados de estudos similares (ACUMEN, 2013).



A passagem da etapa **DESCOBRIR** para **IDEALIZAR** no processo HCD é análoga a transição do quadrante de análise para síntese no *Design Innovation Process*. A etapa **IDEALIZAR** consiste na síntese do conhecimento adquirido na etapa anterior em busca de possíveis alternativas e soluções. Isto é seguido pela etapa final, **PROTOTIPAR**, de

prototipagem e desenvolvimento de um produto tangível que representa a solução encontrada.

A utilização dos conceitos de HCD se mostra adequada ao projeto, devido a especificidade relacionada a projetos de design social, onde cada caso é um caso, e as condições e necessidades individuais de cada grupo pode influenciar muito o resultado do projeto. Assim como o processo de HCD, o presente projeto será dividido em três etapas, sendo que a primeira etapa será realizada no TCC I e as demais (segunda e terceira) ao longo do TCC II. A primeira etapa, Investigação e Análise, que corresponde aos capítulos I e II deste trabalho, compreende as etapas de Pesquisa e Análise do *Design Innovation Process* e a etapa DESCOBRIR do processo de HCD. Algumas atividades realizadas nesta etapa:

- Entrevistar os usuários e demais possíveis envolvidos no processo de triagem de materiais em centros de triagem, para obter uma compreensão do contexto global no qual estes centros de triagem se encontram.
- Pesquisar publicações existentes que possam estar relacionadas ao tópico do projeto. Categorizar o material bibliográfico encontrado, ordenando de diferentes formas como título, tópico ou autor. Extrair percepções dos textos e avaliar estas ideias com base na sua relevância para o projeto (KUMAR, 2012).
- Pesquisar os materiais descartados e relacioná-los aos seus valores de mercado, abundância e trabalhabilidade. Através desta pesquisa, elencar os possíveis materiais a serem utilizados, quais suas vantagens e suas desvantagens.
- Analisar os materiais selecionados quanto a sua composição e propriedades mecânicas, utilizando as técnicas de Espectroscopia com Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV).
- Realizar ensaios de alternativas de processamento.
- Realizar pesquisa com especialistas, investigar possíveis processos de beneficiamento, fabricação e maquinários existentes que possam ser utilizados neste contexto.
- Estudar projetos e estruturas similares ao equipamento a ser desenvolvido, buscando relações e possibilidades de adaptação.

A segunda etapa, Síntese e Conceitualização, que está apresentada no capítulo III, compreende a etapa de síntese do *Design Innovation Process* e a etapa IDEALIZAR (*ideate*) do processo de HCD. Algumas atividades realizadas nesta etapa:

- Investigar as possibilidades de produção relacionadas aos processos de fabricação apontados. Para tal, utilizar ferramentas como a “H2” ou “*How To*”. São declarações de problemas escritas na forma "Como fazer" (por exemplo: Como fazer para transportar uma mala dentro do aeroporto?). A ideia é criar uma ampla variedade de descrições do problema, mostrando diferentes perspectivas para um problema sem apresentar um pré-julgamento das ideias descritas (BOEIJEN, 2013).
- Criar alternativas utilizando a ferramenta de *Brainstorming*, criação de palavras-chaves e esquemas visuais, tendo um problema inicial e concreto para atingir.
- Definir o conceito projetual e estabelecer requisitos para o projeto.
- Gerar alternativas através de *sketches* e representações gráficas de ideias.

A última etapa, Desenvolvimento e Prototipagem, presente no capítulo III, compreende a etapa de “Realização” do *Design Innovation Process* (KUMAR, 2012) e a etapa PROTOTIPAR (*prototype*) do processo de HCD (ACUMEN, 2013). Algumas atividades realizadas nesta etapa:

- Definir as características do equipamento, baseando-se no resultado da etapa anterior.
- Elaborar um modelo tridimensional virtual para melhor visualização e edição da configuração do equipamento.
- Elaborar um manual de uso do equipamento.
- Fabricar um protótipo em escala real.

CAPÍTULO II: INVESTIGAÇÃO

2.1. Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduos constituem o que comumente chamamos de lixo: material descartado, excedente gerado pela atividade humana. São produtos secundários sem utilidade ou cuja vida útil tenha acabado. Segundo a Norma ABNT NBR 10004/1987 (ABNT, 2004) são definidos resíduos sólidos:

“resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Porém, como evidencia a socióloga Elisabeth Grimberg (2007, pág. 11), não cabe a denominação de lixo para tudo aquilo que sobra no processo de produção ou de consumo: “É preciso diferenciar os termos lixo de resíduos sólidos recicláveis. Quando misturados, restos de alimentos, embalagens descartadas e objetos inservíveis tornam-se lixo, que deve ter como destino ambientalmente adequado o aterro sanitário. Esses mesmos materiais, quando disponibilizados separadamente para a coleta seletiva (resíduos secos e úmidos) tornam-se materiais reaproveitáveis ou recicláveis”. Promulgada no dia 2 de agosto de 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece um marco regulatório no âmbito de resíduos sólidos no Brasil. O Art. 3º da Lei da PNRS, Lei nº 12.305/10, faz a distinção entre rejeitos e resíduos sólidos (BRASIL, 2010a), definindo:

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a

cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

A lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visa a disposição correta dos resíduos sólidos, a redução do volume geral dos resíduos e a ampliação da reciclagem vinculada à prática da coleta seletiva com inclusão social de catadores. Baseia-se no conceito de responsabilidade compartilhada, onde a sociedade como um todo (cidadãos, governos, setor privado e sociedade civil organizada) é responsável pela gestão correta dos resíduos sólidos. Esta visão sistêmica da gestão de resíduos sólidos leva em consideração as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública. A Lei estima a redução da geração dos resíduos, que pode ser concretizada através da prática de hábitos de consumo sustentável e a aplicação de um conjunto de instrumentos que propiciam o aumento da reciclagem, a reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente correta dos rejeitos (REDE SOCIAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS, 2013). As principais mudanças que serão ocasionadas pela PNRS estão presentes na Tabela 1 desenvolvida pela Associação CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem (2013).

Tabela 1 – Principais mudanças ocasionadas pela PNRS

	Antes	Depois
PODER PÚBLICO	Pouca prioridade para a questão do lixo urbano.	Municípios deverão traçar um plano para gerenciar resíduos, buscando a inclusão dos catadores.
	Maioria dos municípios destinava os dejetos para lixões a céu aberto.	Lixões passam a ser proibidos e devem ser erradicados até 2014, com a criação de aterros que sigam as normas ambientais.
	Sem aproveitamento dos resíduos orgânicos.	Municípios devem instalar a compostagem para atender a toda a população.
	Coleta seletiva ineficiente e pouco expressiva.	Prefeituras devem organizar a coleta seletiva de recicláveis para atender toda a população, fiscalizar e controlar os custos desse processo.
	Falta de organização.	Municípios devem incentivar a participação dos catadores em cooperativas a fim de melhorar suas condições de trabalho.

	Antes	Depois
EMPRESAS	Inexistência de regulação sobre os investimentos privados na administração de resíduos.	Legislação prevê investimentos das empresas no tratamento dos resíduos.
	Poucos incentivos financeiros.	Novos estímulos financeiros para a reciclagem.
	Desperdício de materiais e falta de processos de reciclagem e reutilização.	A reciclagem estimulará a economia de matérias-primas e colaborará para a geração de renda no setor.
	Sem regulação específica.	Empresas apoiam postos de entrega voluntária e cooperativas, além de garantir a compra dos materiais a preços de mercado.
CATADORES	Manejo do lixo feito por atravessadores, com riscos à saúde.	Catadores deverão se filiar a cooperativas de forma a melhorar o ambiente de trabalho, reduzir os riscos à saúde e aumentar a renda.
	Predominância da informalidade no setor.	Cooperativas deverão estabelecer parcerias com empresas e prefeituras para realizar coleta e reciclagem.
	Problemas tanto na qualidade como na quantidade dos resíduos.	Aumento do volume e melhora da qualidade dos dejetos que serão reaproveitados ou reciclados.
	Catadores sem qualificação.	Os trabalhadores passarão por treinamentos para melhorar a produtividade.
POPULAÇÃO	Separação inexpressiva de lixo reciclável nas residências.	População separará o lixo reciclável na residência.
	Falta de informações.	Realização de campanhas educativas sobre o tema.
	Atendimento da coleta seletiva pouco eficiente.	Coleta seletiva será expandida.

FONTE: CEMPRE, 2013.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada em 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), o total de resíduos domiciliares coletados diariamente no Brasil era de 125,281 mil toneladas de resíduos domiciliares. O estudo da composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (Tabela 2), realizado pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) em 2008, aponta aumento de 35% no total de resíduos domiciliares coletados diariamente, se comparados os valores de 2000 (IPEA, 2012). O aumento do volume de resíduos domiciliares era esperado devido ao crescimento da população brasileira. Porém, a produção de resíduos sólidos ultrapassou o crescimento da população, que entre 2000 e 2010 cresceu 12% (IBGE, 2010). Isso indica que para além da expansão populacional, os brasileiros tem produzido uma maior quantidade de resíduo por pessoa, provavelmente em associação ao aumento do poder de consumo da população e a falta de consciência em relação ao tema.

Tabela 2 – Composição Gravimétrica média dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2008.

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Materiais Recicláveis	31,9	58.527,40
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e Tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico Total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria Orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100	183.481,50

FONTE: IPEA, 2012.

Com relação à destinação final destes resíduos, existem ainda hoje no Brasil três principais formas de disposição dos rejeitos: lixões, aterro controlado e aterro sanitário. O lixão é a disposição a céu aberto, sem nenhuma preocupação com critérios sanitários e de proteção ambiental. Em sua maioria, os lixões são clandestinos, pois são, a curto prazo, a alternativa mais barata de descarte de resíduos, pois não implicam em custos de tratamento ou controle (GONÇALVES, 1997). O lixão gera diversos poluentes tóxicos como o chumbo e o gás metano, representando então uma forte ameaça à população e ao meio ambiente. O lixão por estar disposto à céu aberto atrai animais vetores como ratos, baratas e insetos, responsáveis pela transmissão de diversas doenças. É neste ambiente que muitas famílias encontram seu sustento, catando restos de materiais para serem revendidos e até mesmo restos de comida para sua alimentação (ABREU e PALHARES, 2010). De acordo com o PNRS, os lixões deveriam estar extintos até o final de 2014.

Um aterro controlado, segundo a Norma ABNT NBR 8849/85, caracteriza-se pela disposição do lixo em um local controlado, onde os resíduos sólidos recebem uma cobertura de solo ao final de cada jornada (ABNT, 1985). As camadas de lixo depositadas são intercaladas com solo, o que apesar de diminuir o mau cheiro e a presença de animais, não impede a contaminação do solo e a liberação do gás metano. São uma forma de disposição de resíduos extremamente frágil, pois podem facilmente tornar-se lixões visto que, devido a sua engenharia inadequada, podem causar problemas ambientais tais como a contaminação do ar, do solo e das águas subterrâneas (GRIMBERG, 2007).

Diferente dos aterros controlados, os aterros sanitários possuem impermeabilização dos solos e sistema de dispersão de chorume e gases, justamente para evitar a contaminação do ar, do solo e das águas subterrâneas. O sistema de dispersão funciona de maneira que o chorume e o gás metano passam por um sistema de canalização onde são tratados e reaproveitados como geradores de energia (a própria energia do gás metano é utilizada para a vaporização do chorume). Neste local não há catadores de lixo, nem animais vetores (ABREU e PALHARES, 2010). O Ministério do Meio Ambiente, através do Programa Recicla Brasil, prevê o repasse financeiro para a implantação de aterros sanitários para cobrir 73% da população urbana do país (CEMPRE, 2013) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos possui a meta de destinar rejeitos apenas para aterros sanitários a partir de 2014 (REDE SOCIAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS, 2013).

Segundo pesquisa realizada pelo IPEA (2010), utilizando dados referentes ao Brasil nos anos 2007 e 2008, apontou que 47,1% dos resíduos sólidos vão para aterros sanitários. Quanto aos demais (52,8%) são destinados de forma incorreta, sendo que 22,3% seguem para aterros controlados e 30,5% para lixões, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de resíduos no Brasil e a sua destinação

Unidades em análise	Quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição no solo, considerando somente lixão, aterro controlado e sanitário (t/dia)					
	Lixão		Aterro Controlado		Aterro Sanitário	
	2000	2008	2000	2008	2000	2008
Brasil	45.484,70	37.360,80	33.854,30	36.673,20	49.614,50	110.044,40
Pequenos municípios	34.533,19	32.504,10	10.405,90	14.067,90	6.878,40	32.420,50
Médios municípios	10.119,60	4.844,50	15.525,50	17.278,30	17.105,80	45.203,40
Grandes municípios	832,00	12,00	7.922,90	5.327,00	25.630,30	32.420,50

FONTE: IPEA, 2012.

Analisando os dados da Tabela 3, pode-se perceber que no período entre 2000 e 2008 houve um aumento de 120% na quantidade de resíduos e rejeitos depositados em aterros sanitários e uma redução de 18% na quantidade encaminhada para lixões, indicando que o Brasil pode estar se dirigindo para o cumprimento tardio de uma das metas previstas pela Lei da PNRS que é a erradicação dos lixões. O prazo determinado pela PNRS não fora cumprido e ainda há 2.906 lixões que devem ser erradicados no Brasil, distribuídos em 2.810 municípios (IPEA, 2012). O índice correspondente à destinação final inadequada dos resíduos sólidos urbanos cresceu de 2011 para 2012, indicando o ainda presente descaso com a disposição correta dos resíduos e rejeitos (ABRELPE, 2012). “A implementação da Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos chega em momento crítico, trazendo uma perspectiva de avanço para uma sociedade sensibilizada, informada e educada para as questões do não desperdício de materiais, para consumir com critérios, para descartar seletivamente e para não jogar resíduos nas ruas, córregos, terrenos baldios, ou seja, de forma inadequada” (GRIMBERG, 2007).

2.1.1. COLETA SELETIVA E RECICLAGEM

A Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define como Coleta Seletiva, a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição. A coleta seletiva é um dos principais instrumentos de solução integrada e responsabilidade compartilhada da PNRS, agindo de maneira associada com a recuperação e reciclagem dos resíduos sólidos urbanos, e o tratamento e destinação final dos mesmos, possibilitando o reaproveitamento de materiais, que antes eram despejados em lixões. Como prevê a lei, a gestão dos resíduos locais cabe aos municípios e deve ser feita por meio de um Plano Municipal de Gestão de Resíduos, o qual deve ter como base o diagnóstico da situação desta gestão no respectivo local. Este plano deve apresentar metas de não geração, redução e reutilização de resíduos, além de projetos de coleta seletiva e reciclagem, entre outros, visando reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para a disposição final (REDE SOCIAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS, 2013). A coleta seletiva municipal é indispensável para o abastecimento do mercado de reciclagem. No Brasil, 88% dos municípios realizam coleta

seletiva de porta em porta, mas outras alternativas vêm crescendo, como a de recolhimento por meio de Postos de Entrega Voluntária (PEVs), onde a população se desloca e deposita os resíduos recicláveis, e a participação de cooperativas de catadores contratadas para a realização da coleta seletiva municipal, alternativa esta que já é adotada por mais da metade das cidades que oferecem o serviço (CEMPRE, 2013).

Porto Alegre está entre as capitais pioneiras da coleta seletiva no Brasil. Iniciado em 1990, o serviço tomou corpo após a aprovação de uma lei municipal para o gerenciamento integrado do lixo, prevendo soluções além do descarte em aterros. Em Porto Alegre, a coleta seletiva atinge 100% dos bairros, sendo realizada duas vezes por semana com exceção do Bairro Centro Histórico onde a coleta seletiva acontece três vezes por semana. Os resíduos recicláveis e reaproveitáveis são recolhidos por uma empresa contratada pela prefeitura e distribuídos entre as 18 unidades de triagem conveniadas ao DMLU (Departamento Municipal de Limpeza Urbana), onde trabalham cerca de 700 associados (DMLU, 2014).

Devido à lei da PNRS é crescente o número de cidades que vêm se movimentando para a implementação da coleta seletiva. Porém, a coleta seletiva e a reciclagem ainda são pouco abrangentes no Brasil, onde apenas 18% dos municípios brasileiros oferecem serviço de coleta seletiva (IPEA, 2012). Em 2012, o custo da coleta seletiva ainda se mostrava 4,5 vezes superior ao da coleta convencional de resíduos, portanto uma reestruturação de gestão conjunta dos resíduos urbanos se mostra necessária, através de estratégias municipais que estimulem a viabilização de tais investimentos (CEMPRE, 2013).

Dependendo da forma com que a coleta seletiva é realizada, os custos podem variar bastante. Dada essa situação, a “Pesquisa sobre pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos”, realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2010), analisou os custos da coleta seletiva nos três principais e distintos cenários encontrados no país e os comparou com os custos da coleta regular (Tabela 4).

Tabela 4 – Estimativas de Benefícios da Coleta Seletiva.

Cenários	(a) Custo da coleta seletiva (R\$/t)	(b) Custo da coleta regular (R\$/t)	(b-a) Benefício (custo) líquido da coleta seletiva (R\$/t)
Coleta realizada por catadores sem apoio da prefeitura	0	80	80
Coleta realizada por catadores remunerados de acordo com pagamento da coleta regular	80	80	0
Coleta realizada com remuneração similar aos custos atuais	216	80	-136

FONTES: IPEA, 2010.

A coleta seletiva, apesar de gerar um possível custo mais elevado do que a coleta regular, apresenta demais benefícios, principalmente em relação às vantagens relacionadas à reciclagem, que também foram computadas na pesquisa realizada pelo IPEA (2010). A estimativa dos benefícios ambientais e econômicos, atuais e potenciais, gerados pela atividade de reciclagem de resíduos sólidos urbanos, foi concebida através do cálculo da diferença entre os custos da produção a partir de matéria-prima virgem e os custos da produção a partir de matéria secundária. Somou-se a essa diferença os benefícios associados à gestão de resíduos sólidos, representados pela diferença entre os custos de coleta regular (disposição final em aterro) e de coleta seletiva (Tabela 5).

Tabela 5 – Estimativa dos benefícios econômicos e ambientais da reciclagem.

Materiais	Benefícios relacionados ao processo produtivo (R\$/t)		Benefícios (custos) associados à gestão dos resíduos sólidos (R\$/t)		Benefício Total (R\$/t)
	Benefícios Econômicos	Benefícios Ambientais	Coleta Seletiva (custo)	Disposição Final (custo)	
Aço	127,00	74,00	136,00	23,00	88
Alumínio	2.715,00	339,00	136,00	23,00	2.941,00
Celulose	330	24	136,00	23,00	241
Plástico	1.164,00	56	136,00	23,00	1.107,00
Vidro	120	11	136,00	23,00	18

FONTES: IPEA, 2010.

Atualmente, gasta-se uma significativa parcela dos orçamentos públicos em aterros. Estudos indicam que a reciclagem de todos os resíduos poderia propiciar uma economia de 3 a 12% no orçamento anual das prefeituras brasileiras (GRIMBERG, 2007). Além disso, estima-se que se todo o resíduo reciclável atualmente disposto em aterros e lixões fosse encaminhado para a reciclagem, se obteria um benefício de

aproximadamente R\$8 bilhões para a sociedade brasileira (IPEA, 2010). A produção a partir de matérias-primas virgens é intensiva em energia, e é por isso que a reciclagem, ao diminuir a necessidade deste insumo, pode também proporcionar uma economia substancial de energia de produção (IPEA, 2010). Essa lógica de atratividade econômica, cada vez mais evidente nas atividades de reutilização de produtos, aliada a diferentes fatores como as novas e mais rígidas legislações ambientais, assim como o aumento da consciência pública, vêm impulsionando a adesão pela indústria na recolocação de matéria-prima descartada na cadeia de fabricação (GOMES, 2011). Além do mais, graves ameaças ambientais advém do consumo indiscriminado de matérias-primas e do grande acúmulo de materiais não degradáveis descartados como lixo e por isso, o aperfeiçoamento de sistemas de reciclagem e de reaproveitamento deve se tornar uma prioridade para o design em nível industrial (CARDOSO, 2008).

2.2. DESIGN SOCIAL E ECONOMIA SOLIDÁRIA

A coleta seletiva e a reciclagem possibilitam a geração de renda através de uma atividade econômica inclusiva. Na reciclagem de materiais, diferentes técnicas podem ser utilizadas. A escolha de quais processos de reciclagem utilizar depende de diversos fatores como as propriedades do próprio material, as condições tecnológicas existentes, a disponibilidade de investimento financeiro, além do atendimento às leis e regulamentações locais. No Brasil, onde os catadores e cooperativas ou associações de recicladores são os principais agentes responsáveis pela reciclagem, o emprego da reciclagem mecânica de plásticos não é uma questão exclusivamente tecnológica, visto que aspectos sociais, econômicos e ambientais são bastante relevantes neste cenário (SANTOS, 2013). Empreendimentos populares como cooperativas e associações são hoje uma das principais vertentes da economia solidária, porém as diversas dificuldades enfrentadas pelas cooperativas, como a falta de recursos financeiros e a incapacidade técnica na gestão de seus empreendimentos, indicam a necessidade de um ação capaz de combater a desigualdade econômica, ambiental e social que acentua essa problemática. É nesse contexto que iniciativas de economia solidária surgem como alternativa de geração de renda e inclusão social (CARNIATTO e CHIARA, 2009). Segundo Singer (2003):

“A Economia Solidária é uma resposta da sociedade civil à crise das relações de trabalho e a exclusão social. Assim a formação de pequenas cooperativas vem sendo a solução para a organização de comunidades de baixa renda, em torno de ideias comuns”.

A característica básica da Economia Solidária é a busca pela igualdade e valorização do ser humano, atuando em ações que incentivam o desenvolvimento local. A atividade de associações e cooperativas são fortemente influenciadas por políticas públicas, que podem servir como ferramenta impulsionadora para a obtenção de melhores condições para estas comunidades, mediante a viabilização de projetos de Tecnologia Social. Segundo a Fundação Banco do Brasil, Tecnologia Social (TS) são:

Produtos, técnicas ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas através da interação com a comunidade, que representam efetivas soluções de transformação social voltadas para diversas demandas como: alimentação, educação, energia, habitação, renda, recursos hídricos, saúde, meio ambiente, dentre outras. As Tecnologias Sociais aliam o saber popular, recursos públicos e privados e o conhecimento técnico-científico, desenvolvendo assim projetos que envolvem a comunidade, o poder público, empresas privadas (através de incentivos fiscais ou fundações) e instituições de ensino.

Cada um dos agentes mencionados desenvolve um papel específico, de forma a tornar esses projetos viáveis, ocasionando uma transformação da realidade econômica e social das comunidades envolvidas (SANTOS, 2013). Por ser uma área promissora de mudança social, a introdução do design em projetos de Tecnologia Social pode potencializar a busca por uma transformação social e econômica. Projetos de design, patrocinados por diferentes clientes privados e públicos, podem provocar mudanças que atendam efetivamente as necessidades das camadas mais vulneráveis da sociedade. Porém é importante ressaltar que um conceito projetual adequado não é o suficiente para garantir o impacto almejado. A participação dos atores locais é essencial para o desenvolvimento de uma ação integrada que gere resultados inovadores e permanentes.

A introdução da ação realizada pelos designers dentro de uma comunidade deve ocorrer de forma humanizada, sensível às demandas apresentadas pelos membros da comunidade e possibilitando uma ampla comunicação. Propor-se a realizar mudança

social em parceria com os envolvidos implica enfrentar questões mais profundas que precisam ser tratadas com humildade e dedicação (CURTIS, 2014).

Por meio dos produtos que projeta, o designer pode interferir no modo de consumo da sociedade. Porém, por outro lado, a sua produção também é influenciada pelas demandas apresentada por esta mesma sociedade. O design como ferramenta de impacto social é efetivo atuando no ponto de equilíbrio entre estas necessidades individuais e o desenvolvimento de comunidades, agindo como uma ferramenta estratégica que mobiliza os padrões de produção e consumo, sob a perspectiva de construir uma sociedade mais justa socialmente, equânime economicamente e responsável ambientalmente (CARNIATTO e CHIARA, 2009).

Rafael Cardoso (2012), no livro “Design para o Mundo Complexo”, dialoga sobre valores que caracterizam a prática e o ensino do design. Dentre eles, estão os valores de responsabilidade ambiental e inclusão social. No discurso, o autor afirma que no âmbito do design, em especial, é essencial reconhecer o elo íntimo entre estes dois valores. Para os planejadores e administradores, a política de inclusão social está baseada no aumento do poder de consumo. Já para os ambientalistas é o contrário, a sustentabilidade está necessariamente aliada à diminuição do consumo. A conciliação entre estas duas vertentes é uma questão complexa e não se pede que o designer seja instado a resolvê-la, visto que isso é tarefa para toda a sociedade (CARDOSO, 2012). De fato não cabe aos designers solucionarem todos os anseios sociais e ambientais da sociedade. Porém, “o design tem potência para humanizar a tecnologia da contemporaneidade” (CURTIS, 2014) e o designer, assim como os demais profissionais, deve levar em conta, na realização da sua atividade, o impacto social, ambiental e econômico que é ou poderia ser gerado por seus produtos ou serviços, buscando sempre equilibrar as necessidades do indivíduo com as da comunidade em geral. Acredito que um possível caminho a ser percorrido em busca da implementação destes dois valores e do empoderamento de comunidades vulneráveis seja o consumo de produtos gerados por projetos de design que incentivam a Economia Solidária e estão aliados à Tecnologia Social.

2.2.1 FILAMENTOS ÉTICOS

A produção de filamentos para alimentação de impressoras 3D, a partir de plástico reciclado, tem o potencial de beneficiar milhares de pessoas que vivem em países em desenvolvimento e tem na triagem do lixo sua principal fonte de renda (ETHICAL FILAMENT FOUNDATION, 2015). É uma atividade inclusiva, geradora de emprego que necessita um baixo investimento inicial e treinamento. O principal objetivo de um negócio social é oferecer oportunidades e abrir mercados que auxiliem indivíduos e comunidades menos favorecidas. Ao ingressarem no mercado de beneficiamento de plástico, adquirindo equipamentos capazes de realizar o processamento destes resíduos, centros de triagem acabam adquirindo um maior retorno financeiro por meio da diversificação da sua receita.

O mercado de impressoras 3D vem se expandindo de maneira rápida, a ponto que as dezenas de empresas de pequeno e médio porte que fornecem impressoras de baixo custo, não estão sendo capazes de atender a demanda (FEELEY *et al.*, 2014). As impressoras 3D podem ser alimentadas por filamentos de diferentes materiais, sendo que os mais utilizados são o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e o PLA (poliácido láctico). Além destes, pode-se utilizar PEAD, PEBD, PS, policarbonato, HIPS, PP, poliamida, entre outros (FEELEY *et al.*, 2014). As impressoras 3D possuem uma pequena extrusora (*hot end*) onde o material é aquecido, extrusado por um bocal metálico e depositado em camadas bidimensionais que irão se sobrepor construindo um objeto tridimensional. O impacto ecológico deste processo de produção é muito menor em comparação a produção convencional. Análises preliminares indicam que a utilização da impressão 3D como método de fabricação, poderia reduzir a energia incorporada relacionada ao transporte de produtos e insumos, além de reduzir a quantidade de material utilizada (FEELEY *et al.*, 2014). Porém este impacto ecológico poderia ser reduzido significativamente com a utilização de materiais reciclados na fabricação dos filamentos.

Os filamentos utilizados na alimentação das impressoras 3D possuem um alto valor agregado, o que também representa um custo elevado para usuários de impressoras. Atualmente os filamentos de impressão 3D são em sua maioria produzidos em massa utilizando material virgem. Após a sua utilização na impressão de artefatos este

filamentos serão possivelmente descartados, finalizando o ciclo de vida deste material ao ser depositado em aterros sanitários. Os custos energéticos da produção dos filamentos existentes no mercado é 500 vezes maior do que o custo energético necessário para a reciclagem deste mesmo material (KRIEGER *et al.*, 2014). Existe uma oportunidade de mercado para a realização desta produção nos centros de triagem, o que possibilitaria a geração de um produto de valor elevado (filamentos de impressão 3D) a partir de um fluxo de resíduos pouco aproveitado, com um investimento de capital relativamente modesto.

A catação e triagem de resíduos é uma ocupação cansativa e fisicamente exigente que oferece rendimentos limitados e pouca oportunidade de avanço. A fim de garantir que os recicladores não sejam abusados foi criada a Fundação de Filamentos Éticos (*Ethical Filament Foundation*) que estipula parâmetros para um modelo de negócio que permite o desenvolvimento econômico dos catadores e centros de triagem através da fabricação de filamentos de impressão 3D (ETHICAL FILAMENT FOUNDATION, 2015). Os parâmetros aplicados neste modelo econômico estão de acordo com os padrões da *FairTrade Foundation*[®] (em português, a Fundação do Comércio Justo) e incluem: a definição de um preço mínimo; a aplicação de um sistema de *fair trade premium*; a regulamentação de normas adequadas de trabalho, normas ambientais e técnicas, normas de saúde e segurança, normas sociais que tratem da discriminação, assédio e liberdade de associação (FAIRTRADE FOUNDATION, 2015).

2.3. CATADORES E UNIDADES DE TRIAGEM

Os catadores e recicladores de resíduos recicláveis são a base da cadeia produtiva da reciclagem no Brasil. Segundo o MNRS (Movimento Nacional dos Recicladores de Resíduos Sólidos) existem aproximadamente 500 mil trabalhadores que têm na coleta de resíduos sua fonte de renda. No entanto, não há uma estatística precisa quanto ao contingente total de catadores de recicláveis no Brasil, pois esta estimativa é de difícil obtenção devido à falta de organização e regulamentação desta classe. Diferentes fontes, apontam quantidades variadas:

- Segundo CEMPRE (2013) são 800 mil atuando no Brasil, sendo que 30% associados à cooperativas.
- Segundo IPEA (2012) especula-se que haja cerca de 1 milhão de catadores no Brasil.
- Segundo o IBGE (2010) há pouco mais de 70mil catadores nas áreas urbanas.

Neste contexto, pode-se sugerir o intervalo entre 400 e 600mil indivíduos como razoavelmente seguro (FREITAS e FONSECA, 2011).

Atualmente, a maioria dos catadores ainda atua de maneira individual, realizando a coleta de resíduos sólidos com o auxílio de veículos de tração humano ou animal. A prática do trabalho dos catadores avulsos realiza-se de maneira bastante precária, arrastando carroças e carrinhos pesados debaixo de sol e chuva, sendo comum encontrar famílias inteira de catadores, incluindo crianças, separando materiais recicláveis em baixo de viadutos, pontes, praças e terrenos baldios (GRIMBERG, 2007). As novas metas de gestão de resíduos sólidos, como o fim dos lixões em todas as cidades do país, e a implementação de legislações que desautorizam a realização desta atividades neste modo, evidenciam a situação de milhares de catadores que assim perderão sua fonte de renda e terão que se deslocar para outras atividades.

A Lei nº 10.531, de 10 de Setembro de 2008, instituiu, no Município de Porto Alegre, o Programa de Redução Gradativa do Número de Veículos de Tração Animal (VTAs) e de Veículos de Tração Humano (VTHs) (PORTO ALEGRE, 2008). Foi estabelecido o prazo de 8 (oito) anos, para a proibição definitiva da circulação de VTAs e VTHs no trânsito do Município de Porto Alegre, com exceção em locais privados, áreas periféricas, locais públicos para fins de passeio turísticos e rotas e baias autorizadas pelo Executivo Municipal. Este programa estabeleceu um prazo para a realização de um Cadastramento Social de todos os condutores de VTAs e VTHs. Este cadastramento tem a intenção de viabilizar a transposição destes condutores para outros mercados de trabalho, através de políticas públicas de qualificação profissional.

Para atender esta demanda foi instituído o Programa de Inclusão Produtiva na Reciclagem "Todos Somos Porto Alegre". O funcionamento do programa se dá da seguinte maneira: o cadastramento social irá traçar o perfil social e econômico dos catadores, seja carroceiros ou carrinheiros, e registrar suas habilidades e interesses

profissionais. Ao aderir ao programa, o beneficiário será contatado por um educador social que lhe apresentará propostas e oportunidades para que ele escolha como participar. Os educadores sociais irão auxiliar no mapeamento de vagas de trabalho, aqueles que optarem por continuar trabalhando com materiais seletivos serão convidados para se integrar a uma Cooperativa existente ou criar uma nova organização junto à outros interessados. Todos os beneficiários do programa irão receber educação profissionalizante, tanto os que optaram por continuar trabalhando com coleta seletiva quanto os interessados em ingressar em outras áreas. Para garantir que os catadores não serão prejudicados em sua remuneração diária ao deixarem de trabalhar para participar da qualificação profissional, eles irão receber pagamento por frequência e horas de curso. Além disso, o catador será indenizado pela entrega de suas carroças ou carrinhos e terá acesso a uma bolsa de reinserção produtiva. Assim que o catador estiver estabilizado em seu novo emprego terá concluído a sua participação no programa.

Em suma, os catadores que desejam continuar a trabalhar com a coleta seletiva estarão num futuro próximo operando obrigatoriamente associados à UTs (Unidades de Triagem) e não de maneira independente coletando o material no ambiente urbano. Este é um fator importante para o desenvolvimento deste projeto, uma vez que restringe a possibilidade de intervenção do design na geração de equipamentos que serão utilizados nos centros de triagem. Até então, se poderia considerar para a realização deste projeto, um instrumento de processamento de materiais que se acoplassem nas carroças ou carrinhos dos catadores individuais.

Segundo Freitas e Fonseca (2011) uma jornada de trabalho regular, equipamentos de proteção individual e condições sanitárias mais adequadas são vantagens imediatas para os catadores ao se vincular em associações. Porém, em entrevistas realizadas com membros da AREVIPA (Associação de Reciclagem da Vila dos Papeleiros), foi relatado que para aqueles que já estão acostumados com a realização desta atividade neste formato, esta mudança será recebida com estranhamento. Muitos carrinheiros optaram pelo formato individual de trabalho devido à liberdade em relação a jornada de trabalho e a possibilidade de obter um maior rendimento financeiro. Os vínculos empregatícios na maior parte das cooperativas e associações ainda são bastante frágeis, poucas organizações possuem registro legal e são capazes de observar toda a legislação

trabalhista e tributária, e na maioria das vezes não possuem equipamentos e conhecimentos suficientes para assegurar a eficiência econômica (FREITAS E FONSECA, 2011). Há carência de equipamentos, capacitação, administração, acesso aos resíduos e condições adequadas de trabalho. Assim como sugerido anteriormente, os recursos investidos para “enterrar” os resíduos em aterros, poderiam ser redirecionados para a implementação de uma logística eficaz de prestação de serviços no setor da reciclagem, onde os catadores organizados em cooperativa poderiam realizar os serviços de triagem, pré-beneficiamento e até mesmo beneficiamento de resíduos de forma remunerada e com infraestrutura subsidiada adequada.

A lei da PNRS incentiva a inclusão dos catadores no sistema econômico e social nacional, instituindo programas e ações de capacitação técnica e de educação ambiental, visando o aprendizado de mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda. Apesar da profissão de catador e reciclador já ter sido reconhecida pela Classificação Brasileira de Ocupações (CBO), as condições em que esses trabalhadores atuam são bastante precárias, tanto no aspecto prático, do dia a dia, como em relação à exploração econômica que sofrem por parte de empresários que praticam um preço de compra de materiais até três vezes menor que o de revenda (REDE NACIONAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS, 2013). Os materiais coletados e triados são vendidos para atravessadores, que atuam como intermediários na compra e venda de resíduos recicláveis. Dentro do ciclo de reciclagem, os recicladores atuam apenas em uma etapa inicial do tratamento dos resíduos sólidos urbanos, realizando atividades de triagem, prensagem e enfardamento. De maneira geral, após a extinção da atividade de carrinheiros e carroceiros, o Ciclo de Reciclagem irá possuir basicamente 4 principais atuantes: o serviço de coleta, realizado por empresas ou associações de recicladores vinculadas às prefeituras; os centros de triagem, realizando suas atividades de triagem, prensagem e enfardamento (em raros casos também realizando algum beneficiamento); os atravessadores, comerciantes privados que compram materiais de diversas unidades de triagem e catadores individuais e os revendem para a indústria recicladora; e finalmente, a indústria recicladora que realiza o beneficiamento deste material, produzindo novos produtos.

2.3.1. UNIDADES DE TRIAGEM E RECICLADORES DE PORTO ALEGRE

O “Estudo do Perfil Sócio-Educacional da População de Catadores de Materiais Recicláveis Organizados em Cooperativas, Associações e Grupos de Trabalho”, traçou o perfil sócio-educacional dos catadores de materiais recicláveis na Região Sul do Brasil. A primeira etapa da pesquisa corresponde a um estudo-piloto realizado no município de Porto Alegre, cujos dados levantados foram apresentados em um Relatório Parcial (LISBOA *et al.*, 2009). A opção pela utilização das informações coletadas neste estudo preliminar foi feita porque representa de maneira mais acurada a população visada para intervenção do presente trabalho.

No levantamento de dados, referentes a esta etapa parcial da pesquisa do perfil sócio-educacional dos catadores de materiais recicláveis (LISBOA *et al.*, 2009), foram entrevistadas cinco das dezoito Unidades de Triagem (UTs) conveniadas à Prefeitura de Porto Alegre. O número médio de integrantes nas associações é entre 20 e 30 associados. A manutenção de grupos pequenos se dá devido às limitações impostas pela estrutura física dos locais de trabalho (que não comportariam um número maior de integrantes) e a razão entre a quantidade de material triado e a remuneração individual, buscando garantir um rendimento individual mínimo de subsistência. Cerca de 64% dos entrevistados atuam junto aos grupos por menos de 5 anos, sugerindo uma alta rotatividade dos integrantes associados. Este aspecto implica dificuldades na formação de lideranças e identidade de grupo e acaba se manifestando em diferentes conflitos nas relações de trabalho. O caráter transitório da relação dos sujeitos com o trabalho realizado nas UTs pode ser atribuído a diferentes fatores: a baixa identificação dos sujeitos com o trabalho que realizam; a precarização das condições de trabalho; a baixa remuneração e as variações significativas do rendimento, além da inexistência de vínculos formais de trabalho e de direitos trabalhistas (LISBOA *et al.*, 2009).

Como já informado, o material triado é comercializado por atravessadores. As principais dificuldades para uma negociação direta entre os recicladores e a indústria, surgem em função da quantidade de material que é processado. Os centros de triagem não possuem espaço para armazenar cargas maiores nem estrutura logística suficiente para realizar o transporte deste material. Além disto, existe a necessidade de prover

rendimentos a curto prazo, o que seria impossibilitado se a venda dependesse de uma grande quantidade de material (LISBOA *et al.*, 2009). As garrafas de PET são vendidas pelos catadores a R\$ 0,15/kg e revendidas pelos intermediários da cadeia da reciclagem a R\$ 0,90/kg (REDE SOCIAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS, 2013). A relação entre os recicladores e os atravessadores é marcada pela contradição entre exploração e cooperação, fato que deve ser observado em políticas de intervenção nesta cadeia produtiva (LISBOA *et al.*, 2009).

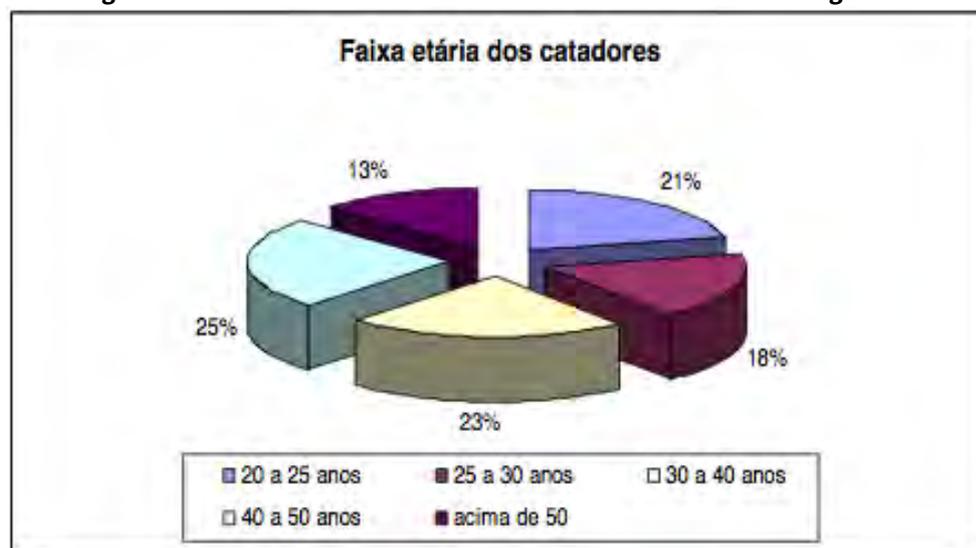
Cerca de 80% das associações não possuem outra fonte de renda além do valor referente à venda do material triado e do repasse de recurso financeiro realizado pelo DMLU (LISBOA *et al.*, 2009). Porém, o valor repassado às associações pelo DMLU, se restringe ao subsídio dos custos operacionais das UTs, exigindo a prestação de contas mensal para justificar a aplicação do recurso.

Os coletivos de recicladores são formados por 68% de mulheres e 32% de homens (LISBOA *et al.*, 2009). De um modo geral, as mulheres costumam ser responsáveis pela realização de atividades que exigem maior concentração e motricidade, como a triagem dos materiais. Por sua vez, os homens desempenham predominantemente ações relacionadas à força física, como o transporte de materiais e a operação de maquinário pesado (prensas e picadores). As mulheres também estão em maioria nos cargos administrativos, de presidência ou coordenação das associações. Este fato é favorecido pelo maior número de mulheres nas unidades e pela menor rotatividade apresentada em relação aos homens, o que potencializa o seu envolvimento na organização e gestão do trabalho (LISBOA *et al.*, 2009). Os membros das associações concentram-se na faixa etária acima de 20 anos, distribuídos como ilustrado na Figura 3.

Dos entrevistados, 96,9% afirmam ter frequentado a escola em sua trajetória de vida, porém apenas 18% concluíram o Ensino Fundamental e 7% o Ensino Médio (LISBOA *et al.*, 2009). "Questionados sobre o desejo de retomar os estudos, 60,9% demonstraram interesse em currículos complementares, a maioria com formação noturna (28,1%), sendo que as mulheres revelam interesse de maneira mais recorrente (69%). O retorno aos estudos é justificado, principalmente, pela exigência de uma escolaridade cada vez mais elevada no mercado de trabalho formal, o que impossibilitaria o ingresso desta população em tal nicho. Além disso, manifestam o desejo de aprimorar-se como pessoa (ampliar o

conhecimento) e de auxiliar os filhos nos processos de aprendizagem escolar" (LISBOA *et al.*, 2009).

Figura 3 - Faixa Etária dos catadores e recicladores de Porto Alegre



FONTE: LISBOA *et al.*, 2009.

As famílias dos catadores pesquisados constituem-se em média geral de 4,64 membros. A renda familiar média é de aproximadamente R\$740,00 e a atividade mais recorrente entre os familiares é a de reciclador (31%). A remuneração subordinada da reciclagem contribui para 67,82% do rendimento familiar, sinalizando a relevância deste trabalho para a subsistência financeira destes núcleos familiares (LISBOA *et al.*, 2009).

O principal motivo que leva os sujeitos a trabalhar com reciclagem é a dificuldade de ingressar no mercado de trabalho, principalmente devido à falta de oportunidades de emprego e à baixa escolaridade. A proximidade dos centros de triagem com os locais de residência e a flexibilidade de horários e relações de trabalho é um fator atraente, pois permite cuidado e acompanhamento dos filhos e da família (elemento presente principalmente nos relatos das mulheres entrevistadas). Por não estabelecer requisitos como idade, escolaridade, condicionamento físico, entre outros, a triagem surge como uma alternativa de trabalho inclusivo para pessoas de condições sociais precárias.

Dos entrevistados, 64% manifestaram desejo de deixar o ramo de reciclagem, devido à falta de direitos trabalhistas, péssimas condições de trabalho e remuneração instável e variável, que oscila entre R\$300 e R\$400 mensal (LISBOA *et al.*, 2009).

2.4. SAÍDA DE CAMPO

Para melhor compreender o contexto dos catadores e recicladores de Porto Alegre e as possibilidades de inserção do suposto projeto, foram realizadas visitas e entrevistas com diferentes núcleos participantes do meio. O primeiro encontro foi com educadores do projeto EcoProfetas. Este projeto vem sendo executado há mais de 20 anos pela Associação Caminho das Águas que, com o apoio do Governo Federal e do programa “Desenvolvimento & Cidadania” da Petrobrás, atua junto aos catadores e recicladores realizando ações que promovem uma maior organização das associações, visando melhorias na renda e na qualidade de vida dos participantes. Segundo uma educadora do grupo, um dos maiores problemas no atual ciclo de reciclagem de Porto Alegre está na falta de um sistema de logística reversa nas empresas, principalmente nas geradoras de resíduos plásticos. Muitos resíduos plásticos não possuem um mercado efetivo de reciclagem, ou porque sua compra não é realizada regularmente, ou até mesmo porque não há compradores para este material. Estes materiais triados, apesar de serem recicláveis, por não serem reciclados, acabam sendo descartados junto aos rejeitos em aterro sanitário, na melhor das hipóteses, se não em lixões ou aterros controlados.

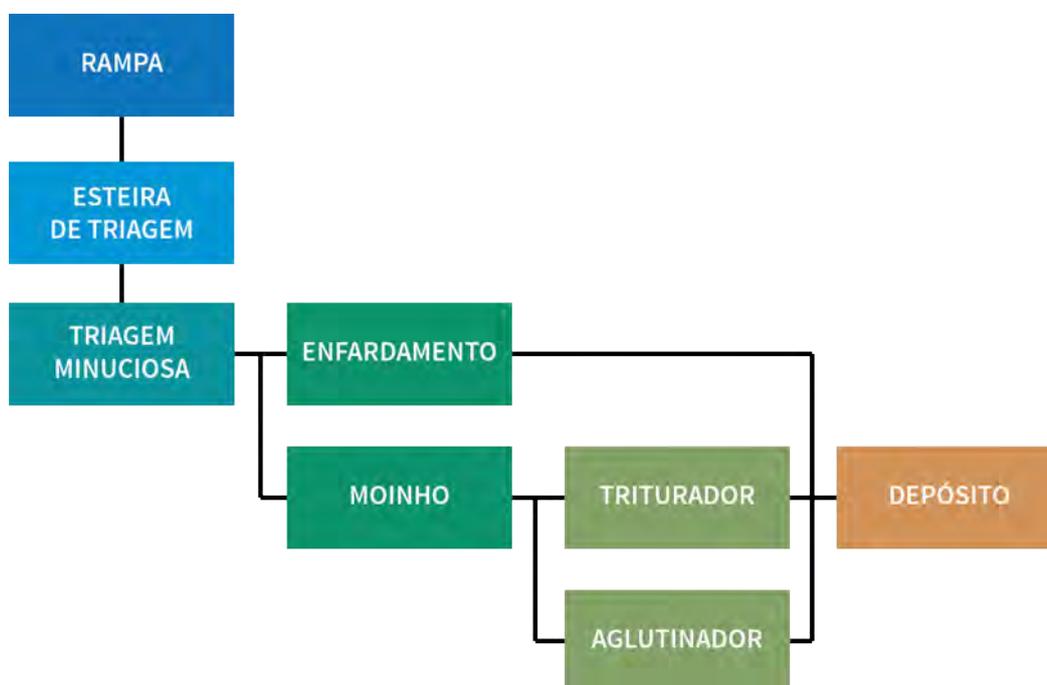
Segundo a Divisão de Limpeza e Coleta (DLC) do DMLU, cerca de 40% dos resíduos recicláveis que são encaminhados para os Centros de Triagem de Porto Alegre são novamente recolhidos para serem dispostos no aterro sanitário. Isto se dá não apenas pela falta de um mercado expressivo de reciclagem, mas também devido à separação inadequada por parte da população, que por não possuir a cultura de separação do lixo, acaba misturando resíduos secos com orgânicos, dificultando assim o reaproveitamento de certos materiais.

Outro problema encontrado pelos centros de triagem são os materiais que possuem um valor de mercado muito baixo, logo sua triagem não é de grande interesse para os recicladores, pois não apresentam remuneração significativa. Para estes materiais, pode-se presumir que uma possível solução seria a realização do beneficiamento dentro da unidade de triagem. Tendo em vista a investigação dessa possibilidade, o próximo passo foi visitar a Cooperativa de Recicladores de Dois Irmãos, que realiza reciclagem mecânica de materiais poliméricos.

2.4.1. COOPERATIVA DE RECICLADORES DE DOIS IRMÃOS

A Cooperativa de Recicladores de Dois Irmãos é formada por 36 associados, sendo que 12 atuam exclusivamente na coleta seletiva porta a porta e 24 trabalham no galpão da unidade de triagem. Mensalmente a cooperativa efetua a triagem de 115 toneladas de resíduos sólidos recicláveis e o beneficiamento de 20 toneladas de resíduos poliméricos. O caminho percorrido pelos resíduos sólidos dentro da unidade de triagem está representado no esquema da Figura 4. Os resíduos coletados são primeiramente depositados pelo caminhão em uma rampa elevada, localizada no interior do galpão, que possui uma porta lateral que dá acesso à esteira de triagem.

Figura 4 - Fluxograma do percurso dos resíduos sólidos na Cooperativa de Dois Irmãos.



FONTE: Elaborada pela Autora

A primeira separação do material ocorre nesta esteira, onde um grupo de recicladores separa os resíduos colocando-os em tambores específicos (Figura 5). Os resíduos são divididos não somente em relação à sua composição material (alumínio, plástico PP, plástico PEAD, papel, entre outros), mas também de acordo com outras características que podem alterar o valor de mercado dos mesmos. Por exemplo, o papel

branco possui um preço mais elevado do que os demais papéis, logo é importante esta segmentação, pois se esses papéis fossem vendidos misturados o conjunto seria comprado pelo valor do material menos valioso. Após esta primeira triagem, parte dos materiais, como materiais metálicos, papéis e outros, são transportados para as prensas, onde são prensados, enfardados e logo mais estocados no depósito para posterior comercialização. Os plásticos flexíveis seguem para uma segunda triagem minuciosa, onde são retirados todos os tipos de papéis ou fitas adesivas dos filmes poliméricos. Esta divisão é necessária uma vez que os filmes e as fitas adesivas não são compostos pelo mesmo material, porém também porque os filmes serão posteriormente beneficiados e as fitas adesivas podem trancar nos equipamentos.

Figura 5 – Tambores específicos para diferentes materiais na triagem da Associação de Recicladores de Dois Irmãos



FONTE: Elaborada pela Autora

De maneira geral, o beneficiamento realizado na Cooperativa de Dois Irmãos se resume à moagem e aglutinamento de resíduos poliméricos. Na Tabela 6 estão classificados os plásticos beneficiados pela associação.

Tabela 6 – Classificação dos polímeros beneficiados pela Cooperativa de Dois Irmãos

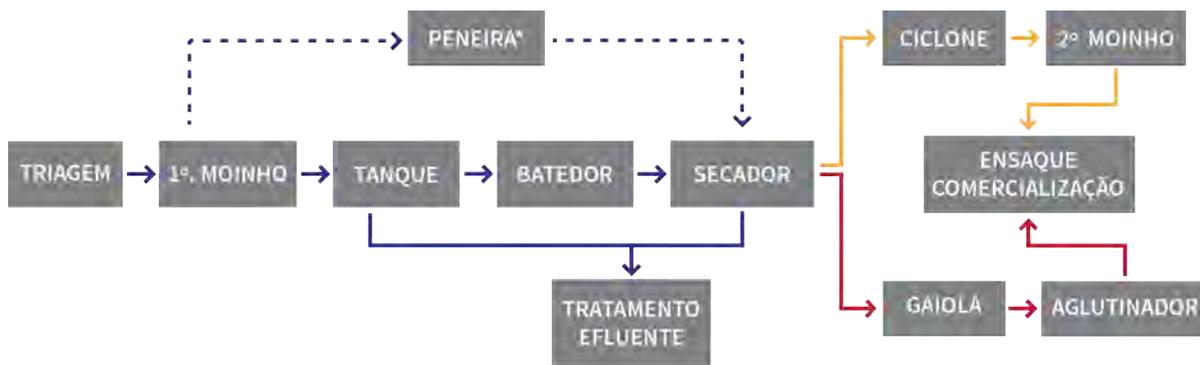
Nomenclatura utilizada pela cooperativa	Tipo de Resina	Design mais comum encontrado
Plásticos Rígidos		
“Garrafinhas”	PEAD transparente	Frascos de detergente e amaciante
“Leitoso”	PEAD branco	Frascos de detergente e amaciante, produtos de limpeza
“Cadeira”	PP aditivado	Baldes, cadeiras, pote de sorvete
“Verde”	PEAD colorido	Frascos de produto de limpeza, shampoo, álcool
“Copinho”	PP transparente	Copos plásticos, frascos de doce de leite
“Margarina”	PP colorido	Potes de margarina, baldes, brinquedos
“Preto”	Mistura de vários I	Todo polímero com pigmentação preta e materiais onde é difícil retirar a tampa
“Tampinha”	Mistura de vários II	Tampas de frascos e garrafas
Plásticos Flexíveis		
“Filme transparente”	PEBD/PELBD sem pigmento	Sacos de alimentos secos
“Filme preto”	PEBD/PELBD com pigmento	Sacos de alimentos como arroz, leite, feijão
“Estalador”	PP Colorido	Sacos de salgadinho
“PS”	PS	Isopor e copos descartáveis

FONTE: SANTOS, 2013.

A introdução do processo de reciclagem mecânica na Cooperativa de Dois Irmãos foi realizada através do sistema de Tecnologia Social (TS). O prédio foi disponibilizado pela Prefeitura da cidade e os equipamentos empregados no processamento dos materiais foram financiados por empresas privadas. A Figura 6 ilustra o caminho percorrido pelos diferentes tipos de plásticos beneficiados pelo processamento de reciclagem mecânica que é realizado dentro da associação.

A moagem do material é realizada por um moinho de facas (Figura 7), onde podem ser processados materiais com densidade menor do que a da água, logo, materiais mais densos como o PET, poli(tereftalato de etileno), não podem ser moídos por este equipamento. Este moinho possui uma bomba d'água, que permite que a moagem seja realizada dentro da água (Tanque de Lavagem), facilitando a limpeza do material. As hélices do Batedor agitam o plástico retirando a sujeira e depositando-os em cestas fixados à Roda Transportadora, que levam o material para a centrífuga, onde ocorre a secagem do material.

Figura 6 - Fluxograma da reciclagem mecânica da Cooperativa de Dois Irmãos.



LEGENDA:

- rota comum a ambos os processos
 - rota dos rígidos
 - rota dos flexíveis
 - rota usual
 - - - rota alternativa
- Observação: * Caminho alternativo para os materiais PP aditivado e PS

Materiais Flexíveis:

- PEBD Filme transparente
- PEBD Filme preto
- PS (isopor e copos descartáveis)
- PP Filme colorido (estralador)

Materiais Rígidos:

- PEAD Transparente
- PEAD Branco
- PP Aditivado
- PP Transparente
- PP Coloirdo
- Mistura I (resinas plásticas constituídas principalmente de pigmento preto e outros)
- Mistura II (resinas plásticas constituídas principalmente de material de tampinhas e conformações pequenas)

FONTE: Modificado de SANTOS, 2013.

O secador centrífugo possui um eixo central, no formato de espinha de peixe, concêntrico a um tubo de aço galvanizado e perfurado, onde, por força centrífuga e de arraste, o material é seco e transportado até o topo do equipamento. “Por ser perfurado, durante o processo de secagem, parte da água é retirada e parte do material orgânico presente também acaba sendo expulso do equipamento, sendo assim o equipamento serve também como uma fase de descontaminação e limpeza do plástico processado” (SANTOS, 2013). No topo da centrífuga o material passa por um sistema de canaletas em forma de Y, possibilitando duas saídas, dependendo do material que está sendo beneficiado. Os plásticos rígidos são enviados para um segundo moinho seco, onde serão novamente triturados para atingir a granulometria necessária para a comercialização (Figura 7).

Figura 7 – a) 1º. Moinho, processo de lavagem e secagem e b) 2º. Moinho.



FONTE: Elaborada pela Autora

Já os plásticos flexíveis serão depositados em uma gaiola que serve como tanque para o processo de aglutinação. O aglutinador é constituído por navalhas giratórias que por atrito promovem o aquecimento do material, formando uma massa plástica. Ao final do processo é colocado água no material para que por meio de choque térmico ele se contraia, aumentando a densidade aparente do material e formando partículas (Figura 8).

O beneficiamento de materiais trouxe melhorias significativas para a Associação. A média mensal de rendimento financeiro advindo dos materiais beneficiados é de R\$654,24, sem a tecnologia esse valor seria de R\$ 280,80, considerando o ano de 2012 (SANTOS, 2013). Materiais como o BOPP (polipropileno biorientado), frequentemente utilizado em embalagens de alimentos como salgadinhos e biscoitos, só são comercializados pela associação devido ao processamento de reciclagem mecânica. Infelizmente alguns resíduos poliméricos que poderiam ser beneficiados por este equipamento, como as sacolinhas plásticas de supermercado, por não serem comercializadas pela associação acabam sendo descartadas junto ao rejeito. Este é um dos fatores que indica que uma expansão das possibilidades de reciclagem mecânica é necessária.

Figura 8 – Plásticos flexíveis aglutinados.



FONTE: Elaborada pela Autora.

Um próximo passo visado pela Associação de Dois Irmãos é a aquisição de uma extrusora, pois devido à alta temperatura presente neste processo e a presença de um sistema de filtragem, ela é capaz de limpar o material de uma maneira mais efetiva, além de possibilitar a expansão da quantidade de materiais reciclados e processados por esta UT. A viabilidade de um projeto de investimento privado, para a aquisição de equipamentos de reciclagem mecânica, está relacionada à capacidade de processamento. No caso da extrusora, a Cooperativa de Dois Irmãos não produz toneladas de material triado que sejam suficientes para justificar a aquisição do equipamento, pois a máquina ficaria muito tempo parada. A introdução de um processo alternativo de beneficiamento, adequado a produção de um volume menor de material pode ser uma solução viável para a Cooperativa. Outra possibilidade seria a criação de uma central de reciclagem, onde diferentes cooperativas forneceria o material e neste local realizariam o beneficiamento, como é o caso da Coopetsinos (Central de Cooperativas de Materiais Recicláveis do Vale dos Sinos), onde diferentes cooperativas utilizam um mesmo centro para beneficiamento de garrafas PET.

2.4.2. VISITA AO CENTRO DE TRIAGEM DA VILA PINTO

Para compreender o cenário das UTs de Porto Alegre foi realizada uma visita ao Centro de Triagem da Vila Pinto (CTVP), que está em funcionamento desde 1996. O CTVP é uma iniciativa do Centro de Educação Ambiental (CEA), uma Organização Não Governamental (ONG) localizada na Vila Pinto, em Porto Alegre, que busca promover uma melhor qualidade de vida para a comunidade. Atualmente, o centro de triagem possui 35 associados que atuam dentro do galpão. Todo o material triado pelo centro é recebido através da distribuição da coleta seletiva do DMLU, sem a participação de catadores individuais ou associados.

Assim como os demais centros de triagem de Porto Alegre, o CTVP não realiza a reciclagem mecânica, logo, aqueles materiais que eram comercializados pela Associação de Recicladores de Dois Irmãos devido ao beneficiamento, dificilmente são comercializados pelo Centro. Embalagens de alimento constituídas por BOPP, bandejas de isopor cobertas por filme polimérico ou demais embalagens compostas por diferentes materiais colados, acabam sendo descartadas junto ao rejeito. Mensalmente, os recicladores do CTVP realizam a triagem de aproximadamente 40 toneladas de resíduos (Figura 9), sendo que no mesmo período o DMLU entrega 100 toneladas de resíduos para o Centro. No endereço virtual da CEA (<http://ceavilapinto.org.br/>) consta a informação de que o CTVP trabalha com 130 toneladas de material por mês. Por não haver um registro de data informando quando este dado foi publicado no site, é possível que essa informação esteja desatualizada ou represente um equívoco em relação a diferença entre a quantidade de material que é recebida pelo Centro e a quantidade que é triada e comercializada.

Segundo uma das recicladoras pertencentes ao grupo, foi realizado um estudo, a pedido da Prefeitura de Porto Alegre, com o objetivo de encontrar soluções para melhorar o aproveitamento dos resíduos. Pela análise dos resíduos coletados em Porto Alegre pode-se perceber que apesar das melhorias na separação do lixo, uma significativa parcela dos resíduos ainda são descartados misturados, e muitos materiais por estarem sujos, têm a seu reaproveitamento dificultado.

Figura 9 – Galpão de Triagem de Resíduos Sólidos do Centro de Triagem Vila Pinto.



FONTE: Elaborada pela Autora

Também foi ressaltada a importância do caráter inclusivo do centro de triagem para a comunidade. A principal motivação do CTVP é promover o crescimento pessoal e profissional dos associados, resgatando sua dignidade, autoestima e cidadania. Além do Centro de Triagem, o CEA possui um Centro Cultural, o CEJAK (Centro Cultural James Kulisz), criado para atender as famílias das recicladoras. Muitos associados não tiveram acesso à educação ou não finalizaram o Ensino Fundamental. Através de projetos como o Luz do Saber, onde voluntários ensinam os participantes a ler, membros da comunidade estão sendo alfabetizados. Assim como apontado pelo “Estudo do Perfil Sócio-Educacional da População de Catadores de Materiais Recicláveis Organizados em Cooperativas, Associações e Grupos de Trabalho” (LISBOA et al, 2009) existe uma forte preocupação por parte das recicladoras em relação à educação dos seus filhos. O CEJAK desenvolve atividades na área de educação, cultura, esporte, lazer, além de oferecer serviços de qualificação profissional, assistência social, jurídica e psicológica, atendendo desde jovens até idosos moradores da Vila Pinto e comunidades próximas. Além do CEJAK, desde 2008, o CEA também conta com a Escola de Educação Infantil Vovó Belinha, que atende 120 crianças de 0 a 6 anos.

Os associados ao Centro de Triagem da Vila Pinto recebem mensalmente um pagamento equivalente a um salário mínimo. Segundo uma das recicladoras associadas,

este rendimento poderia ser maior, porém o Centro acaba prejudicando a sua produtividade, devido às preocupações em relação a limpeza e manutenção do local, visto que outras atividades, como o CEJAK e a Escola de Educação Infantil, ocorrem próximos ao galpão. Atualmente, o CTVP faz parte do grupo de UTs de Porto Alegre que, pelo Projeto Todos Somos Porto Alegre, irá formar uma sociedade entre unidades de triagem da capital para formar uma central de vendas unificada.

2.4.3. VISITA A VALIMPLAST

A Valimplast é uma recicladora de polímeros que oferece os serviços de recuperação, homogeneização e filtragem de resíduos plásticos da indústria plástica. São processados pela empresa diferentes tipos de plásticos e embalagens plásticas, como polietileno (PEBD, PEAD), polipropileno, EVA, TPU, PS, ABS, dentre outros (VALIMPLAST, 2015). A empresa opera com duas extrusoras que possuem individualmente uma produtividade de aproximadamente 300 a 450 kg de material por hora, produzindo cerca de 300 toneladas de material por mês. Em cada turno de trabalho, atuam 8 funcionários no sistema de reciclagem, seja na operação dos equipamentos quanto no sistema de logística. A empresa possui no total 36 funcionários.

Na Valimplast são beneficiados apenas materiais advindos de resíduos industriais, ou seja, não são beneficiados resíduos domiciliares de pós consumo. Os materiais beneficiados também não são aglutinados no processo de reciclagem. A extrusora possui um sistema de alimentação forçada que proporciona o mínimo de degradação no material. As duas extrusoras utilizadas na fábrica possuem diferenças fundamentais, sendo uma delas uma extrusora lisa e a outra uma extrusora em cascata. Na extrusora lisa são processados apenas materiais poliméricos incolores. Por este ser um material de melhor qualidade em relação aos materiais pigmentados ou com impressão, a estrutura desta extrusora é mais simplificada que a da extrusora em cascata, pois não necessita configurações mais elaboradas, como a zona de degasagem. Por este motivo, a produção na extrusora lisa é mais simples e produtiva. Na extrusora em cascata (Figura 10) são processados materiais poliméricos que contém pigmentação ou impressão, como sacolas plásticas de supermercado.

Figura 10 - Extrusora em Cascata da empresa recicladora Valimplast.



FONTE: Elaborada pela Autora

Esta extrusora é denominada em cascata devido a sua configuração. Possui duas seções de extrusão posicionadas de tal forma que o material fundido é transportado entre elas por meio de uma queda em estilo cascata, onde ocorre a exposição do material (Figura 11). Na primeira seção da extrusora, que é consideravelmente mais extensa que a segunda, o material passa pelas duas primeiras zonas de aquecimento, estando completamente fundido ao chegar na saída. Na passagem da primeira para a segunda extrusora, na “cascata”, é onde ocorre a liberação do vapor existente no material (o chamado processo de degasagem). Conforme relatado por um colaborador da empresa, esta etapa é essencial no processamento deste tipo de material, pois o verniz da tinta, a própria tinta e a umidade presentes no polímero se transformam em gases ao serem aquecidos. Esses gases são transportados e pressionados dentro da extrusora junto ao fundido e, se não ocorrer essa degasagem, os gases irão permanecer no material numa forma de bolhas presas no interior do mesmo e com probabilidade de gerar trincas após a aplicação de tensões. Além disso, se os gases não forem liberados antes da saída da matriz final da extrusora é possível, devido a pressão existente, que ocorram pequenas

estouros do material na saída da matriz apresentando um grande risco para o operador do equipamento.

Figura 11 - Exposição do material em Cascata.



FONTE: Elaborada pela Autora

Na saída da segunda secção da extrusora encontra-se um filtro de aço, aplicado para garantir a purificação do material. O material é então extrusado por uma matriz na sua configuração final: filamentos que serão em seguida cortados em formato de *pellets*. Após a *pelletização*, o material é transportado por água para uma centrífuga e então, quando seco, armazenado, ensacado e transportado.

A extrusora em cascata da Valimplast possui um motor controlado por um inversor de frequência, além de uma caixa de redução (reductor). É recomendável a utilização de um reductor para garantir o torque necessário para o movimento da rosca e também para reduzir o consumo de energia do equipamento. Quando a rosca fica mais pesada, devido a carga do material que está sendo processado, a amperagem de funcionamento do equipamento aumenta, assim é necessário um mecanismo que garanta a obtenção de

energia demandada. O aquecimento do cilindro da extrusora ocorre por meio de bandas elétricas (resistências). Tanto o cilindro quanto a rosca são feitos de aços especiais com tratamentos químicos. No caso da rosca, o material utilizado é o aço 4550 nitretado.

A matriz da extrusora é cônica, ou seja, o canal por onde o material é expelido é afunilado. As matrizes utilizadas pela Valimplast foram desenvolvidas sob medida para a empresa. São cambiáveis, porém não é necessária a troca da matriz como um todo e sim apenas da parte central da peça (Figura 12). Além de representar uma economia de material, esta configuração foi uma solução encontrada para o elevado custo das peças encontradas no mercado.

Figura 12 – Matrizes cambiáveis desenvolvidas pela Valimplast.



FONTE: Elaborada pela Autora

Em relação a segurança e normas de operação dos equipamentos, na Valimplast é obrigatória a utilização de EPI, sendo ele um uniforme com mangas de couro. Zonas de alto risco do equipamento, como a região do motor, são cercadas por uma proteção metálica e assinaladas com avisos de perigo (Imagem 13). Algumas empresas que operam com equipamentos similares a estes também utilizam “Cortinas de segurança”, um sistema que desliga o equipamento por meio do acionamento de sensores de segurança quando o operador ultrapassa uma distância considerada segura. Próximo a este tipo de

equipamentos devem estar situados os extintores de incêndio. No transporte de material pesado, como os sacos de *pellets* beneficiados, são utilizadas empilhadeiras.

Figura 13 – Avisos de Segurança na Extrusora da Valimplast



FONTE: Elaborada pela Autora

CAPÍTULO III: Análise

3.1. MATERIAIS PROBLEMA

Pode-se perceber, durante as saídas de campo, que alguns resíduos sólidos recicláveis eram apontados com frequência como sendo resíduos que possuem alguma dificuldade para os centros de triagem em relação ao mercado de reciclagem. Estes resíduos, denominados aqui de “materiais problema”, são aqueles não são comercializados, devido à inexistência ou falta de regularidade de compradores, baixo valor mercadológico, difícil processamento ou inexistência de um processo de beneficiamento efetivo. Como este projeto de TCC visa o aumento da renda dos recicladores por meio do processamento de resíduos sólidos urbanos, é indicado propor uma alternativa de beneficiamento para um destes “materiais problema”, que possa resultar em uma melhoria viável. Uma vez que por não existir atualmente um comprador ou mercado rentável, estes resíduos acabam sendo conduzidos ao aterro sanitário, o que além de representar uma destinação inadequada, acaba gerando nenhuma receita para as Unidades de Triagem. Materiais como o papel, o alumínio ou o PET já possuem um sistema de reciclagem bem definido e um mercado efetivo, logo o processamento de resíduos recicláveis que não estão sendo de fato reciclados, pode ampliar a ação das Unidades de Triagem e a reciclagem dos materiais.

Para determinar estes “materiais problema” foi realizado um questionário com seis perguntas aplicado em cinco das dezoito UTs conveniadas ao DMLU. As perguntas encaminhadas para as Unidades de Triagem foram as seguintes:

1. Quantos recicladores atuam neste Centro/Associação de Recicladores?
2. Qual a quantidade de resíduos sólidos urbanos que é triado por mês?
3. Quais os resíduos presentes em maior quantidade?
4. Quais os resíduos que, mesmo sendo triados, acabam descartados junto ao rejeito? Qual o motivo que levou a este descarte?
5. Quais os materiais que possuem os valores mais baixos de compra?
6. Quais resíduos ou material, além dos respondidos nas questões anteriores, que apresentam algum problema ou dificuldade para a Unidade de Triagem?

As UTs entrevistadas possuem em média 25 associados que realizam a triagem de aproximadamente 22 toneladas de resíduos mensalmente. Dentre os resíduos sólidos urbanos que são encaminhados para as UTs, aqueles que estão presentes em maior quantidade são: papel misto, papelão e garrafas PET. Como comentado anteriormente, estes são materiais que já possuem um mercado de reciclagem bem estabelecido, o que leva a supor que a abundância destes materiais no descarte da coleta seletiva tenha colaborado para a consolidação do mercado de reciclagem dos mesmos. Dentre os resíduos que são triados ou encaminhados para as UTs e que acabam sendo descartados junto aos rejeitos, os mais citados foram isopor, sacolas plásticas de supermercado e embalagens plásticas multicamadas, como filmes flexíveis metalizados de BOPP e Longa Vida (TETRAPAK, 2014). Quatro das cinco UTs entrevistadas não possuem compradores para as embalagens de BOPP (polipropileno biorientado) e Isopor®, e apenas duas possuem compradores para sacolas plásticas de supermercado. O Centro de Triagem da Vila Pinto, foi a única UT entre as entrevistadas que possui um comprador constante de Isopor®, comercializando o material por R\$0,50/kg diretamente para a indústria. As demais UTs comercializam esporadicamente por um valor médio de R\$0,10/kg.

Os filmes de BOPP são muito utilizados pela indústria alimentícia devido as suas propriedades físicas que proporcionam um bom condicionamento de alimentos, pois evitam o contato do produto com gases, variações de temperatura e umidade (QUARTIM, 2012). O processo de metalização consiste na impregnação do filme por uma camada fina de alumínio. Segundo laudo realizado pelo CETEA, Centro de Tecnologia de Embalagem, a espessura desta camada de alumínio é cerca de 1.000 vezes menor que a espessura do filme de BOPP, logo a presença do alumínio não apresenta nenhum problema tecnológico para a reciclagem deste material (CETEA, 2009). Contudo, em consulta realizada com 19 das 196 empresas recicladoras de PP no Estado de São Paulo, o CETEA constatou que apenas duas realizam a reciclagem mecânica de BOPP e ambas só trabalham com material de origem industrial, não reciclando material pós-consumo, devido à problemas encontrados na lavagem e separação deste resíduo (CETEA, 2009). Existe uma falta de interesse da indústria pelo consumo deste material pós-consumo, devido ao custo gerado por esse reaproveitamento em comparação à utilização de aparas industriais. Além do custo da lavagem, como este material coletado é proveniente de diferentes fabricantes e

possui inúmeras aplicações gráficas é necessária a pigmentação de preto, o que diminui o valor de compra do material e representa mais uma etapa no processo. Etapa esta que seria eliminada utilizando-se apenas aparas industriais. Além disso, a falta de informação em relação ao tipo de resina presente na embalagem plástica, bem como sobre o símbolo correto de identificação do material (Figura 14), também é um fator que prejudica a reciclagem dos resíduos plásticos.

Figura 14 - Símbolos de Classificação dos polímeros recicláveis



FONTE: Modificado de QUARTIN, 2010.

Analisando sete embalagens alimentícias (Figura 15), três destas embalagens possuem na rotulagem a indicação simbólica do material como PP (Grupo 5). Dentre estas três, uma é composta de BOPP metalizado e deveria ter sido sinalizada como Grupo 7, que é a classificação correta quando há a introdução de um outro material. Das demais embalagens, três não possuíam nenhum tipo de identificação em relação à composição da embalagem e a embalagem de café, que também é composta por BOPP metalizado, está sinalizada corretamente como Grupo 7.

Figura 15 - Embalagens alimentícias analisadas compostas de BOPP.



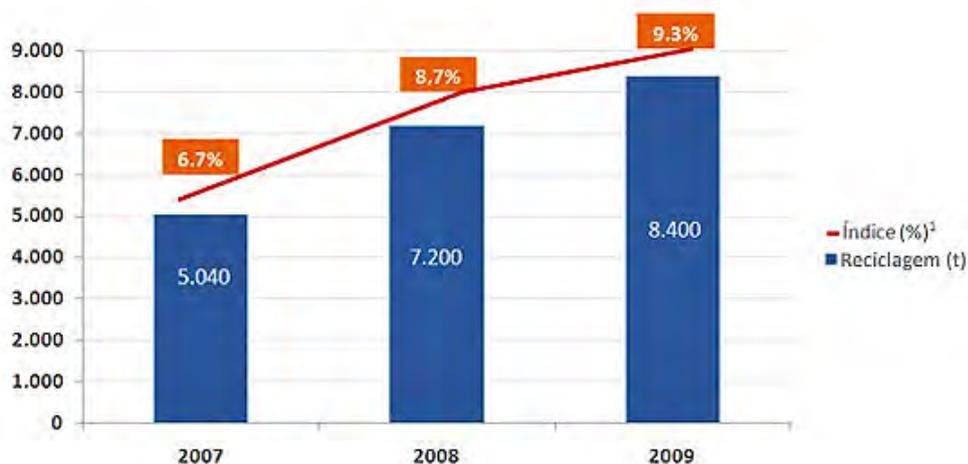
FONTE: Elaborada pela Autora

Devido a suas múltiplas camadas compostas por diferentes materiais, embalagens como o BOPP e o TETRAPAK apresentam reciclabilidade limitada enquanto as suas aplicações. As embalagens TETRAPAK, diferente do BOPP, possuem uma demanda da indústria da reciclagem para a compra do material pós-consumo. Essa demanda foi evidenciada nas entrevistas realizadas, sendo que o material foi citada como “Material Problema” por apenas uma das UTs entrevistadas. A embalagem TETRAPAK ou Longa Vida é composta por diversas camadas de três materiais: papel (75%), polietileno de baixa densidade (20%) e alumínio (5%). Em consequência desta complexa composição, existiam inicialmente dificuldades em termos de reaproveitamento da sua embalagem, porém atualmente no Brasil, existem diversas empresas que realizam o processo de reciclagem mecânica deste material. No site da empresa TETRAPAK, estão indicados dois processos existentes de reciclagem destas embalagens cartonadas. A primeira alternativa utiliza um equipamento que agita os resíduos com água, o “*Hidrapulper*”, hidratando as fibras de papel e separando-as das camadas de plástico e alumínio (TETRAPAK, 2014). Estas fibras de papel são lavadas e purificadas e podem ser reutilizadas na fabricação de papel, caixas de papelão, tubos, entre outros. Já o material composto por plástico e alumínio é destinado para fábricas de processamento de plásticos, onde é reciclado por meio de um processo de secagem, trituração, extrusão e injeção e aplicado na fabricação de peças plásticas de produtos como vassouras, coletores, entre outros. A outra possibilidade é a reciclagem através de prensagem eletrotérmica, formando chapas que poder ser utilizadas na fabricação de divisórias, móveis e telhas (TETRAPAK, 2014).

Tanto o Isopor® quanto as sacolas plásticas de supermercado foram citados como “Materiais Problema” devido a inexistência de um mercado considerável de reciclagem destes materiais em Porto Alegre. Cerca de 80% das UTs que responderam o questionário não possuem um comprador fixo para estes materiais. O Isopor®, como é conhecido comercialmente, pode ser composto por dois materiais: EPS (poliestireno expandido) e XPS (poliestireno extrusado). Os dois principais desafios encontrados pelas UTs na reciclagem do Isopor® são: como realizar o transporte do material, que apresenta um grande volume; e como encontrar um rendimento considerável, visto que o material é tão leve (MOMENTO AMBIENTAL, 2012). Cada 120/130m³ (capacidade de uma carreta tipo baú) de Isopor® equivale somente à aproximadamente 500/600kg de resíduos de isopor®

(PLASTIVIDA, 2009). Entretanto, a reciclagem do Isopor® tem aumentado nos últimos anos, devido ao investimento de projetos ambientais como o Repensar, da Plastivida (PLASTIVIDA, 2009), que têm organizado a logística deste ciclo de reciclagem garantindo a expansão deste empreendimento (Figura 16).

Figura 16 - Índice de reciclagem do Isopor®



FONTE: PLASTIVIDA, 2009.

No Brasil, são fabricadas anualmente 18 bilhões de sacolas plásticas, o que equivale a 210 mil toneladas anuais do material (MUSARRA, 2011). As sacolas plásticas de supermercado são um produto cuja função inicial possui um curto período de duração, servem para auxiliar no transporte de compras do local de aquisição até a moradia dos consumidores. Aliado a essa característica de efemeridade, a constante presença das sacolas em inúmeras lojas, mercados, farmácias, fazem como que elas estejam incorporadas na nossa rotina como algo trivial, como se o destino de cada produto comprado fosse mesmo um saco plástico (NETO, 2011) e o destino de cada saco plástico fosse mesmo o lixo. Uma sacola plástica pode permanecer no meio ambiente por mais de 10 anos e seu descarte inadequado tem causado diversos problemas para a sociedade, como o entupimento do sistema de drenagem e escoamento de água, que em Bangladesh em 1988 e 1998 causou diversas inundações (ALMEIDA et al., 2008). Por consequência deste fato, Bangladesh foi o primeiro grande país a banir as sacolas.

A proibição do uso de sacolas plásticas vem sendo cada vez mais utilizada como solução para evitar o excesso deste resíduo, mas além desta medida, a busca por alternativas mais ecológicas, através da utilização de materiais provenientes de fontes

renováveis ou material biodegradável também tem se mostrado uma possível saída. Em São Paulo, o atual governador Geraldo Alckmin firmou um acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) e a Associação Paulista de Supermercados (Apas) que prevê a substituição das atuais embalagens por sacolas biodegradáveis (MUSARRA, 2011). Já no Município de São Paulo, a prefeitura tenta vigorar desde 2011 a Lei Municipal 15.374 que veta a distribuição gratuita de sacolas plásticas em supermercados e demais estabelecimentos comerciais (G1, 2014).

A PLASTIVIDA, Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos, julga esta ação como uma medida negativa, pois iria contra a opinião da maioria da população de São Paulo. Segundo pesquisa realizada pelo IBOPE, 71% dos consumidores entrevistados são amplamente favoráveis ao fornecimento das sacolas plásticas pelo comércio e 100% reutilizam as sacolas plásticas como “sacos de lixo” tanto para resíduos orgânicos quanto secos (PLASTIVIDA, 2007). A solução proposta pela PLASTIVIDA é o Programa de Qualidade e Consumo Responsável de Sacolas Plásticas, desenvolvido em conjunto com o INP (Instituto Nacional do Plástico) e a ABIEF (Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Flexíveis). O Programa de Qualidade e Consumo Responsável de Sacolas Plásticas tem como objetivo a formação de uma aliança voluntária, liderada pela indústria e envolvendo grandes redes varejistas para oferecer gratuitamente ao consumidor sacolas plásticas mais resistentes e com qualidade, além de contemplar ações que promovam e multipliquem os conceitos de educação ambiental e o uso e descarte consciente (PLASTIVIDA, 2013).

A reciclagem de embalagens pós-consumo pode ser caracterizada por um elevado impacto sanitário-ambiental, heterogeneidade dos materiais e, além disso, um grande nível de contaminação, que pode ter origem orgânica e inorgânica (FORLIN e FARIA, 2002). Além destes fatores, o baixo valor agregado e a leveza do material inviabilizam economicamente a separação individual e reciclagem das sacolas plásticas (NETO, 2011). A fisionomia da sacola, principalmente a sua flexibilidade e baixa espessura, dificultar a sua limpeza e impede que este material seja processado por moinhos convencionais de reciclagem mecânica. Isto porque o material acaba se prendendo nas lâminas, travando o equipamento e interrompendo o processo. A atual reciclagem mecânica de sacolas plásticas utiliza um equipamento de moagem mais sofisticado onde o material é

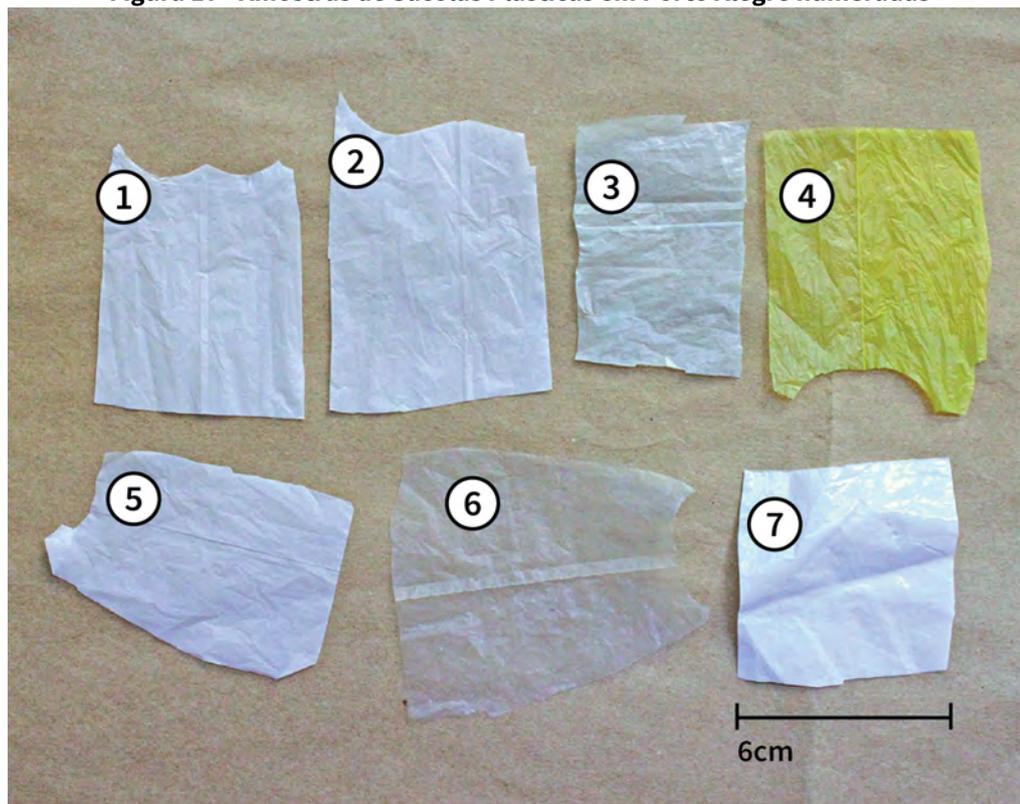
pressionado contra as lâminas de corte (alimentação forçada). Equipamentos que realizam este processo estão disponíveis no mercado, porém em relação às intenções deste projeto, eles se mostram inadequados, uma vez que possuem um valor aquisitivo elevado e uma grande complexidade de operação. A viabilidade econômica é um importante fator para se alcançar sucesso na reciclagem de resíduos pós-consumo. Para as empresas recicladoras, a reciclagem mecânica de rejeitos industriais se mostra muito mais viável, uma vez que este material é adquirido de maneira mais homogênea (não provem de diferentes fornecedores desconhecidos) e não requer obrigatoriamente um processo de lavagem (não entra em contato com demais resíduos), diminuindo assim os custos de produção. A reciclagem de embalagens descartadas pode necessitar o desenvolvimento de tecnologias e equipamentos compatíveis, para que a rota de reciclagem aconteça de forma econômica e tecnologicamente viável (FORLIN e FARIA, 2002).

Considerando-se as informações coletadas a respeito dos “Materiais Problema”, a proposta de continuidade deste projeto será buscar um método de processamento alternativo viável para a reciclagem de sacolas plásticas. A alta geração deste resíduo aponta a importância de uma intervenção tanto no quesito ambiental como numa possibilidade econômica relevante para os centros de triagem.

3.2. SACOLAS PLÁSTICAS

Segundo o símbolo de identificação presente na rotulagem da grande maioria das sacolas plásticas, elas são compostas por PEAD, polietileno de alta densidade. Devido a falta de conhecimento sobre a composição de embalagens poliméricas e a utilização incorreta da simbologia de classificação de polímeros, já mencionados anteriormente, se mostrou necessária a realização de um ensaio para avaliar a composição das sacolas plásticas. Foi realizada Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) em sete amostras de sacolas plásticas coletadas (Figura 17) para identificar a composição do material de cada uma delas. As amostras foram retiradas de diferentes tipos de sacolas plásticas existentes no mercado de Porto Alegre.

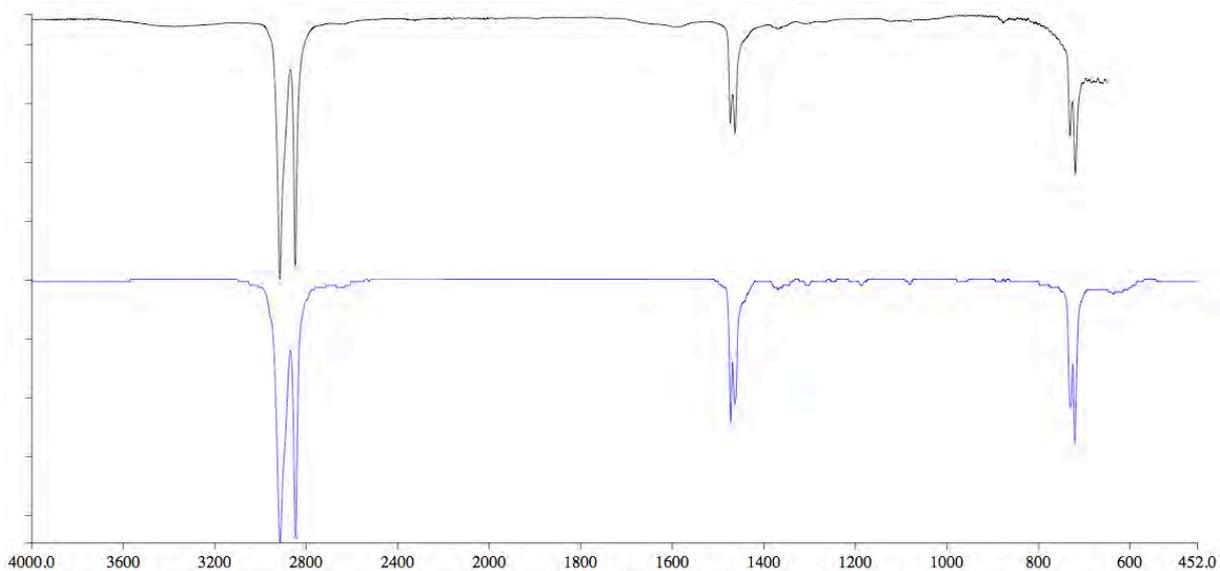
Figura 17 - Amostras de Sacolas Plásticas em Porto Alegre numeradas



FONTE: Elaborada pela Autora

A técnica de caracterização de materiais por infravermelho baseia-se na observação da frequência (análise qualitativa identificando o tipo de ligação química) e intensidade (análise quantitativa medindo a concentração da ligação química) de radiação infravermelha absorvida quando um feixe desta radiação atravessa a amostra (CANEVAROLO Jr, 2002). A incidência de radiação na mesma frequência da vibração de uma das ligações moleculares da amostra aumentará a amplitude desta vibração, absorvendo parte da energia incidente e gerando um espectro de infravermelho característico do material em análise. Este espectro é então comparado com os espectros de demais materiais catalogados no banco de dados do equipamento. Na Figura 18 está presente a comparação entre o espectro obtido na Amostra 1 e o espectro do material catalogado no banco de dados do equipamento que possui maior semelhança em relação a ele. Pode-se observar na imagem que ambos os espectros apresentam as mesmas bandas características ao PEAD. Para apreciação, os gráficos dos espectros de absorção no infravermelho das demais amostras da Figura 16 estão ilustrados no Apêndice A.

Figura 18 - Comparação do Espectro da Amostra 1 com material semelhante na base de dados do infravermelho.



FONTE: Elaborada pela Autora

Além dos espectros comparativos de absorção no infravermelho, o estudo resulta em uma lista dos possíveis materiais que compõem a amostra, ordenados de acordo com a maior similaridade espectral. O resultado de maior semelhança de cada uma das amostras está apresentado na Tabela 7. Como resultado dessa análise pode-se verificar que o material que compõe todas as amostras é o PEAD (polietileno de alta densidade).

Tabela 7 – Resultado da pesquisa HQI da Análise FTIR

Amostra	Similaridade	Principais Resultados da pesquisa HQI (Hit Quality Index)
1	0,99	W02847 HOSTALEN GM 5010 T2N (PEAD)
2	0,99	W02847 HOSTALEN GM 5010 T2N (PEAD)
3	0,99	W01320 HDPE 260B1 (PEAD)
4	0,97	W02847 HOSTALEN GM 5010 T2N (PEAD)
5	0,99	W01230 HDPE 260B1 (PEAD)
6	0,99	W02847 HOSTALEN GM 5010 T2N (PEAD)
7	0,99	W01320 HDPE 260B1 (PEAD)

FONTE: Elaborada pela Autora

3.2.1. PEAD

As sacolas plásticas de supermercado são compostas pelo polímero PEAD, polietileno de alta densidade, que possuem entre 0,95 – 0,97 g/cm³, caracterizando assim um material mais rígido, durável e resistente à corrosão se comparado ao PEBD (polietileno de baixa densidade). Estes atributos são importantes para a adequação das

sacolas à sua função, carregar e suportar produtos adquiridos em mercados e demais estabelecimentos comerciais. O PEAD é um termoplástico, ou seja, quando aquecido, amolece e funde. E quando resfriado solidifica novamente.

Para aprofundar os conhecimentos em relação ao material e os processos mecânicos aplicáveis à ele, foi realizada uma pesquisa utilizando o *Software CES*. O *CES Selector* tem como base a abordagem do *Cambridge Engineering Selector* (CES) desenvolvido pelo professor Mike Ashby da Universidade de Cambridge, Inglaterra (CAMBRIDGE NETWORK, [s.d.]). O *software* combina um banco de dados de materiais e propriedades de processamento, utilizando ferramentas de pesquisa que possibilitam criar gráficos visuais e interativos de comparação e investigação dos materiais. Assim, podem-se aplicar as informações coletadas para selecionar materiais de forma sistemática, classificando os melhores materiais para uma determinada aplicação. Na Tabela 8, algumas propriedades relevantes do PEAD fornecidas pela pesquisa utilizando o *Software CES*.

Tabela 8 - Propriedades do PEAD

Propriedades do PEAD		
Propriedades Mecânicas	Módulo de Young	1.07 - 1.09 GPa
	Módulo de Compressão	*1.07 - 1.09 GPa
	Módulo de Flexão	0.997 - 1.55 GPa
	Módulo de Rigidez	*0.377 - 0.384 GPa
	Módulo volumétrico (k)	*2.15 - 2.26 GPa
	Coefficiente de Poisson	*0.41 - 0,427
	Limite de Escoamento (elástico)	26.2 - 31 MPa
	Resistência a tração	22.1 - 31 MPa
	Resistência a compressão	*18.6 - 24.8 MPa
	Módulo de Ruptura	* 30.9 - 43.4 MPa
	Deformação	1.12e3 - 1.29e3%
	Dureza Vickers	*7.9 - 9.9 HV
	Coefficiente de perda mecânica (tan delta)	*0.0367 - 0.0374
Propriedades Térmicas	Temperatura de Fusão	130 – 137 °C
	Temperatura de deflexão térmica 0.45MPa	79 – 91 °C
	Temperatura de deflexão térmica 1.8MPa	*44 – 77° C
	Máximo temperatura de operação	113 – 129 °C
	Mínima temperatura de operação	-82 – -72 °C
	Condutividade Térmica	0.46 – 0.502 W/m.°C
	Capacidade Térmica	1.75e3 – 1.81e3 J/kg.°C
Coefficiente de Dilatação Térmica	106 – 198 µstrain/°C	

Propriedades do PEAD		
Propriedades de Processamento	Encolhimento lineal de Moldagem	1.5 – 4 %
	Temperatura de Processamento	177 – 274 °C
	Temperatura de Moldagem	30 – 50 °C
	Faixa de Pressão de Moldagem	82.5 – 103 MPa

FONTE: CES Selector, 2013.

Além destas propriedades citadas acima, o *Software* CES também forneceu as seguintes informações: O PEAD é um material altamente impermeável, absorvendo 0,005-0,01% de água em 24 horas de imersão em temperatura ambiente. É altamente inflamável e sua durabilidade perante diferentes fluidos e luz solar estão indicados na Tabela 9, abaixo.

Tabela 9 – Durabilidade do PEAD em relação a fluidos e luz solar

Durabilidade: Fluidos e Luz Solar		
Água (pura)		Excelente
Água (salgada)		Excelente
Ácidos fracos		Excelente
Ácidos fortes		Aceitável
Alcalinos fracos		Excelente
Alcalinos fortes		Excelente
Solvente orgânico		Uso limitado
Radiação UV (luz solar)		Parcial
Oxidação à 500°C		Inaceitável

FONTE: CES Selector, 2013.

Percebe-se que a durabilidade em relação à exposição de raios UV é parcial. Esta é um traço presente na maioria dos polímeros e materiais orgânicos que necessitam de proteção para exposições prolongadas de radiação UV, porém em períodos curtos de tempo podem ser aceitáveis. Quanto à produção primária do material, a energia incorporada na produção é entre 77 – 85,1 MJ/kg. Neste trabalho são utilizados entre 55,5 – 61,1 litros de água por quilograma produzido, além de representar uma pegada de carbono de 2,64 – 2,92 kg/kg. A pegada de carbono é uma modo de medição da quantidade total das emissões de gases do efeito estufa causadas diretamente e indiretamente por uma pessoa, organização, evento ou produto (EPSTEIN,2011). Diferentes processamentos acarretam diferentes gastos energéticos e pegadas de carbono, como indicado na Tabela 10.

Tabela 10 – Gasto energético e pegada de carbono no processamento de PEAD

Processamentos: Energia e Pegada de Carbono		
Processo:	Gasto Energético:	Pegada de Carbono:
Extrusão	5,9 – 6,52 MJ/kg	0,442 – 0,489 kg/kg
Moldagem	20,8 – 23 MJ/kg	1,56 – 1,73 kg/kg
Usinagem grosseira (por unidade de peso removido)	0,688 – 0,76 MJ/kg	0,0516 – 0,057 kg/kg
Usinagem Final (por unidade de peso removido)	2,6 – 2,88 MJ/kg	0,195 – 0,392 kg/kg
Moagem	4,73 – 5,23 MJ/kg	0,355 – 0,392 kg/kg

FONTE: CES Selector, 2013.

A tabela 11 apresenta dados sobre o processo de reciclagem do PEAD. O item “Aterro Sanitário” indica que o material pode ser depositado de forma segura em um aterro sanitário. O CES *Selector* considera todos os materiais não tóxicos como sendo adequados para a disposição em aterros sanitários, porém se mostra evidente que o banco de dados não leva em consideração as possíveis contaminações nos materiais ou os demais danos que eles podem causar para o meio ambiente. De qualquer modo, o *software* sinaliza que o depósito em aterro sanitário deve ser considerado somente após todas as demais alternativas de disposição final serem desconsideradas. As demais alternativas, em ordem de menor para maior impacto ambiental: reutilização (extensão da vida do produto), reafecção (incorporação parcial em um novo produto), reciclagem, *downcycle* e recuperação de energia (por meio de processo de incineração).

Tabela 11 – Reciclagem do PEAD

Quanto a Reciclagem do PEAD	
Reciclável	Sim
Energia incorporada na reciclagem de 1kg de material	26,1 – 28,9 MJ/kg
Pegada de carbono do processo de reciclagem	0,897 – 0,991 kg/kg
Porcentagem de material reciclado na oferta mundial total do material	8,02 – 8,86%
<i>Downcycle</i>	Sim
Combustão de recuperação energética	Sim
Calor de combustão	44 – 46,3 MJ/kg
Aterro sanitário	Sim
Biodegradável	Não
Fonte Renovável	Não

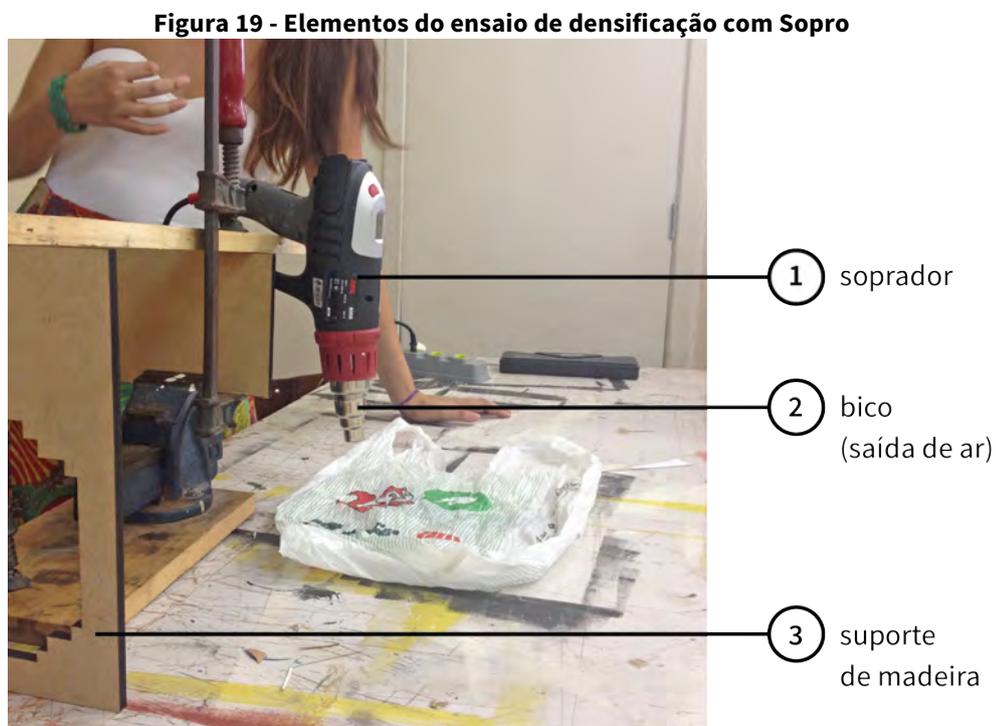
FONE: CES Selector, 2013.

O processo de reciclagem consiste na reinserção do material no processo de fabricação como matéria-prima. A aplicação de corantes, água ou a mistura com outro polímero ou outra substância, pode diminuir a qualidade do polímero em questão e torná-lo inaceitável para a sua finalidade original. Deste modo, devido à contaminação ou degradação do material, o material pode ser utilizado apenas em aplicações menos exigentes num processo de *downcycling* (GOMES, 2011). Os materiais descartados como resíduos para serem utilizados na reciclagem devem ser descontaminados, picados e processados. Para o âmbito deste projeto, a lavagem com água e detergente é a opção mais indicada para a descontaminação das sacolas plásticas. Existem na atualidade tecnologias superiores, como a reciclagem química, porém estas são tecnologias de difícil acesso devido a baixa participação no mercado, os elevados custos e o alto conhecimento técnico necessário.

A próxima etapa do processo de reciclagem mecânica que visa a comercialização deste material como insumo de produção, consiste na conversão dos resíduos em *pellets*, para que o material possa servir de matéria-prima de processos industriais como extrusão, injeção, roto-moldagem, entre outros. O principal equipamento utilizado para converter os polímeros em *pellets* é a extrusora, que por sua vez deve ser alimentada pelo material triturado, aglutinado ou em demais configurações miúdas. As sacolas plásticas, na sua configuração original, são de difícil moagem e processamento, não devendo ser aplicadas em moinhos de faca, pois trancam nas navalhas dos moinhos. Também não devem ser introduzidas diretamente em extrusoras pois acabam se enrolando na rosca da zona de compressão do equipamento, assim impedindo o movimento de extrusão (com exceção das extrusoras de alimentação forçada). As sacolas plásticas e demais polímeros flexíveis, devem ser introduzidos no aglutinador para serem convertidos em partículas, assim como foi analisado na visita a Associação de Recicladores de Dois Irmãos. O processamento das sacolas plásticas seria facilitado se o material possuísse um aspecto menos flexível e apresentasse maior compactação, características que são obtidas no processo de aglutinagem. Porém outra possibilidade para alcançar estas propriedades é a aplicação de tratamentos térmicos. Devido ao caráter social que este projeto de TCC busca, é necessário contemplar e avaliar processamentos alternativos em relação aos maquinários existentes no mercado que usualmente possuem um custo elevado.

3.2.2. ALTERNATIVAS DE PROCESSAMENTO: DENSIFICAÇÃO POR SOPRO

Para investigar o comportamento das sacolas plásticas ao serem submetidas ao calor foram realizados ensaios utilizando um equipamento de sopro aquecido. A intenção destes ensaios era verificar a possibilidade de alterar a configuração do material através da aplicação de calor. O resultado buscado é que em resposta ao calor aplicado ocorra um encolhimento e endurecimento do material, assim viabilizando que este seja moído ou triturado no processo de reciclagem mecânica. Primeiro, foi montado um suporte, utilizando-se tábuas e grampos de marcenaria, a fim de garantir a constância da altura entre o sopro e os corpos de teste, durante todo o ensaio (Figura 19). A distância entre o bico do equipamento de sopro, onde se localiza a saída de ar quente, e a mesa, onde serão dispostas as sacolas para a realização dos testes foi de 7cm.



FONTE: Elaborada pela Autora

Os testes iniciaram com a aplicação de sopro à 60 °C por um período de 1 minuto, o que não resultou em modificação no estado do material. Os ensaios subsequentes serviram para determinar qual a temperatura na qual o material começa a apresentar alguma modificação na sua configuração. Os testes que obtiveram resultados estão

classificados na Tabela 12, onde estão especificadas as temperaturas (T) aplicadas e o tempo de duração destas exposições ao calor (t).

Tabela 12 – Ensaio de Aquecimento com Sopro

Amostra	Configuração do Teste	T (°C)	t	Resultado
1	1 sacola solta	200	1 min	Encolhimento e endurecimento
2	1 sacola solta	180	1 min	Encolhimento e endurecimento
3	1 sacola com área fixa	200	1 min	Pouco Encolhimento
4	1 sacola com área fixa	230	10s	Furou
5	1 sacola solta	230	6s	Encolhimento e endurecimento
6	1 sacola solta	230	10s	Encolhimento e endurecimento
7	1 sacola enrolada (fio)	200	2min30s	Encolhimento e endurecimento
8	1 sacola dobrada	200	4min	Encolhimento e endurecimento
9	2 sacolas enroladas entre si (bola)	230	2min40s	Leve Endurecimento
10	3 sacolas posicionadas em sequência	210	2min10s	Encolhimento e endurecimento
11	2 sacolas enroladas entre si	230	5min	Encolhimento e endurecimento

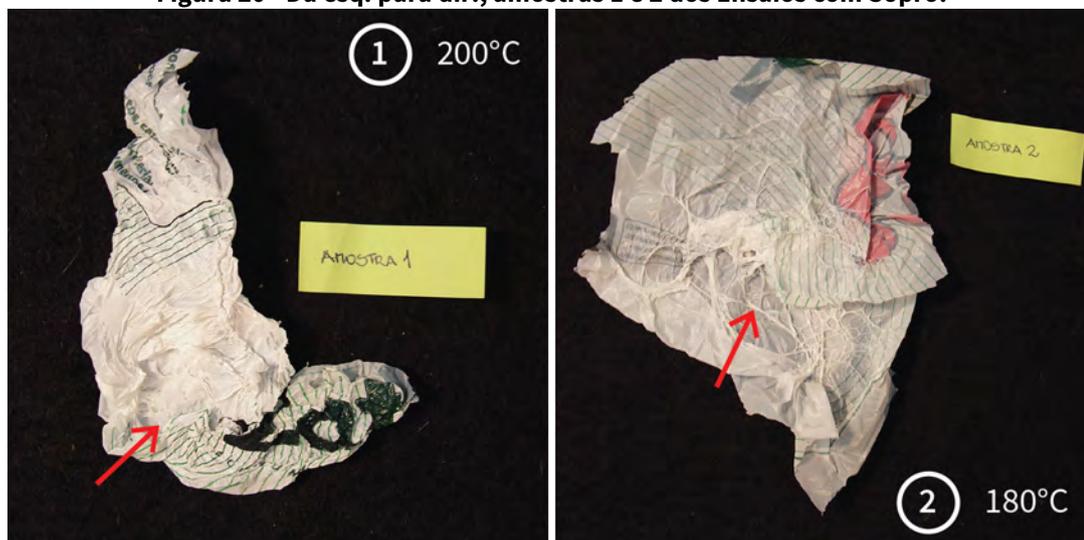
FONTE: Elaborada pela Autora

Pôde-se perceber na realização do ensaio que a faixa de temperatura entre 180 – 230 °C é a mais adequada para a utilização deste recurso. Esta constatação é condizente com as informações encontradas no *Software* CES, que informava nas propriedades de processamento do PEAD, uma faixa entre 172 – 274 °C como sendo a temperatura de processamento do material. As diferentes configurações propostas para o material possibilitaram a investigação do desempenho das sacolas plásticas em diferentes condições, resultando em interações distintas.

Na maioria dos ensaios o material apresentou um resultado positivo em relação ao encolhimento e endurecimento, confirmando que o tratamento térmico por meio de sopro aquecido é um processo efetivo para a obtenção de maior densificação das sacolas plásticas. Porém, uma das dificuldades encontradas no ensaio foi a deslocação do material em reação a corrente de ar do equipamento de sopro aquecido. Devido a sua leveza e flexibilidade, as sacolas plásticas acabavam se movimentando em excesso quando submetidas ao sopro, assim se distanciando do bico do equipamento e deixando

de serem aquecidas. É possível perceber nas primeiras amostras do ensaio, que o encolhimento e endurecimento resultantes ocorreu apenas em alguns pontos do material (sinalizados com setas vermelhas), os que permaneceram de modo mais constante sob a corrente de ar aquecido (Figura 20).

Figura 20 - Da esq. para dir., amostras 1 e 2 dos Ensaio com Sopro.



FONTE: Elaborada pela Autora

Na tentativa de solucionar este problema, foi utilizada uma tela de madeira para imobilizar o material. Esta tela possuía um orifício circular central de aproximadamente 20cm de raio, que assim restringia também a área de aplicação do calor. No primeiro ensaio utilizando esta técnica, Amostra 3 (Figura 21), foi constatado que a restrição da área para a aplicação do sopro aquecido também restringia a capacidade de encolhimento do material, uma vez que parte da sacola plástica estava presa embaixo da tela de madeira e a parte exposta para o aquecimento necessitava puxar esta parte do material que estava imobilizado para realizar sua contração. Deste modo, o material foi incapacitado de realizar o encolhimento devido, e não apresentou a rigidez desejada. Foi então realizado novamente um teste nesta mesma configuração, porém com uma temperatura mais elevada. Neste novo ensaio, que resultou na Amostra 4 (Figura 21), ocorreu uma distensão excessiva do material exposto ao sopro, causando o rompimento do material (Figura 22).

Figura 21 - Da esq. para a dir., amostras 3 e 4 dos Ensaio com Sopros.



FONTE: Elaborada pela Autora

Figura 22 - Registro do processo de Rompimento da Amostra 4



FONTE: Elaborada pela Autora

Os ensaios seguintes, 5 e 6, foram realizados para verificar se o aumento na temperatura intensificaria o processo de encolhimento e endurecimento no material solto ou também causaria rompimentos. Foi verificado que com o aumento da temperatura, o processo de encolhimento e endurecimento foi acelerado em relações aos parâmetros previamente ensaiados (Figura 23).

Figura 23 – Da esq. para a dir., amostras 5 e 6 do Ensaio com Sopros.



FONTE: Elaborada pela Autora

Já os ensaios 7 e 9 (Figura 24) buscavam alcançar, por meio da variação da forma da sacola plástica, novos resultados em relação ao endurecimento e aspecto final. No ensaio 7, o material foi torcido manualmente para configurar um fio, técnica similar aos equipamentos têxteis de fabricação de fios ou cabos, como por exemplo a roca. Nesta configuração, a área superficial da sacola plástica apresentou uma maior rigidez, porém a parte interna, ou seja, aquela que devido ao torcer do material ficou localizada no recheio do fio, se mostrou inalterada. Logo, apesar desta configuração apresentar espacialmente um material mas conciso, em virtude da flexibilidade e leveza interna, o material não obteve rigidez suficiente que possibilite que o material seja moído.

Na amostra 9, a sacola plástica foi entrelaçada em si configurando uma espécie de trança espessa. Novamente, pode-se perceber que a parte externa do material apresentou uma maior dureza, porém a parte interna se manteve inalterado, fazendo com que o material se mantivesse inadequado para o processamento de moagem.

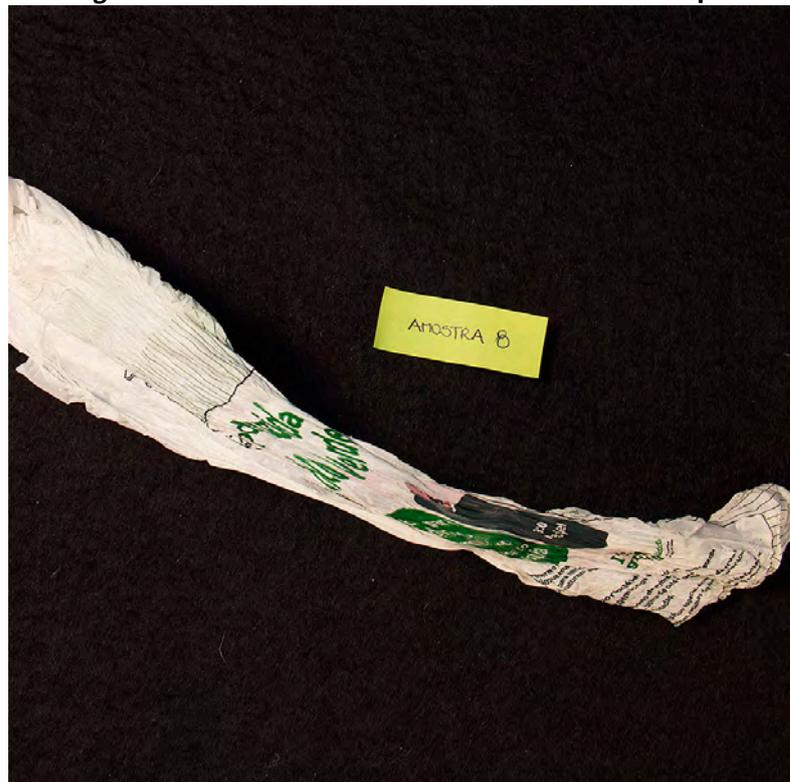
Figura 24 – Da esq. para a direita, amostras 7 e 9 do Ensaio com Sopro.



FONTE: Elaborada pela Autora

O teste 8 (Figura 25) foi realizado para se verificar o tempo necessário para que uma sacola plástica fosse inteiramente endurecida pelo efeito do sopro. O material foi submetido a um sopro de 200°C por um período de 4 minutos para alcançar o resultado desejado.

Figura 25 – Resultado da Amostra 8 do Ensaio com Sopro



FONTE: Elaborada pela Autora

O teste 10 investigou a possibilidade de unir sacolas através da sobreposição e aplicação de calor (Figura 26). Durante o ensaio, as duas sacolas utilizadas pareciam ter se fundido uma à outra. Porém ao cessar o aquecimento por sopro, foi possível separar as duas sacolas por meio de tração. Se cogita que seja necessário esperar alguns minutos, para que se possa então obter um resultado mais permanente do processo de aquecimento. O material ainda quente, permite que por meio de movimentação e tração as partes se desunam. O mesmo serve para a dureza do material, que num primeiro momento após o aquecimento pode apresentar menor dureza e após o resfriamento obtém propriedades mais definitivas. Estas afirmativas só vieram a ser conferida na realização dos Ensaio com Ferro de passar roupa.

O teste 11 foi uma continuação do teste 9, porém analisando a possibilidade de unir duas sacolas através de nó e calor (Figura 26). Os resultados entre esses dois testes foram muito similares, sendo que nenhum dos dois atingiu as condições desejadas.

Figura 26 - Da esq. para a direita, amostras 10 e 11 do Ensaio com Sopro.



FONTE: Elaborada pela Autora

Foi então realizado um 2º ciclo de ensaios, introduzindo uma nova alternativa buscando solucionar a movimentação das sacolas ao serem submetidas à corrente de ar do sopro aquecido. Foi montada uma espécie de gaiola, utilizando uma tela metálica circular (Figura 27), com o intuito de limitar a movimentação da sacola, de maneira que ela não saia do foco do sopro.

Figura 27 – Gaiola metálica para o 2º Ensaio de Sopro



FONTE: Elaborada pela Autora

Nestes novos ensaios, pode-se obter um resultado ainda melhor em relação ao adensamento e enrugamento do material. Inicialmente a distância entre o bico da pistola de sopro aquecido e a mesa suporte era de 9,5cm devido às dimensões da gaiola, que possui em torno de 8,5cm de altura, 40cm de comprimento e 10cm de largura. No primeiro teste realizado com essa configuração, após 6 minutos de exposição ao sopro aquecido à 200°C foi constatado que em razão da altura entre pistola e mesa, o material não estava reagindo como esperado. A altura foi novamente regulada à 4,5cm de distância e a gaiola foi redimensionada, achatada por meio de compressão, para se adequar a esta nova configuração onde foram realizados os ensaios classificados na Tabela 13. Os ensaios realizados em 3 min foram aquecidos por 2 minutos em um dos lados do material e depois 1 minuto no lado oposto. Já o ensaio realizado em 4 minutos foi aquecido por 2 minutos em ambos os lados.

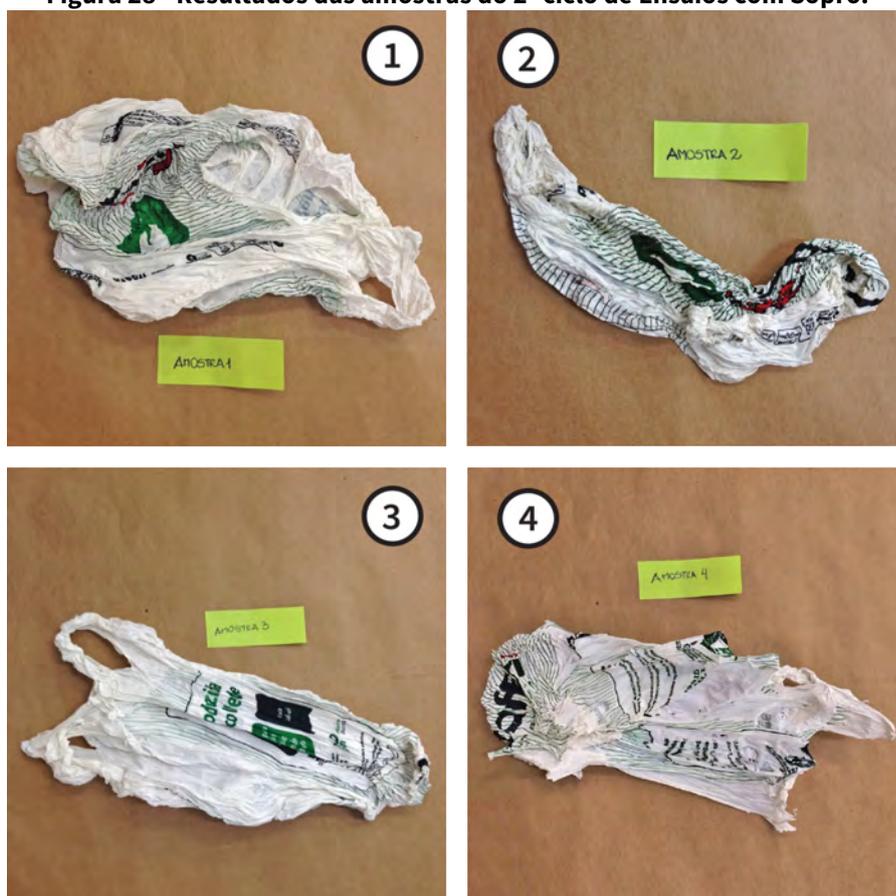
Tabela 13 – Testes realizados no 2º ciclo de ensaios com Sopro
Classificação dos ensaios do 2º Ciclo de densificação com Sopro

Amostra	Configuração	T (°C)	t (min)	Resultado
2	1 sacola presa na gaiola	230	3	Processo mais rápido e eficaz. Melhor resultado.
3	1 sacola presa na gaiola	200	3	Material parcialmente endurecido.
4	2 sacolas presas na gaiola	230	4	Segundo melhor resultado.

FONTE: Elaborada pela Autora

Apesar da maioria dos ensaios realizados terem resultados positivo em relação ao encolhimento e endurecimento do material (Figura 28), o ensaio com melhor resultado foi a Amostra 2 do 2º ciclo de ensaios, tendo resultado em praticamente toda a sacola plástica endurecida. O endurecimento mais pleno desta amostra está relacionado ao tempo de duração do ensaio (3 minutos), a permanência constante do material sob aquecimento (condição garantida pela gaiola metálica) e a distância reduzida entre a fonte de calor e as sacolas plásticas.

Figura 28 - Resultados das amostras do 2º ciclo de Ensaios com Sopro.

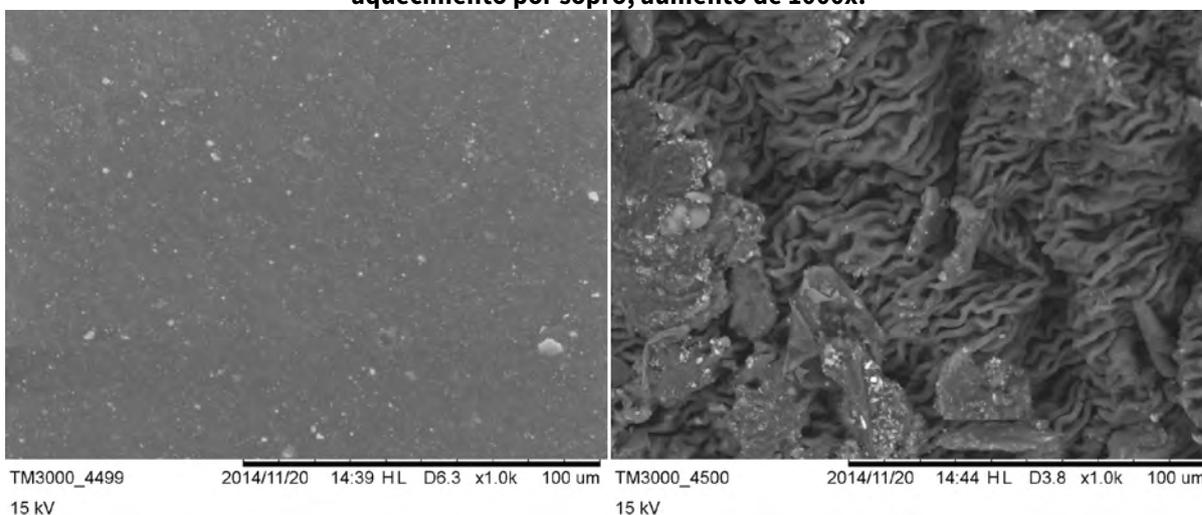


FONTE: Elaborada pela Autora

A amostra 2 foi adotada para a realização de uma análise utilizando microscópio eletrônico de varredura (MEV) para obter uma melhor visualização da estrutura do material após a aplicação deste tratamento térmico. Diferentes do microscópio óptico, que usa luz para formação de imagens, os microscópios eletrônicos utilizam elétrons (CANEVAROLO Jr., 2003), o que possibilita uma maior resolução. O microscópio

eletrônico, que geralmente é utilizado para o estudo de estruturas superficiais, produz imagens de alta resolução, possibilitando a ampliação de detalhes próximos com magnificação de até 300.000 vezes. Primeiro foi analisada uma sacola plástica onde não foi aplicada nenhuma intervenção, no seu estado original antes da realização do ensaio. Após, foi analisada uma parcela da Amostra 2, onde a sacola recebeu o aquecimento com sopro em 200°C por um período de 3min. Na figura 29, estão as duas imagens obtidas pela análise microscópica. Percebe-se que o encolhimento percebido à olho nu se dá por meio de um enrugamento do material, formando inúmeras dobras aglomeradas, que assim diminuem a dimensão espacial da forma. Também se pode concluir que é por meio dessa concentração de massa que o material se mostra mais compacto após o aquecimento.

Figura 29 - Da esq. para a dir., imagens eletrônicas de varredura do tipo BSE do material antes e após o aquecimento por sopro, aumento de 1000x.



FONTE: Elaborada pela Autora

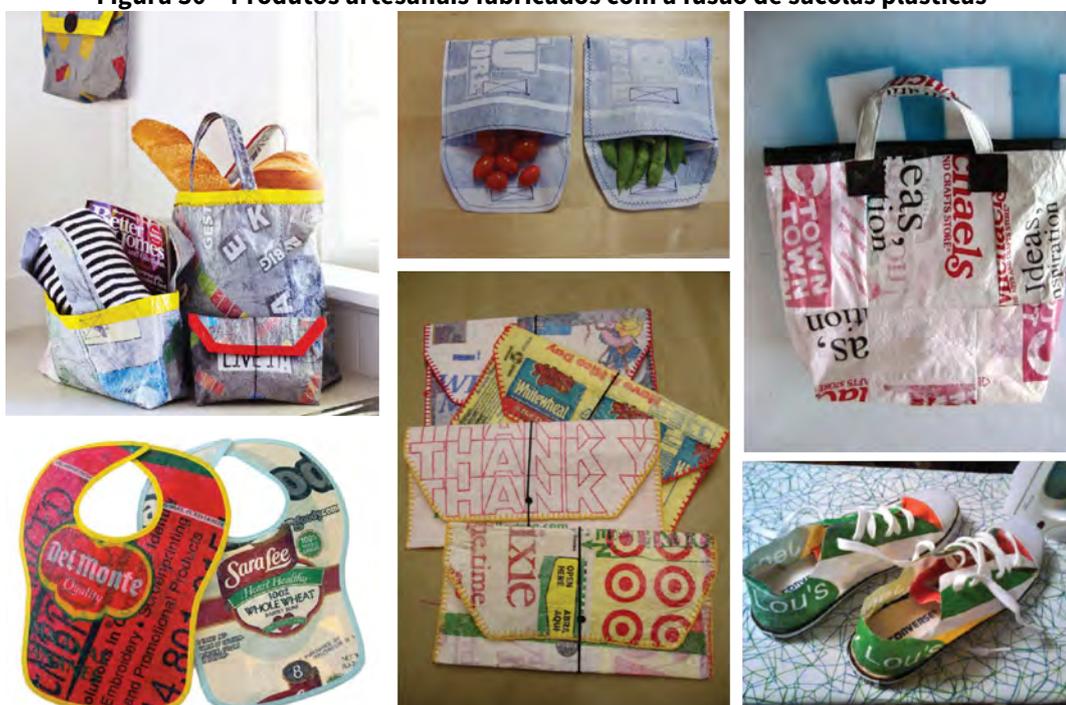
Pode-se concluir com a realização destes ensaios que o tratamento térmico do material, através do aquecimento por sopro, é um método eficaz para a alteração da configuração das sacolas plásticas, tornando-as mais densas e aptas ao processamento de moagem. Porém, o tempo mínimo necessário para compactar o material de forma plena, em torno de 3 – 4 minutos, implica em um alto investimento energético, o que faz com que este tratamento, apesar de eficaz, seja inadequado para os objetivos de este projeto. Os custos elevados deste procedimento acabariam encarecendo o processo e por consequência o preço de venda do material final, tornando-o menos atrativo para o consumidor. Sem a realização destes ensaios não se poderia ter a confirmação desta

condição, portanto eles tiveram papel imprescindível para a análise desta alternativa e embasamentos de futuras decisões projetuais.

3.2.3. ALTERNATIVAS DE PROCESSAMENTO: DENSIFICAÇÃO POR FERRO DE PASSAR

Outra possibilidade de alteração da configuração das sacolas plásticas, para melhor adaptá-las à possíveis processamentos, é a diminuição da flexibilidade e aumento da espessura do material por meio de fusão entre uma ou mais sacolas plásticas utilizando o aquecimento com ferro de passar. Esta técnica vem sendo utilizada em fabricações artesanais de diferentes produtos (Figura 30).

Figura 30 – Produtos artesanais fabricados com a fusão de sacolas plásticas



FONTE: PINTEREST

Para investigar a possibilidade de utilização desta técnica, foram realizados 4 ensaios utilizando uma única sacola em cada teste, dobrada de diferentes formas. Foi utilizado o ferro de passar roupa *Quick'n Easy*™ 307 da *Black&Decker*®, que possui 1200W de potência, porém não possui marcação de temperatura, apenas opções para diferentes tipos de tecidos. Foi utilizada a opção de tecidos de Poliéster. Os resultados dos testes estão assinalados na Tabela 14.

Tabela 14 – Ensaio com Ferro de passar.

Amostra	Configuração	t	Resultado
1	1 sacola dobrada 1 vez	40seg	Selagem parcial
2	1 sacola dobrada 1 vez	40seg	Selagem
3	1 sacola dobrada 2 vezes	1min	Selagem
4	1 sacola dobrada 1 vez	2min	Selagem

FONTE: Elaborada pelo Autor

No 1º teste realizado, logo após o fim do procedimento de aquecimento era possível separar as duas partes da sacola por meio de tração, puxando-as com as mãos em sentidos opostos. Esta situação é muito similar ao resultado encontrado no teste 10 do 1º ciclo de ensaios com sopro, onde se cogitou a necessidade de esperar que o material retornasse à temperatura ambiente para poder ser movimentado. Para confirmar esta hipótese, foi realizado um novo ensaio (Figura 31), operando nas mesmas condições, porém esperando que o material esfriasse para ser movimentado e submetido à tração. Neste novo ensaio a sacola se manteve grudada, atestando a suposição.

Figura 31 – Da esq. para a direita, amostras 1 e 2 dos ensaios com Ferro.



FONTE: Elaborada pela Autora.

O terceiro e o quarto teste foram realizados para analisar o comportamento do material quando dobrado duas vezes, ou seja, apresentando o dobro de camadas à serem seladas, em relação aos testes anteriores. Tanto na amostra 3 quanto na amostra 4 o material selou, porém pode-se perceber que o lado voltado para cima, aquele que recebia de maneira mais direta o aquecimento e contato do ferro, possuía um aspecto mais liso e

uniforme. O lado avesso do material apresentou uma superfície irregular, parcialmente enrugada e parcialmente flexível, não selada (Figura 32).

Figura 32 – Da esq. para a direita, frente e verso das amostras 3 e 4 dos ensaios com Ferro



FONTE: Elaborada pela Autora

Em todas os ensaios realizados com o ferro de passar, pode-se averiguar uma pequena, porém perceptível, diminuição da flexibilidade do material por meio do aumento da espessura da mesma. Mostrou-se necessária a realização de ensaios futuros para solucionar a superfície do lado avesso das sacolas fundidas, que, por não ter recebido o calor de forma direta, não fundiu formando uma superfície uniforme como o lado superior. Uma possível solução para esta situação seria a utilização de uma prensa aquecida, assim ambos os lados da sacola estariam recebendo calor diretamente. Este futuro ensaio poderia ser complementado com a utilização de um termógrafo, possibilitando analisar a temperatura envolvida no processo.

3.2.4. MOAGEM COM LIQUIDIFICADOR (SIMULAÇÃO CASEIRA DE AGLUTINADOR)

Nos ensaios anteriores foram investigadas diferentes possibilidades de adensar o material das sacolas plásticas. Tanto o sopro aquecido quanto o ferro de passar representam soluções eficazes, porém inviável para o âmbito deste projeto, devido ao elevado consumo de energia e ao longo tempo de operação. Dentre as soluções indicadas, a prensagem seria a mais eficiente. Introduzindo resistências elétricas nas prensas já

existentes nos centros de triagem podem-se fundir as sacolas plásticas formando placas de material adensado.

Assim como já informado anteriormente, o equipamento que costuma ser utilizado nos centros de triagem para processar polímeros flexíveis é o aglutinador. Durante esta etapa do projeto, não se obteve acesso a um aglutinador para a realização de ensaios, porém foram realizados ensaios utilizando um liquidificador doméstico (Figura 33), com a intenção de simular o funcionamento de um aglutinador.

Figura 33 – Liquidificador doméstico utilizado no Ensaio



FONTE: Elaborada pela Autora

O aglutinador e o liquidificador atuam de modo similar, porém com funções diferentes. Ambos são constituídos de maneira geral por um corpo cilíndrico com um par de lâminas adaptado no centro da base interior. No caso do aglutinador, as lâminas possuem a função de compactar o material. Por meio do calor gerado pelo atrito das facas com a parede do equipamento, o material é aquecido e aglutinado, formando pequenos grãos de material polimérico. Já no caso do liquidificador, a função das lâminas é triturar alimentos transformando-os em um líquido homogêneo. As principais diferenças entre os dois equipamentos são as dimensões e o material aplicado ao cilindro. O aglutinador

utilizado na Associação de Recicladores de Dois Irmãos possui um tambor de 70cm de diâmetro e uma distância do topo até a base de 85cm, enquanto o liquidificador utilizado para o ensaio possui 15cm de diâmetro na parte superior do jarro, 13cm de diâmetro na base e uma altura do topo até a base de 24cm. Diferente do jarro do liquidificador, que é usualmente constituído de polímero ou vidro, o corpo cilíndrico do aglutinador é composto por material metálico afim de otimizar a função do equipamento, além de garantir maior durabilidade. As lâminas do aglutinador são ambas voltadas para cima, enquanto as do liquidificador são voltadas um par para cima e o outro para baixo. Esta característica se mostrou adversa à realização do ensaio, ocasionando que o material se prendesse entre as lâminas (Figura 34).

Figura 34 - Material preso às lâminas do Liquidificador



FONTE: Elaborada pela Autora

Para a realização destes ensaios foram utilizadas sacolas plásticas que possuem dimensões de 42 x 54 cm, introduzidas no liquidificador em diferentes configurações. Na tabela 15 estão descritos o resumo das amostras analisadas e os resultados obtidos.

Tabela 15 – Amostras do Ensaio com Liquidificador

Amostra	Configuração	T(s)	Resultado
1	Sacola inteira	10	Boa parte da sacolas enroscou nas facas, sem picar. As demais partes que se soltaram esfarelaram.
2	Sacola inteira	15	Uma parcela do material se prendeu nas facas. Aquecimento no liquidificador (leve cheiro de queimado). Material solto se esfarelou.
3	Sacola inteira	25	Aquecimento, mal cheiro.
4	Sacola Inteira + 100ml de água	20	Material não se esfarelou, nem se prendeu nas facas. Porém também não aglutinou ou picou.
5	Dividida ao meio	15	Parte do material ainda se prendeu nas lâminas.
6	Dividida em 4 partes	15	Pouco material se prendeu nas lâminas.
7	Recortada em pequenos retângulos (36 peças)	20	Pouco material se prendeu nas lâminas. Demais material se manteve praticamente intacto.
8	Pré-adensado (ferro de passar roupa)	15	Nenhum material se prendeu nas laminas.

FONTE: Elaborada pela Autora

Em todas as amostras nas quais as sacolas foram introduzidas no liquidificador na sua configuração normal, parte do material se prendeu às laminas e não foi fracionado, enquanto as extremidades da sacola desprendidas da laminas se esfarelaram, tornando-se pequenos grãos (Figura 35). A segunda amostra apresentou uma quantidade menor de material preso nas lâminas em relação a primeira e a terceira amostra apresentou uma quantidade ainda menor. É possível associar este fato ao tempo de duração do processo. A quarta amostra foi uma tentativa de adicionar água em um determinado ponto do processo, buscando a contração do material por choque térmico. Porém, pode-se perceber que o liquidificador não atingiu a temperatura necessária para aquecer suficientemente o material, e assim que a água foi adicionada o material não foi alterado. Na realização dos ensaios pode-se perceber que o corte do material não se dá de maneira uniforme, tendo parte do material esfarelado e parte do material recortado em pedaços maiores, um resultado diferente do que se previa.

Figura 35 – Material recortado na tampa da Liquidificador



FONTE: Elaborada pela Autora

Nas amostras seguintes - 5, 6, e 7 - o material foi partido previamente em quantidades diferentes de parcelas (Figura 35). A intenção destas amostras era demonstrar o comportamento do material em diferentes proporções dimensionais entre o material a ser processado e as lâminas do liquidificador. Nas amostras 5 e 6, onde o material foi recortado em duas partes e quatro partes respectivamente, pouco material se prendeu às lâminas e uma quantidade maior do material foi fragmentada, apresentando um resultado positivo. Porém na amostra 7, onde o material foi recortado em pequenos retângulos, o material não se alterou. Pode-se supor que o motivo para a ineficiência deste resultado seja a leveza do material recortado, que ao entrar em contato com as lâminas em rotação acaba flutuando acima das lâminas, assim não sendo processado devidamente.

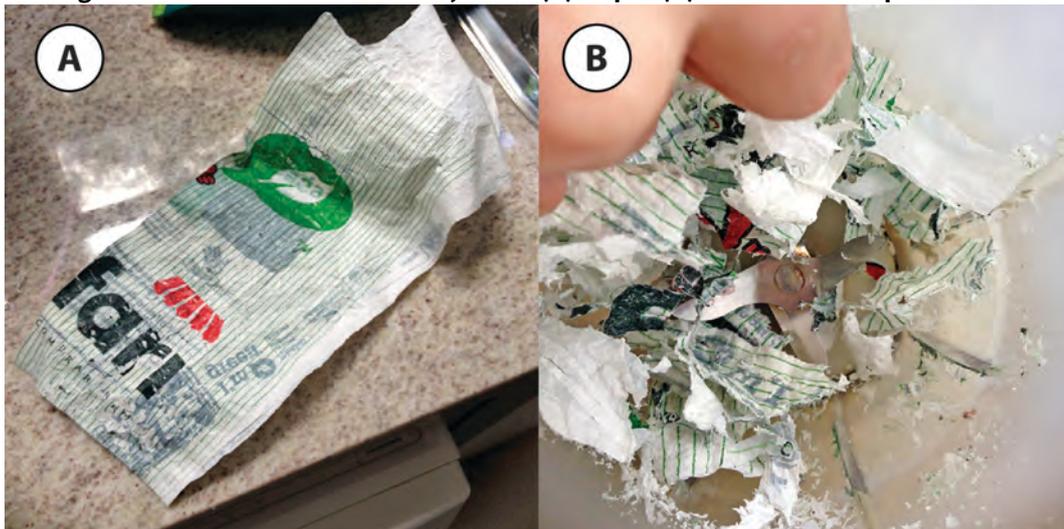
Figura 36 – Configuração das sacolas plásticas utilizadas nas Amostras 5, 6, e 7 do Ensaio



FONTE: Elaborada pela Autora

No último ensaio realizado, Amostra 8, foi introduzida no liquidificador uma sacola plástica pré-adensada. Este pré-adensamento foi realizado utilizando a técnica analisada no Ensaio com Ferro de passar roupa. O resultado deste processo foi o mais satisfatório dentre as amostras deste ensaio. O material não prendeu nas lâminas do liquidificador, sendo inteiramente recortado pelas lâminas (Figura 37).

Figura 37 – Material da Amostra 8, antes (A) e após (B) o ensaio com liquidificador



FONTE: Elaborada pela Autora

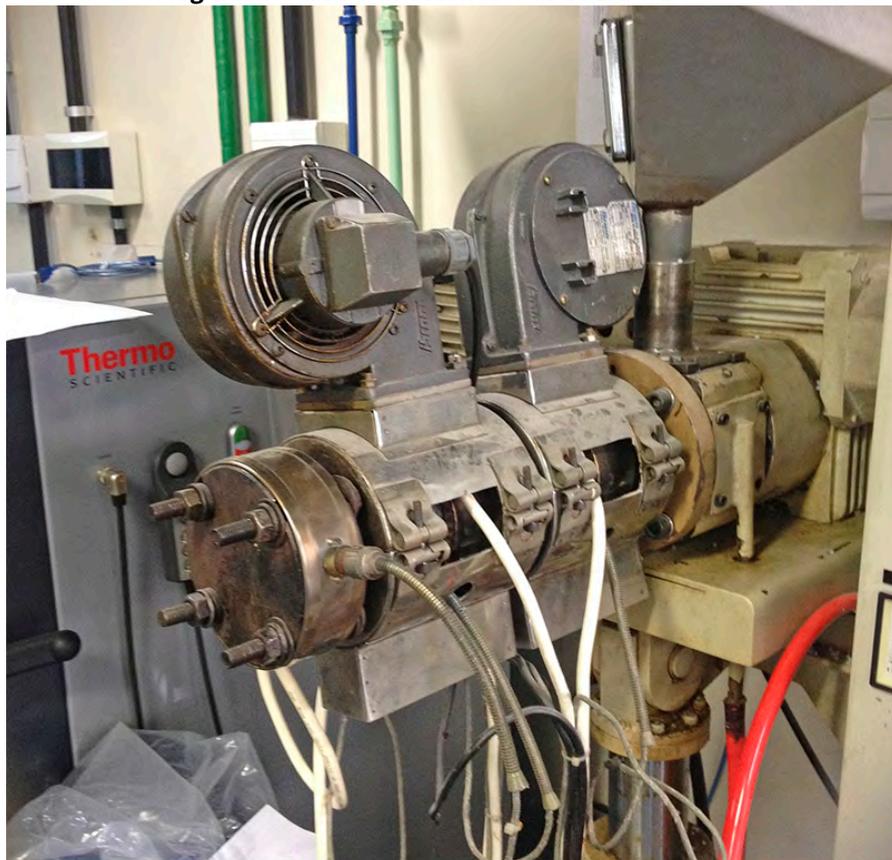
Com a realização destes ensaios pode-se concluir que o liquidificador não substituiu integralmente o aglutinador em relação a sua função, porém pode-se analisar de forma pertinente o comportamento do material ao ser processado em diferentes configurações. O principal motivo que define esta análise é a inadequação do corpo cilíndrico do liquidificador, que por ser ligeiramente afunilado e ser composto por material polimérico,

limita a eficiência do projeto, tornando o processo mais lento. Além do mais, a orientação das lâminas do liquidificador prejudica o processamento do material, pois ocasiona a torção do material entre as facas fazendo com que o mesmo fique preso entre as lâminas. Apesar destas condições adversas, o resultado do último ensaio realizado, a Amostra 8 foi satisfatório.

3.3. PROCESSAMENTO POR EXTRUSÃO

Foram realizados ensaios de extrusão no LAPOL, Laboratório de Materiais Poliméricos da UFRGS. A extrusora utilizada foi uma extrusora monorosca simples da marca Ciola, relação L/d: 22 (relação comprimento, L, e diâmetro, d), que possui três zonas de aquecimento e uma matriz de 2mm de diâmetro. A extrusora (Figura 38) também dispõe de ventiladores em duas zonas de aquecimento, que servem para auxiliar na manutenção da temperatura.

Figura 38 - Extrusora Monorosca do LAPOL



FONTE: Elaborada pela Autora

A maioria das sacolas plásticas encontradas no mercado possui material gráfico promocional impresso na sua superfície. Devido ao fato da extrusora existente no LAPOL não dispor de um processo de degasagem, fez-se necessário utilizar apenas as porções das sacolas onde não fora aplicada tinta, ou seja, as partes em branco. Esta divisão foi realizada manualmente utilizando uma tesoura. Devido ao caráter artesanal deste processo e a dificuldade em acessar um aglutinador para realização de ensaios, foi utilizado o processo da Amostra 8 do Ensaio com liquidificador (Simulação Caseira de Aglutinador) para produzir a matéria-prima do processo. O material já recortado foi pré-adensado utilizando um ferro de passar roupa e depois processado com um liquidificador (Figura 39). É importante ressaltar que este método foi utilizado apenas pois não seria possível obter um material processado devidamente por um aglutinador.

Figura 39 – Material recortado pré- processo (A) e o material resultante (B)



FONTE: Elaborada pela Autora

Os ensaios de extrusão foram realizados em duas sessões. A intenção da primeira sessão era encontrar e ajustar as condições ideais para a obtenção do material e assim certificar a possibilidade de produzir filamentos utilizando as sacolas plásticas como matéria-prima. O resultado deste ensaio foi positivo, tendo sido produzidos um total de 6,5 metros de filamento, utilizando aproximadamente quinze sacolas plásticas (Figura 40).

Figura 40 – Filamento obtido na primeira sessão de extrusão no LAPOL



FONTE: Elaborada pela Autora

O material produzido neste primeiro ensaio possui uma grande variação de diâmetro, ocasionada pelo estiramento proposital do material, em consequência da aplicação de tração mecânica manual do filamento ao ser extrusado. O menor diâmetro obtido foi 0,42mm e o maior foi 3,34mm. As configurações do equipamento ajustadas para este primeiro ensaio estão assinaladas na Tabela 16.

Tabela 16 – Configurações da Extrusora no 1º. Ensaio

T Zona 1	T Zona 2	T Zona 3	Velocidade da rosca
120°C	160°C	180°C	45rpm

FONTE: Elaborada pela Autora

Já tendo conhecimento das condições ótimas para processamento, foi realizada uma segunda sessão de extrusão buscando produzir uma quantidade suficiente de filamento, que seja adequada para impressão. As impressoras 3D, disponíveis atualmente, devem ser alimentadas por filamentos com diâmetro de 1,85mm ou 2,85mm (ou até mesmo 3mm, dependendo do fabricante). Havendo a possibilidade de realizar posteriormente um teste de impressão com uma impressora 3D alimentada por filamentos de 2,85mm de diâmetro, optou-se por produzir material nesta dimensão. É

aceitável que o filamento possua uma pequena variação de diâmetro, porém os valores devem ser sempre inferiores a 2,85mm, que é o diâmetro máximo permitido para que o material se movimente dentro do tubo da impressora 3D. O maior diâmetro obtido na primeira sessão de extrusão excede o diâmetro permitido para a alimentação desta impressora. Como o diâmetro da matriz da extrusora é de 2mm, fica evidente a necessidade de cuidar e controlar o inchamento do material para obter o material no parâmetro desejado. O inchamento é uma consequência da componente elástica da resposta do fundido à tensão (LAPOL, [s.d.]). Já na primeira zona da extrusora, o material começa a aquecer por cisalhamento e pelo atrito do movimento da rosca. Ao mesmo tempo em que o movimento da rosca está transportando o material, ele também o está pressionando. Ao final da extrusora, o polímero fundido é pressionado por um canal relativamente estreito (matriz). Ao sair da matriz, o material sofre uma recuperação da deformação elástica, produzindo um encolhimento longitudinal e consequentemente uma expansão lateral (inchamento do extrusado). O inchamento depende diretamente da taxa da velocidade da rosca, logo, a primeira medida tomada para diminuir o inchamento do material foi a diminuição da velocidade da rosca. As configurações iniciais do equipamento nesta segunda sessão de extrusão estão indicadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Configurações iniciais da segunda sessão de extrusão no LAPOL

T Zona 1	T Zona 2	T Zona 3	Velocidade da rosca
120°C	160°C	190°C	30rpm

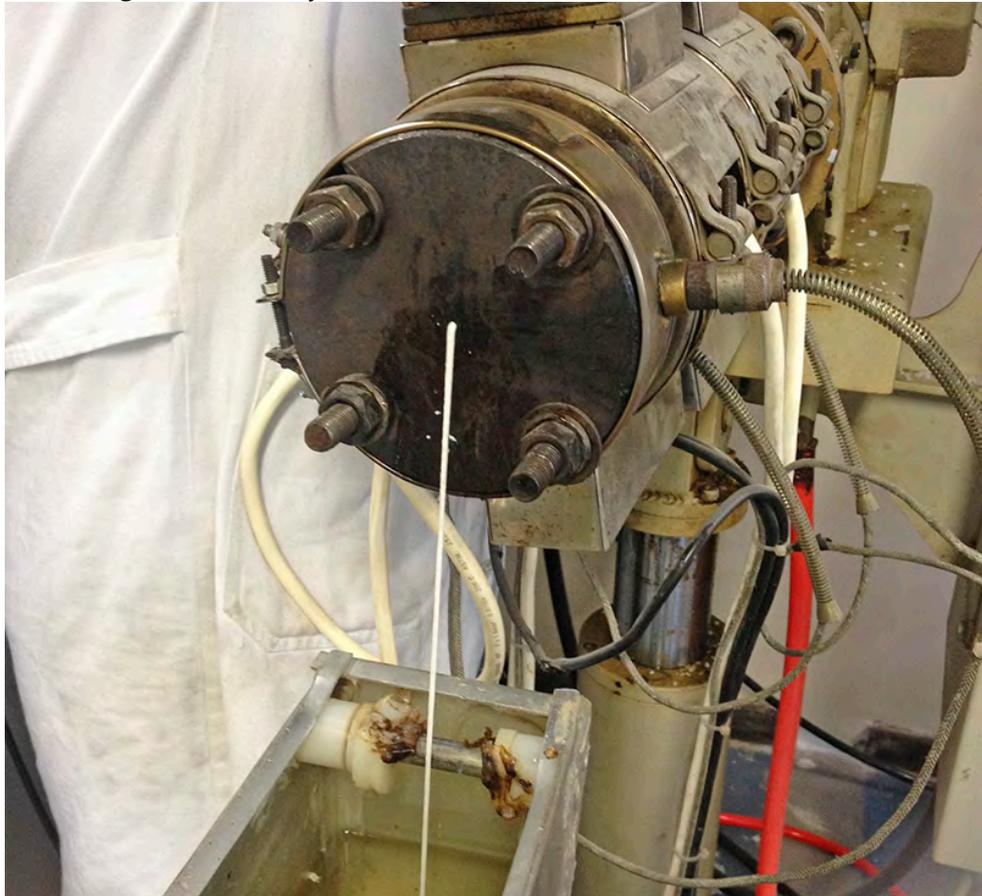
FONTE: Elaborada pela Autora

A inspeção do diâmetro resultante da extrusão foi realizada utilizando-se um paquímetro digital Mitutoyo, modelo *Absolute Digimatic CD-8" ASX-B*. Apesar da redução da velocidade da rosca, o material mantinha-se acima do diâmetro desejado. Além do inchamento do fundido, outros fatores também influenciam no diâmetro final do filamento. Um dos principais fatores que auxilia no controle do diâmetro na produção de filamentos é o estiramento controlado do extrusado. Através de um sistema que possibilita tracionar o material de forma constante é possível controlar a espessura de um filamento de acordo com a velocidade em que é tracionado o material extrusado. Infelizmente, equipamentos que realizam tal operação não constam na estrutura do

LAPOL, e com o estiramento realizado por tração manual do material não é possível obter um resultado preciso e constante, assim como é desejado.

Como a alimentação da extrusora estava sendo realizada de forma manual, depositando-se uma pequena quantidade de material por porção, a diminuição da velocidade da rosca permitia que uma quantidade maior de material preenchesse o interior do cilindro, resultando em um maior empacotamento do material. Analisando este aspecto, pode-se supor que, se a velocidade da rosca for aumentada, a quantidade de material por extensão de filamento será reduzida, pois haverá menos material para preencher o interior do cilindro. Para confirmar essa hipótese, a velocidade da rosca foi aumentada para 50 rpm e a alimentação da extrusora se manteve a mesma. De fato, após essa mudança o material extrusado (Figura 41) passou a ter o diâmetro inferior a 2,85mm.

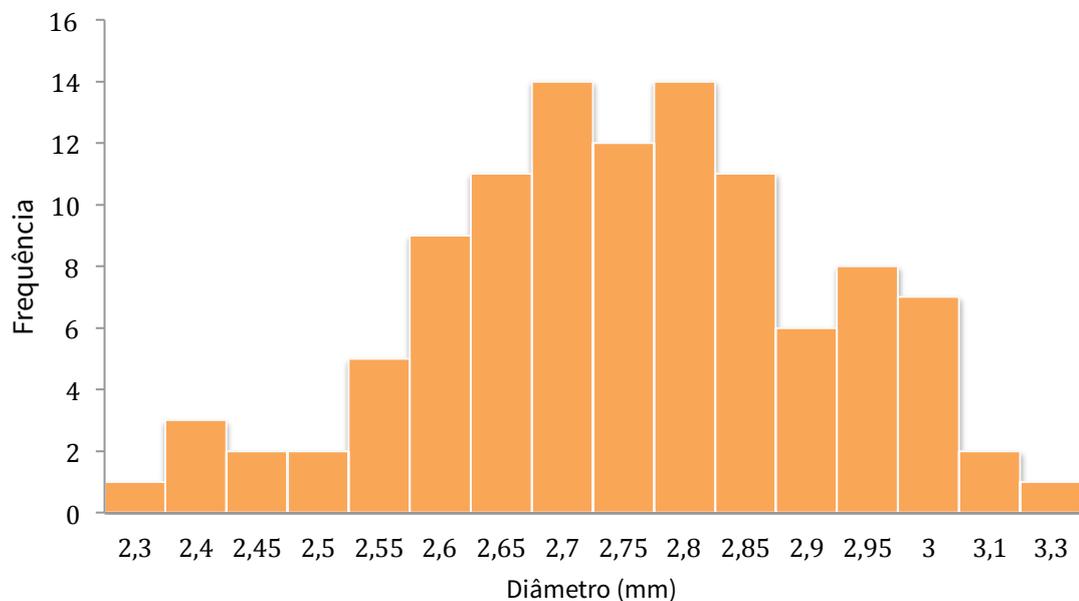
Figura 41 – Produção de filamentos de PEAD na extrusora do LAPOL



FONTE: Elaborada pela Autora

Foi produzido um total de 5,4 metros de filamento. A fim de mensurar a variação de diâmetro do filamento confeccionado foi realizada a medição com o auxílio de um paquímetro digital. O filamento foi medido em toda a sua extensão a cada 50mm, dando um total de 108 valores mensurados. Na Figura 42, consta um histograma dos diâmetros obtidos. O diâmetro do filamento variou entre 2,3mm e 3,3mm, com uma medida média de $2,635 \pm 0,001$ mm. O maior trecho de filamento com o diâmetro de toda extensão inferior a 2,85mm, ou seja, o maior trecho de filamento adequado para impressão, possui 1,26 metros de comprimento.

Figura 42 – Histograma da Variação de diâmetro do filamento da 2ª. Sessão de extrusão



FONTE: Elaborada pela Autora

Foi realizada uma análise utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Hitachi TM 3000 e um microscópio digital, modelo Olympus SZX16, presentes no Laboratório de Seleção de Materiais (LdSM) da UFRGS, para obter uma melhor visualização da superfície transversal interna do material extrusado. Na Figura 43, está presente a microscopia de diferentes seções transversais do filamento extrusado em uma escala de 2000 μ m. Percebe-se na imagem, que o material é bastante poroso, apresentando bolhas. Algumas seções do material apresentam uma quantidade menor de vazios, como no caso da fatia central da imagem. Nestes segmentos houve uma maior

compactação do material ao ser extrusado, logo pode-se dizer que a presença de bolhas esteja relacionada à falta de material presente dentro do cilindro durante o processo de extrusão. Esta afirmativa é enfatizada pelo procedimento realizado para obtenção de um menor diâmetro de filamento. Com o aumento da velocidade da rosca, uma quantidade menor de material era depositada dentro da extrusora, assim não preenchendo o espaço interno do cilindro, criando vazios e diminuindo a compactação do material. O processo de adensamento do material, utilizando o ferro de passar roupa, também pode ter favorecido o surgimento das bolhas, devido ao possível confinamento de ar dentro das camadas de sacolas plásticas fundidas.

Figura 43 – Fotografia microscópica de secções transversais do filamento extrusado



FONTE: Elaborada pela Autora

Na Figura 44, está a imagem obtida com lupa estereoscópica, de uma porção longitudinal do filamento, próxima a um dos cortes transversais realizados. Nesta vista lateral é possível identificar uma pequena rugosidade na superfície do material, indicando um fenômeno de fratura primária. Há também na superfície do filamento, um risco longitudinal visível, resultante da presença de alguma partícula de sujeira existente na matriz da extrusora. Um risco idêntico foi observado em diferentes materiais extrusados na mesma extrusora num período próximo ao processamento deste material.

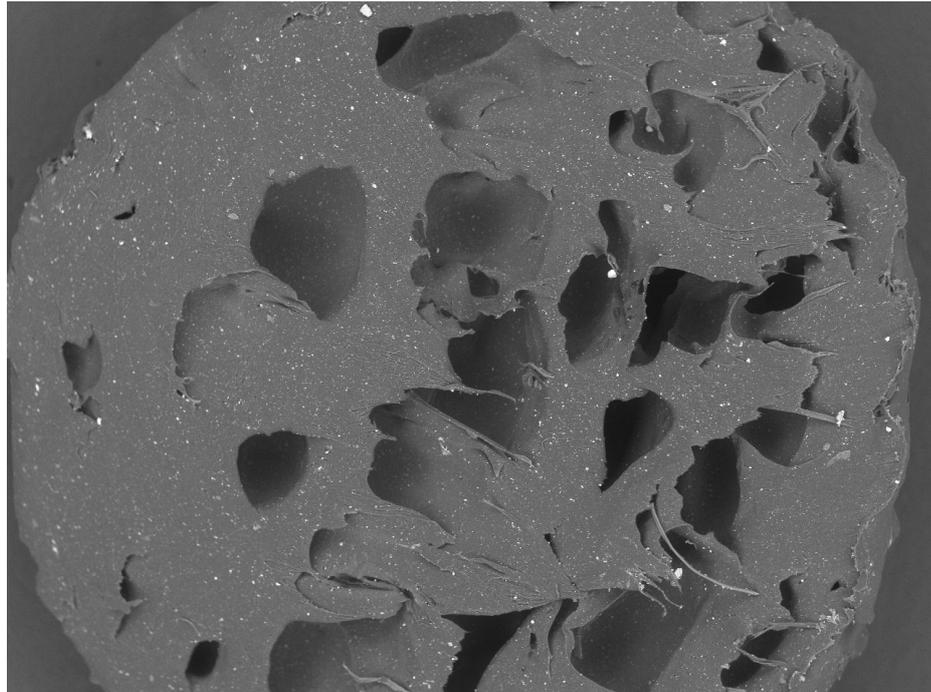
Figura 44 - Microscopia digital de uma porção longitudinal do filamento



FONTE: Elaborada pela Autora

Na Figura 45, está apresentada a imagem eletrônica de varredura resultante da observação feita ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) de uma das fatias transversais anteriormente obtidas na lupa estereoscópica. É possível perceber nesta imagem que o material se esticou na superfície junto a marca do corte transversal (corte realizado com o auxílio de uma tesoura), principalmente nas bordas dos poros. Esta é uma característica de termoplásticos como o PEAD, que são mais maleáveis e mais dúcteis. Também é possível distinguir na imagem, pequenas partículas brancas presentes no material, que são provavelmente parcelas da pigmentação branca das sacolas plásticas de supermercado. As pigmentações brancas mais utilizadas em sacolas plásticas são o dióxido de titânio e carbonato de cálcio, e por serem constituídas de elementos com maior peso atômico, aparecem mais claras nas imagens do tipo BSE (elétrons retroespalhados).

Figura 45 - Imagem eletrônica de varredura do tipo BSE da da fatia transversal do filamento, ampliação de 50x



TM3000_6204

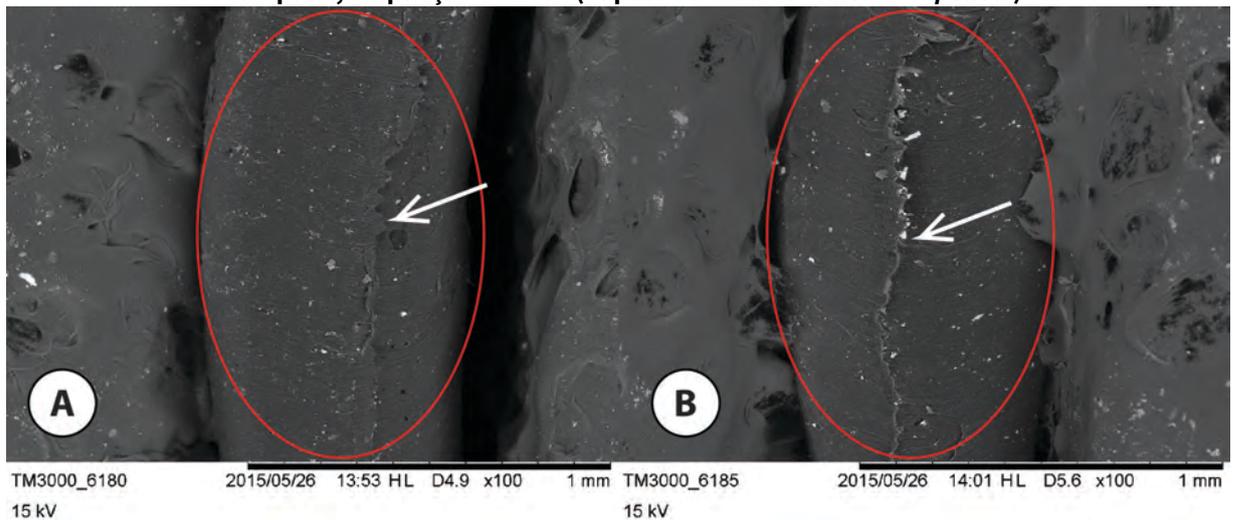
2015/05/26 15:47 HL D6.0 x50 2 mm

15 kV

FONTE: Elaborada pela Autora

Pode-se concluir, que a presença de bolhas, sugere a necessidade de um sistema de degasagem no processo de fabricação de filamentos de impressão 3D advindos de material reciclado. Se houvesse um sistema de degasagem na extrusora utilizada para a fabricação dos filamentos analisados, provavelmente não haveria a presença de bolhas no material. Os vazios gerados pelo não preenchimento do espaço interno do cilindro seriam completamente evacuados no processo. Com a intenção de proporcionar um panorama comparativo entre um material produzido por uma extrusora sem zona de degasagem e uma com zona de degasagem, foram analisados por microscopia eletrônica de varredura, *pellets* de PEAD reciclado, advindo de sacolas plásticas, processados pela empresa Valimplast (Figura 46). A região demarcada em vermelho corresponde à vista transversal interna de dois *pellets*, obtida por meio de um corte. Pode-se perceber que neste material a presença de bolhas é praticamente nula, demonstrando a eficiência do processo de degasagem na eliminação de vazios. O ressalto central sinalizado com uma flecha, presente nos dois *pellets*, é resultante da distensão do material na marca do corte realizado com a tesoura.

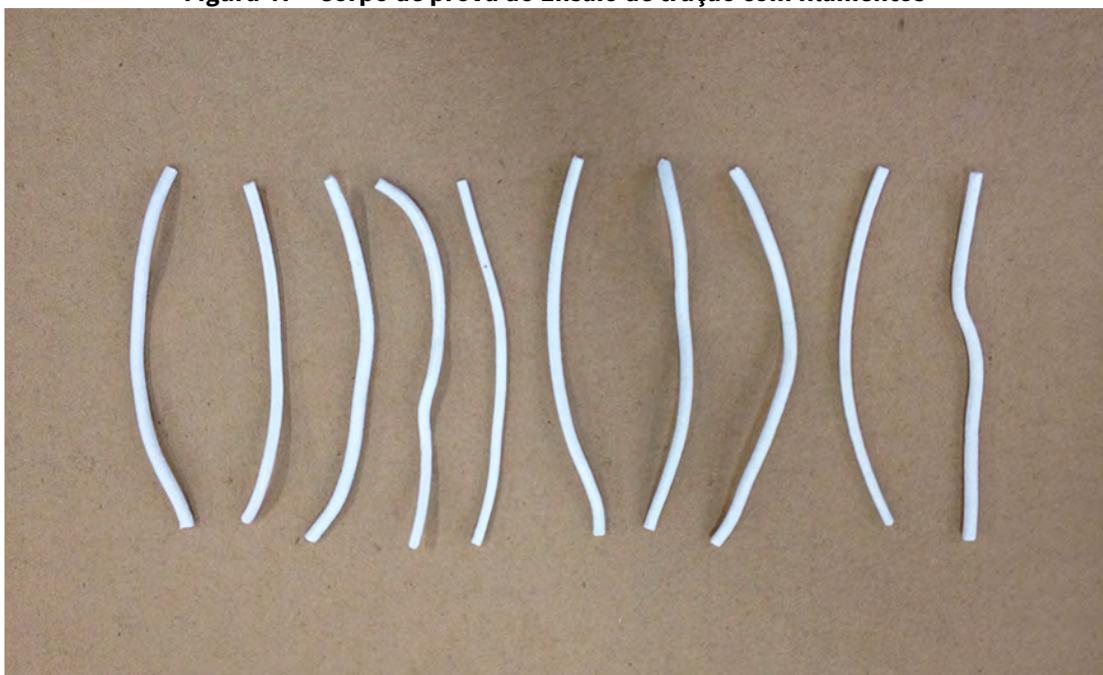
Figura 46 – Imagem eletrônica de varredura do tipo BSE da vista lateral de *pellets* processados pela Valimplast, ampliação de 100x (elipses vermelhas indicam os *pellets*)



FONTE: Elaborada pela Autora

Para melhor caracterizar o filamento produzido no LAPOL, foi realizado um ensaio de tração utilizando o Equipamento de Ensaio Universal, marca Shimadzu, modelo EZ-LX, que utiliza o *software* Trapezium X, localizado na Oficina de Modelos, Protótipos e Maquetes da Faculdade de Arquitetura. Foram analisadas 10 amostras com dimensões de 100mm, do filamento obtido na extrusão (Figura 47).

Figura 47 – Corpo de prova do Ensaio de tração com filamentos



FONTE: Elaborada pela Autora

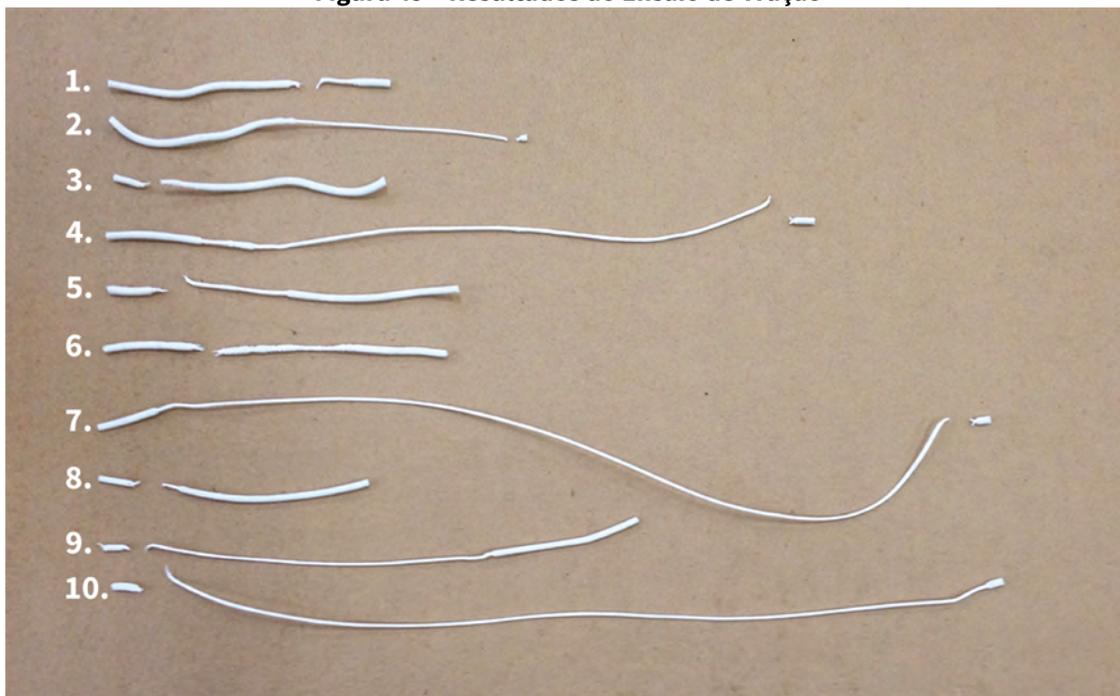
Para determinar os parâmetros a serem utilizados no ensaio, foi consultada a Norma ASTM D638-14, que define o método de teste padrão para propriedades de tração de plásticos. Os parâmetros a serem utilizados no teste são classificados de acordo com o material e a configuração do corpo de prova. Como o corpo de prova a ser experimentado (polímero semirrígido no formato de filamento) não consta na norma, a velocidade utilizada foi adaptada. Segundo uma observação encontrada na referida Norma, quando a velocidade não for especificada, utilize a menor velocidade indicada na tabela para a geometria da amostra a ser utilizado, sendo que a amostra deve romper dentro de 0,5 a 5 min de tempo de ensaio (ASTM, 2014). Caso não ocorra o rompimento dentro deste intervalo de tempo, a velocidade deve ser ajustada. Desta forma, para determinar os parâmetros do ensaio, a velocidade foi adaptada para garantir que o material rompesse dentro do tempo esperado. As amostras foram ensaiadas utilizando uma velocidade de 100 mm por minuto (Figura 48).

Figura 48 – Corpo de prova posicionado no equipamento para realização do Ensaio



FONTE: Elaborada pela Autora

Figura 49 – Resultados do Ensaio de Tração

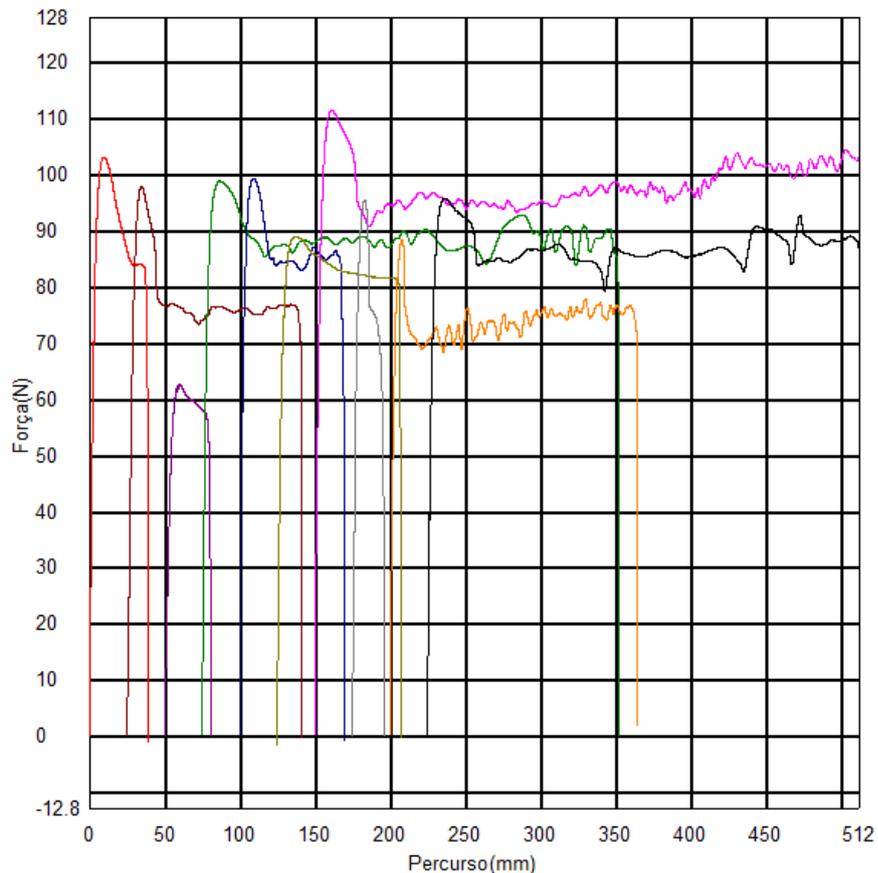


FONTE: Elaborada pela Autora

As deformações e rupturas ocorridas nas amostras, resultantes do ensaio de tração, podem ser observadas acima na Figura 49. Durante a realização dos ensaios das amostras 3, 8 e 9 ocorreu interferência da garra do equipamento de teste, por meio da criação de um ponto de tensão no material próximo à garra, assim rompendo-o indevidamente. Esta distorção sugere que a utilização deste tipo de suporte para prender o corpo de prova no equipamento não seja ideal para este formato de amostra, pois acaba gerando tensões. Nas amostras 2, 4 e 7 a deformação do material se estendeu até a parte do filamento que estava presa à garra. Nestas amostras, o material acabou rompendo-se nesta região.

Na Figura 50 está presente a sobreposição dos gráficos de Força aplicada (N) x percurso decorrido (mm) das dez amostras. Os pontos máximos dos picos ilustrados no gráfico representam a força máxima suportada pelo material. Estes limites de tração, que variam entre 63 e 112 N/mm, apontam um parâmetro de aplicação de força máxima de 60N para este material. Os dados completos do Ensaio de Tração estão presentes no Apêndice B.

Figura 50 – Sobreposição dos gráficos do Ensaio de Tração. Cada cor representa os dados para uma determinada amostra.



FONTE: Elaborada pela Autora

3.3.1 ENSAIOS COM IMPRESSÃO

O filamento produzido no LAPOL foi introduzido numa caneta 3D para servir como teste de impressão. A caneta utilizada foi a *3Doodler 1.0* da marca homônima (Figura 51). O funcionamento da caneta 3D é similar ao da impressora 3D. Ambos possuem uma pequena extrusora integrada no corpo do equipamento, que por meio do aquecimento do bico e um sistema de tração, deposita o material em camadas gerando formas tridimensionais. Porém, ao invés de ser controlada por um arquivo digital, como é o caso da impressora 3D, as formas na caneta 3D são gerados a mão livre, de forma similar a utilização de uma caneta comum de desenho. Assim como a impressora 3D, a caneta é alimentada por filamentos poliméricos, que no caso da *3Doodlers* devem possuir um diâmetro de 3mm (THE3DOODLER, [s.d.]). O acionamento da caneta 3D ocorre com a seleção de qual polímero estará sendo introduzido no dispositivo, sendo disponíveis duas

configurações: ABS e PLA. Estas configurações regulam qual a temperatura de aquecimento que estará sendo utilizada.

Figura 51 – Caneta 3D 3Doodler 1.0



FONTE: THE3DOODLER, [s.d.]

Primeiramente a caneta 3D foi configurada para operar nas configurações do PLA, que possui uma variação de temperatura entre 190°C e 200°C. Imaginava-se que nesta temperatura o material seria extrusado com sucesso, visto que o ponto de fusão do PEAD é em torno de 130°C. Porém, logo nas primeiras tentativas foi averiguado que o material não estava sendo extrusado. Retirando o material de dentro da caneta pode-se perceber que ele não teve nenhuma alteração. Consultando o fórum online *RepRap*, um dos mais populares fóruns online de usuários de impressora 3D, foi encontrado um tópico de discussão que relacionava os pontos de fusão e operação de filamentos de ABS, PLA e PEAD. Nesta discussão estava descrito que o PLA amolece a 50°C, funde a 160°C e pode ser extrusado a 180-190°C obtendo-se um resultado ótimo. Porém, o PEAD, apesar de possuir um ponto de fusão inferior ao PLA possui um comportamento de extrusão similar ao do ABS. O ABS amolece a 90°C, funde a 105°C e pode ser extrusado à 180°C, porém para que ocorra uma melhor aderência, entre as diferentes camadas do material que serão depositadas sobrepostas deve-se extrudar o material à 240°C (REPRAP FORUM, 2009).

Configurando a caneta 3D para a temperatura do ABS, variação entre 230°C e 240°C, foi possível extrudar o material com sucesso (Figura 52).

Figura 52 – Filamento obtido pela extrusão de sacola plástica (PEAD) sendo utilizado na Caneta 3D



FONTE: Elaborada pela Autora

Apesar de ter-se obtido um resultado positivo na extrusão do material, o comportamento do extrusado não foi uniforme. Percebeu-se na realização do ensaio que em momentos distintos a caneta parecia expelir quantidades diferentes de material. Os filamentos comercializados pela *3Doodler* são vendidos em pacotes contendo 25 filamentos lineares rígidos com 25,5cm de comprimento (Figura 53). No site da empresa eles informam que a *3Doodler* deve ser alimentada por filamentos de 3mm de diâmetro. Medindo o diâmetro de diferentes pontos de um mesmo filamento comercializado pela *3Doodler*, com o auxílio de um paquímetro digital, se conferiu na realidade uma variação de diâmetro entre 2,84 e 2,88 milímetros. Já o filamento de PEAD reciclado produzido no LAPOL e utilizado na caneta para a realização deste ensaio, possui uma variação de diâmetro entre 2,45 e 2,90 mm, o que pode ter ocasionado esta inconsistência de material extrusado. Este ensaio comprovou a importância da uniformidade dimensional dos filamentos para o sucesso da impressão.

Figura 53 – Filamentos de ABS comercializados pela 3Doodler



FONTE: Elaborada pela Autora

3.4 ANÁLISE DE SIMILARES

Para auxiliar na definição do conceito projetual, além de proporcionar uma melhor compreensão do universo atual em relação aos diferentes aspectos que englobam este projeto, foi realizada uma análise de projetos similares. Os projetos analisados estão segmentados de acordo com a condição de semelhança existente ao presente projeto: projetos similares que utilizam a reciclagem de sacolas plásticas; projetos similares que envolvem processamentos de materiais alternativos; projetos similares de design social; e projetos similares de extrusoras de filamentos. Embora os projetos estejam classificados de acordo com essa divisão, muitos deles acabam se encaixando em mais de uma das categorias.

3.4.1. SIMILARES QUE UTILIZAM A RECICLAGEM DE SACOLAS PLÁSTICAS

Além dos projetos artesanais que utilizam o ferro de passar roupa para fundir as sacolas plásticas, existem outras técnicas atuais para a reutilização deste material. A *G-lish*, uma organização sem fins-lucrativos fundada em Gana, África, realiza projetos de geração de renda ambientalmente sustentável para reduzir a pobreza de comunidades rurais em Gana. Cerca de 80 artesãos associados à organização produzem bolsas e mandalas produzidas a partir de materiais recicláveis como sacolas plásticas, utilizando técnicas de cestaria (Figura 54).

Segundo a Fundação G-lish, o desperdício de tecido e plástico é um grande problema em Gana. A aplicação destes materiais nos produtos fabricados pela associação além de gerar uma fonte de renda justa, estaria colaborando para melhores condições ambientais, acarretando uma mudança social, econômica e ambiental para as comunidades envolvidas. Para a fabricação das bolsas, primeiramente são coletado resíduos de plástico e tecidos que são transformados em barbante. O método utilizado não é informado pela associação. Artesãos especializados em cestaria irão tecer este barbante utilizando métodos tradicionais africanos de cestaria, assim também preservando este patrimônio cultural da região. O projeto recebeu o prêmio *SEED Initiative* 2010 para empresas que trabalham com empreendimentos de impacto social sustentável.

Figura 54 - Bolsas produzidas pelos artesãos da G-lish Foundation



FONTE: G-LISH FOUNDATION

Apesar da Fundação *G-lish* não informar a técnica utilizada para transformar as sacolas plásticas em barbantes, pode-se imaginar que seja um método similar ao utilizado pela designer Michelle Baggerman no seu projeto têxtil *Precious Waste* (Figura 55). Neste projeto, sacos plásticos foram transformados em fios e, em seguida, tecidos, sem a utilização de produtos químicos, calor ou eletricidade.

Figura 55 - Fabricação, Fios e Tecido do projeto *Precious Waste*.



FONTE: BOUREAU BAGGERMAN

Como ilustrado na Figura 55, o processo de fabricação do fio se dá por meio de uma espécie de roca simplificada, operada manualmente pela própria designer. O que não fica explícito é a método utilizado para cortar as sacolas plásticas, a única informação encontrada que sugere algum processo é a imagem à esquerda na Figura 56, onde uma sacola plástica parece ter sido cortada em tiras de larguras idênticas sugerindo a utilização de um equipamento de corte similar a uma máquina de cortar massas ou papéis. Segundo a designer, o projeto resultou em um tecido resistente e adequado a diferentes aplicações como a fabricação de artigos de moda (BOUREAU BAGGERMAN [s.d.]).

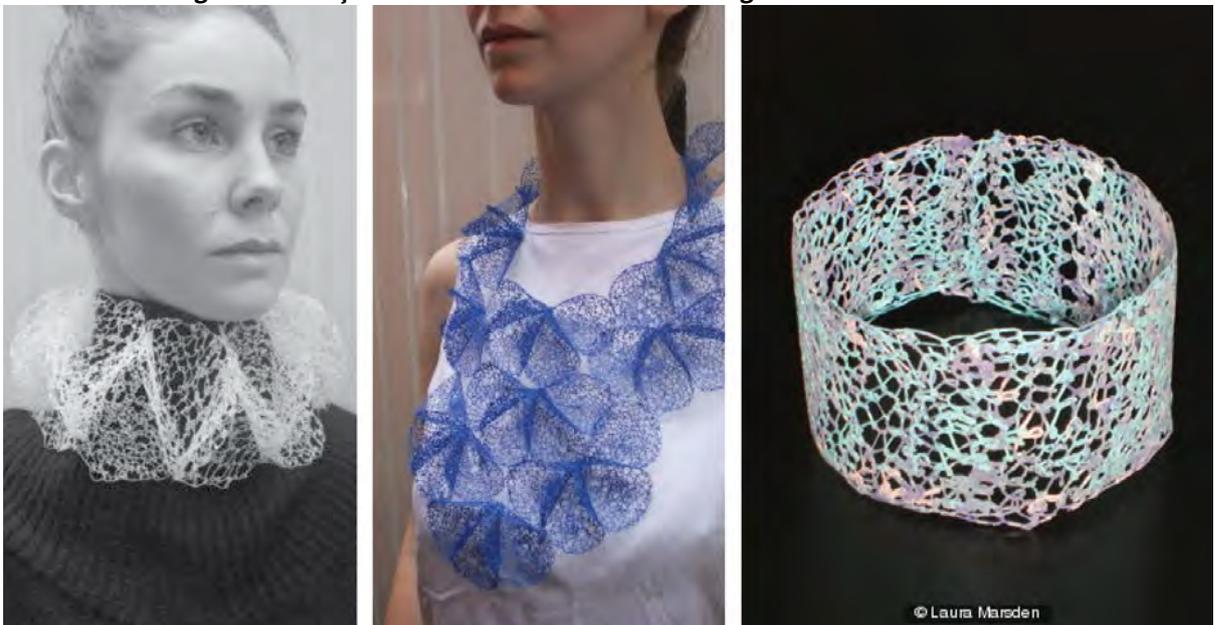
Figura 56 – Da esq. para a direita, sacola recortada em tiras e o tecido resultante do projeto.



FONTE: BUREAU BAGGERMAN

No segmento de design de moda, existem duas designers que utilizam as sacolas plásticas como matéria-prima. A primeira é a designer têxtil Laura Anne Marsden, formada pela *Chelsea College of Art*, em Londres, Reino Unido. A técnica criada por Laura, intitulada *Eternal Lace*, é uma combinação entre a costura manual e o processo de fabricação de renda, aplicada nas sacolas plásticas para alterar suas propriedades e aparência e produzir peças exclusivas (Figura 57).

Figura 57 – Peças da linha *Wearable Lace* da designer Laura Anne Marsden.



FONTE: LAURA MARSDEN LACE

Segundo a designer, a sua principal motivação para o projeto foi a busca por formas inovadoras de se trabalhar com o material reciclado, garantindo resultados que desafiam os preconceitos existentes sobre os produtos reciclados, que muitas vezes são vistos como indesejáveis. O preconceito com os produtos reciclados está associado principalmente à ineficiência do processo de ressignificação do produto. Muitos produtos reciclados acabam mantendo o significado de resíduo através da sua forma ou acabamento. É necessário buscar melhores condições técnicas para estes produtos, para que eles possam se desassociar desta simbologia e passar a receber um maior valor.

A adequação do processo de fabricação para uma ressignificação positiva do material também está presente nas peças desenvolvidas pela artista polonesa Gretel Kalińska. As joias contemporâneas criadas pela designer (Figura 58) possuem uma excelência técnica que modifica completamente o aspecto e a forma do material, produzindo um novo produto valorizado. As peças apresentadas na Figura 58, pertencentes à coleção *Foliówki*, são constituídas por recortes de sacolas plásticas fixadas em suportes de prata utilizando técnicas de ourivesaria. A inspiração para o desenvolvimento deste trabalho veio pelo interesse da artista no conceito onipresente de "lixo". A artista percebeu neste material um potencial para a joalheria, visto que as sacolas plásticas demoram centenas de anos para se decomporem, uma atributo frequentemente conferido às joias.

Figura 58 – Peças de joalheria da artista Gretel Kalińska produzidas com sacolas plásticas.



FONTE: MALGOSIA KALINSKA

3.4.2. SIMILARES COM PROCESSAMENTO ALTERNATIVO

O desenvolvimento de processos alternativos de produção tem sido praticado por diversos estudantes de design mundialmente, que vêm buscando por meio da adaptação de técnicas existentes e a introdução de conceitos atuais, uma aproximação mais direta entre o projetista e o processo de fabricação do seu produto, possivelmente em resposta ao sistema da produção em massa. Esta investigação de novas alternativas muitas vezes é acompanhada por uma preocupação em desenvolver processos que utilizem de forma consciente recursos como água, energia e matérias-primas, gerando uma produção mais limpa e responsável.

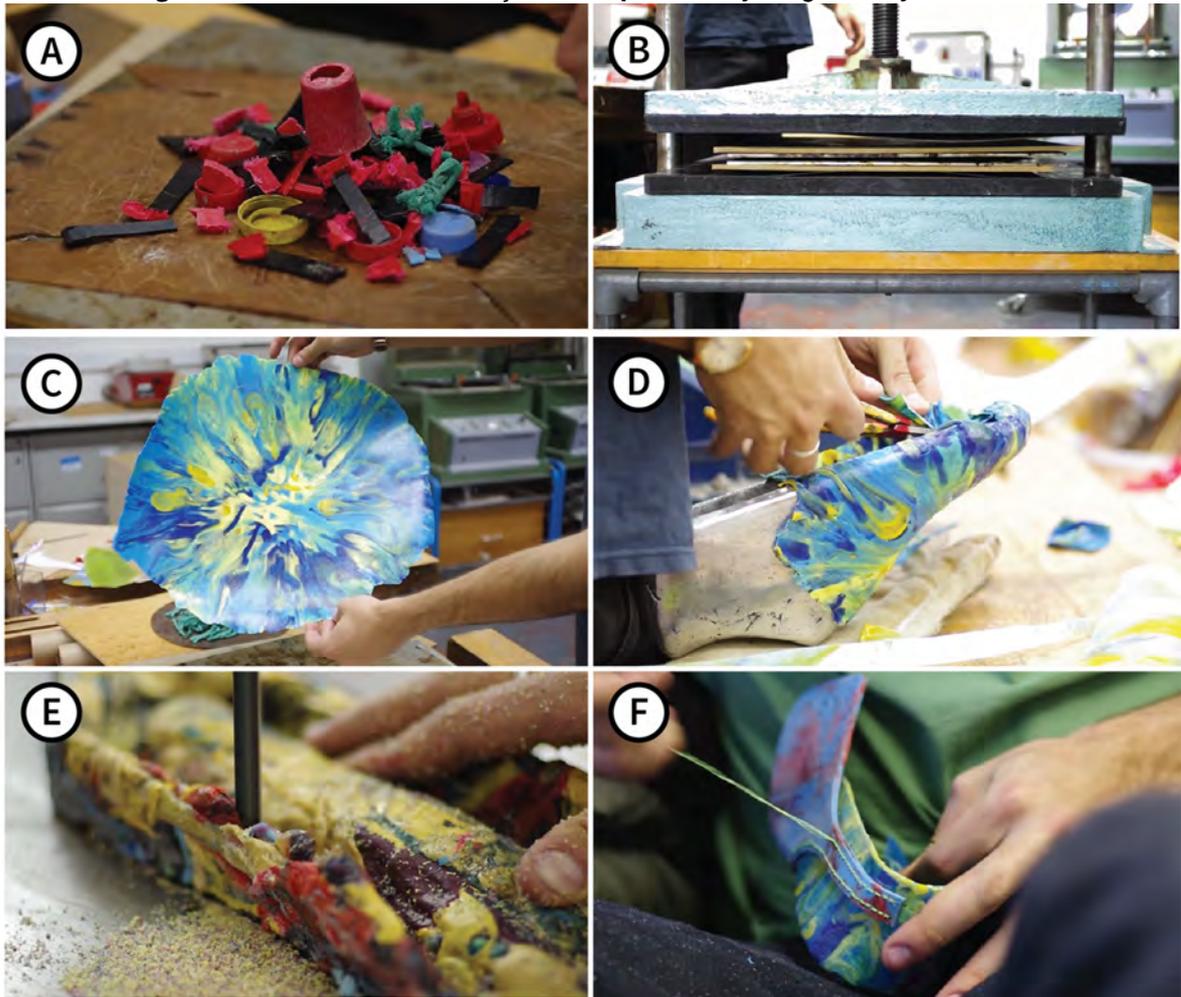
Everything You Buy is Rubbish é um projeto desenvolvido por estudantes da *Goldsmiths University London*, que fabricam calçados (Figura 59) utilizando resíduos plásticos reciclados coletados na costa inglesa e nas margens do rio Tâmesa.

Figura 59 – Sapato produzido no projeto *Everything You Buy is Rubbish*.



FONTE: THE METHOD CASE, 2014.

Figura 60 – Processo de fabricação dos sapatos *Everything You Buy is Rubbish*.



FONTE: THE METHOD CASE, 2014.

As principais etapas deste processo estão ilustradas na Figura 60. Os resíduos coletados são primeiramente lavados e triados de acordo com o tipo de polímeros do qual são compostos. Estes resíduos são cortados ou picados em pedaços menores (A) e dispostos em uma bandeja metálica e levados ao forno elétrico. No forno estes pequenos pedaços de plástico são fundidos, formando uma única massa de material. Após a fusão, esta massa viscosa é posicionada entre duas placas de madeira e submetida à uma prensagem (B) que irá conformar o material produzindo uma lâmina de espessura homogênea (C). Esta lâmina é recortada em diferentes pedaços, seguindo as formas da modelagem do calçado e então reaquecida para serem moldadas diretamente na forma metálica (D). O material resfriado recebe o acabamento, que é realizado com o auxílio de lixas e fresas (E). Assim que todas as peças do calçado estiverem prontas elas são costuradas manualmente entre si (F).

Outro projeto que tem os resíduos plásticos reciclados recuperados do oceano como matéria-prima é o *Sea Chair*, do escritório de design *Studio Swine*. Este projeto iniciou com a parceria entre o estúdio e um grupo de pescadores locais, que no realizar de sua atividade de pesca, coletavam, junto aos peixes, resíduos plásticos que ficavam presos nas redes. O *Sea Chair* é um projeto *open source* da fabricação de uma cadeira (Figura 61), ou seja, as informações projetuais necessárias para a sua fabricação são compartilhadas publicamente e não há nenhuma restrição quanto ao uso dessas informações.

Figura 61 – Cadeira do Projeto *Sea Chair* do *Studio Swine*.

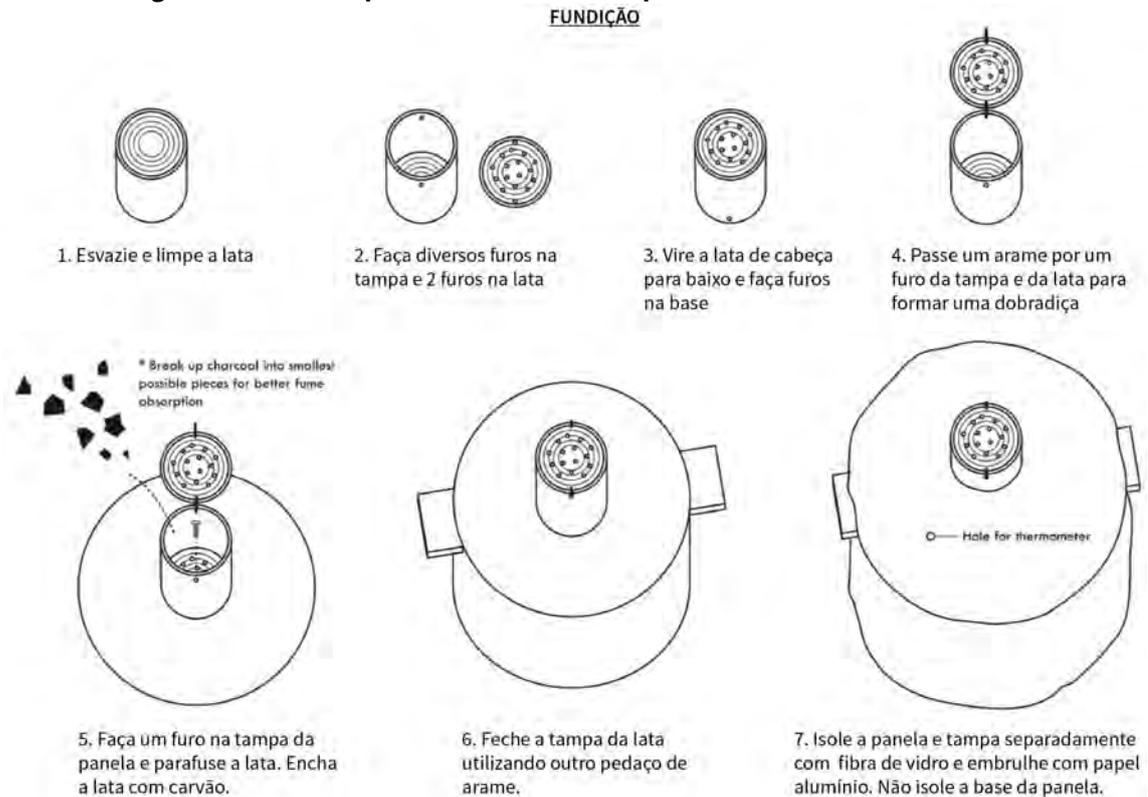


FONTE: STUDIO SWINE.

Além de fornecer um manual de fabricação, que contem todas as especificações técnicas necessárias para a produção da cadeira, o estúdio realizou um vídeo que demonstra todas as etapas do processo de fabricação. A intenção é incentivar a produção de produtos que utilizam resíduos plásticos advindos do oceano. Os resíduos são coletados e triados, de acordo com o tipo de polímero do qual são constituídos. No manual disponibilizado pelo escritório de design existe um guia de classificação de polímeros que auxilia na identificação do material. Além de ensinar sobre os símbolos de classificação dos polímeros, este guia alerta sobre polímeros que não devem ser utilizados neste projeto, como o PVC (policloreto de vinila) e o PS (poliestireno), que podem transmitir gases nocivos. O material coletado e triado é então recortado em pedaços

menores, de aproximadamente 1 x 1 cm, com o auxílio de um alicate. O material é fundido utilizando um sistema de aquecimento, com funcionamento similar à um forno, que possibilita um processo barato, adaptável e amovível. Este sistema (Figura 62) é fundamentalmente formado por uma lata metálica (onde será colocado carvão), uma panela de aço e um fogão de camping.

Figura 62 – Sistema para fundir os resíduos plásticos utilizados na Sea Chair



FONTE: Modificada de STUDIO SWINE.

Assim que o material fundido estiver com uma consistência viscosa o suficiente para formar uma pasta, ele está pronto para ser utilizado. Para fazer os pés da cadeira serão utilizados perfis metálicos para modelar a pasta no formato desejado. Com o auxílio de uma espátula metálica, o plástico fundido é aplicado sobre o perfil preenchendo a sua cavidade por completo, formando os pés da cadeira. O assento é produzido através de um processo de prensagem de uma massa de fundido entre duas superfícies planas, similar ao processo de fabricação das superfícies do sapato do projeto *Everything You Buy is Rubbish*. A montagem entre as peças se dá por meio de parafusos, que fixam as três pernas no assento.

Outro projeto realizado pelo mesmo estúdio (Studio Swine) é o *Can City*, onde foi criado um equipamento de fundição móvel para a fabricação de bancos utilizando latas de alumínio descartadas. Para a realização deste projeto, os designers do *Studio Swine* trabalharam junto às associações de catadores de São Paulo. Os bancos (Figura 63) são produzidos no meio da rua, por meio de um processo de fundição de areia, onde objetos encontrados, como tijolos e folhas de árvores, são utilizados como molde.

Figura 63 – Bancos de alumínio produzidos no projeto *Can City*



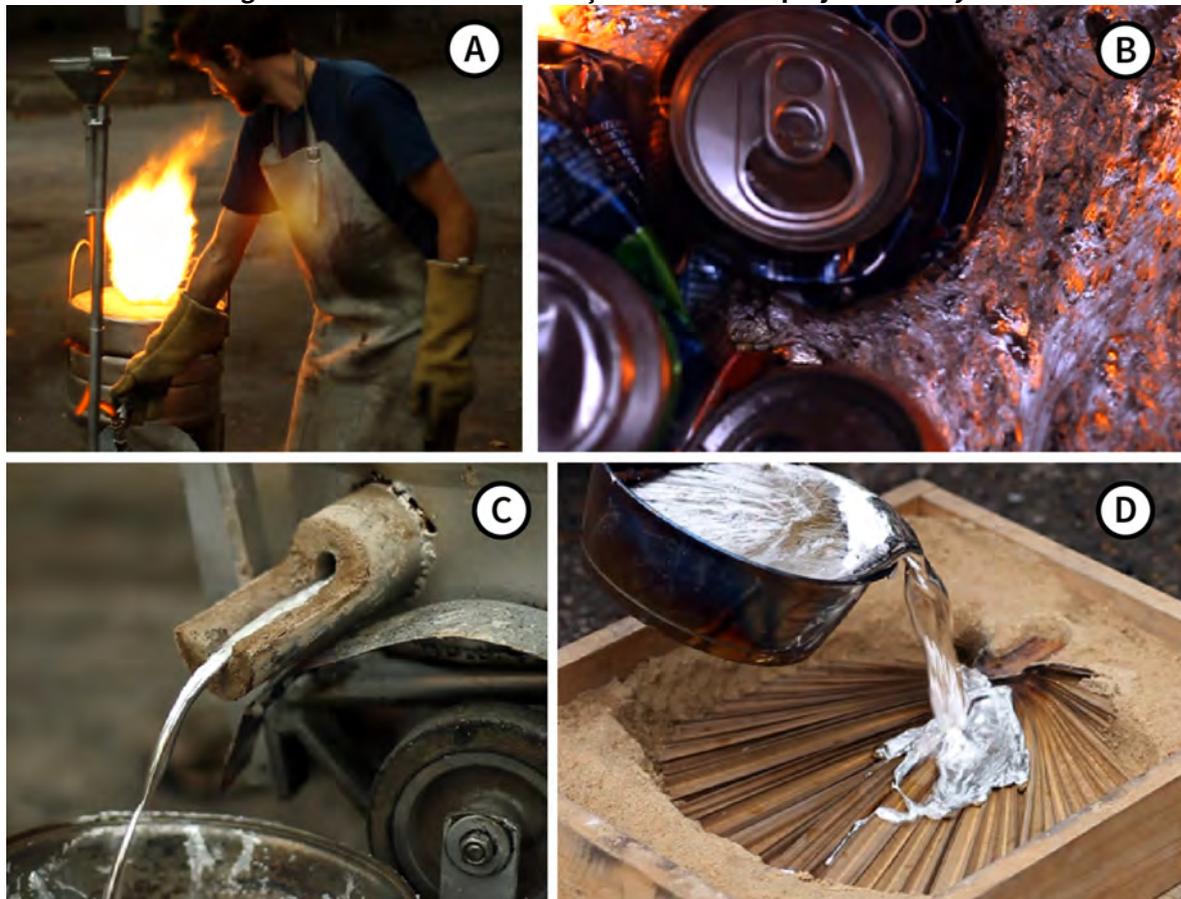
FONTE: STUDIO SWINE

As principais etapas do processo de produção das cadeiras estão ilustradas abaixo na Figura 64. O processo de fundição das latinhas de alumínio ocorre em um forno móvel (A) que utiliza resíduos de óleo de cozinha como combustível. Este metal fundido (B) é transportado (C) para moldes de areia reaproveitada de canteiro de obra (D).

Este projeto propõe uma extensão da ação realizada pelos catadores para além da coleta de materiais. Através da exploração da possibilidade de produzir novos produtos fora do ambiente industrial, utilizando uma matéria-prima e um combustível que não apresentam custos financeiros. A intenção é que após a intervenção do estúdio, as associações possam compartilhar o uso do equipamento desenvolvido durante o projeto,

para a produção de diferentes peças em alumínio, que podem ser feitas de acordo com o demanda, de forma customizada e adaptável.

Figura 64 – Processo de fabricação do banco do projeto *Can City*



FONTE: Modificada de STUDIO SWINE

Outro projeto de processo alternativo, o projeto *Polyfloss Factory*, propõe a transformação e produção de um novo material polimérico em pequena escala. Segundo os criados, a produção de produtos feitos de plástico possui atualmente poucas técnicas humanas. Sua fabricação exige usualmente a utilização de grandes equipamentos e maquinários controlados por computador, que são apropriados para a produção em massa e não para escalas menores. Esta questão também se reflete na reciclagem dos polímeros, visto que os processos disponíveis de reciclagem de materiais poliméricos também são destinados exclusivamente para a produção industrial. A equipe de designers e engenheiro envolvidos neste projeto desenvolveu um equipamento chamado *Polyfloss Machine*, que tem seu funcionamento inspirado em máquinas de confecção de algodão-doce (Figura 65).

Figura 65 – O equipamento *Polyfloss Machine*



FONTE: THEPOLYFLOSSFACTORY

Pequenos pedaços de plástico moído são depositados dentro de um forno giratório localizado no centro da *Polyfloss Machine*. Este forno quando aquecido ejeta o plástico por pequenas cavidades encontradas na superfície do forno. Desta forma o plástico é esticado e resfriado, formando fibras similares ao algodão-doce. A maneira com que o plástico é esticado pode regular a estrutura dessas fibras, que podem ser tanto densas e firmes quanto leves e macias.

Este novo material pode ser utilização como matéria-prima em diferentes técnicas de processamentos de materiais. Devido ao seu estado fibroso, pode ser facilmente aplicado em fabricações de baixa escala que utilizam técnicas de prensagem e modelagem aquecida. Os criadores do equipamento têm realizado diferentes testes (Figura 66) de aplicação da fibra (C) utilizando técnicas de revestimento direto (A), soldagem (B), moldagem (D) e tricô (D). O *polyfloss* está na fronteira entre a produção artesanal e industrial, apresentando um grande potencial como material reciclado, sustentável e inovador.

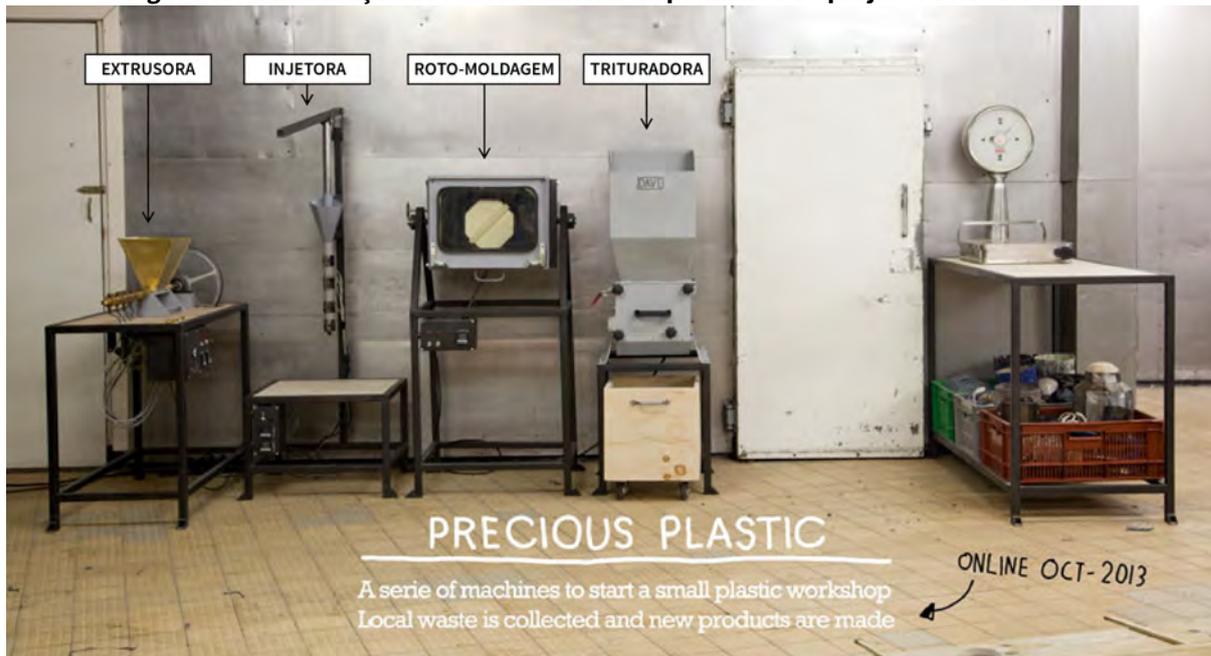
Figura 66 - Testes de aplicação e técnicas de pós-produção do *Polyfloss*: a) revestimento, b) soldagem, c) fibras e d) moldagem e tricô.



FONTE: THEPOLYFLOSSFACTORY

O designer holandês Dave Hakkens produziu, em seu projeto *Precious Plastic*, uma estação de processamento de resíduos plásticos utilizando equipamentos simplificados de pequeno porte. As máquinas projetadas são baseadas em técnicas industriais existentes, porém projetadas para uma fácil utilização e montagem no estilo faça-você-mesmo. O projeto ainda está em andamento e as máquinas estão compartilhadas *open source* por meio de um manual de fabricação, disponível no site do projeto. Além dos *blueprints* de fabricação, o desenvolvimento dos equipamentos é complementado por discussões entre usuários em um fórum presente no mesmo endereço virtual. Os maquinários existentes nesta miniestação de processamento de polímeros (Figura 67) são: uma trituradora, uma extrusora, uma injetora e um equipamento que realiza rotomoldagem.

Figura 67 – Miniestação de Processamento de polímeros do projeto *Precious Plastic*



FONTE: Modificada de PRECIOUS PLASTIC

O ponto de partida da fabricação de produtos utilizando a miniestação é a trituradora. No momento, a trituradora presente na estação é um modelo da empresa alemã Zerma, existente no mercado. Atualmente, o designer está desenvolvendo uma nova trituradora simplificada para compor o projeto e disponibilizar no site. Embalagens poliméricas rígidas são depositadas no triturador para serem transformadas em pequenos pedaços de polímeros, que servirão para alimentar os demais equipamentos da estação. O equipamento de rotomoldagem (Figura 68), desenvolvido por Dave Hakkens, foi construído utilizando um antigo forno que foi modificado para possibilitar a sua rotação 360°. O processamento de rotomoldagem pode ser realizado tanto por meio da rotação do forno em si, quanto do molde metálico aquecido, posicionado dentro do forno, que é adaptado ao equipamento por meio de encaixe em um eixo central. Segundo informações presentes nos *blueprints* do projeto, a fabricação do equipamento custou em torno de 600 euros (lembrando que os produtos foram fabricados na Holanda) e levou cerca de 5 dias para ser construído. A produção de uma peça utilizando o equipamento de rotomoldagem leva cerca de 30min.

Figura 68 – Equipamento de Rotomoldagem do Projeto *Precious Plastic*



FONTE: PRECIOUS PLASTIC

A máquina injetora da miniestação (Figura 69) possui um tempo de produção entre 3 e 6 minutos, dependendo das dimensões do molde utilizado. O equipamento é alimentado por pequenos pedaços de plástico triturado por meio de um funil, localizado da parte superior do cano aquecido de compressão. Dentro do cano está uma rosca que é acionada mediante a compressão de uma alavanca externa. A rosca comprime o material fundido contra uma pequena saída inferior, onde o molde deve ser encaixado para receber o material. Assim que o material injetado esfriar, ele pode ser retirado do molde. Segundo o *blueprint* do projeto, o custo de fabricação desta injetora é em torno de 400 euros, necessitando cerca de 5 dias para ser construída.

Figura 69 – Injetora desenvolvida no Projeto *Precious Plastic*



FONTE: PRECIOUS PLASTIC

O último equipamento da miniestação é a extrusora. Os resíduos plásticos triturados são depositados dentro de recipiente que alimenta o equipamento. Uma rosca localizada no interior do tubo aquecido pressiona os pequenos pedaços de plástico encaminhando-os para frente enquanto eles são aquecidos e fundidos. A rosca é acionada através da rotação de um motor em forma de roda, que deve ser acionado manualmente. Este material é comprimido pelo fuso da rosca até uma matriz metálica, localizado no final do tubo aquecido. A forma final do material depende da forma desta matriz. No caso da extrusora utilizada pelo designer, o resultado da extrusão é uma linha de plástico posteriormente moldado para formar luminárias. O tempo de produção do equipamento depende do que se está produzindo, porém a máquina leva 10 minutos para estar aquecida. O preço de produção da extrusora (Figura 70) é aproximadamente 700 euros, necessitando cerca de 14 dias para ser fabricado.

Figura 70 – Extrusora desenvolvida no projeto *Precious Plastic*



FONTE: PRECIOUS PLASTIC

3.4.3 SIMILARES DE DESIGN SOCIAL

A Maya Pedal é uma ONG sediada em San Andrés Itzapa, na Guatemala. A ONG recebe doações de bicicletas que serão recondicionadas para a utilização usual ou remodeladas para a construção de uma série de “bicimáquinas”, máquinas movidas a pedal. Estas “bicimáquinas” são aplicadas em inúmeras funções, que usualmente necessitariam de eletricidade ou força manual, que exige um esforço muito maior do que o trabalho das pernas, sendo assim uma alternativa para comunidades carentes ou de regiões isoladas onde não há eletricidade suficiente para suprir todas as necessidades dos moradores. As “bicimáquinas” podem ser construídas utilizando bicicletas usadas e demais materiais disponíveis localmente, e por isso são facilmente adaptadas. Algumas utilizações existentes são bombas de água, moedores, equipamentos de fabricação de peças cerâmicas, liquidificadores, entre outros. Na Guatemala, a ONG possui um *workshop* onde voluntários e trabalhadores locais trabalham para projetar e desenvolver novas “bicimáquinas” de acordo com as necessidades apresentadas pela comunidade. Além desse *workshop*, o projeto conta com o apoio de parceiros locais, outras ONGs e cooperativas agrícolas. A ONG trabalha com diferentes grupos e associações locais,

desenvolvendo projetos que implementam as atividades realizadas pelas comunidades, aumentando a sua capacidade de produção e fortalecendo a economia local. Um dos grupos envolvidos no projeto são as famílias do Lirio de Los Valles, Chimaltenango, que utilizam “bicimáquinas” para moer milho e alimentar os animais de suas fazendas (Figura 71). O equipamento moe em torno de 130kg por dia. Outro exemplo ilustrado na Figura 71 é a cooperativa de Mulheres pelo Desenvolvimento em Ação, de São Andrés Itzapa, que produzem shampoos 100% orgânicos de Aloe Vera, utilizando uma “bicimáquina” que opera um liquidificador. A renda gerada por esta atividade, ajuda a sustentar as suas famílias e financiar um projeto de reflorestamento municipal independente.

Figura 71 – Da esq. para a dir.: “bicimáquina” que opera um liquidificador e “bicimáquina” com sistema próprio de moagem de alimentos



FONTE: MAYAPEDAL

Outro exemplo de projeto que utiliza o design como ferramenta de empoderamento social, é a associação Cucula, que realiza oficinas e demais programas educacionais com refugiados em Berlim. Em contraste com o comum debate teórico sobre a situação dos refugiados na Alemanha, o projeto possui uma abordagem pragmática que busca dar oportunidades para pessoas em estado de exclusão. Parte deste esforço é realizado por meio da fabricação de produtos sustentáveis de design em uma antiga fábrica em Berlim, onde os refugiados têm a oportunidade de aprender e experimentar coletivamente. Utilizando técnicas de carpintaria e design, os participantes são incentivados à buscar na sua própria biografia, novas ideias para desenvolver objetos intrigantes. O ponto de partida do projeto é a fabricação de mobiliários presentes no

programa de “faça-você-mesmo” publicado por Enzo Mari no seu livro *Autoprogettazione* em 1974. Enzo Mari sugere em seu trabalho a democratização do design e a criação de uma alternativa de provocação ao paradigma do consumo em massa. 40 anos após a publicação deste livro, Enzo Mari concede à equipe da Associação Cucula os direitos de usar seus projetos para construir e desenvolver ainda mais seus desenhos. Cada peça de mobiliário, produzida em Pinus e tratada com óleo natural é feita a mão e assinada por seu produtor (Figura 72).

Figura 72 – Bancos produzidos pelos participantes do projeto Cucula



FONTE: CUCULA

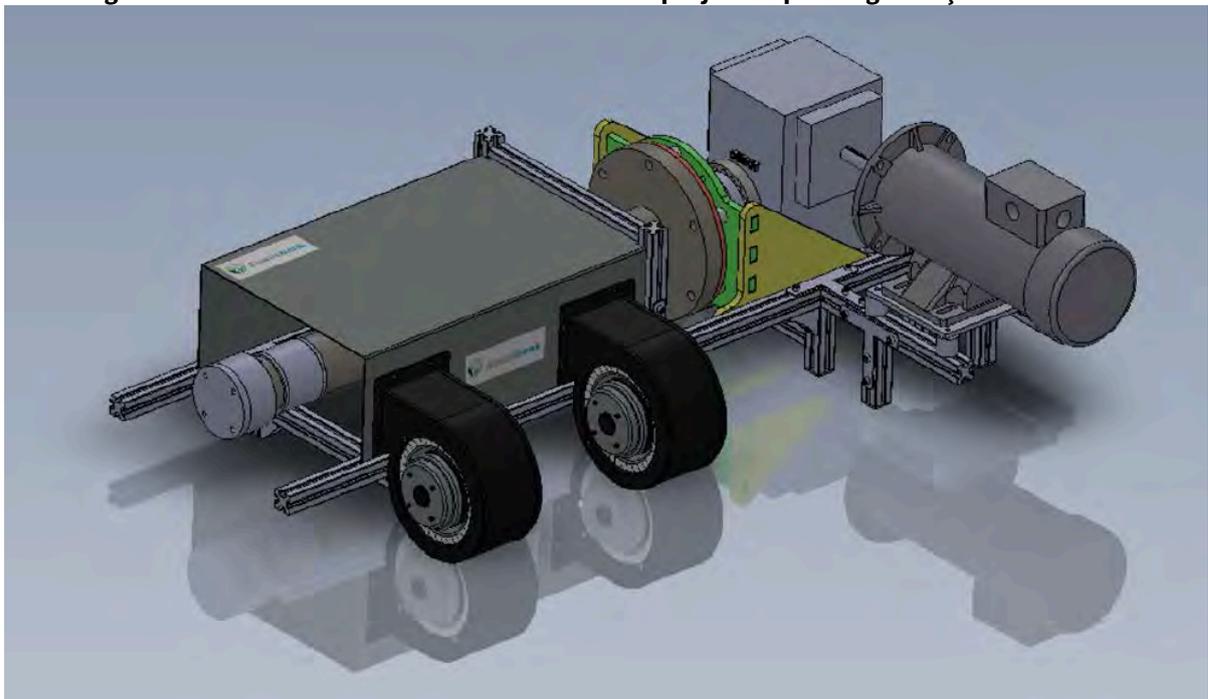
Além de bancos, o projeto conta com o desenvolvimento de mesas, armários, suporte de cama, prateleiras e demais móveis produzidos em pinus. A renda gerada com a venda dos mobiliários é direcionada para o sustento dos refugiados e sua educação.

3.4.4. SIMILARES DE EXTRUSORAS DE FILAMENTOS

No que diz respeito à problematização e ao contexto, o projeto de extrusora de filamentos da *PlasticBank* é a que mais se aproxima do que é buscado neste projeto. O *Plastic Bank* é uma organização que busca remover os resíduos plásticos dos oceanos, praias e vias fluviais do mundo, enquanto capacita comunidades que vivem na pobreza para elevar o seu padrão de vida (PLASTIC BANK, 2015). Uma das medidas tomadas para atingir este objetivo foi o desenvolvimento de uma extrusora de filamentos de impressão

desenvolvedor, o equipamento pode ser alimentado por diferentes materiais, porém foi concebido para produzir especificamente filamentos de PET virgem ou reciclado (PLASTIC BANK, 2014). A rosca da extrusora é conduzida por um motor de ½ cavalo de potência anexado a uma caixa redutora de velocidade. Esse sistema de motor foi selecionado com o objetivo de garantir torque suficiente para que a extrusora opere entre 25 e 60 rpm continuamente. O motor é regulado para funcionar em uma velocidade rotacional na faixa de 900 e 1800 rpm, sendo ajustado através de um controlador de motor de corrente contínua. A caixa redutora acoplada ao motor reduz essa velocidade em uma escala 30:1.

Figura 74 - Desenho tridimensional da extrusora projetada pela organização *PlasticBank*



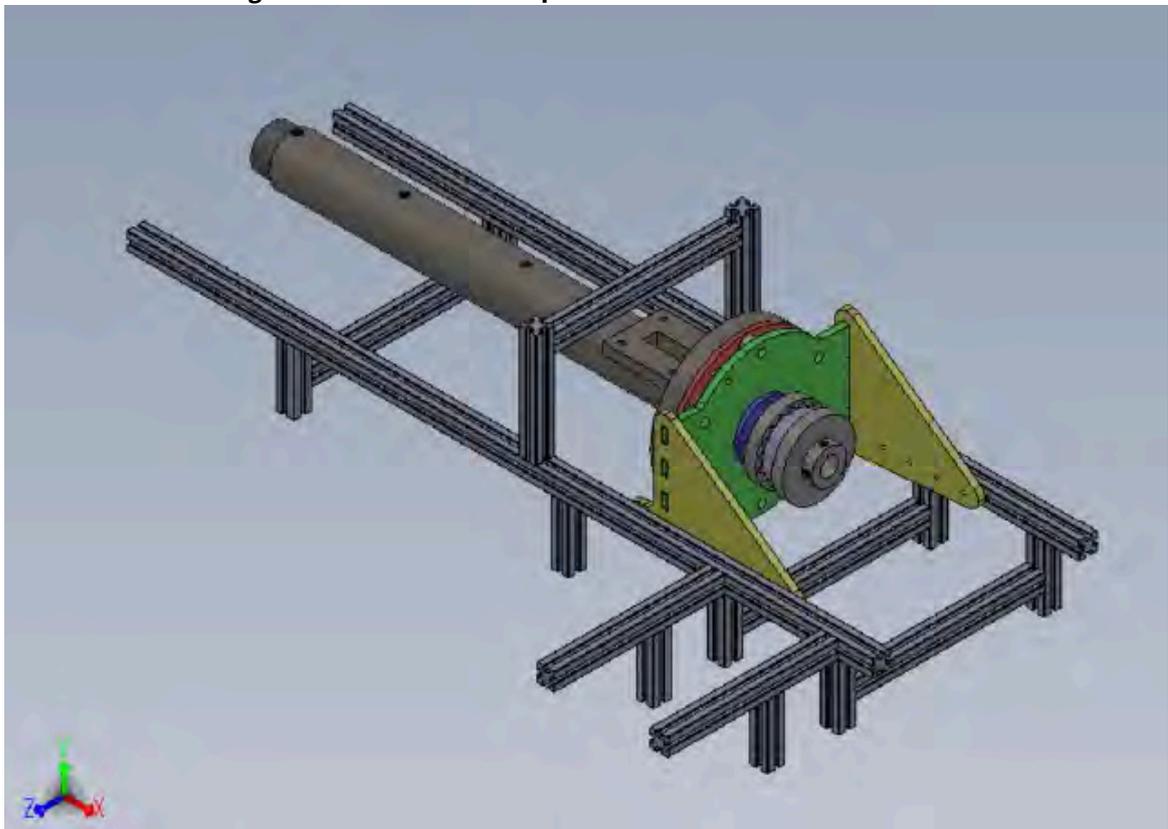
FONTE: APPROPEDIA, 2015

Devido a natureza de difícil processamento do PET, a rosca da extrusora do *Plastic Bank* possui dimensões específicas adequadas à aplicação deste material. O material utilizado na rosca é uma liga de aço nitretado 4140, selecionado para garantir uma maior durabilidade e resistência a desgastes e corrosão. O cilindro é feito de uma liga de aço 38CrMOALA. Diferentes matrizes podem ser aparafusadas separadamente na extremidade do suporte de matriz (ou adaptador de matriz).

Quanto ao aquecimento, 85% do calor necessário para fundir o material dentro do cilindro é gerado pelo movimento rotacional da rosca. O restante é gerado por resistências elétricas que constituem as três zonas de aquecimento.

A extrusora possui um sistema estrutural de barras de alumínio com ranhuras em T para alinhar os componentes. Regiões com maior carga de torção foram reforçadas com placas de alumínio. A seção do cilindro exige uma estrutura adicional para manter as peças alinhadas. Nesta estrutura adicional, diversos discos concêntricos estão fixados em conjunto para restringir o parafuso de extrusão concêntrico ao cilindro. Os mesmos discos estão interligados por apoios laterais que os prende ao quadro estrutural de barras de alumínio (Figura 75).

Figura 75 – Estrutura de suporte da extrusora da *Plastic Bank*



FONTE: APPROPEDIA, 2015

Os componentes movidos por eletricidade do equipamento são: o motor, o sistema de acionamento do motor, os controladores de temperatura, relés de estado sólido (SSR, Solid State Relay), as bandas de aquecimento e os ventiladores de resfriamento. Fusíveis foram implementados para garantir a proteção dos usuários e

componentes elétricos. A extrusora possui uma caixa de controle, onde o usuário pode ligar e desligar as resistências elétricas e definir as temperaturas desejadas nas 3 zonas, além de controlar a velocidade da rosca.

Outra extrusora similar é a *Filabot Wee*. A *Filabot* é uma empresa norte-americana especializada na fabricação de extrusoras caseiras de filamentos para impressão 3D. Além das extrusoras, a empresa comercializa diferentes modelos de impressoras 3D e materiais para alimentação do equipamento, como filamentos prontos de diferentes materiais (PLA, ABS, nylon, entre outros) e pellets para a produção de filamentos. Os fabricantes recomendam a aplicação dos materiais ABS, PLA, HIPS, porém na campanha lançada por eles no *kickstarter*, para arrecadar fundos para a fabricação das primeiras unidades do *Filabot*, estão citados como polímeros aplicáveis PET, PEAD, PEBD, PP (KICKSTARTER, 2011).

A *Filabot Wee*, principal modelo de extrusora da empresa, é vendida na loja online da *Filabot* em dois formatos: montada ou desmontada (Figura 76). No segundo caso, todas as peças necessárias e instruções de montagem e uso são fornecidas pela fabricante.

Figura 76 - Uma extrusora *Filabot Wee* desmontada com todas suas peças



FONTE: FILABOT, [s.d.]

No kit da *Filabot Wee* também consta uma lista com todos os materiais necessários para a montagem. Todas as peças necessárias para montagem estão presentes no kit que é vendido atualmente por U\$649. Segundo o fornecedor estas peças podem ser compradas separadamente em ferragens por U\$350. As principais vantagens do kit é que não se faz necessário procurar as peças em diferentes fornecedores, assim como algumas das peças estruturas já são entregues pela empresa, montadas, dobradas e soldadas.

A extrusora *Filabot Wee* (Figura 77) possui duas matrizes intercambiáveis que produzem filamentos de 1.75mm e 3mm. O equipamento pode atingir uma produtividade entre 12,7 e 50,8 cm de filamento por minuto, dependendo do polímero que é utilizado. A temperatura máxima de utilização é 400°C, podendo ser ajustada para funcionamento constante em qualquer temperatura entre 40°C e 350°C. A rosca da extrusora possui uma velocidade constante de 35rpm, movida por um motor redutor de 1/15 cavalo de potência (FILABOT, [s.d]).

Figura 77 – Vista lateral da extrusora *Filabot Wee* montada.



FONTE: FILABOT, [s.d.]

Outra importante extrusora similar é a Extrusora Lyman/Mulier, criada em conjunto por usuários de impressoras 3D membros da comunidade virtual *Thingiverse*. O *Thingiverse* é uma comunidade online, criada pela fabricante de impressoras 3D

Makerbot, onde usuários de impressora 3D podem compartilhar e disponibilizar projetos e trocar informações sobre a utilização de impressoras 3D (THINGINVERSE, [s.d.]). A extrusora Lyman/Mulier (Figura 78) é capaz de produzir filamentos de 1,75mm e 3mm sem trocar a matriz, devido ao sistema de estiramento controlado existente (THINGINVERSE, 2014).

Figura 78 – Sistema da extrusora Lyman/Mulier



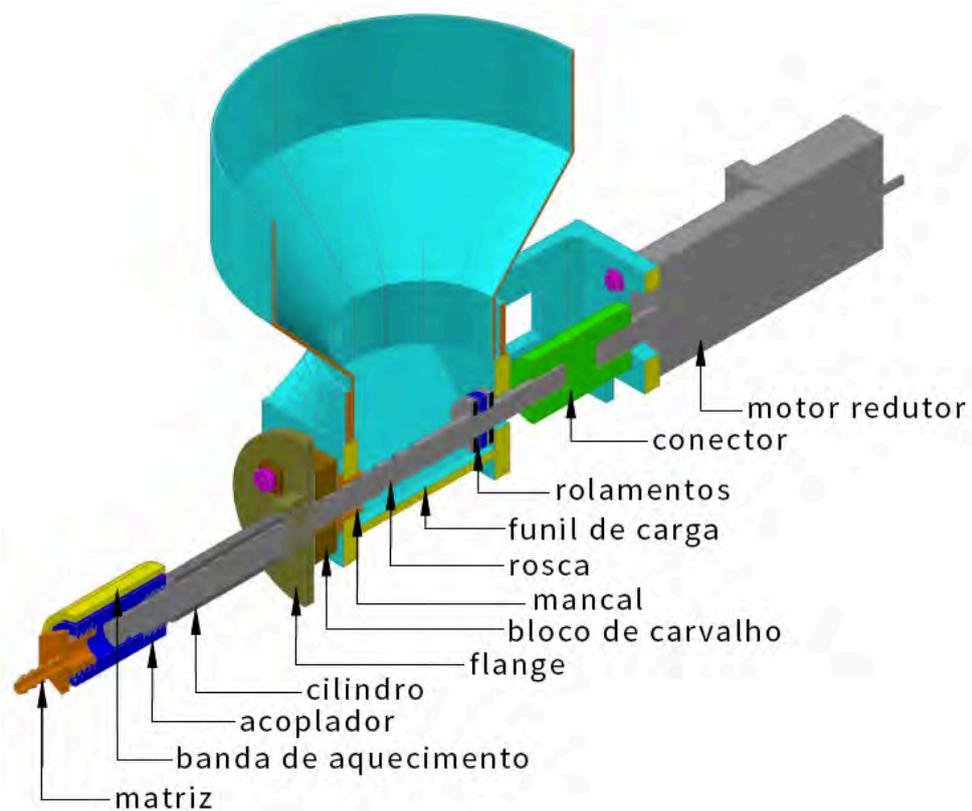
FONTE: THINGINVERSE, 2014.

No site Thingiverse estão disponíveis os desenhos de todas as peças para impressão 3D, além do manual de instruções e montagem. A extrusora é dividida em 8 partes: 1) conjunto de peças da extrusora; 2) conjunto de peças sensor de temperatura e ventilação; 3) conjunto de peças eletrônicas; 4) conjunto de peças do *display* de LCD; 5) conjunto de peças do sistema de estiramento (rolo extrator); 6) sistema de nivelamento do carretel; 7) Bobina; e 8) Estrutura de base.

A matriz da extrusora é uma ponta de mangueira feita em latão, existente no mercado. O diâmetro do orifício da matriz possui cerca de 5mm. O diâmetro final do filamento produzido depende da velocidade dos rolos extratores do sistema de estiramento. O cilindro da extrusora é feito de aço (*black steel*) e possui 10,16cm de comprimento, já a rosca é uma broca *Bosch* de 43 cm de comprimento. Na figura 79, estão indicadas as peças do sistema de extrusão. O motor utilizado na extrusora Lyman/Mulier é o motor de passo bipolar Nema 23 com redutor planetário, que opera numa corrente de 2,8A e possui uma redução na escala 1:15. O torque é de 150Kgf.cm. Segundo o

desenvolvedor este motor pode chegar a 116 rpm porém ele opera a extrusora a 20 rpm no máximo para garantir que o filamento tenha resfriado suficientemente antes de chegar aos rolos de poliuretano do sistema de estiramento. Com uma velocidade de rosca de 19 rpm, a extrusora produz 63,5 cm de material por minuto (THINGINVERSE, 2014).

Figura 79 - Vista fatiada do sistema de extrusão da extrusora Lyman/Mulier



FONTE: Modificada de THINGINVERSE, 2014.

Com o objetivo de verificar as características das extrusoras similares analisadas, foi realizado um quadro comparativo, presente na Tabela 18, com os principais aspectos projetuais de diferenciação entre os modelos. É possível perceber alguns padrões equivalentes, como a utilização de uma velocidade baixa para a rosca da extrusora, visto que as extrusoras analisadas são operadas em velocidades abaixo de 60rpm. Além da semelhança em relação a velocidade, todas as extrusoras analisadas possuem sistema de aquecimento por meio de resistências elétricas. Outros aspectos correspondentes em mais de um modelo é a utilização de motor redutor de corrente contínua e a aplicação de madeira na estrutura do equipamento.

Tabela 18 – Quadro comparativo entre as extrusoras similares analisadas

	Plastic Bank	Filabot	Lyman/Mulier
Motor	motor-reductor de corrente contínua Nema56C	motor-reductor de corrente contínua	motor-reductor de passo Nema23
Motor: Potência	½ cavalos	1/15 cavalos	não informado
Redução	30:1	não informado	15:1
Torque	não informado	9N/m	15,5N/m
Velocidade da rosca	25 a 60rpm	35rpm	Até 116rpm, porém usualmente operada a 30rpm
Produtividade	não informado	12,7 a 50,8cm/min	63,5cm/min
Filamentos	Até 3mm	1,75 e 3mm	até 5mm
Materiais	PET	PLA, ABS, nylon, entre outros	até 5mm
Temperatura	não informado	40 a 350°C	não informado
Aquecimento	Resistências	Resistências	Resistências
Rosca: material	aço nitretado 4140	não informado	broca Bosch
Rosca: dimensões	relação L/d de 30:1	1,58cm de diâmetro	43cm de comprimento
Cilindro: material	38CrMOALA	aço	aço (<i>black steel</i>)
Estrutura: material	alumínio	madeira e aço	madeira e polímero

FONTE: Elaborada pela Autora

CAPÍTULO IV: Desenvolvimento

4.1 CONCEITO

As informações coletadas na etapa de investigação, nos ensaios e nas análises de similares, possibilitaram que se concebessem princípios projetuais a serem aprofundados nas próximas etapas. Com base nos ensaios realizados na Etapa de Análise, pode-se perceber o potencial da utilização de sacolas plásticas como matéria-prima a ser reciclada, visto que já nestes ensaios foram alcançados resultados interessantes quanto a alteração da configuração de formato e propriedades do material, além de validar a possibilidade de aplicação deste material para a produção de filamentos de impressão 3D. Estes resultados positivos servem de incentivo para que se prossiga no andamento desta investigação. Essencialmente a extrusora a ser desenvolvida deve satisfazer as seguintes necessidades: simples utilização, qualidade e viabilidade de produção.

A simples utilização do equipamento irá auxiliar não somente na facilidade com que os usuários irão operar o maquinário, mas também a sua fabricação, manutenção e possível replicabilidade. A possibilidade de replicar e adaptar o projeto são características importantes de empreendimentos de Tecnologia Social, que buscam multiplicar o impacto social gerado. Além disso, é uma prática comum percebida entre os projetos similares, a disponibilização dos seus projetos em comunidades virtuais de modo *open source*, com a intenção de democratizar o conhecimento destas tecnologias e viabilizar a implementação das mesmas, e assim consequentemente colaborar para o surgimento de melhorias e avanços projetuais.

Como este projeto é destinado a centros de triagem, a introdução deste novo sistema de reciclagem, poderia contar também com o auxílio de centros de educação para proporcionar a instrução de operação do equipamento, além de buscar uma maior conscientização quanto ao uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), costume pouco praticado atualmente em centros de triagem.

A maior dificuldade na produção de filamentos, assim como demais produtos, advindos de materiais recicláveis é garantir um produto final de qualidade consistente e considerável. Por meio de entrevistas realizadas com usuários de impressão 3D, se

constatou que um filamento de impressão 3D de qualidade se caracteriza pela sua uniformidade. Esta uniformidade se manifesta em três parâmetros: diâmetro constante, sendo aceitável uma pequena variação; manutenção da forma do perfil do filamento, que deve se manter redondo e não ovalado; e a inexistência de falhas (bolhas e vazios). Desta forma, o filamento produzido pela extrusora a ser desenvolvida deve satisfazer estas exigências do consumidor.

As extrusoras similares analisadas na sua maioria foram voltadas para uso doméstico, para serem utilizadas por usuários de impressoras 3D. Devido ao custo elevado dos filamentos 3D existentes no mercado, a possibilidade de produzir filamentos em casa, através da compra de *pellets* de polímero virgem ou reciclado, ou até mesmo pela reciclagem mecânica de resíduos poliméricos domésticos, se mostrou atraente. Porém, nenhuma das extrusoras similares, nem mesmo a extrusora desenvolvida pela organização *PlasticBank*, que tem como objetivo processar resíduos encontrados nos oceanos, possuem um sistema que garanta uma boa qualidade para o material. A extrusora Lyman/Mulier é a única entre as similares analisadas que possui um sistema de estiramento contínuo que permite um controle mais eficaz do diâmetro do filamento. Porém não há neste equipamento, nem nos demais similares, um sistema que elimine vazios e bolhas, como a zona de degasagem encontrada na extrusora em cascata da Valimplast, por exemplo. Pode-se entender que esta inexistência parte do princípio que na maioria destas extrusora a matéria-prima utilizada para a produção de filamento seja de material virgem. Contudo, tanto a *Filabot* quanto a extrusora da *PlasticBank* são denominadas *recyclebots*, ou seja, tem a intenção de processar materiais recicláveis, e neste caso a carência de sistemas de degasagem e estiramento se mostra preocupante em relação a qualidade dos filamentos produzidos por elas.

O custo aplicado na fabricação e operação da extrusora não pode ser elevado de maneira que torne a produção inviável e gere gastos excessivos para os centros de triagem. A alternativa proposta deve possibilitar a fabricação de um material cuja renda obtida pela comercialização justifique a sua implementação, o que não necessariamente requer um valor de compra próximo aos seus similares de mercado, visto que, no caso da sacola plástica, este material não possui praticamente nenhum valor de mercado na atualidade, sendo comercializado por R\$0,10/kg. Um quilograma de filamentos de

impressão 3D possui um valor de mercado em torno de R\$130/kg. Desta forma, se os filamentos de impressão 3D de sacolas plásticas recicladas forem comercializados por metade do valor dos filamentos existentes no mercado nacional, este custo já representaria um aumento de 600% no valor da venda do material.

Estes três princípios projetuais se desdobram nos seguintes requisitos projetuais:

- Segurança operacional;
- Facilidade operacional;
- Facilidade na montagem;
- Baixo custo de fabricação, manutenção e operação;
- Qualidade na produção;
- Bom andamento de processamento (o processamento não necessita ser rápido, porém deve ter um andamento que o torne viável);
- Resistência ao uso frequente (durabilidade).

Para atingir estes requisitos estabelecidos, a extrusora deve ser projetada de modo que contemple sistemas que auxiliem na obtenção de um filamento de qualidade, além de possuir dispositivos de segurança e ser projetada visando uma otimização da produtividade, garantindo baixos custos de fabricação, manutenção e operação. Para determinar os requisitos de segurança foi observada a Norma NR-12, que define referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos (BRASIL, 2010b). Estão listados abaixo os requisitos de segurança necessários para adoção no projeto da extrusora:

- a) Os dispositivos de partida, acionamento e parada do equipamento devem ser projetados de modo que não se localizem em zonas de perigo e nem acarretem riscos adicionais;
- b) A seleção de diferentes comandos deve ser visível, clara e facilmente identificável;

- c) Os componentes de partida, parada, acionamento e outros controles que compõem a interface de operação das máquinas devem operar em extra baixa tensão de até 25V em corrente alternada ou de até 60V em corrente contínua;
- d) As zonas de perigo do equipamento devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, móveis ou dispositivos de seguranças interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores;
- e) As transmissões de força e os componentes móveis a elas interligados devem possuir proteções fixas ou móveis com dispositivos de intertravamento que impeçam o acesso por todos os lados;
- f) O equipamento deve ser equipado com um ou mais dispositivos de parada de emergência;
- g) O projeto do equipamento deve considerar o atendimento da variabilidade das características antropométricas dos operadores, assim respeitando as exigências posturais, cognitivas e de esforço físico a serem demandadas pelos operadores;
- h) Os sistemas interativos, como ícones, símbolos e instruções devem ser coerentes com sua aparência e função;
- i) Deve possuir sinalização de segurança para advertir os trabalhadores e terceiros sobre os riscos que estão expostos;
- j) Os comandos do equipamento devem ser projetados levando-se em consideração a sua localização e distância de forma a permitir manejo fácil e seguro;
- k) Os comandos mais utilizados devem ser instalados em posições mais acessíveis ao operador.

4.2 ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO

A introdução de um sistema de degasagem é a principal melhoria proposta neste projeto para as extrusoras de menor dimensão e produtividade, principalmente para as *recyclebots*. Esta tecnologia comum nas extrusoras industriais deve ser incorporada no projeto desta extrusora, pois se mostra necessária para garantir a qualidade do material extrusado, possibilitando não só a expulsão dos gases da tinta, como a evaporação da

água, assim eliminando a maioria dos causadores de espaços vazios no interior do filamento. Existem duas formas conhecidas de incorporar um sistema de degasagem em uma extrusora: por meio de cascata ou através de pequenas aberturas no corpo cilíndrico da própria extrusora. Esta segunda alternativa, apesar de exercer esta função não é adequada às necessidades deste projeto, pois não é tão eficiente quanto à de degasagem por cascata. Como o material a ser processado são resíduos sólidos urbanos se mostra necessária máxima eficiência na eliminação de vazios.

Outra especificação projetual necessária para garantir a qualidade do filamento produzido é a introdução de um sistema de estiramento controlado, como o existente no projeto similar Lyman/Mulier. No projeto Lyman/Mulier, a tração do filamento é realizada por um par de rolos tensores, feitos de poliuretano, movidos por um motor de passo próprio.

Para melhor detalhar como os produtos devem ser projetados se utilizou a ferramenta de Análise da Tarefa. A análise da tarefa, além de mostrar ao designer como os consumidores usam o produto, pode provocar a aparecimento de novos conceitos interessantes (BAXTER, 2000). Primeiramente foi traçada a operação da extrusora no processo de produção de filamentos, através das ações realizadas pelo usuário (Figura 80).

Figura 80 – Ações realizadas pelo usuário na operação da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

Na Tabela 18, foram relacionadas as ações realizadas pelo usuário com os componentes da extrusora comumente envolvidos nestas ações e as suas funções. Dentre os componentes envolvidos nas ações realizadas pelos usuários, os que se relacionam de forma direta com os usuários são o painel de controle, funil de alimentação e o sistema de estiramento controlado, sendo que o painel de controle está presente na realização de mais de uma ação. Este fato ressalta a importância do painel de controle na operação,

principalmente no atendimento dos requisitos que envolvem a facilidade e a segurança operacional. Assim, as informações e botões de acionamento presentes no painel de controle devem ser posicionados de maneira a facilitar o uso do equipamento.

O funil de alimentação representa uma fenda no corpo do cilindro que possibilita a introdução da matéria-prima no seu interior, depositando-o sobre a rosca. Esta fenda deve possuir uma dimensão que proporcione a alimentação do material, porém sem representar um risco ao usuário, no momento em que este for introduzir o material.

Tabela 19 – Relação entre as ações realizadas pelo usuário e os componentes da extrusora

Ações dos Usuários	Componentes envolvidos	Funções
Acionar o equipamento	Painel de Controle	Servir como interfase para o acionamento da alimentação elétrica do equipamento
Configurar as temperaturas das zonas de aquecimento	Painel de Controle	Servir como interfase para o ajuste individual das temperaturas de cada zona de equipamento
	Resistências Elétricas	Aquecer do cilindro
Introduzir matéria-prima a ser extrudada	Funil de Alimentação	Proporcionar a introdução da matéria-prima dentro do corpo interno da extrusora
Configurar a velocidade da rosca	Painel de controle	Servir como interfase para o acionamento do motor e configuração da velocidade da rosca
	Motor Redutor	Proporcionar a movimentação da rosca
	“Caixa de Câmbio”	Modificar a velocidade da rosca
Controlar o diâmetro do extrusado	Sistema de estiramento controlado	Tracionar o material na velocidade desejada de maneira constante
	Motor	Proporcionar a movimentação dos rolos de tração

FONTES: Elaborada pela Autora

No que diz respeito às especificações do parafuso ou rosca, a sua geometria, que é definida pelo seu passo e relação L/d , deve considerar a produtividade, a qualidade da fusão e o polímero a ser utilizado (LAPOL, [s.d.]). Parafusos universais buscam um alcance amplo de matérias-primas, mas requerem uma concessão na qualidade de fusão e produtividade. A relação L/d ótima é de 20 a 30. Um valor elevado de L/d favorece a mistura do fundido, porém aumenta o tempo de residência na qual o polímero estará submetido à alta temperatura e cisalhamento, portanto existe uma maior probabilidade de degradação termomecânica oxidativa. Na tabela 19 encontram-se as medidas típicas dos parafusos de extrusora monorosca de acordo com o material aplicado.

Tabela 20 – Medidas típicas dos parafusos de extrusora Monorosca

	PVC Rígido	PS	PEBD	PEAD	Nylon
Diâmetro (mm)	90	90	90	90	90
Comprimento (mm)	1800	1800	1800	1800	1800
Zona 1 (mm)	270	540	450	720	1350
Zona 2 (mm)	1530	360	900	360	90
Zona 3 (mm)	0	900	450	720	360
Passo (mm)	90	90	90	90	90
Altura (B3) (mm)	5	3,5	3,1	3,9	3,1
Altura (B1) (mm)	15	15	15	15	15

FONTE: MANRICH, 2005

Estas medidas são próprias para a o processamento industrial destes polímeros, ou seja, em grande produtividade. Para a extrusora a ser desenvolvida neste projeto estes valores devem ser de menor grandeza, porém mantendo a mesma relação L/d compatível com o polímero a ser processado. Como a maioria das sacolas plásticas existentes são compostas de PEAD serão adotadas as configurações adequadas para o processamento deste polímero, porém em uma escala reduzida de 3:1.

A escolha de qual motor utilizar está diretamente relacionada com a potência necessária para garantir a produtividade desejada para a extrusora. A produtividade desejada depende de inúmeros fatores, desde a quantidade de material disponível para processamento até a quantidade de material que é consumida pelo mercado de impressão 3D. Tendo como base o Centro de Triagem da Vila Pinto (CTVP), que separa 40 toneladas de resíduos por mês, e sabendo que a participação gravimétrica dos polímeros flexíveis nos resíduos sólidos urbanos no Brasil é de 8,9% (IPEA, 2012) e caso hipoteticamente um terço destes filmes sejam sacolas plásticas de supermercado, estima-se um valor em torno de 1186,4 kg de sacolas plásticas triadas mensalmente pelo CTVP. Assumindo um cronograma de 160 horas de trabalho mensais, seria desejável um equipamento que garanta uma produtividade de 7,4kg por hora para se processar a capacidade máxima de material triado pelo centro. Sabendo que a densidade do PEAD é de $0,95\text{g/cm}^3$, pode-se calcular que 1 kg de PEAD corresponde a 150cm de filamento com 3mm de diâmetro, sendo assim a produtividade desejada para atender a capacidade máxima de material disponível para processamento seria de 1110cm por hora. A extrusora Lyman/Mulier produz cerca de 63,5cm de filamento por minuto, ou seja, 3810 cm por hora, atingindo uma capacidade produtividade três vezes maior que a desejada. Este fato

sugere que o motor utilizado nesta extrusora garantiria com folga a produtividade desejada. O parafuso da extrusora Lyman/Mulier é movido por um motor de passo Nema 23, de 2,8A com redutor planetário (Figura 81).

Figura 81 – Motor de Passo Nema 23 com redutor planetário



FONTE: STEPPERONLINE

Motores de passo são dispositivos eletromecânicos, que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos (BRITES e SANTOS, 2008). Sua principal vantagem é a possibilidade de controlar seus movimentos de forma muito precisa. Na tabela 20 está um quadro comparativo entre parâmetros do motor de passo e do motor de corrente contínua.

Tabela 21- Quadro Comparativo entre motor de passo e motor de corrente contínua

	Motor de Corrente Contínua	Motor de Passo
Velocidade	Alta	Baixa
Torque	Zero/Alto	Alto/Médio
Facilidade de controle	Fácil	Média
Precisão	Nenhuma	Alta
Durabilidade	Média	Ótima
Requer manutenção?	Sim	Não

FONTE: BRITES e SANTOS, 2008

Analisando as informações oferecidas pelo quadro comparativo da Tabela 20, pode-se concluir que o motor de passo possui características mais adequadas aos requisitos deste projeto do que o motor de corrente contínua, e por este motivo será optado por sua utilização na extrusora. A operação da extrusora para a produção de filamentos de impressão necessita um motor que proporcione baixa velocidade e elevado torque, parâmetros ideais para a aplicação de um motor de passo. Por apresentar ótima durabilidade e necessitar de pouca manutenção, atende os requisitos de baixo custo de fabricação, manutenção e operação. O custo de compra de um motor de passo Nema 23 com redutor planetário, Modelo 23HS2202804S-PG15 é similar ao custo de um motor DC com redutor planetário e driver de controle com potência e torque similar, ambos custando em média R\$200,00 reais a unidade. Ademais, a precisão de posicionamento e controle de velocidade no motor de passo pode apresentar vantagens no aperfeiçoamento do processo de fabricação de filamentos, concedendo um controle preciso deste parâmetro e assim possibilitando a obtenção de um produto final de maior qualidade.

4.2.1 CONCEPÇÃO DO ESTILO

Semântica do produto é o campo que estuda a fala dos objetos, ou seja, como suas características visuais e morfológicas sugerem significados e relações (CARDOSO, 2012). Deste modo, a definição de uma forma global tem como objetivo estabelecer relações semânticas e simbólicas do produto. Cada tipo de produto deve ter uma aparência visual adequada à sua função, assim, produtos duráveis e voltados para o trabalho pesado devem ter aspecto robusto e forte (BAXTER, 2000). Porém, devido a este carácter funcional na concepção projetual de equipamentos e máquinas, muitas vezes se negligência a possibilidade de estabelecer relações aprazíveis ou voltadas para proporcionar uma aparência visual agradável. O painel de expressão do produto (Figura 81) retrata aspectos formais que conciliam os símbolos de robusto e forte com os de agradável e atraente, que irão orientar o desenvolvimento de alternativas.

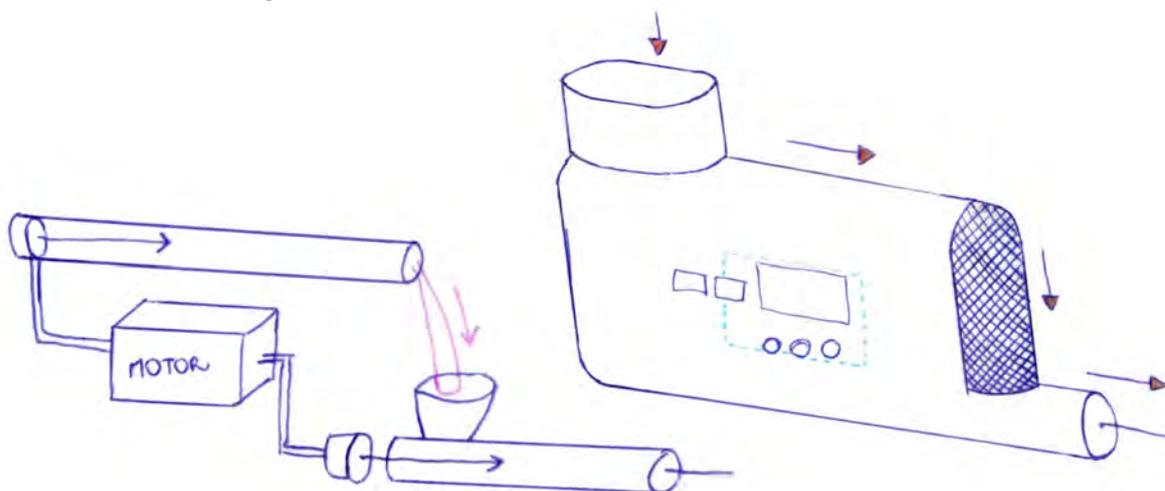


Figura 82 – Painel de expressão do produto
 FONTE: PINTEREST

4.3 GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS

A etapa de geração de alternativa foi realizada por meio do uso de sketches onde se buscou retratar de forma esquemática soluções para o conceito do projeto. Existem diferentes formas possíveis de arranjo de estrutura de uma extrusora em cascata, sendo a mais comum o posicionamento dos dois cilindros em um mesmo eixo de forma linear. As primeiras alternativas geradas (Figura 83 e 84) foram posicionadas nesta configuração.

Figura 83 – Alternativa de posicionamento linear com 1 motor

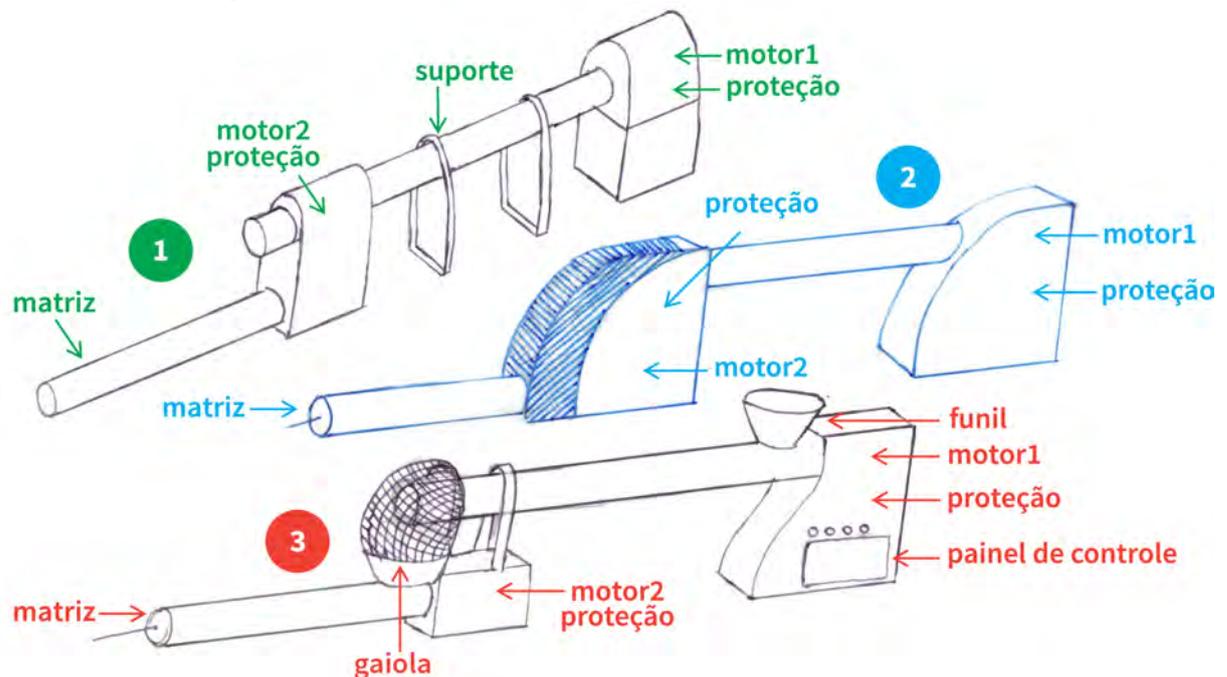


FONTE: Elaborada pela Autora

A alternativa da Figura 83 ilustra a possibilidade da extrusora possuir um único motor que irá movimentar os dois parafusos. Para o funcionamento desta alternativa seria necessária a introdução de um sistema de engrenagens que transmitisse a energia do motor para cada um dos eixos dos parafusos. Esta alternativa foi logo descartada, pois se mostrou inadequada para o atendimento dos requisitos de projeto devido a menor eficiência e maior manutenção necessária ocasionada pela introdução do sistema de engrenagens. Esta alternativa é menos eficiente, pois na transmissão de energia do motor para as engrenagens e das engrenagens para a rosca irá ocorrer uma perda de energia, o que resultaria em um maior custo energético, pois um motor irá demandar mais energia para realizar a mesma atividade que dois motores. Por apresentar um maior número de peças complexas e personalizadas que exigem lubrificação e manutenção recorrente, esta alternativa dificulta a operação e aumenta o custo de manutenção do equipamento.

Na figura 84 estão alternativas de posicionamento linear com dois motores. Foram estudadas nestas alternativas diferentes possibilidades de elementos da extrusora. As três alternativas ilustradas possuem uma configuração estrutural similar, constituída por dois segmentos de cilindros e dois corpos estruturais que protegem os motores.

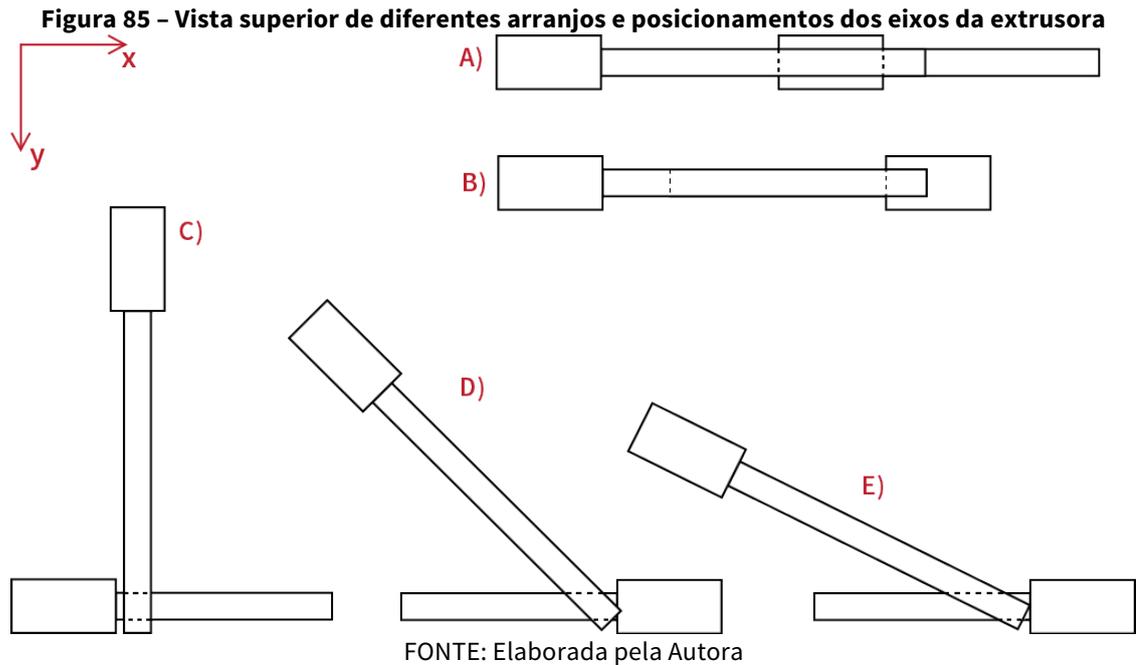
Figura 84 - Alternativas de posicionamento linear com dois motores



FONTE: Elaborada pela Autora

Na alternativa 1, da Figura 84, existem suportes verticais que auxiliam na estruturação do primeiro trecho de cilindro da extrusora. Este primeiro trecho de extrusora, deve estar posicionado de forma elevada verticalmente, acima do segundo trecho da extrusora, para fins de garantir que o material extrusado possa ser depositado no segundo trecho da extrusora, por meio de uma queda em cascata. Dependendo da construção da proteção dos motores estas estruturas auxiliares podem não ser necessário. Nesta primeira alternativa, o local onde irá ocorrer a queda do extrusado está protegido por uma espécie de caixa que evita o contato do usuário com o material fundido exposto. Esta mesma estrutura poderia servir como apoio para a extremidade final do cilindro superior, assim garantindo a sua sustentação sem a necessidade de utilizar apoios auxiliares na extensão do corpo do cilindro. Porém, esta configuração em caixa fechada atrapalharia a função do sistema de degasagem que necessita liberar o vapor gerado pela eliminação dos gases da tinta e água. Desta forma, buscando oferecer uma solução para este problema, nas alternativas 2 e 3 a proteção do sistema de degasagem é configurado por uma espécie gaiola com telas que possuem aberturas, mas que ao mesmo tempo garantem a restrição do alcance do usuário no material fundido.

Como cada trecho da extrusora terá seu próprio motor, a única limitação em relação ao posicionamento dos cilindros entre si é a necessidade de garantir que o material fundido transite do primeiro trecho da extrusora (cilindro de cima) para o segundo (cilindro de baixo) corretamente na zona de degasagem. Os motores devem estar no mesmo eixo do parafuso que movimentam, porém não necessariamente devem estar no mesmo eixo entre si. Para conferir a configuração de diferentes posicionamentos e arranjos entre os dois trechos da extrusora, foi realizado um estudo das dimensões espaciais ocupadas por diferentes alternativas, observando-se suas vistas superiores (Figura 85).

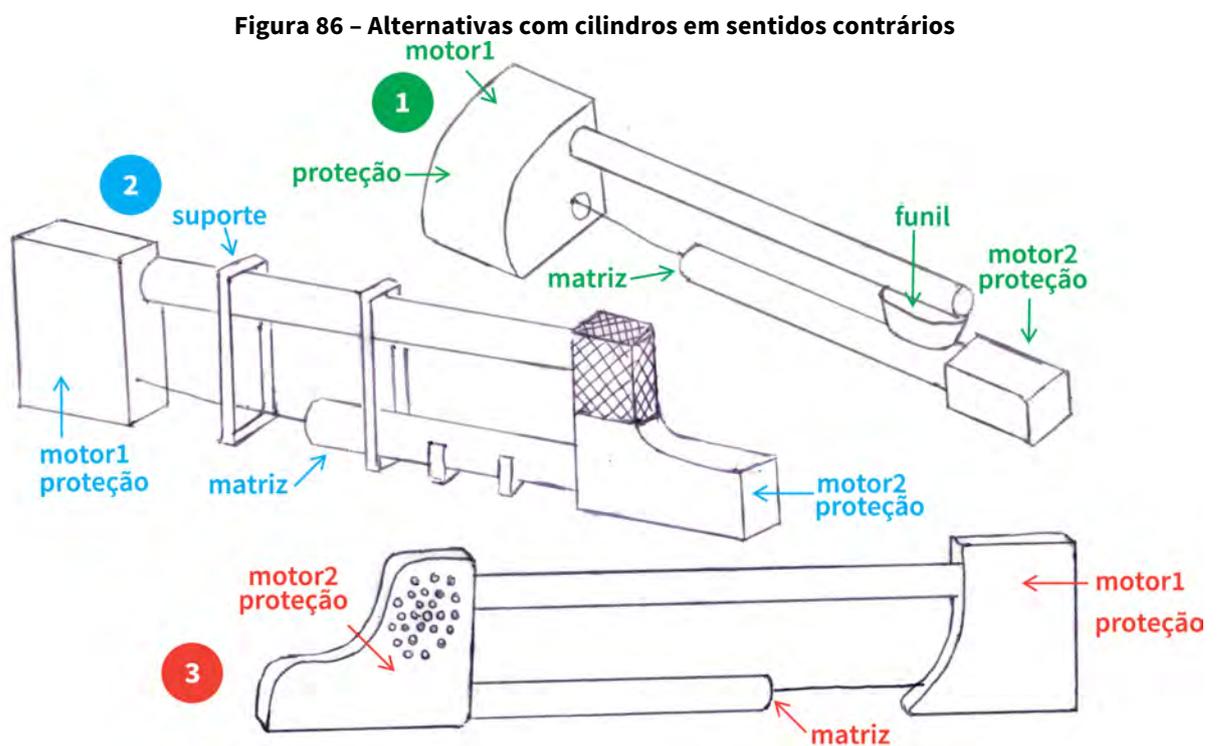


Percebe-se que os posicionamentos perpendiculares ou angulares – arranjos C, D e E – representam uma maior ocupação espacial, enquanto os posicionamentos lineares, arranjos A e B, ocupam um espaço mais reduzido. Este é um parâmetro importante no que diz respeito a implementação do equipamento em centros de triagem. A ocupação espacial do equipamento é um fator relevante, pois em muitos casos há uma limitação do espaço disponível para a introdução de novos equipamentos nos galpões de triagem. Assim sendo, os arranjos A e B, que são as alternativas mais compactas, se mostram mais apropriados para a aplicação neste contexto.

Na Figura 86, estão ilustradas alternativas com os cilindros posicionados na mesma direção, porém em sentidos contrários, como ilustrado no arranjo B do estudo das vistas superiores (Figura 85). Após diversos desenhos pode-se perceber que esta configuração, além de ser a mais compacta entre as alternativas geradas é a que possibilita o melhor aproveitamento da estrutura para a introdução dos sistemas necessários no processo. Nas alternativas da Figura 86, o corpo do equipamento possui: uma caixa protetora a esquerda onde está localizado o motor do primeiro trecho da extrusora; o primeiro trecho da extrusora que possui as zonas 1 e 2 de aquecimento; a zona do sistema de degasagem; a estrutura suporte para o motor do segundo trecho da extrusora; o segundo cilindro que possui a zona 2 e 3 de aquecimento; e a matriz. A zona 2 de aquecimento está presente nos dois trechos da extrusoras, pois devido a interrupção

da extensão do parafuso, ocasionada pelo sistema de degasagem, e o resfriamento inevitável do material durante este processo, é necessário configurar as zonas de aquecimento de maneira que garanta o aquecimento adequado para a extrusão.

A próxima etapa da produção do filamento após sua saída pela matriz do segundo trecho de extrusora é a sua introdução no sistema de estiramento. Nestas alternativas o segundo trecho de extrusora está voltado para a caixa protetora do motor do primeiro trecho de extrusora, assim o filamento extrusado resultante do processo é direcionado para esta caixa ao sair da matriz. Desta forma é possível aproveitar a estrutura da caixa para incorporar o sistema de estiramento do filamento.

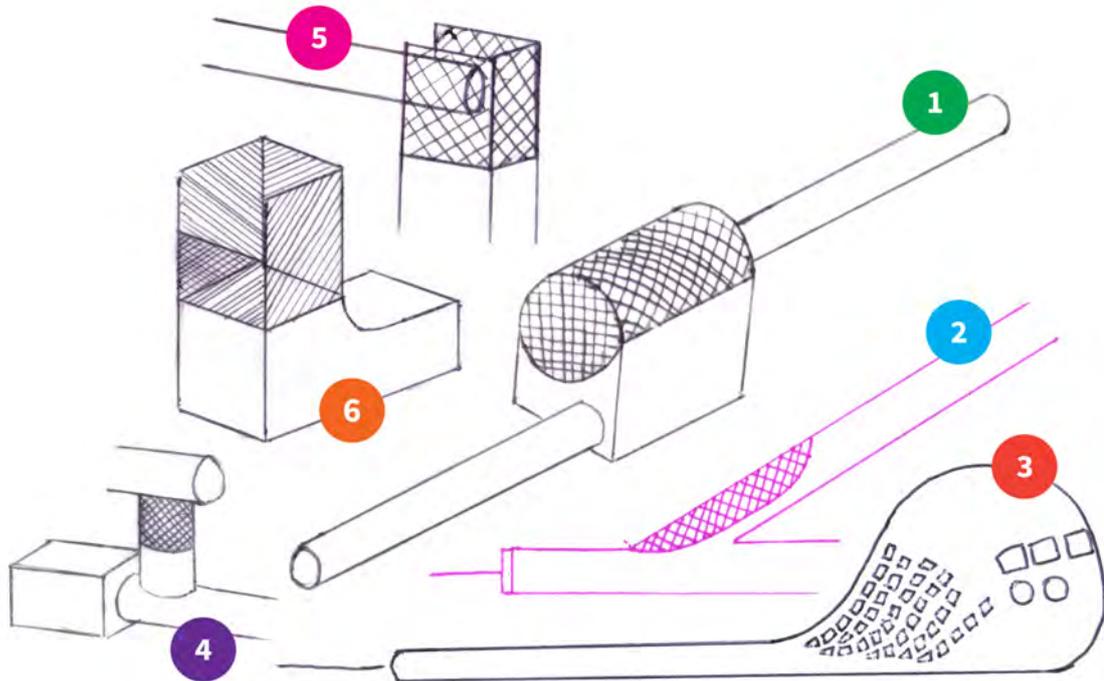


FONTE: Elaborada pela Autora

A principal diferença entre as alternativas da Figura 86 é a configuração da estrutura de proteção na zona de degasagem. Na opção 1, a proteção do material fundido ocorre por meio de um funil elevado que impossibilita o contato direto do operador com o material. Na segunda opção, a proteção ocorre pelo posicionamento de uma caixa metálica com superfície em trama (tela). Na terceira opção, as superfícies laterais da caixa de proteção do segundo motor se estendem até a altura do primeiro cilindro e por meio de orifícios existentes na superfície os gases serão liberados. Existem diferentes

configurações possíveis para esta proteção na zona de degasagem. Na Figura 87 estão esboçados algumas demais alternativas de soluções geradas para esta proteção.

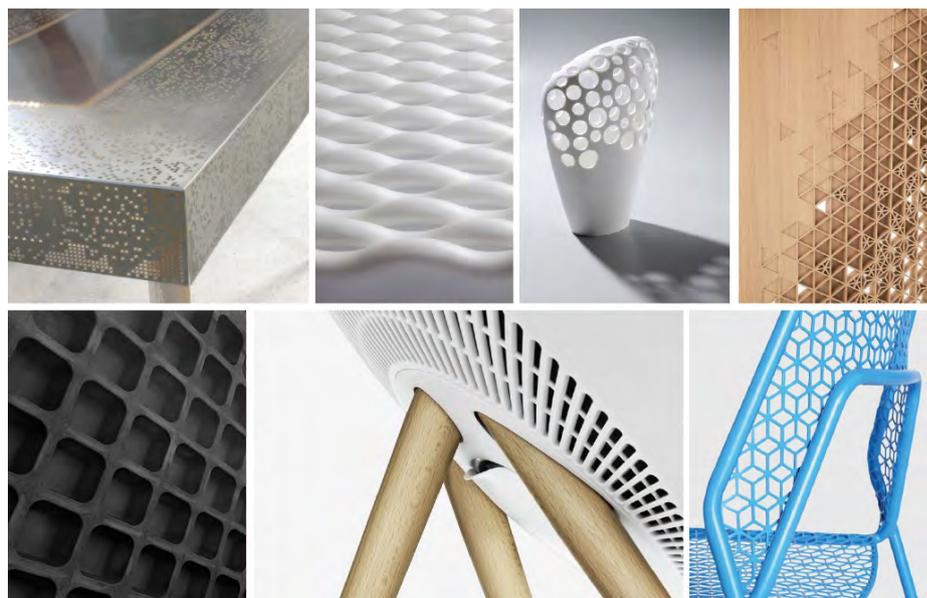
Figura 87 – Alternativas de proteção para a zona de degasagem



FONTE: Elaborada pela Autora

As alternativas 2, 3 e 4 apresentam formas com perfurações no corpo de outras peças da extrusora como a caixa de proteção do motor (no caso da alternativa 3) ou o cilindro (alternativas 2 e 4). Desta maneira, a proteção do sistema de degasagem estaria fixada a estas estruturas, enquanto as alternativas 1, 5 e 6 apresentam soluções com uma estrutura própria que pode ser acoplada ao corpo da extrusora. A utilização de um corpo separado é vantajosa pois facilita a manutenção do equipamento, importante requisito deste projeto. As superfícies desta estrutura própria para a proteção do material fundido devem possuir aberturas para auxiliar na função do sistema de degasagem, assim a aplicação de um padrão de formas geométricas recortadas pode apresentar uma solução adequada para esta função que também corresponda às intenções projetuais em relação a concepção do estilo definida. A Figura 88 apresenta um quadro de referências conceituais da configuração deste padrão geométrico de recorte da superfície da proteção da zona de degasagem.

Figura 88 – Referências conceituais da configuração da proteção da zona de degasagem



FONTE: PINTEREST

Dando continuidade às soluções gerados pelos desenhos à mão livre, foram elaborados estudos tridimensionais de modelagem computacional, utilizando-se o software de CAD *SolidWorks*. O principal aspecto estudado foi a forma e as dimensões das estruturas de suporte e elementos complementares em relação aos componentes essenciais de funcionamento da extrusora (Figura 89), para fim de garantir que esta estrutura seja adequada volumetricamente para a introdução dos componentes.

Figura 89 – Estudo preliminar da forma e estrutura dos componentes da extrusora

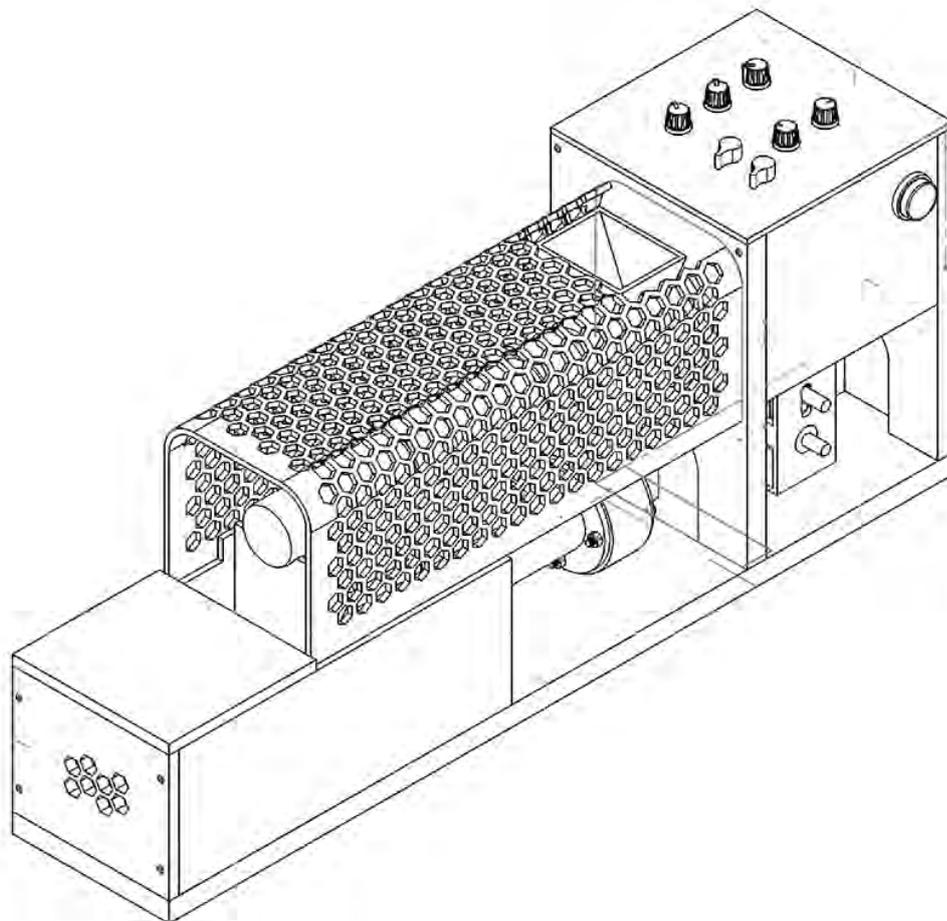


FONTE: Elaborada pela Autora

4.4 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO

A solução final, desenvolvida no software de CAD *SolidWorks*, representa uma extrusora compacta de fácil montagem, desenvolvida para a produção de filamentos de impressão 3D, tendo como principal usuário os centros de triagem de Porto Alegre. A estrutura final da extrusora, Figura 90, foi dimensionada a partir das dimensões dos principais elementos de composição da extrusora: motores, cilindros e roscas. De maneira geral a solução encontrada é constituída essencialmente por dois segmentos de sistema de extrusora, um sistema de estiramento, um sistema de controle e alimentação elétrica, duas caixas estruturais, uma proteção acoplável e uma base.

Figura 90 – Vista geral da estrutura final da extrusora

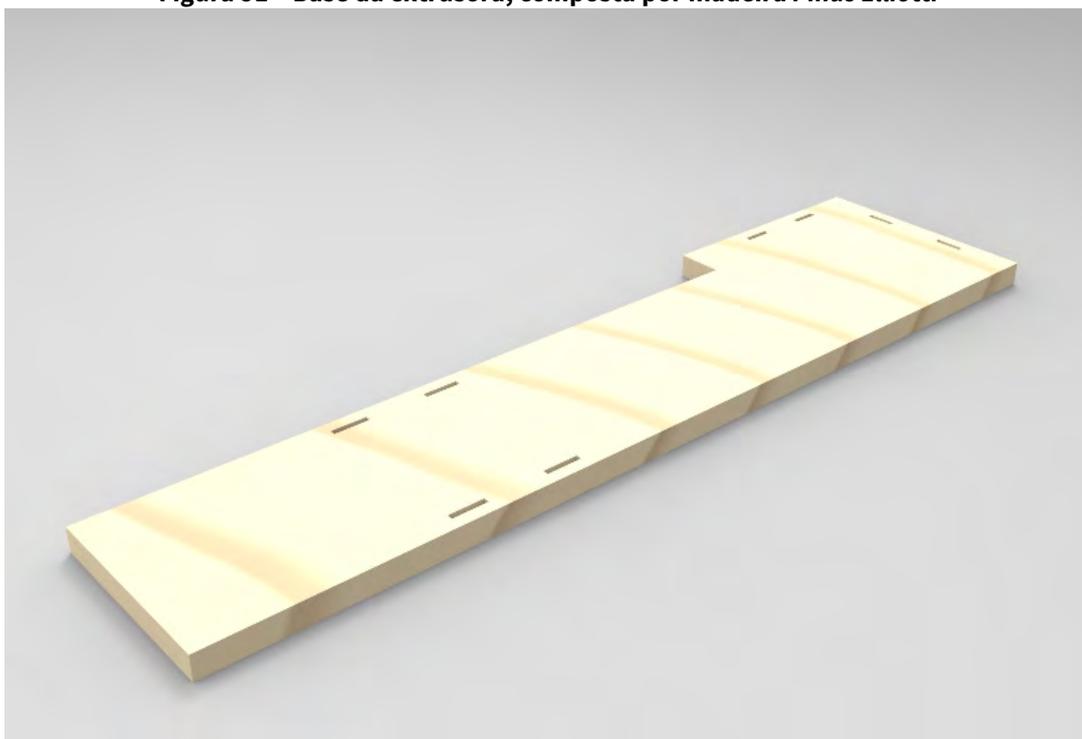


FONTE: Elaborada pela Autora

A apresentação dos detalhes do projeto da extrusora será realizada na ordem designada de montagem, pois este foi um fator determinante na construção das peças,

uma vez que a facilidade de montagem, manutenção e adaptação é um importante requisito incorporado no projeto. Desta forma, a primeira peça a ser apresentada é a base da extrusora, presente na Figura 91, cujas dimensões, 800 x 200mm, correspondem às dimensões máximas do equipamento em relação ao eixo horizontal. Composta por uma chapa de madeira *Pinus Elliotti* de 20mm de espessura, a base possui recortes onde serão encaixadas superfícies laterais da estrutura. As imagens das peças foram renderizadas, foram produzidas com o software de renderização e animação *Keyshot 5.0*.

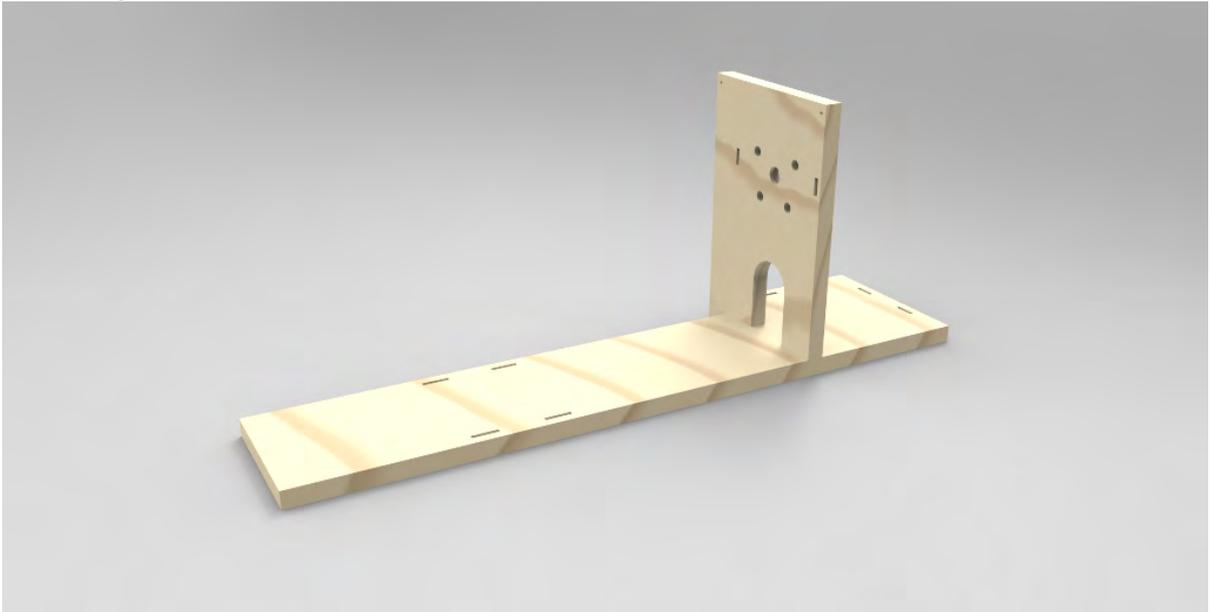
Figura 91 - Base da extrusora, composta por madeira *Pinus Elliotti*



FONTE: Elaborada pela Autora

A próxima peça introduzida na montagem é a estrutura central vertical da extrusora (Figura 91). Esta peça, assim como a base, é composta por madeira *Pinus Elliotti* de 20mm de espessura. Possui recortes que atravessam o seu corpo, que auxiliam no encaixe do sistema da extrusora superior e da proteção acoplável do sistema de degasagem. Na porção inferior da peça existe uma abertura que possibilita a passagem do material extrusado para o sistema de estiramento.

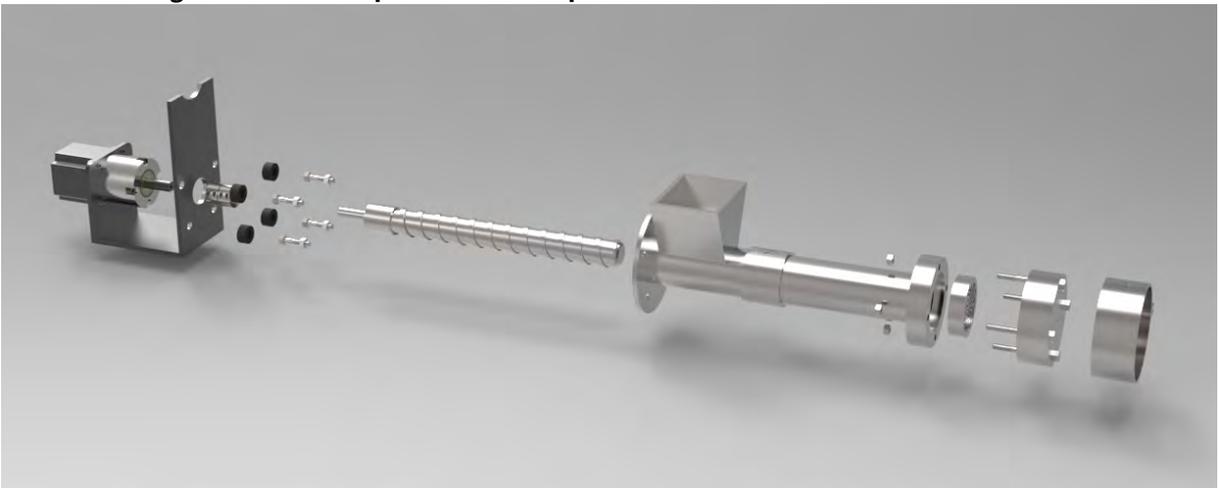
Figura 92 - Estrutura central vertical da extrusora, composta por madeira *Pinus Elliotti*



FONTE: Elaborada pela Autora

A seguir na linha de montagem da extrusora está o sistema da extrusora inferior, denominado Sistema 2, que representa o segundo trecho da extrusora. Antes de serem incorporados na montagem, os componentes do Sistema 2 devem ser primeiramente montados entre si (Figura 93).

Figura 93 - Vista explodida dos componentes do Sistema da Extrusora Inferior



FONTE: Elaborada pela Autora

O Sistema 2 é composto pelas peças de funcionamento e sustentação da rosca e cilindro do segundo segmento da extrusora, assim como do seu motor Nema23 respectivo. O sistema é composto pelas peças listadas na Tabela 22.

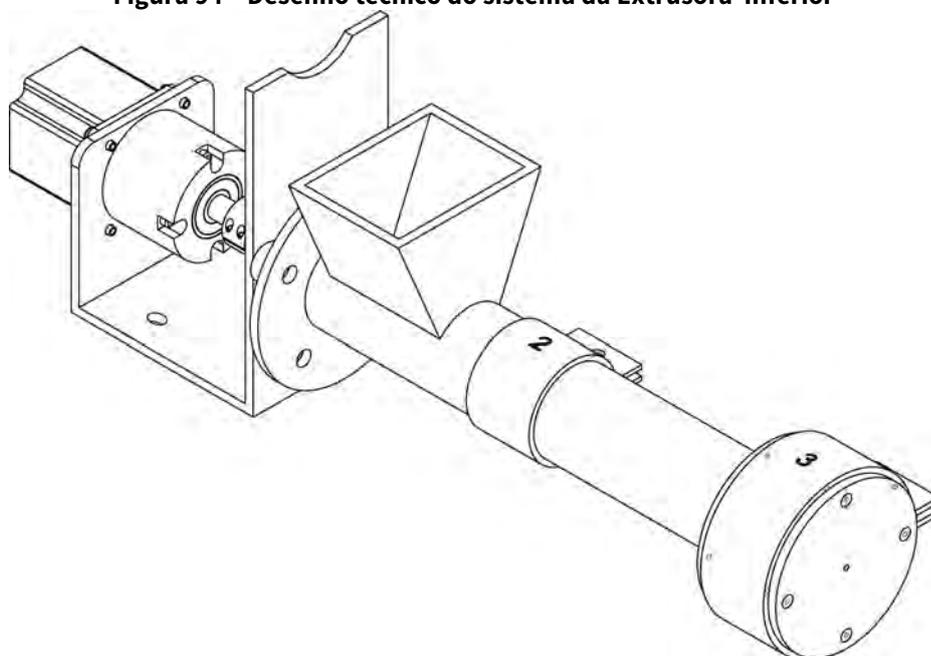
Tabela 22 – Peças que compõem o Sistema 1 da extrusora

Quantidade	Peça	Função
1	Motor Nema23	Acionamento da rosca
1	Estrutura de aço	Sustentação do Sistema 1 e 2
1	Rosca	Transporte do material fundido
1	Cilindro	Contensão da rosca e do material fundido e funil para alimentação de material
1	Disco de ruptura	Alívio de pressão e suporte para filtragem
1	Matriz	Dimensionamento do filamento extrusado
2	Bandas de resistência	Aquecimento da extrusora
4	Espaçadores de borracha	Isolamento térmico
8	Parafusos e porcas M6 sextavados	Junção entre cilindro e suporte e junção entre cilindro e matriz.
1	Conector	Conexão eixo do motor e rosca

FONTE: Elaborada pela Autora

O Sistema 2 é fixado na base através de parafusos introduzidos em orifícios existentes na superfície horizontal da estrutura de suporte de aço (Figura 94). Esta estrutura de suporte de aço, além de realizar a fixação do sistema no equipamento é responsável pela sustentação do sistema como um todo, sendo fixado no motor e na extremidade do cilindro. A extremidade da superfície deste suporte de aço que está fixada junto a extremidade do cilindro do Sistema 2, também serve de apoio para a ponta do cilindro do sistema do primeiro trecho da extrusora.

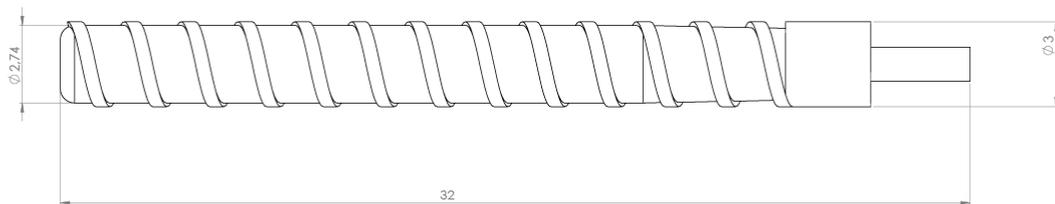
Figura 94 – Desenho técnico do sistema da Extrusora Inferior



FONTE: Elaborada pela Autora

As dimensões do parafuso de rosca (Figura 95) deste Sistema 2 é referente predominantemente a zona três da relação L/d específica para o processamento de PEAD. A relação L/d ótima para o processamento de PEAD é de 20:1, assim como indicado no quadro das medidas típicas dos parafusos de extrusora monorosca, presente na seção de Especificação de Projeto. Como a extrusora foi dividida em dois segmentos para a introdução de um sistema de degasagem em cascata, a zona dois do parafuso foi dividida e adaptada entre os dois trechos. Assim, nesta segunda seção de extrusora, a altura inicial da rosca (distância entre o eixo central do parafuso e a parede do cilindro), que está a direita na Figura 95 é de 2,5 mm e sua altura final, B3 é 1,3 mm. O diâmetro geral da rosca é 30mm e o seu comprimento é de 320mm.

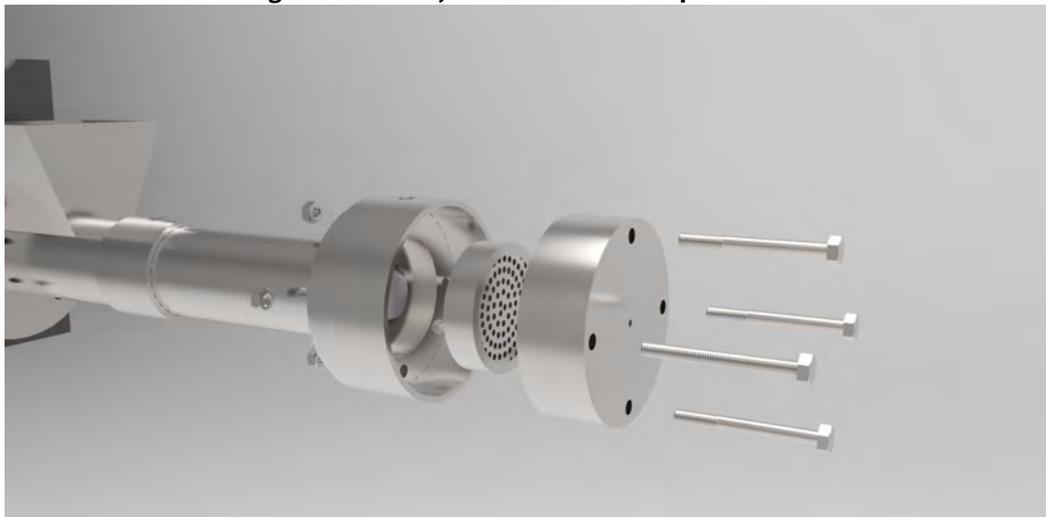
Figura 95 – Parafuso do Sistema 2 da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

Na Figura 96 está presente a montagem da matriz da extrusora. A matriz deve ser fixada na extremidade final do Sistema 2, localizando-se desta forma na extremidade final do segundo trecho da extrusora.

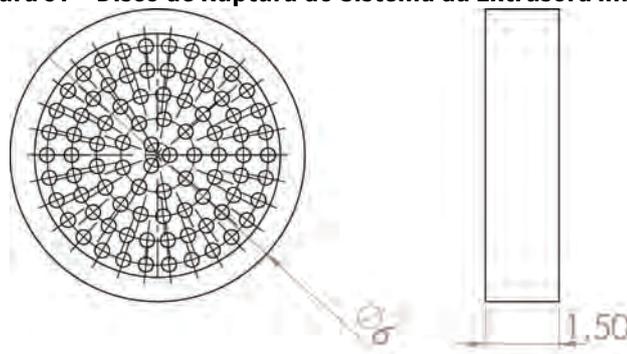
Figura 96 – Detalhe da montagem da matriz, banda e disco de ruptura do sistema da Extrusora Inferior



FONTE: Elaborada pela Autora

A fixação da matriz é realizada através de quatro parafusos e porcas M6 sextavados. Entre a estrutura de encaixe do cilindro e a matriz deve ser posicionado o disco de ruptura, Figura 97, que é um disposto de alívio de pressão projetado especialmente para a proteção contra a sobrepressão de processos de extrusão de polímeros. Este dispositivo também serve como superfície de apoio para a introdução de filtros de tela metálica, que auxiliam na eliminação de resíduos e sujeiras e garantem a maior purificação e conseqüentemente qualidade do produto final.

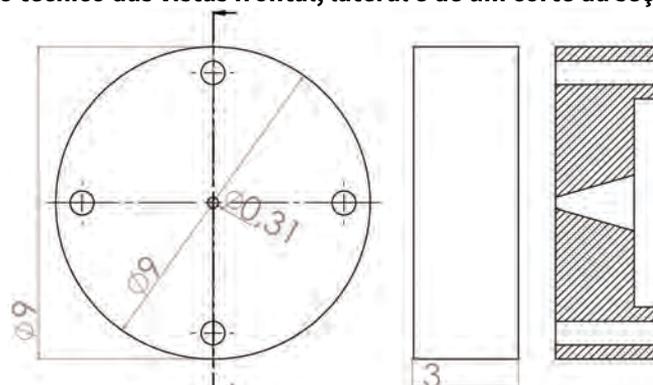
Figura 97 – Disco de Ruptura do Sistema da Extrusora inferior



FONTE: Elaborada pela Autora

A matriz possui uma saída de 3mm de diâmetro, cujo canal é afunilado (Figura 98) para garantir um fluxo laminar do fundido regular. Mudanças abruptas podem ocasionar *dead spots* (cantos mortos), onde somente parte do fundido circula e com isso o extrudado adquire uma história térmica e de cisalhamento desigual. Esta configuração da matriz elimina os pontos mortos e minimiza o desenvolvimento de tensões de tração (LAPOL, [s.d.]).

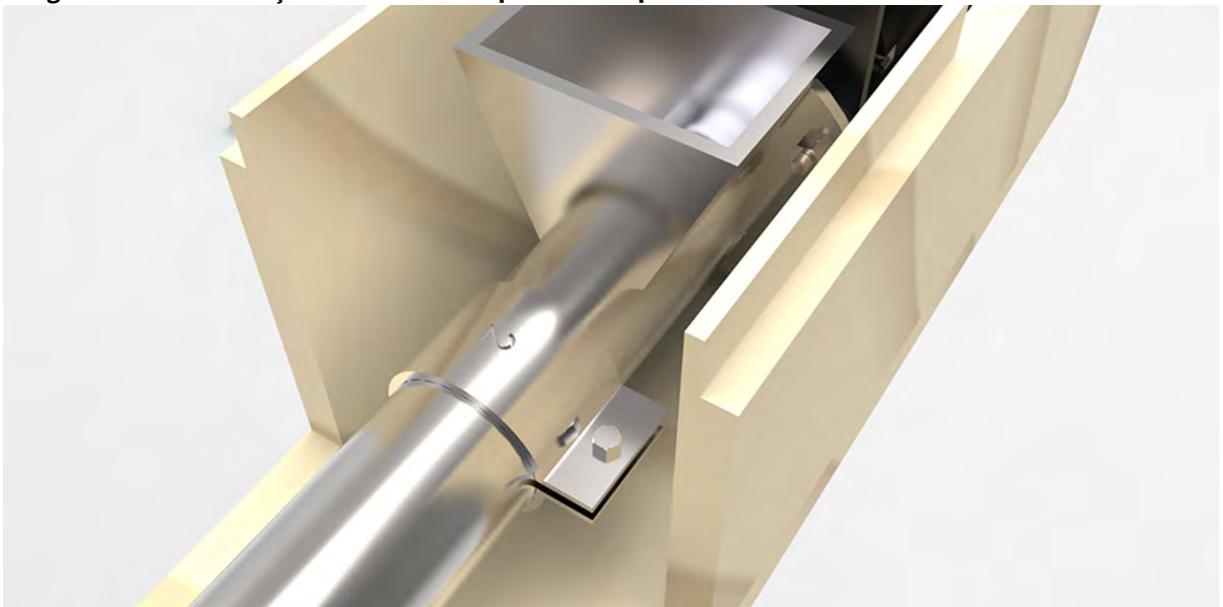
Figura 98 – Desenho técnico das vistas frontal, lateral e de um corte da seção central da matriz



FONTE: Elaborada pela Autora

O Sistema 2 possui duas bandas de aquecimento. A primeira, que é pertencente a segunda zona de aquecimento da extrusora, está posicionada junto ao corpo do cilindro, logo após a alimentação do material fundido advindo do primeiro trecho da extrusora. A segunda banda existente está envolta no encaixa da matriz com o cilindro e é referente a terceira zona de aquecimento. As bandas de aquecimento possuem gravações na sua superfície externa que servem como identificação da zona de aquecimento. Esta característica foi adicionada ao projeto para evitar incertezas em relação as zonas de aquecimento, visto que a segunda zona está repetida em ambos os cilindros. Na Figura 99, abaixo, está demonstrada a gravação presente na banda da segunda zona de aquecimento no Sistema 2.

Figura 99 – Identificação das zonas de aquecimento presentes nas bandas das resistências elétricas



FONTE: Elaborada pela Autora

O próximo passo na montagem da extrusora é a montagem e fixação do sistema de extrusora superior, denominado Sistema 1. Este Sistema 1 é sustentado principalmente pela estrutura central vertical da extrusora (Figura 100), porém a sua extremidade final esta apoiada na estrutura de aço que sustenta o Sistema 2, que serve como segundo ponto de apoio garantindo a sustentação segura dos componentes.

Figura 100 – Dois sistemas de extrusora fixados nos componentes de sustentação da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

O Sistema 2 é composto pelas peças listadas na Tabela 23. Os Sistemas 1 e 2 são muito semelhantes entre si, porém neste Sistema 1, diferente do Sistema 2, não há a presença de uma matriz, pois o material não será extrusado e sim expelido por uma abertura na extremidade final do cilindro, realizando o processo de degasagem. Na Figura 101, está presente a vista explodida dos componentes do Sistema 2.

Tabela 23 – Peças que compõem o Sistema 2 da extrusora

Quantidade	Peça	Função
1	Motor Nema 23	Acionamento da rosca
1	Estrutura de aço	Sustentação o Sistema 1
1	Rosca	Transporte do material fundido
1	Cilindro	Contensão da rosca e do material fundido, funil para alimentação do material e abertura para sistema de degasagem
2	Bandas	Aquecimento da extrusora
1	Rolamento	Possibiita a movimentação da rosca junto ao encaixe na estrutura.
2	Bandas de resistência	Aquecimento da extrusora
4	Espaçadores de borracha	Isolamento térmico
8	Parafusos e porcas M6 sextavados	Junção entre cilindro e suporte e junção entre cilindro e matriz.
1	Conector	Conexão eixo do motor e rosca

FONTE: Elaborada pela Autora

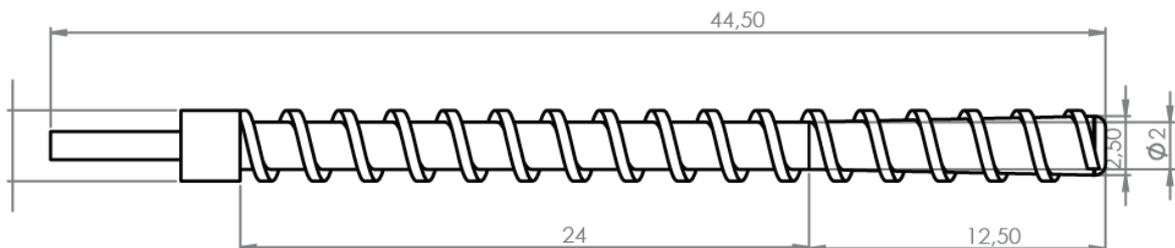
Figura 101 – Vista Explodida dos componentes do Sistema 2



FONTE: Elaborada pelo Autora

A rosca do Sistema 1 da extrusora, Figura 102, também possui 30mm de diâmetro. Sua extensão geral é de 445mm, incluindo o eixo de encaixe no conector que interliga a rosca com o motor. A porção mais extensa da rosca é correspondente a zona 1 do parafuso, que possui altura inicial B1 (distância entre o eixo central do parafuso e a parede do cilindro) igual a 5mm e a altura final é 2,5mm.

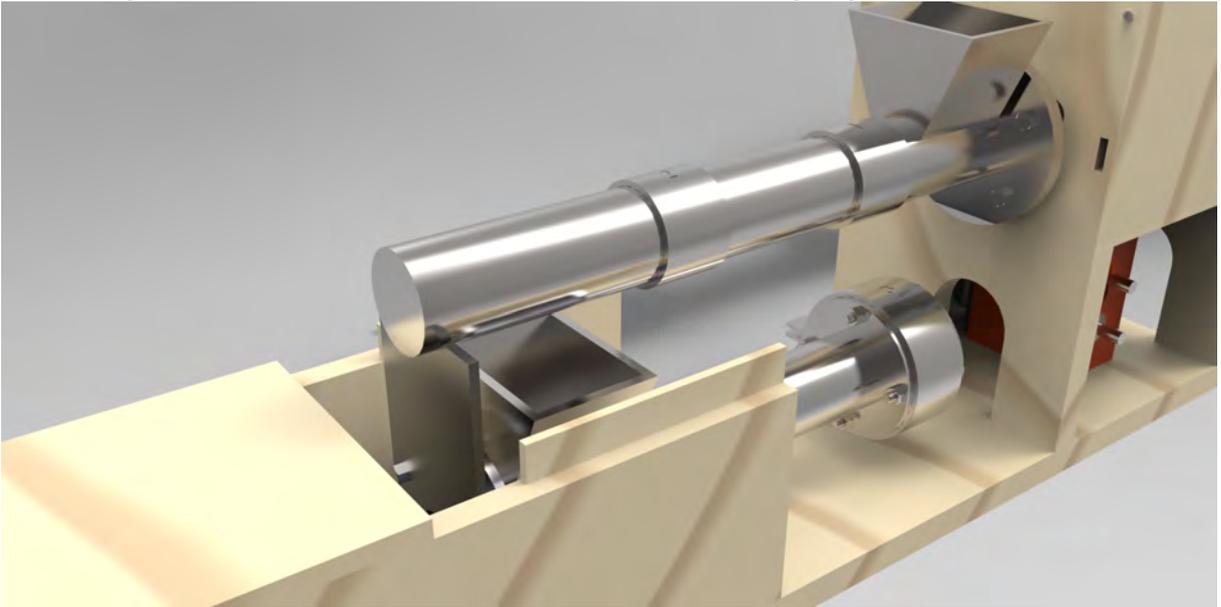
Figura 102 – Rosca do Sistema 1 da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

O processo de degasagem ocorre na transição do material fundido do primeiro trecho da extrusora para o segundo (Figura 103). O cilindro do Sistema 1 possui uma abertura na sua fase inferior para a liberação do material. O cilindro do Sistema 2 possui um funil de alimentação que é posicionado logo abaixo da abertura do cilindro do Sistema 1.

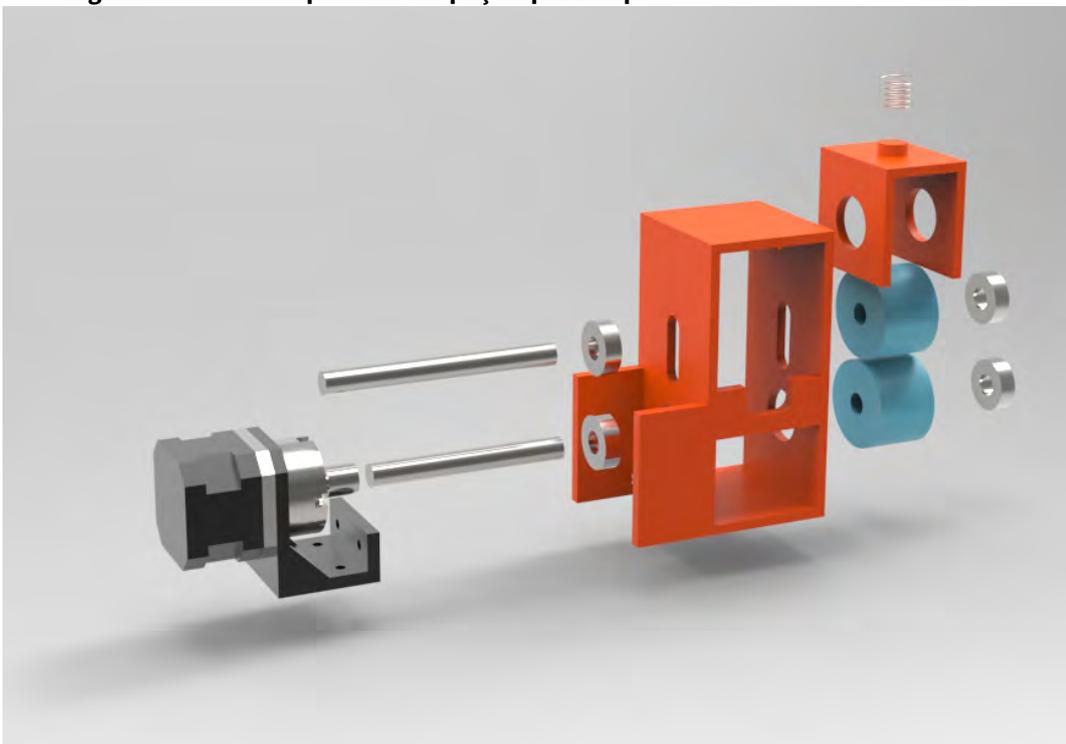
Figura 103 – Detalhe da zona onde ocorre o processo de degasagem entre os cilindros.



FONTE: Elaborada pela Autora

O próximo sistema a ser introduzido na montagem da extrusora é o sistema de estiramento (Figura 104). Este sistema é responsável pela determinação e manutenção da uniformidade do diâmetro do filamento extrusado. Este sistema foi desenvolvido pelos criadores da extrusora Lyman/Mulier e adaptado para as dimensões desta extrusora.

Figura 104 – Vista explodida das peças que compõem o Sistema de Estiramento.



FONTE: Elaborada pela Autora

As peças que compõem o sistema de estiramento Lyman/Mulier estão listadas no Tabela 24 abaixo.

Tabela 24 – Peças que compõem o Sistema de Estiramento

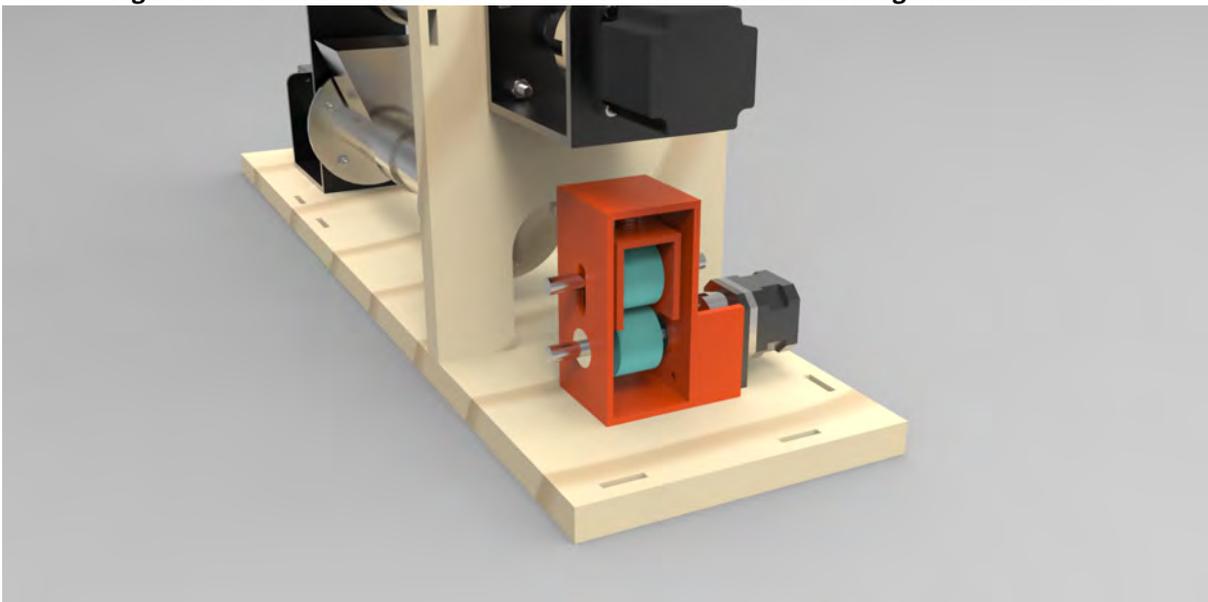
Quantidade	Peça	Função
1	Motor Nema 17	Acionamento o eixo de rotação
1	Estrutura de aço	Montagem e fixação dos componentes
1	Conector	Conexão entre eixo do motor e eixo de rotação
2	Eixos metálicos	Realizam através do movimento de rotação a tração do filamento.
4	Rolamentos	Possibilitam a movimentação dos eixos junto a estrutura do sistema.
2	Rolos	Tracionam o filamento
1	Estrutura Caixa A	Estrutura de suporte para os eixos, rolos e caixa B.
1	Estrutura Caixa B	Estrutura de suporte para o rolo de cima.
1	Mola	Possibilita a movimentação da Caixa B
6	Parafusos	Fixação

FONTE: Elaborada pela Autora

O funcionamento básico deste sistema ocorre pela introdução do filamento extrusado entre os rolos de poliuretano localizados na parte interna da Caixa A. Os dois rolos estão inseridos em eixos metálicos paralelos, sendo que o eixo de baixo está conectado com o motor de passo Nema 17 que é responsável pela sua rotação. No eixo de cima também está inserido a Caixa B, que está conectada a Caixa através de uma mola metálica fixada na sua superfície de topo. Esta mola possibilita a movimentação do eixo superior no sentido vertical, de acordo com a espessura do filamento introduzido no sistema. Através da rotação do eixo inferior, ocorre a tração do filamento. A velocidade de rotação determina o quanto o material é tracionado e assim qual será o seu diâmetro final.

O filamento extrusado pela matriz passa pela abertura da estrutura central vertical para depois ser introduzido no sistema de estiramento. Para isto, este sistema deve ser instalado perpendicular ao eixo do Sistema 2 da extrusora mantendo os rolos alinhados com a saída da matriz.

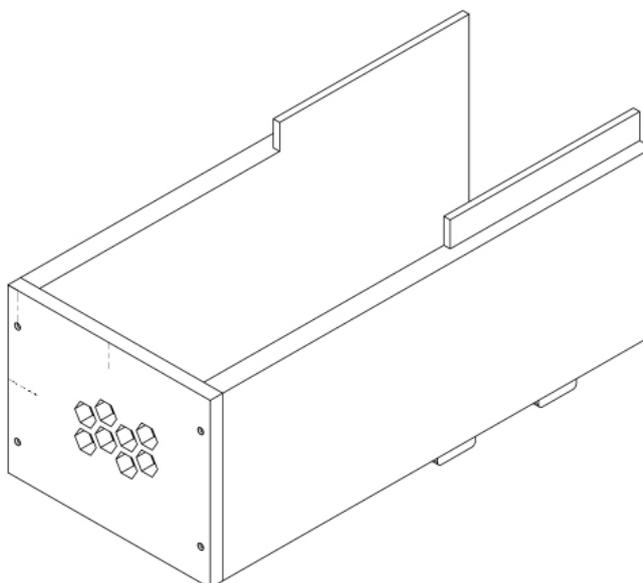
Figura 105 – Posicionamento do Sistema de estiramento na montagem da extrusora.



FONTE: Elaborada pela Autora

Depois da instalação dos sistema de funcionamento da extrusora, são introduzidos na montagem as estruturas de proteção do equipamento. As estruturas de proteção são divididas em três conjuntos: proteção do motor de cima, proteção do motor de baixo e proteção do sistema de degasagem. A proteção do motor de baixo (Figura 106) é composta por três chapas de madeira *Pinus Elliotti*, com 15mm de espessura, que são fixadas entre si por 4 parafusos Allen B18.35M (3 x 05 x 6 FCHS).

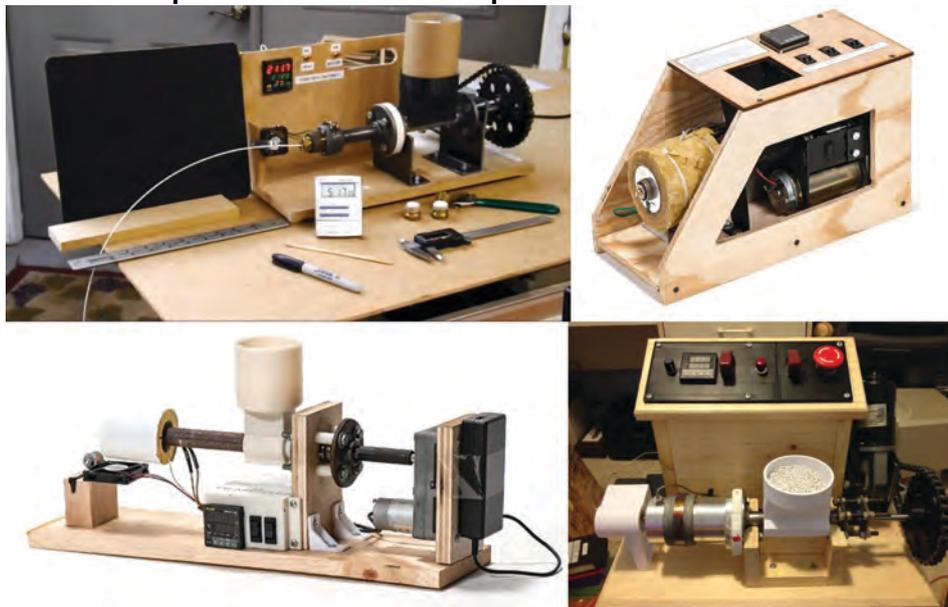
Figura 106 – Proteção do motor de baixo composto por madeira *Pinus Elliotti*.



FONTE: Elaborada pela Autora

A escolha pela aplicação de madeira tanto nas estruturas de proteção quanto nas peças iniciais da montagem está relacionada ao bom comportamento térmico do material. O emprego da madeira na estrutura de extrusoras, vem sendo comumente utilizada por diferentes desenvolvedores da comunidade *RepRap*, não só pelo comportamento térmico do material mas também pelo baixo custo de fabricação e reposição de peças, outro fator atraente na aplicação deste material no projeto. Alguns exemplos de modelos similares que utilizam madeira como material base da estrutura de extrusoras estão ilustradas na Figura 107.

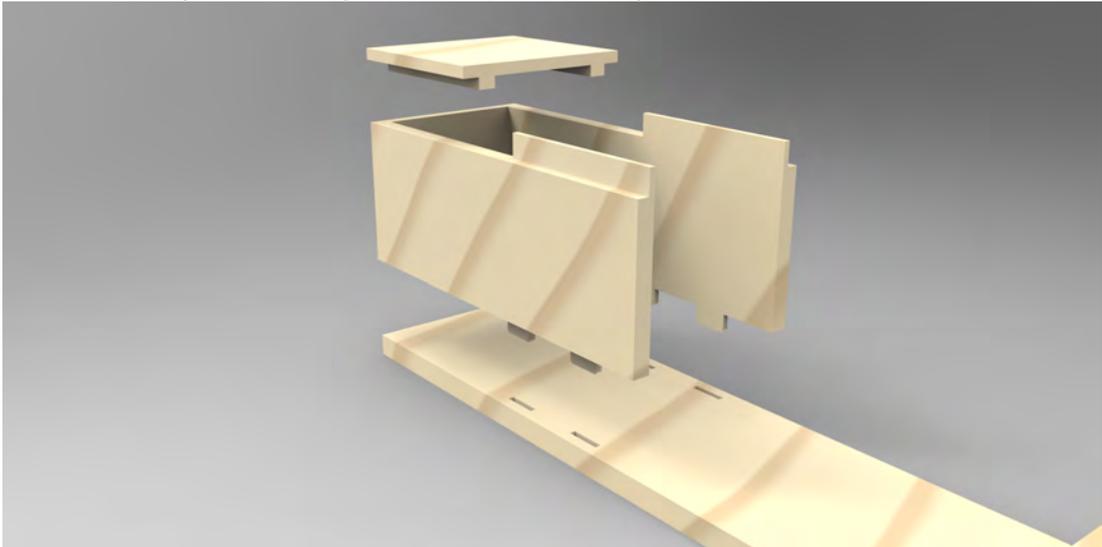
Figura 107 – Exemplos de modelos similares que utilizam madeira como base da sua estrutura.



FONTE: PINTEREST

A chapa de fundo da proteção do motor de baixo (Figura 106), onde são introduzidos os parafusos para fixação, possui recortes na sua superfície que proporcionam, junto a abertura existente no lado oposto da peça montada, uma corrente de ar que previne o superaquecimento do motor. Nas chapas laterais da proteção estão situados dois mecanismos de encaixe. O primeiro, localizado na base das chapas, realiza o encaixe das mesmas na base de madeira (Figura 108). As superfícies sobressalentes na parte superior destas chapas servem de apoio para a proteção acoplada do sistema de degasagem. Sob as chapas da proteção do motor é encaixado um tampo de madeira *Pinus Ellioti* que pode ser removido facilmente para a realização da manutenção do motor.

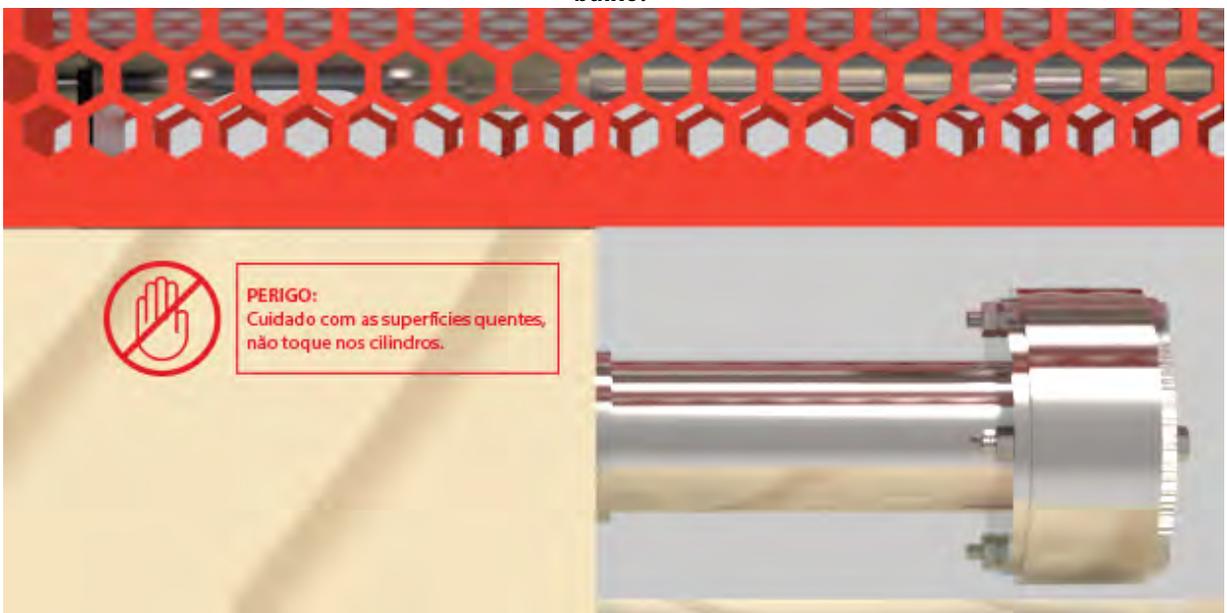
Figura 108 – Simulação da montagem das chapas da proteção do motor de baixo na base da extrusora.



FONTE: Elaborada pela Autora

Apesar da maior parte das superfícies dos cilindros estarem protegidas por estruturas que impeçam o contato acidental do operador com as superfícies quentes, está presente na face frontal da chapa lateral da proteção do motor de baixo, a sinalização de perigo que informa a importância de evitar o contato direto com os cilindros aquecidos durante a utilização do equipamento. Esta sinalização é ilustrado por serigrafia na superfície da chapa de madeira (Figura 109).

Figura 109 – Sinalização de perigo localizada na face frontal da chapa lateral da Proteção do motor de baixo.



FONTE: Elaborada pela Autora

A próxima peça apresentada é a proteção do motor de cima, que é composta por três chapas de madeira Pinus Elliotti de 15mm de espessura (Figura 110). Assim como a proteção do motor de baixo, as chapas deste conjunto são unidas entre si por meio de parafusos Allen B18.25M fixados na chapa dos fundos da estrutura. A fixação do conjunto na base ocorre através de encaixes presentes nas chapas lateral posterior e dos fundos, uma vez que a face lateral frontal não se estende até a superfície da base para fixação. Esta peça possui esta configuração para garantir o fácil acesso ao sistema de estiramento e a fácil manipulação do filamento extrusado.

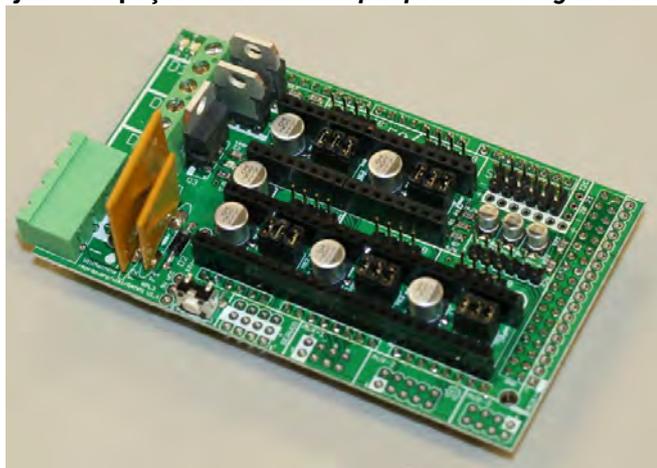
Figura 110 – Montagem da extrusora até o momento da introdução da proteção do motor de cima



FONTE: Elaborada pela Autora

A proteção do motor de cima, além de cumprir esta função serve como apoio de instalação do sistema elétrico e de controle do equipamento. O controle do equipamento é realizado por um conjunto de peças eletrônicas modulares intitulado R.A.M.P.S. (*RepRap Arduino Mega Polulu Shield*). O RAMPS, Figura 111, foi projetado para atender todas os requisitos elétricos necessários para o funcionamento de uma extrusora RepRap. O sistema inclui drivers de passo, um para cada motor da extrusora, montados em uma placa MEGA Arduino. Dentre as vantagens de utilização de um sistema de Arduino para o controle da extrusora estão a fácil manutenção e reposição de peças, além da capacidade de expansão e atualização simplificada.

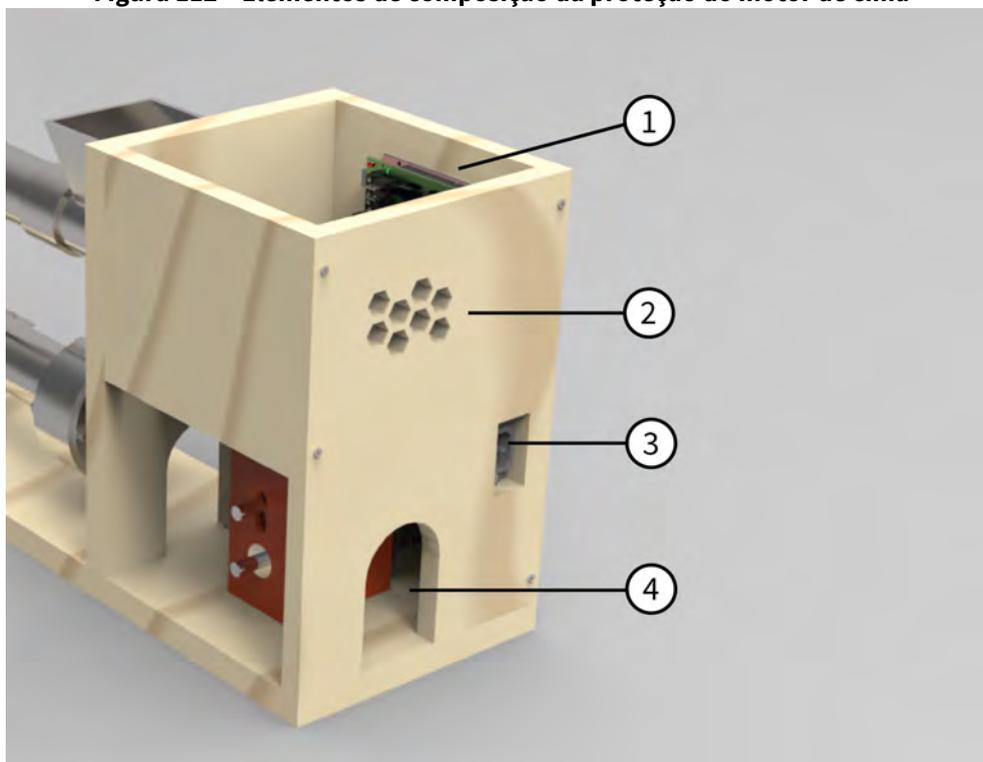
Figura 111 – Conjunto de peças eletrônicas RepRap Arduino Mega Polulu Shield (RAMPS).



FONTE: RepRap, 2015.

O conjunto de peças RAMPS está conectado a uma fonte de energia de 10A. As menores dimensões encontradas para fontes de energia com estas características é de 140 x 100 x 40mm (largura, comprimento e espessura). Esta fonte de energia está fixada na chapa dos fundos da proteção do motor de cima, assim como assinalado no item 3 da Figura 112. Este item sinaliza a saída da conexão da fonte de energia com o cabo de alimentação.

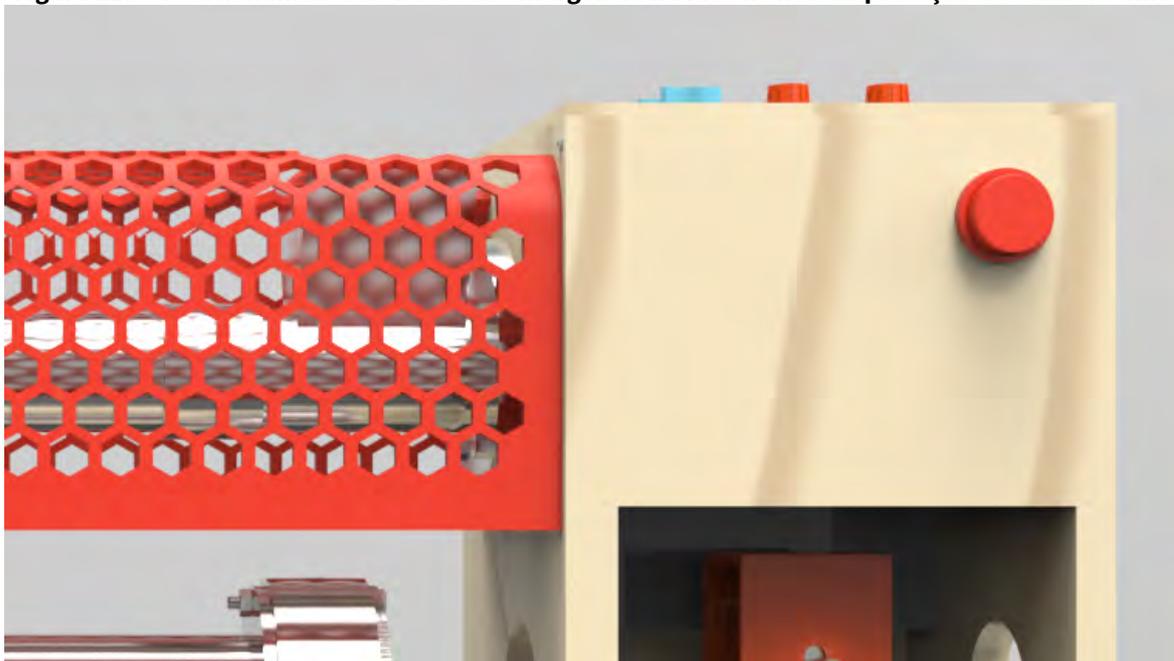
Figura 112 – Elementos de composição da proteção do motor de cima



FONTE: Elaborada pela Autora

O posicionamento do conjunto de peças eletrônicas RAMPS está sinalizado pelo Item1 da Figura 112. O Item2 indica as aberturas existentes na superfície da chapa de fundo da proteção, que possui a função de permitir uma corrente de ar na zona do motor, assim como na chapa de madeira dos fundos da proteção da caixa de motor de baixo. O Item 4 da imagem aponta a abertura existente na proteção que permite a saída do filamento após a sua introdução no sistema de estiramento. Também está presente nesta chapa frontal da proteção do motor de cima, o botão de emergência que possibilita a paralisação emergencial do equipamento por meio da desativação da alimentação energética (Figura 113). Este acionamento está posicionado nesta chapa frontal para garantir sua fácil localização além de assegurar a sua diferenciação em relação aos demais comandos presentes no painel de controle.

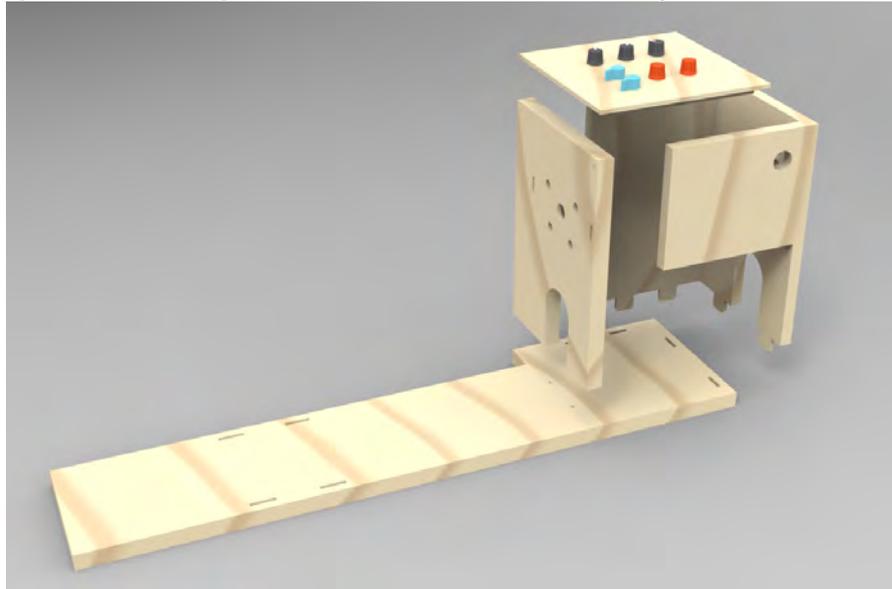
Figura 113 - Posicionamento do botão de emergência na face frontal da proteção da caixa de cima



FONTE: Elaborada pela Autora

Uma tampa de madeira *Pinus Elliotti* é encaixado no topo da proteção do motor de cima e serve como suporte para o painel de controle do equipamento (Figura 114).

Figura 114 – Montagem das chapas de madeira da proteção do motor de cima



FONTE: Elaborada pela Autora

O painel de controle possui sete botões de acionamento com funcionamento diferentes, identificados por cores e legendas (Figura 115).

Figura 115 – Painel de Controle da extrusora localizado na tampa da proteção do motor de cima



FONTE: Elaborada pela Autora

As dimensões dos botões presentes no painel de controle da extrusora e suas respectivas funções estão demarcadas na Tabela 25, abaixo.

Tabela 25 - Acionamentos presentes no Painel de controle da extrusora

Nome	Quantidade	Função	Dimensões	Cor
Botões de Acionamento	2	Acionamento do sistema de aquecimento e dos motores	20 x 35 mm	azul
Controles de velocidade	2	Controla das velocidades dos motores	20 x 20 mm	laranja
Controles de temperatura	3	Controle das temperaturas das resistências	20 x 20mm	cinza

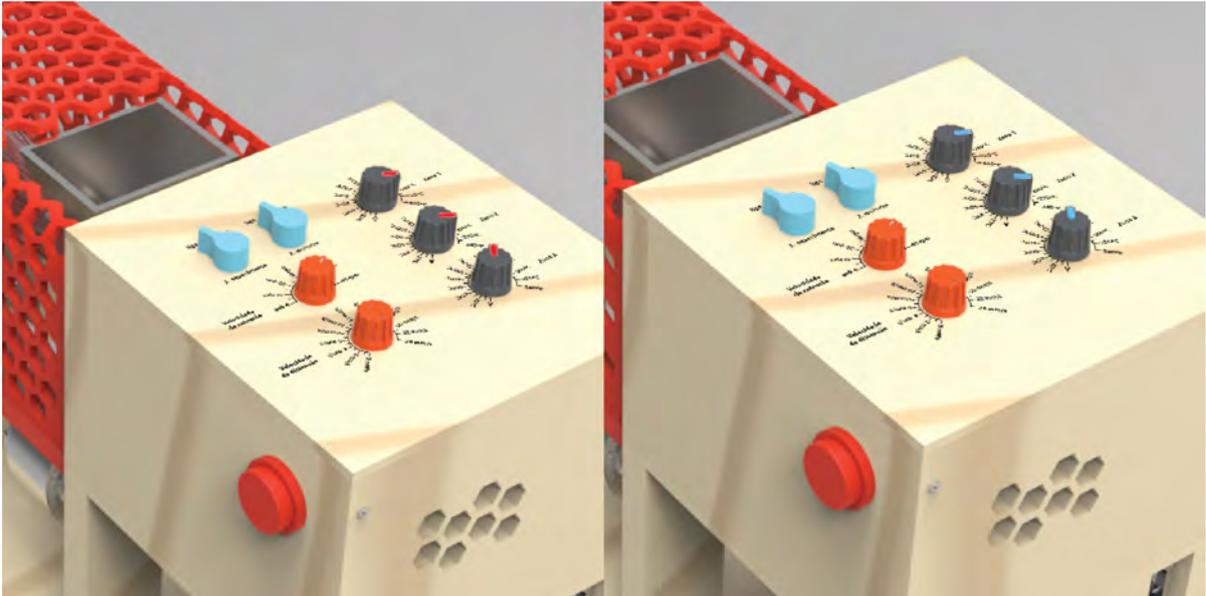
FONTE: Elaborada pela Autora

Os botões azuis em formato de gota são os botões de acionamento do sistema de aquecimento das resistências elétricas e dos três motores da extrusora. Na base destes acionamentos estão identificados as funções que eles iniciam por uma legenda escrita na tipografia Source Sans Pro, fonte 10.

Os controles de velocidade, em laranja servem para controlar a velocidade da extrusão, controlando os motores das roscas e a velocidade de distensão, controlando o motor do sistema de estiramento. A velocidade da extrusão pode ser configurada entre 0 e 60 rpm enquanto a velocidade do sistema de estiramento é controlado entre 0 e 24 mm/s. Se optou pela adoção destes dois parâmetros distintos para cada extrusora pois cada uma representa a unidade mais utilizadas respectivamente para as duas funções.

O controle das temperaturas é realizado por três botões que regulam a temperatura de cada uma três zona de aquecimento da extrusora. Além de regular as temperaturas de aquecimento, pequenos pontos luminosos de LED presentes no corpo destes botões indicam se as bandas de resistência elétrica já atingiram a temperatura desejada para processamento. Quando o sistema de equipamento é acionado, as luzes presentes nos botões irão se acender emitindo uma luz vermelha, indicando que o sistema está ligado, porém as temperaturas desejadas ainda não foram atingidas. Quando as temperaturas forem alcançadas este ponto luminoso irá mudar de cor, emitindo uma luz azul (Figura 116).

Figura 116 - Mudança cromático dos LEDS no controle de velocidade indicando o acionamento e o alcance da temperatura desejada

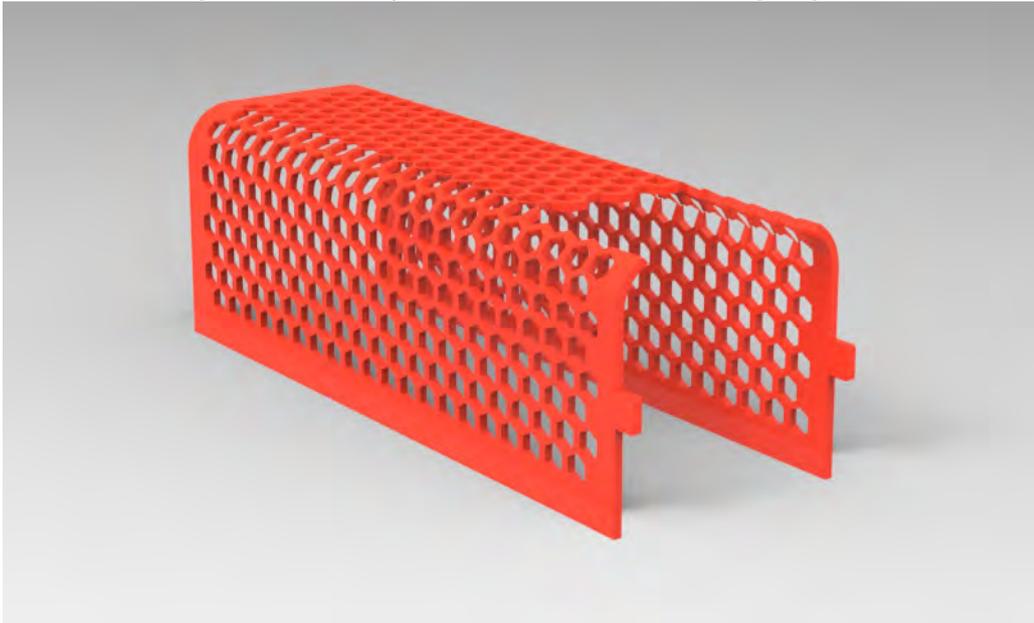


FONTE: Elaborada pela Autora

A última peça introduzida na extrusora é a proteção do sistema de degasagem, presente na Figura 117. Esta proteção é composta por uma peça polimérica de polipropileno com 5mm de espessura que se encaixa no corpo da estrutura central vertical da extrusora através de ressaltos na sua lateral e se posiciona apoiado em ressaltos presentes as chapas laterais da estrutura de proteção do motor de baixo. Possui um malha de padrão de recortes em hexágonos, com laterais de 8mm, que permitem a corrente do ar, mas impedem o contato direto do operador com o material fundido que está sendo transferido do primeiro trecho da extrusora para o segundo no sistema de degasagem. Devido ao ser sistema de encaixe simples, esta proteção auxilia no processo de manutenção do equipamento.

Optou-se pela aplicação de polipropileno no corpo da proteção pois este é um termoplástico que representa baixo custo de produção e moldagem, mas que possui alta resistência química e a fratura, além de uma boa estabilidade térmica. Devido a estas características este material é comumente incorporado no corpo de diferentes eletrodomésticos e equipamentos como máquinas de lavar louça, além de ser aplicado em auto peças como para-choques e carcaças de bateria.

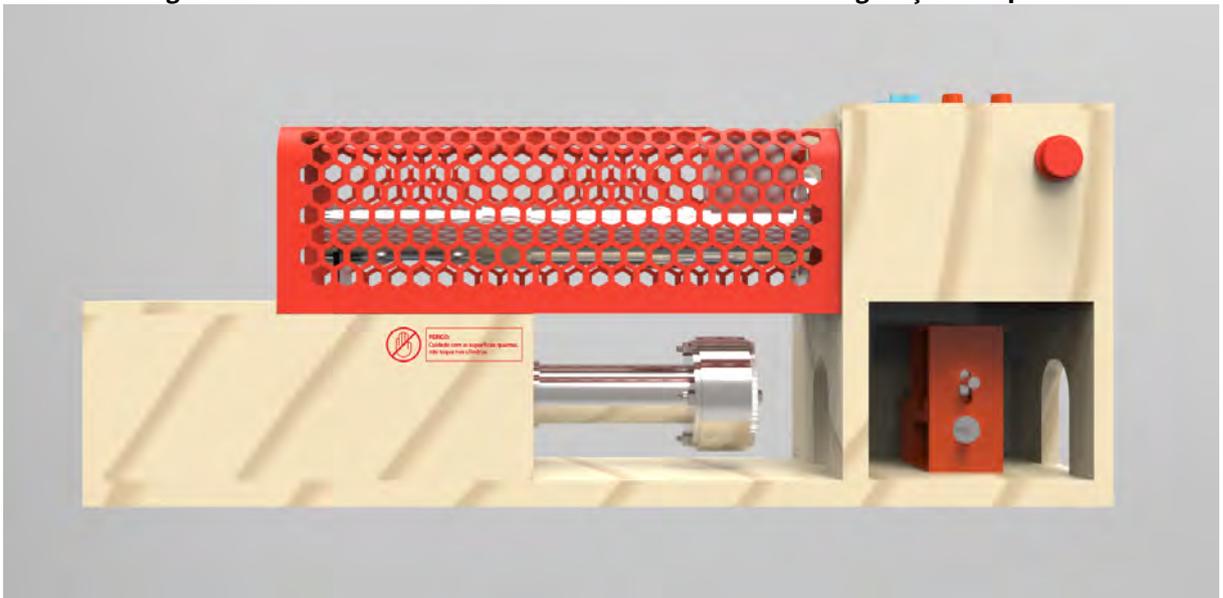
Figura 117 – Proteção acoplável do sistema de degasagem.



FONTE: Elaborada pela Autora

Na Figura 118, está representada a vista frontal da extrusora montada na sua configuração completa. Suas dimensões finais são 800 mm de comprimento x 200 mm de largura x 220mm de altura.

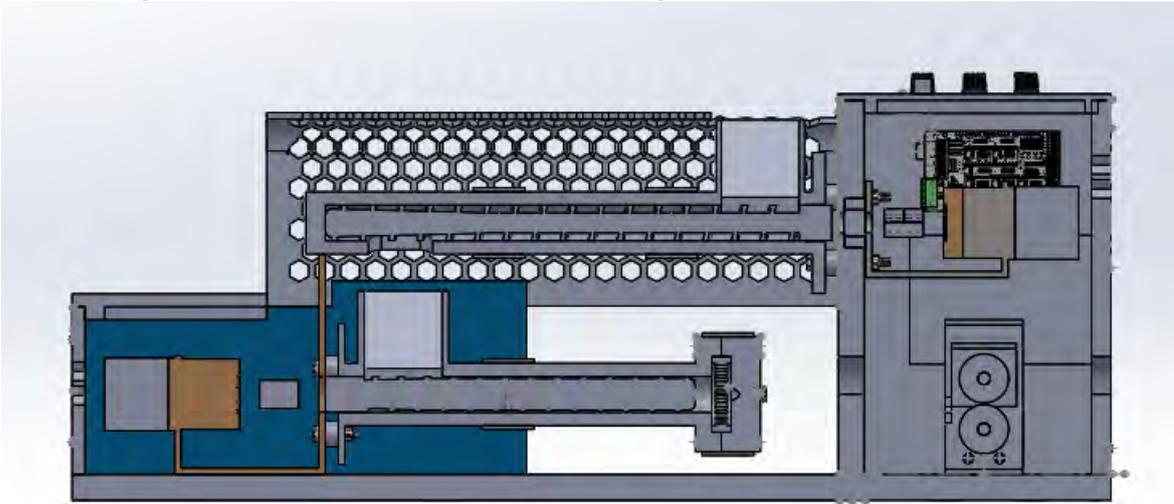
Figura 118 – Vista frontal da extrusora montada na sua configuração completa.



FONTE: Elaborada pela Autora

Na vista frontal fatiada, em uma secção ao centro das roscas da extrusora, é possível observar os elementos que compõem o funcionamento interno do equipamento e a sua composição como um todo (Figura 119).

Figura 119 – Vista frontal fatiada, em uma secção ao centro das roscas da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

Os desenhos técnicos dos componentes da extrusora, assim como a listagem de todas as peças do equipamento estão presentes no Apêndice C e D, respectivamente.

4.4.1. PROTÓTIPO TRIDIMENSIONAL

Após a modelagem virtual do equipamento, foi desenvolvido um protótipo tridimensional em virtude de conferir as dimensões formais do equipamento. O protótipo foi produzido utilizando chapas de compensado de madeira, tubos de PVC, parafusos e papelão. As chapas de compensado foram utilizadas para simular as estruturas de madeira *Pinus Elliotti* e a folha de papelão, pintada com verniz em spray vermelho, foi utilizada na confecção da proteção móvel do sistema de degasagem. Estas peças foram recortadas utilizando um equipamento de corte laser, presente em um estúdio de design fora do ambiente acadêmico. Os tubos de PVC foram pintados de prateado com tinta spray automotiva para simular a superfície metalizada dos cilindros das extrusoras. Parafusos foram utilizados para dar sustentação a estrutura. Nas Figura 120, 121 e 122 estão presente fotografias do resultado final da prototipagem tridimensional.

Figura 120 – Vista frontal do protótipo tridimensional da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

Figura 121 – Simulação da utilização do painel de controle da extrusora



FONTE: Elaborada pela Autora

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho sugeria a introdução do design no contexto dos catadores e recicladores no Brasil, buscando contribuir para o desenvolvimento ambiental, tecnológico e social destas comunidades através da criação de ferramentas alternativas de processamento de materiais que possibilitassem uma maior inserção destes indivíduos no mercado de reciclagem. Com a intenção de encontrar uma solução que atendesse este objetivo o projeto foi realizado em três grande blocos de atividades, que se mostraram muito distintas entre si. Estes blocos de atividades são representados pelos três últimos capítulos deste trabalho.

O capítulo de Investigação, tinha como finalidade a pesquisa e observação do contexto no qual se pretender intervir. Foram realizadas visitas, entrevistas e pesquisas junto aos centros de triagem, empresas recicladoras, especialistas e desenvolvedores. Nesta etapa foi possível compreender o potencial transformador que associações como o Centro de Triagem da Vila Pinto exercem dentro de sua comunidade, confirmando a importância de desenvolver projetos voltados para este público.

No capítulo seguinte, Análise, foram realizadas caracterizações de materiais presentes nos resíduos sólidos e ensaiados processos alternativos para o beneficiamento dos mesmos. Este estudo foi realizado majoritariamente dentro da estrutura dos laboratórios LdSM e LAPOL da UFRGS, o que retratou uma etapa muito próxima ao universo de seleção e engenharia de materiais. Sem a infraestrutura disposta pelo laboratório a realização dos ensaios e análises não seria possível.

O último capítulo deste trabalho, caracterizado pelo desenvolvimento de uma ferramenta alternativa de processamento de materiais, assim como fora proposto no início deste trabalho, foi o resultado da afluência entre todos os conceitos argumentados nos capítulos anteriores. Uma maior compreensão do comportamento destes materiais foi essencial para o desenvolvimento de um equipamento que correspondesse às necessidades dos centros de triagem, propondo uma possibilidade de produção viável.

A inovação tecnológica muitas vezes não é designada à geração de novas tecnologias e conceitos, e sim à adaptação de tecnologias existentes, propondo novas aplicações mais inclusivas e solidária. Neste âmbito, as comunidades virtuais, como os

fóruns RepRap, Appropedia e Thingiverse tem um papel fundamental na catalização destas informações, que devido ao ser caráter *open-source* e a constante troca de conhecimentos entre os usuário, gera uma maior democratização destas tecnologias.

Quanto uma possível implementação deste equipamento e a produção dos filamentos éticos para impressão 3D, se mostra necessária a realização de maiores estudos em relação as demais etapas existentes neste processo produtivo. Este trabalho tinha como escopo a investigação aprofundada de uma das etapas necessárias para a produção de filamentos que carecia de soluções adequadas. Em relação ao conhecimento gerado e a solução encontrada para esta etapa, o projeto atingiu o seu propósito. Porém para a implementação de um processo de produção é indispensável o aprimoramento de conceitos quanto ao sistema de lavagem, secagem e aglutinação dos resíduos.

5. REFERÊNCIAS

+ACUMEN. **HCD Workshop: An introduction to Human-Centered Design**. 2013. Disponível em: <http://plusacumen.org/wp-content/uploads/2013/07/Week1_readings.pdf>. Acesso em 17 de Setembro, 2014.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Edição Especial de 10 anos. São Paulo: 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8849/85**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos. São Paulo, 1985.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação dos Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABREU, Luiza Bezamat de e PALHARES, Maria Claudia. **O destino do lixo**. [S.l.: s.n.], 2010.

ALMEIDA, S. R. Et al. **Meio Ambiente e Sacolas Plásticas**: A atitude do cliente do varejo na cidade de São Paulo. In: SEGET, Dom Bosco, 2008. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos08/343_Sacola_Plasticas.pdf>. Acesso em 15 de Outubro, 2014.

APPROVEDIA. **Plastic Bank Extruder v1.0**. Disponível em: <http://www.appropedia.org/Plastic_Bank_Extruder_v1.0>. Acesso em 15 de Março, 2015.

ASTM – *American Society for Testing Materials*. **ASTM D638-15 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic**. West Conshohocken: ASTM International, 2014.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**: Guia prático para o design de novos produtos. 2ª. Edição. São Paulo: Blucher, 2000.

BOEIJEN, A. V. et al. **Delft Design Guide**. Amsterdam: BIS Publishers, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional **de Resíduos Sólidos**. Brasília: Agosto de 2010a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília: Dezembro, 2010b.

BUREAU BAGGERMAN. Site oficial da designer Michelle Baggerman. **Precious Waste**. Disponível em: <<http://www.bureaubaggerman.nl/>>. Acesso em 10 de Novembro, 2014.

CAMBRIDGE NETWORK. **CES Selector**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.cambridgenetwork.co.uk/directories/companies/368/products/845/>>. Acesso em 10 de Novembro, 2014.

CANEVAROLO Jr, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

CANEVAROLO, Jr, Sebastião V. **Técnicas para a Caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2003.

CARDOSO, Rafael. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Blucher, 2008.

CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

CARNIATTO, I. V. e CHIARA, E. **Design nas Iniciativas de Economia Solidária: O Confronto da Experiência brasileira e italiana**. Estudos em Design, Volume 16.1. Rio de Janeiro: 2009.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **CEMPRE Review 2013**. São Paulo, 2013.

CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagem. **Simbologia de Reciclagem para laminados de BOPP**. Relatório CETEA A219-1/08. Campinas, 20 de Janeiro de 2009. Disponível em: <<http://bagarai.com.br/wp-content/uploads/2010/07/Laudo-Cetea.pdf>>. Acesso em 1 de Novembro, 2014.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. **Livro verde sobre a política integrada relativo aos produtos**. Bruxelas, Fevereiro de 2001.

CUCULA. Site oficial da Associação Cucula. Disponível em: <<http://www.cucula.org/>> Acessado em: 20 de Novembro, 2014.

CURTIS, Maria do Carmo. **Palestra sobre Design Social**. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2014. (Comunicação Verbal).

DMLU – Departamento Municipal de Limpeza Urbano. **Coleta Seletiva**. Desenvolvido pela Prefeitura de Porto Alegre. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/default.php>>. Acesso em 20 de Outubro 2014.

DOS SANTOS, Maria Cecília Loschiavo. **Consumo, descarte, catação e reciclagem: notas sobre design e multiculturalismo**. T&C Design - Cadernos de Estudo Avançado em Design, Caderno 1, v. 1. São Paulo: UEMG, 2008.

EPSTEIN, Dan *et al.* **Oficina Pegada de Carbono**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Agosto, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/255/arquivos/2_o_que_e_pegada_de_carbono_255.pdf>. Acesso em 11 de Novembro, 2014.

ETHICAL FILAMENT FOUNDATION. Site oficial da Fundação dos Filamentos Éticos. Disponível em: <<http://www.ethicalfilament.org/>>. Acesso em 5 de Março de 2015.

FADINI, Pedro Sérgio e FADINI, Almerinda Antônia Barbosa. **Lixo: desafios e compromissos**. Caderno temático de Química Nova na Escola, 2011.

FAIRTRADE FOUNDATION. Site oficial da *Fairtrade Foundation*. Disponível em: <<http://www.fairtrade.org.uk/>>. Acesso em 7 de Março de 2015.

FEELEY, S. R. *et al.* **Evaluation of Potential Fair Trade Standards for an Ethical 3D Printing Filament**. *Journal of Sustainable Development* Vol.7 Nº5. *Canadian Center of Science and Education*.

14 de Setembro de 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5539/jsg.v7n4p1>>. Acessado em: 5 de Março de 2015.

FILABOT. Site oficial da extrusora Filabot. Disponível em: <<http://www.filabot.com/>>. Acesso em 19 de Maio, 2015.

FORLIN, F. J. e FARIA, J. A. F. **Considerações sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas.** Polímeros: Ciência e Tecnologia. Campinas, vol.12, Dezembro de 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876.pdf>>. Acesso em 3 de Novembro, 2014.

FREITAS, L. F. S.; FONSECA, I. F. **Catadores.** Caderno de Diagnóstico. Brasília, DF: IPEA, 2011.

G-LISH FOUNDATION. Site oficial da Fundação G-lish. Disponível em: <<http://g-lishfoundation.myshopify.com/>>. Acesso em 10 de Novembro, 2014.

GIUDICE, F.; ROSA, G.L.; RISITANO, A. **Product Design for the environment: a life cycle approach.** CRC Press, 2006 apud GOMES, Daniel Duarte Townsend de Carvalho. **O r em design: a reutilização aplicada ao design.** 2011, 104p. Dissertação (Mestrado em Design Industrial) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2011.

GOLÇALVES, C.L. **Definindo a questão do lixo urbano: Consumo, Lixo e Meio Ambiente.** Edição Especial. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1997. apud FADINI, Pedro Sérgio e FADINI, Almerinda Antônia Barbosa. **Lixo: desafios e compromissos.** 2011.

G1. **Justiça decide que lei que proíbe sacolinhas plásticas é constitucional.** São Paulo, 7 de Novembro de 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2014/10/justica-decide-que-lei-que-proibe-sacolinhas-plasticas-e-constitucional.html>>. Acesso em 7 de Novembro, 2014.

GOMES, Daniel Duarte Townsend de Carvalho. **O r em design: a reutilização aplicada ao design.** 2011, 104p. Dissertação (Mestrado em Design Industrial) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2011.

GRIMBERG, Elisabeth. **Coleta seletiva com inclusão social: Fórum Lixo e cidadania na Cidade de São Paulo.** Experiências e desafios. São Paulo: Instituto Polis, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** Brasil, 2000 apud GRIMBERG, Elisabeth. **Coleta seletiva com inclusão social: Fórum Lixo e cidadania na Cidade de São Paulo.** Experiências e desafios. Instituto Polis. São Paulo, 2007.

IDEO. **Human-Centered Design Toolkit.** 2ª Edição, 2009. Disponível em: <http://www.ideo.com/images/uploads/hcd_toolkit/IDEO_HCD_ToolKit.pdf>. Acesso em 17 de Setembro, 2014.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: Diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores.** Comunicados do Ipea N°145. Brasília, 25 de Abril de 2012. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/>>. Acesso em 6 de Outubro 2014.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pesquisa sobre Pagamentos por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. (Relatório de pesquisa)

KICKSTARTER. **Filabot: Plastic Filament Maker**. 2011. Disponível em: <<https://www.kickstarter.com/projects/rocknail/filabot-plastic-filament-maker>>. Acesso em: 19 de Maio, 2015.

KRIEGER, M. *et al.* **Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Recycling of Post-consumer High Density Polyethylene for 3-D Printing Filaments**. *Journal of Cleaner Production*, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.009>>. Acessado em: 5 de Março de 2015.

KUMAR, Vijay. **101 Design Methods: A structured approach for driving innovation in your organization**. Chicago: Wiley, 2012.

LAPOL – Laboratório de Materiais Poliméricos. **Processamento de Polímeros I: 4.9 Matrizes de Extrusão**. UFRGS: Porto Alegre, [s.d.]. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/lapol/processamento/l_49b.html>. Acesso em 20 de Maio, 2015.

LAURA MARSDEN LACE. Site oficial da designer Laura Anne Marsden. Disponível em: <<http://www.lauramarsdenlace.com/>>. Acesso em 10 de Novembro, 2014.

LISBOA, Cassiano Pamplona *et al.* **Estudo do Perfil Sócio-educacional da População de Catadores de Materiais Recicláveis Organizados em Cooperativas, Associações e Grupos de Trabalho**. Porto Alegre, 2009. (Relatório Parcial de pesquisa).

MALGOSIA KALINSKA. Site oficial da artista Gretel Kalińska. Disponível em: <<http://www.kalinska.pl/index.php>>. Acesso em 13 de Novembro, 2014.

MANRICH, Silvio. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber Editora, 2005.

MAYA PEDAL. Site oficial do projeto Maya Pedal. Disponível em: <<http://www.mayapedal.org/>> Acessado em: 20 de Novembro, 2014.

MOMENTO AMBIENTAL. **Isopor**. Publicado em 30 de Abril, 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dX87hl-PVLI&spfreload=10>>. Acesso em 4 de Novembro 2014.

MUSSARA, Fabíola. **Supermercados paulistas dizem não às sacolas plásticas**. Revista Planeta, Edição 465, Junho de 2011. Disponível em: <<http://revistaplaneta.terra.com.br/secao/meio-ambiente/supermercados-paulistas-dizem-nao-as-sacolas-plasticas>>. Acesso em 4 de novembro, 2014.

NETO, H. H. P. *et al.* **Sacolas Plásticas: Consumo Inconsciente**. Perspectiva Online: Ciências, Biológicas e da Saúde. Campos dos Goytacazes, 2011.

PINTEREST. Site de busca de pesquisa por imagens. Disponível em: <www.pinterest.com>.

PLASTIC BANK. **Plastic Bank Extruder Assembly Guide**. 29 de Setembro 2014. Disponível em: <http://www.appropedia.org/File:Plastic_Bank_Extruder_Assembly_Guide-f.pdf>. Acesso em 15 de Março, 2015.

PLASTIC BANK. **Extruder**. Disponível em: <<http://plasticbank.org/extruder/>>. Acesso em 15 de Março, 2015.

PLASTIVIDA. Pesquisa IBOPE Inteligência. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/sacolas/_pdf/PesquisaIBOPE.pdf> Acesso em 5 de Novembro, 2014.

PLASTIVIDA. **Projeto Repensar Isopor®**. 2009. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/Isopor_Reciclagem.aspx>. Acesso em 4 de Novembro 2014.

PLASTIVIDA. **Brasil reduz desperdício em mais de 800 milhões de sacolas plásticas em 2012**. São Paulo, Março de 2013. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/pdfs/releases/Release_079_Brasil_reduz_desperdicio_em_mais_de_800_milhoes_de_sacolas_plasticas_em_2012.pdf>. Acesso em 4 de Novembro 2014.

PORTO ALEGRE (Município). Lei nº 10.531, de 10 de Setembro de 2008. Institui o Programa de Redução Gradativa do Número de Veículos de Tração Animal e de Veículos de Tração Humana e dá outras providências. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre**, Porto Alegre, 10 mar. 2008.

PRECIOUS PLASTIC. Site oficial do Projeto Precious Plastic. Disponível em: <<http://www.preciousplastic.com/>> . Acesso em 20 de Novembro, 2014.

PROUST, Marcel. **No Caminho de Swann**: Em Busca do Tempo Perdido. Tradução: Mario Quintana. 3ª. Edição. São Paulo: Globo, 2006.

QUARTIM, Elisa. **Dica Sustentável**: Rotulagem e símbolos de reciclagem. Postado em 02 de Setembro de 2010. Disponível em: <<http://embalagensustentavel.com.br/2010/09/02/dica-rotulagem-reciclagem/>> . Acesso em 1 de Novembro, 2014.

QUARTIM, Elisa. **Embalagens Metalizadas Flexíveis**. Postado em 18 de Junho 2012. Disponível em: <<http://embalagensustentavel.com.br/2012/06/18/embalagens-metalizadas-i/>>. Acesso em 1 de Novembro, 2014.

REDE SOCIAL BRASILEIRA POR CIDADES JUSTAS E SUSTENTÁVEIS. **Guia para a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos nos municípios brasileiros de forma efetiva e inclusiva**. São Paulo: Programa Cidades Sustentáveis, Abril de 2013.

REPRAP FORUM. **Melting Point?** Dezembro de 2009. Disponível em: <<http://forums.reprap.org/read.php?1,31772,31789>>. Acesso em 1 de Junho, 2014.

REPRAP. **RAMPS 1.4**. Modificação mais recente em 27 de Junho, 2015. Disponível em: <http://www.reprap.org/wiki/RAMPS_1.4>. Acessado em: 27 de Junho, 2015.

SANTOS, Cassandra D.M. **Avaliação de uma Tecnologia Social de Reciclagem Mecânica de Plásticos Implantada na cidade de Dois Irmãos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Química) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/100165>>. Acesso em 2 de Novembro de 2014.

SINGER, P. **Economia Solidária no Brasil**. S/L: Contexto, 2003 apud CARNIATTO, I. V. e CHIARA, E. **Design nas Iniciativas de Economia Solidária: O Confronto da Experiência brasileira e italiana**. Estudos em Design, Volume 16.1. Rio de Janeiro: 2009.

STEPPERONLINE. **Nema 23 Stepper Motors**. Disponível em: <<http://www.omc-stepperonline.com/gear-ratio-151-planetary-gearbox-nema-23-geared-stepper-motor-23hs222804spg15-p-146.html>>. Acesso em 2 de Junho 2015.

STUDIO SWINE. Site oficial do Studio Swine. **Sea Chair**. Disponível em: <<http://www.studioswine.com/sea-chair>>. Acesso em 15 de Outubro, 2014.

STUDIO SWINE. Site oficial do Studio Swine. **Can City**. Disponível em: <<http://www.studioswine.com/can-city>>. Acesso em 15 de Outubro, 2014.

TETRAPAK. Site oficial da Tetrapak do Brasil Ltda. 2014. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com/br/reciclagem>>. Acesso em 3 de Novembro, 2014.

THE 3DOODLER. Site oficial da marca 3doodler. **Pen and Accessories**. Disponível em: <<http://the3doodler.com/>>. Acesso em 29 de Maio, 2014.

THE METHOD CASE. **Everything you buy is rubbish**. 25 de Abril, 2014. Disponível em: <<http://www.themethodcase.com/everything-buy-rubbish/>> Acesso em 20 de Setembro, 2014.

THEPOLYFLOSSFACTORY. Site oficial do projeto Polyfloss Factory. Disponível em: <<http://www.thepolyflossfactory.com/>>. Acesso em 20 de Novembro, 2014.

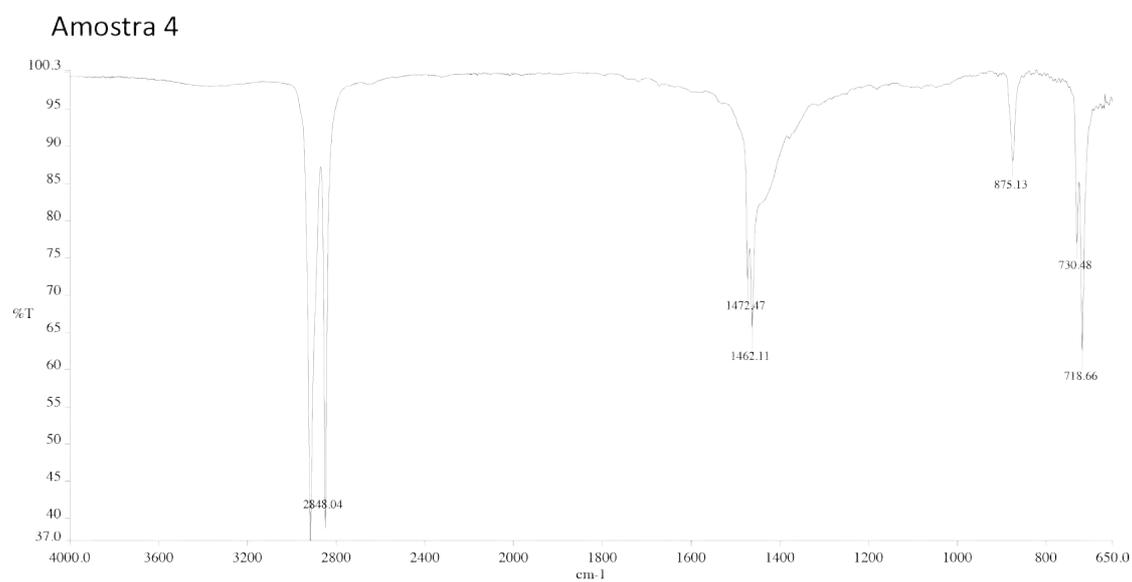
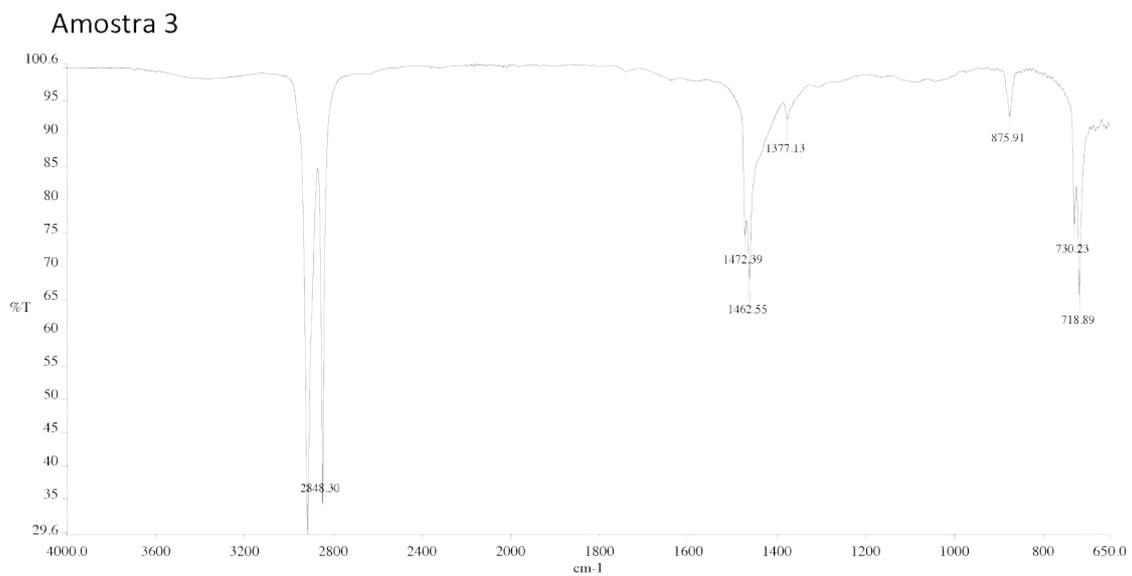
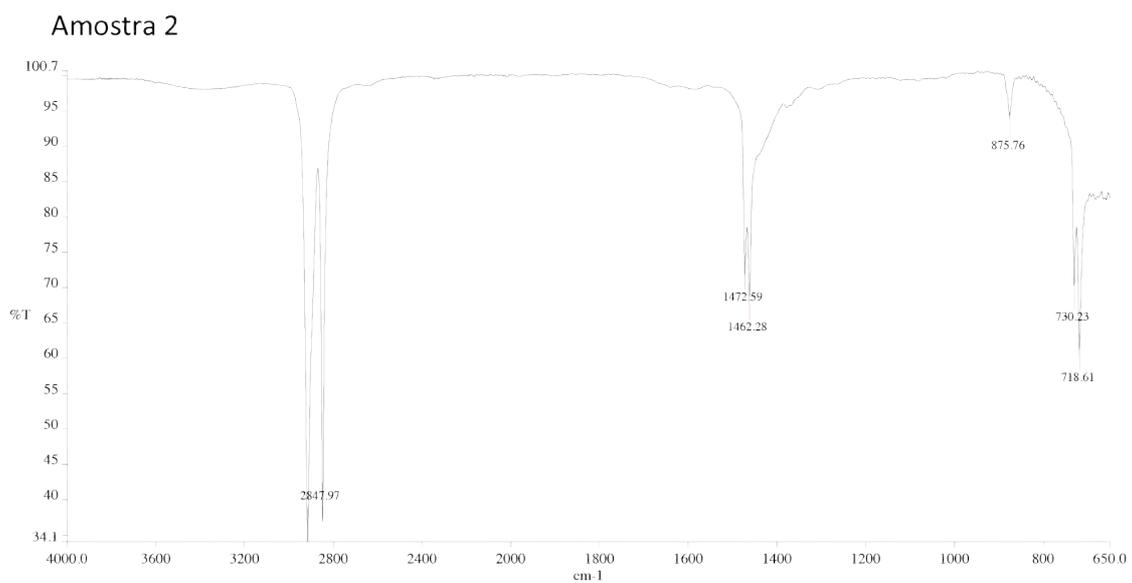
THINGIVERSE. Site oficial da comunidade *Makerbot*[®] Thingiverse. Disponível em: <<http://www.thingiverse.com/>>. Acesso em 27 de Maio, 2015.

THINGIVERSE. **Lyman/Mulier Filament Extruder V5**. Julho de 2014. Disponível em: <<http://www.thingiverse.com/thing:380987>>. Acesso em 27 de Maio, 2015.

VALIMPLAST. **Serviços**. Disponível em: <<http://www.valimplast.com.br/servico.htm>>. Acesso em 17 de Março, 2015.

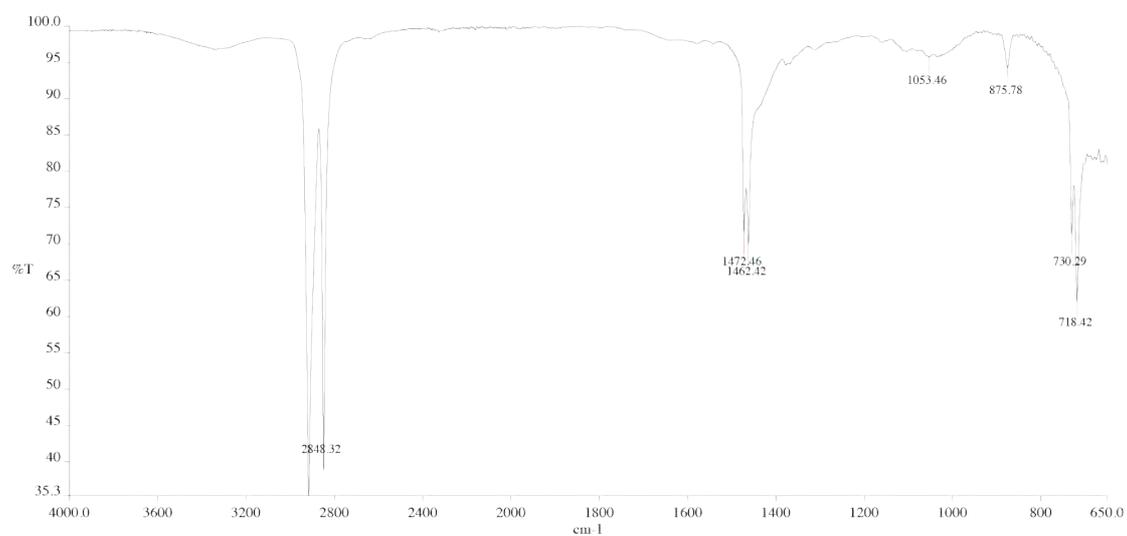
Apêndice A – Parte 1

Gráficos dos espectros de absorção no infravermelho das amostras de sacolas plásticas

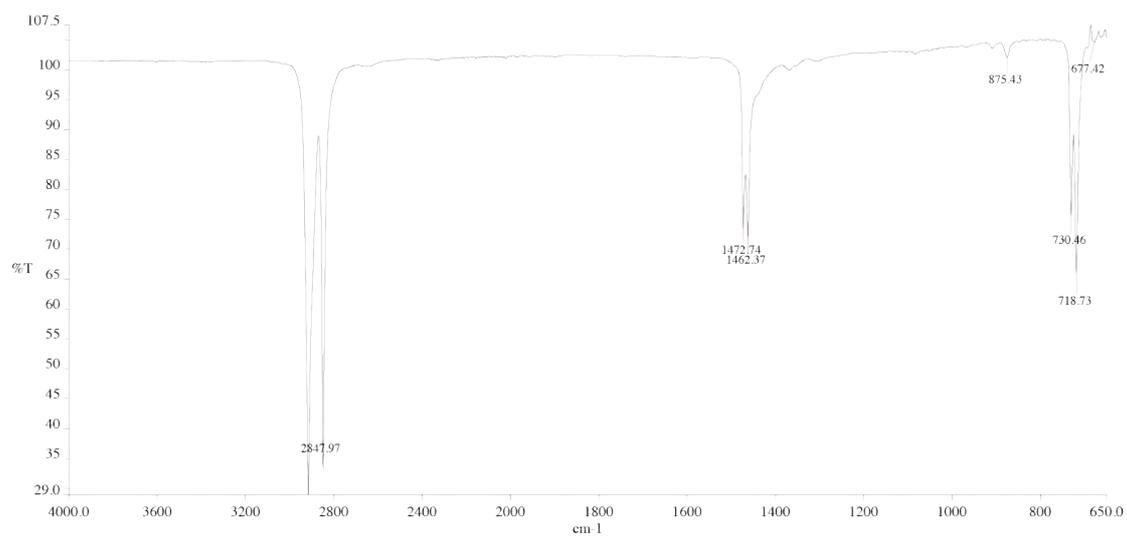


Apêndice A – Parte 2

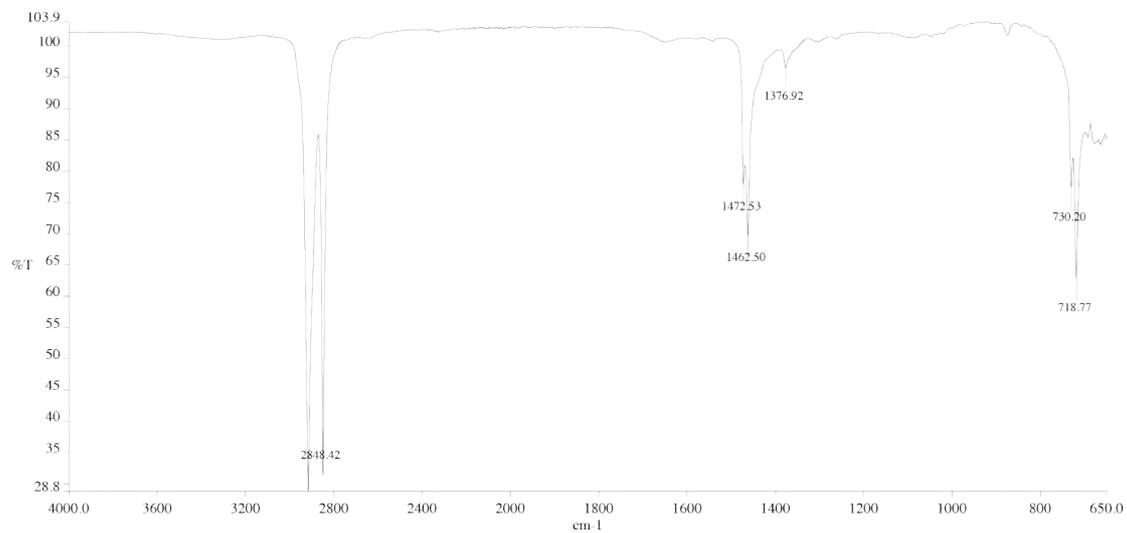
Gráficos dos espectros de absorção no infravermelho das amostras de sacolas plásticas
Amostra 5



Amostra 6



Amostra 7



Apêndice B – Ensaio de Tração

Data do Ensaio: 22/05/2015

Modo do Ensaio: Simples

Tipo de

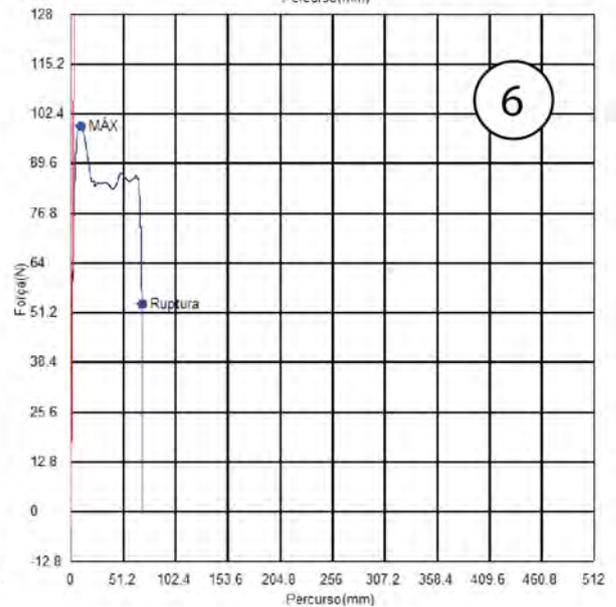
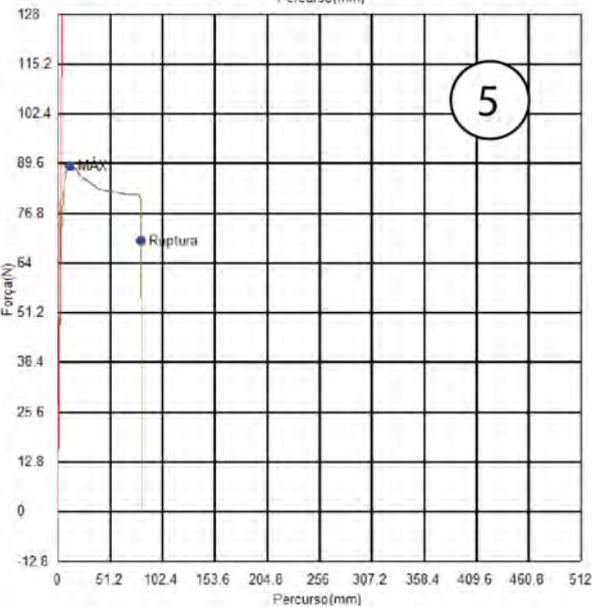
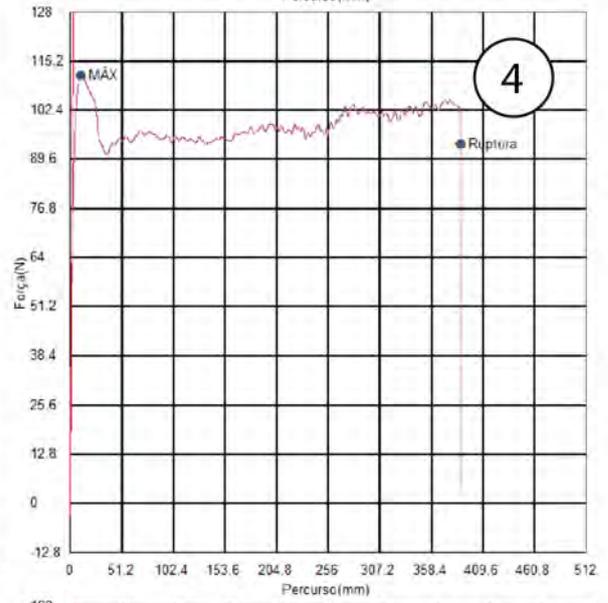
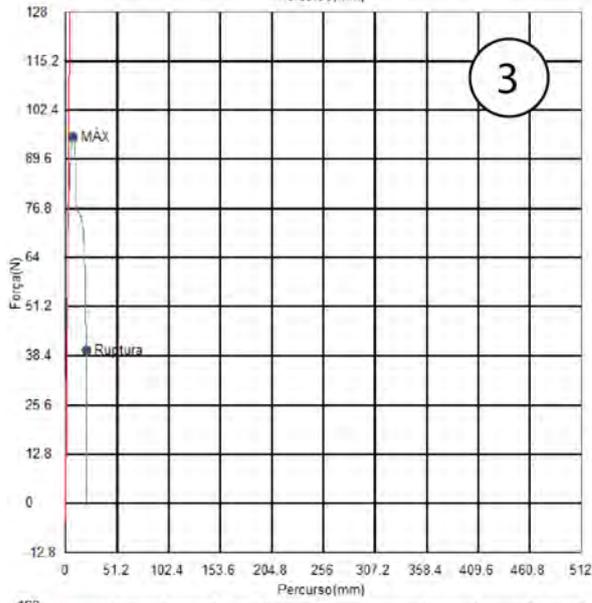
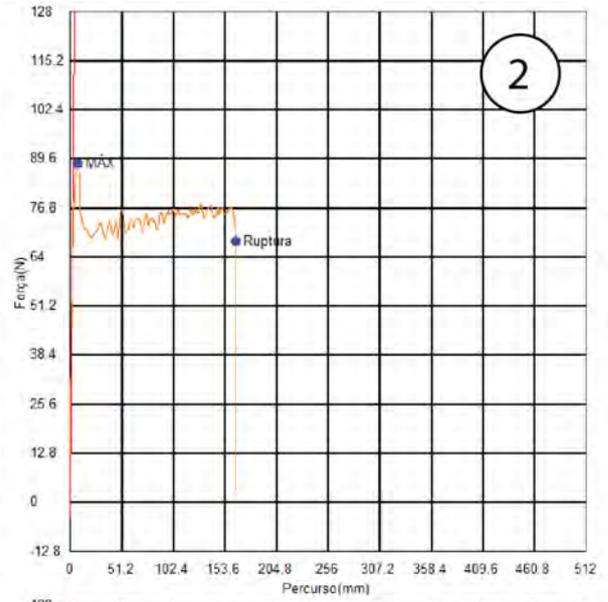
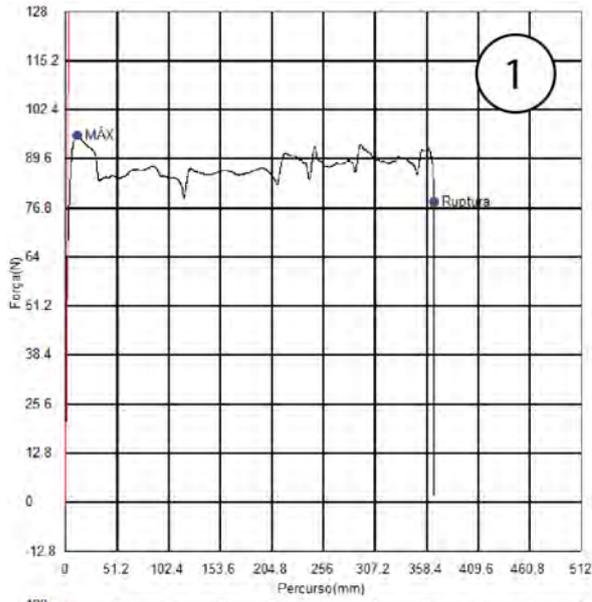
Ensaio: Tração

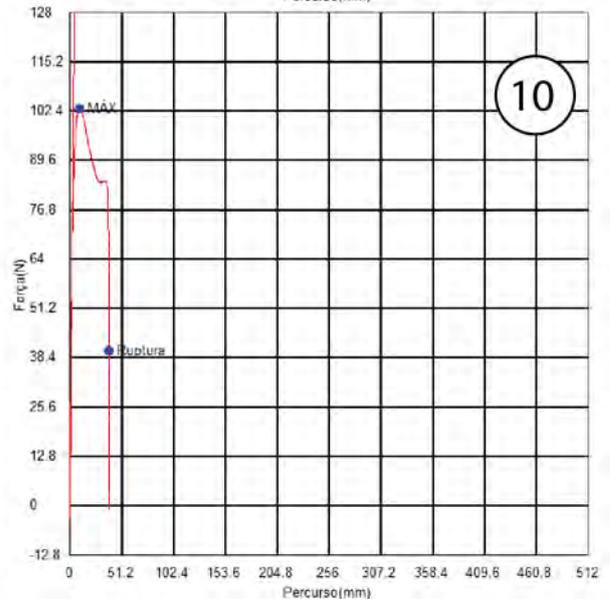
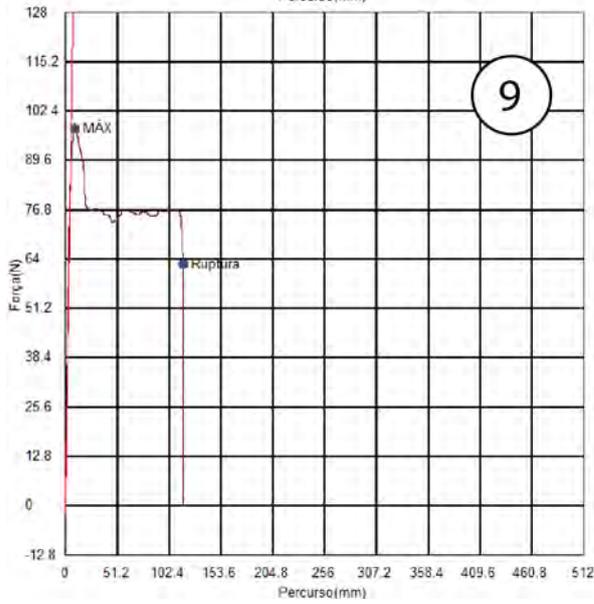
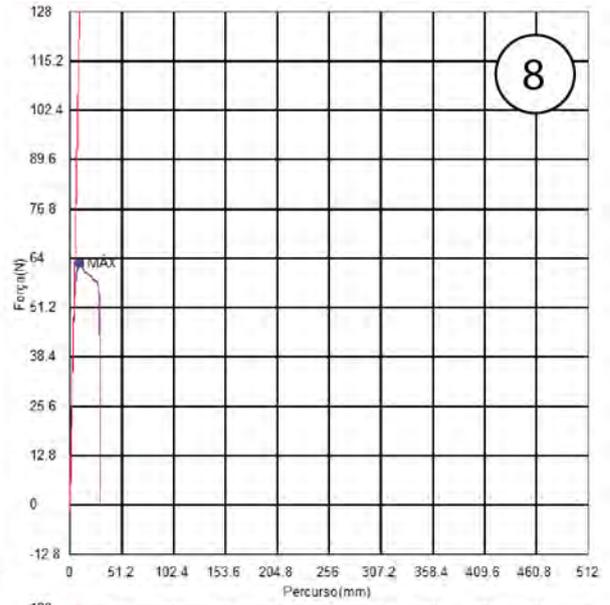
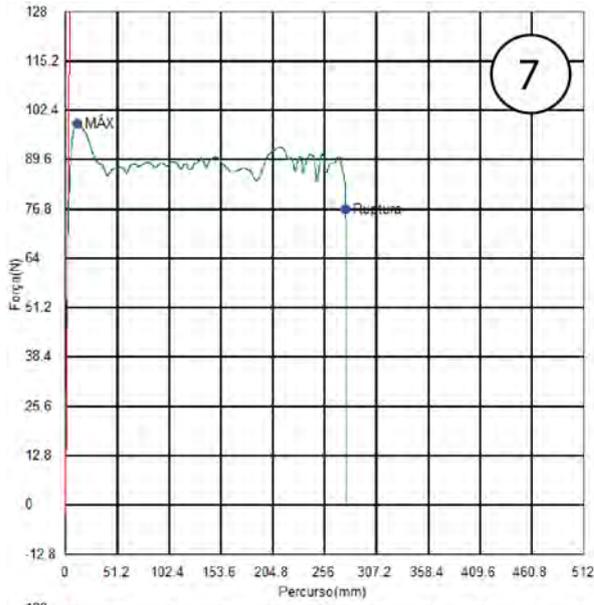
Velocidade: 100mmmin

Placa: Fio

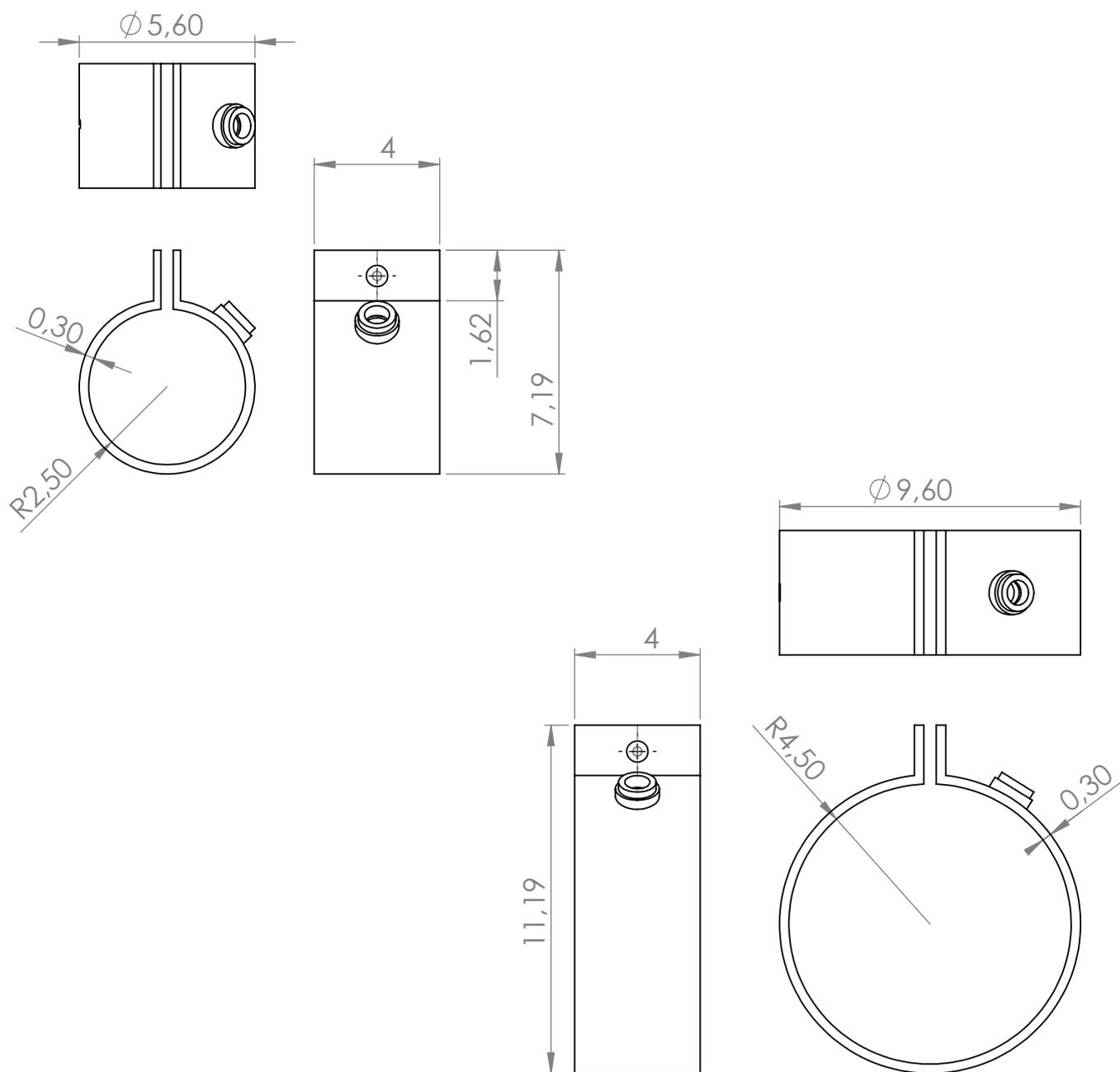
Nome	Ruptura Força	Ruptura Tensão	Ruptura Deslocamento	Máx_Força	Máx_Tensão
Parâmetros	Sensibilidade: 10	Sensibilidade: 10	Sensibilidade: 10	Cálculo de áreas completas	Cálculo de áreas completas
Unidades	N	N/tex	mm	N	N/tex
1_10	40.0615	10.8274	39.0890	103.049	27.8512
2_10	62.5785	16.9131	116.439	97.7866	26.4288
3_10	-.-	-.-	-.-	62.6119	16.9221
4_10	76.6110	20.7057	277.256	98.7879	26.6994
5_10	53.4757	14.4529	69.8223	99.2505	26.8245
6_10	69.6953	18.8366	81.9891	88.9627	24.0440
7_10	93.4370	25.2533	387.922	111.349	30.0942
8_10	39.9431	10.7954	20.8720	95.4247	25.7905
9_10	68.1281	18.4130	164.822	88.2498	23.8513
10_10	78.4048	21.1905	366.139	95.7743	25.8850
Média	64.7039	17.4876	169.372	94.1246	25.4391
DesvioPadrão	16.8083	4.54280	132.294	12.8943	3.48496
Faixa	53.4939	14.4579	367.050	48.7371	13.1721

Máx_Deslocamento	Nome	Yp(%FS)_Força	YP(%FS)_Força	Yp(%FS)_Deslocamento	Elástico
Cálculo de áreas completas	Parâmetros	0,1 %	0,1 %	0,1 %	Força 10-20N
mm	Unidades	N	N/tex	mm	N/tex
9.72188	1_10	-.-	-.-	-.-	549.950
9.62238	2_10	-.-	-.-	-.-	334.656
10.1889	3_10	-.-	-.-	-.-	252.994
11.8221	4_10	-.-	-.-	-.-	596.828
9.37238	5_10	-.-	-.-	-.-	719.012
12.0558	6_10	-.-	-.-	-.-	561.066
11.3888	7_10	-.-	-.-	-.-	697.320
8.15550	8_10	-.-	-.-	-.-	686.749
8.05563	9_10	-.-	-.-	-.-	688.757
11.5886	10_10	-.-	-.-	-.-	704.859
10.1972	Média	-.-	-.-	-.-	579.219
1.46978	DesvioPadrão	-.-	-.-	-.-	163.492
4.00017	Faixa	-.-	-.-	-.-	466.018





Apêndice C - Desenhos Técnicos

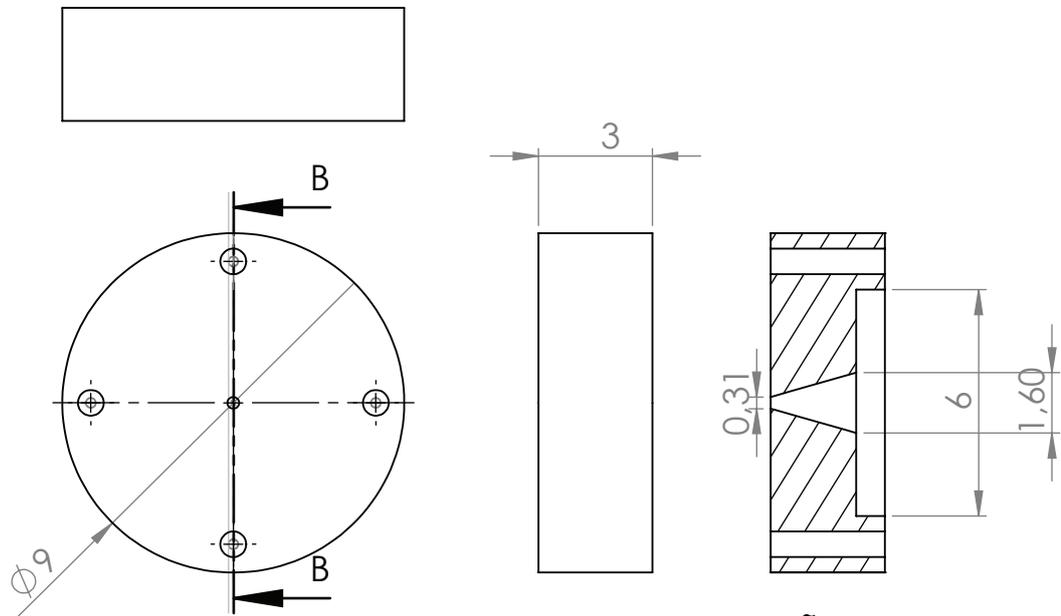


Componentes: bandas de aquecimento

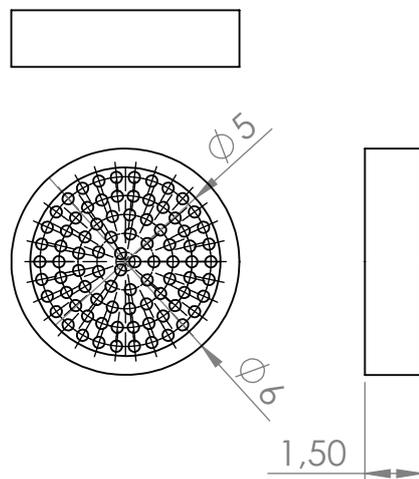
Unidade: centímetros

Escala: 1:2

Apêndice C - Desenhos Técnicos



SEÇÃO B-B
ESCALA 1 : 2

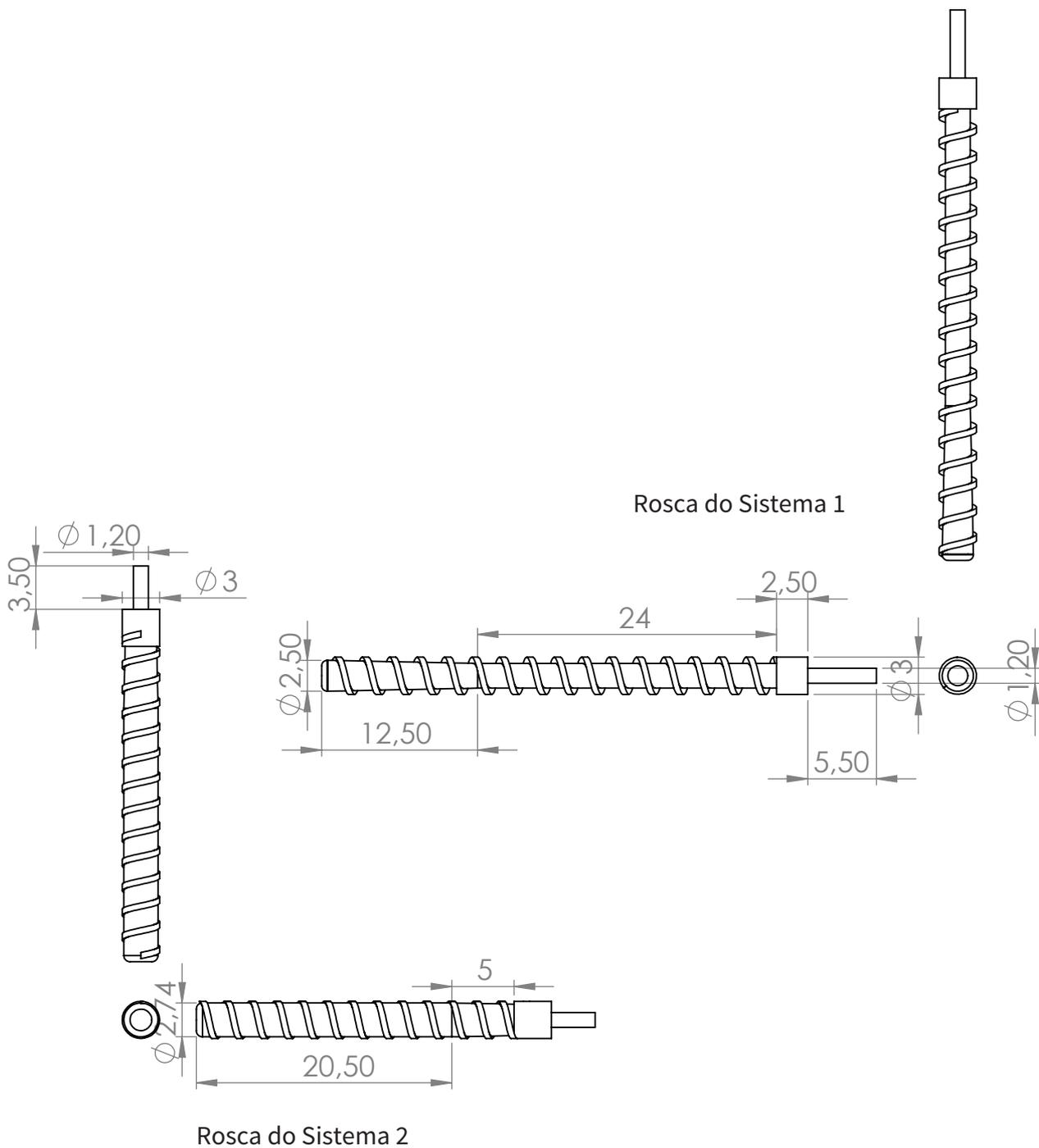


Componentes: matriz e disco de ruptura

Unidade: centímetros

Escala: 1:2

Apêndice C - Desenhos Técnicos

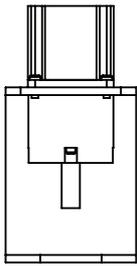


Componentes: roscas

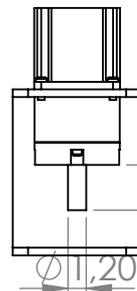
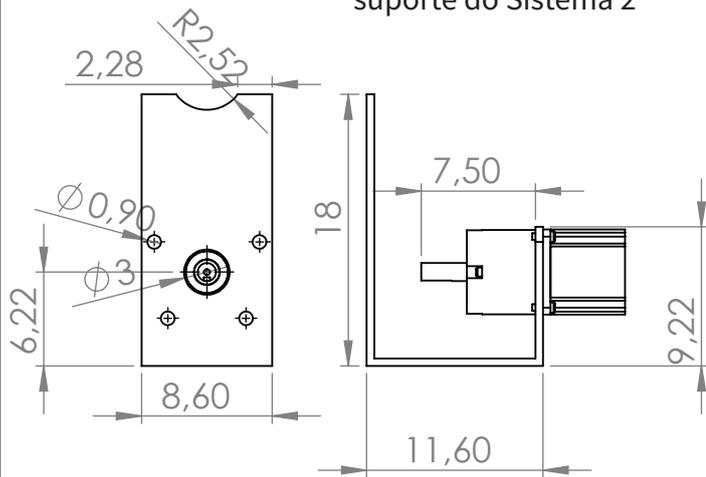
Unidade: centímetros

Escala: 1:5

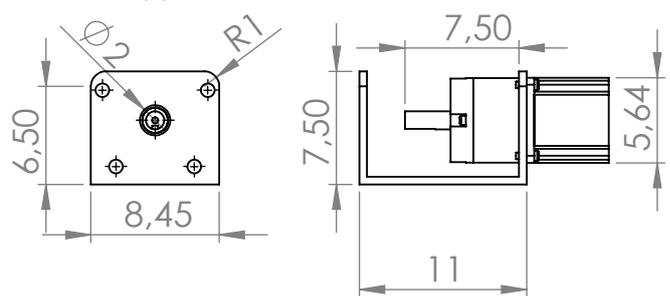
Apêndice C - Desenhos Técnicos



Motor Nema 23 com suporte do Sistema 2



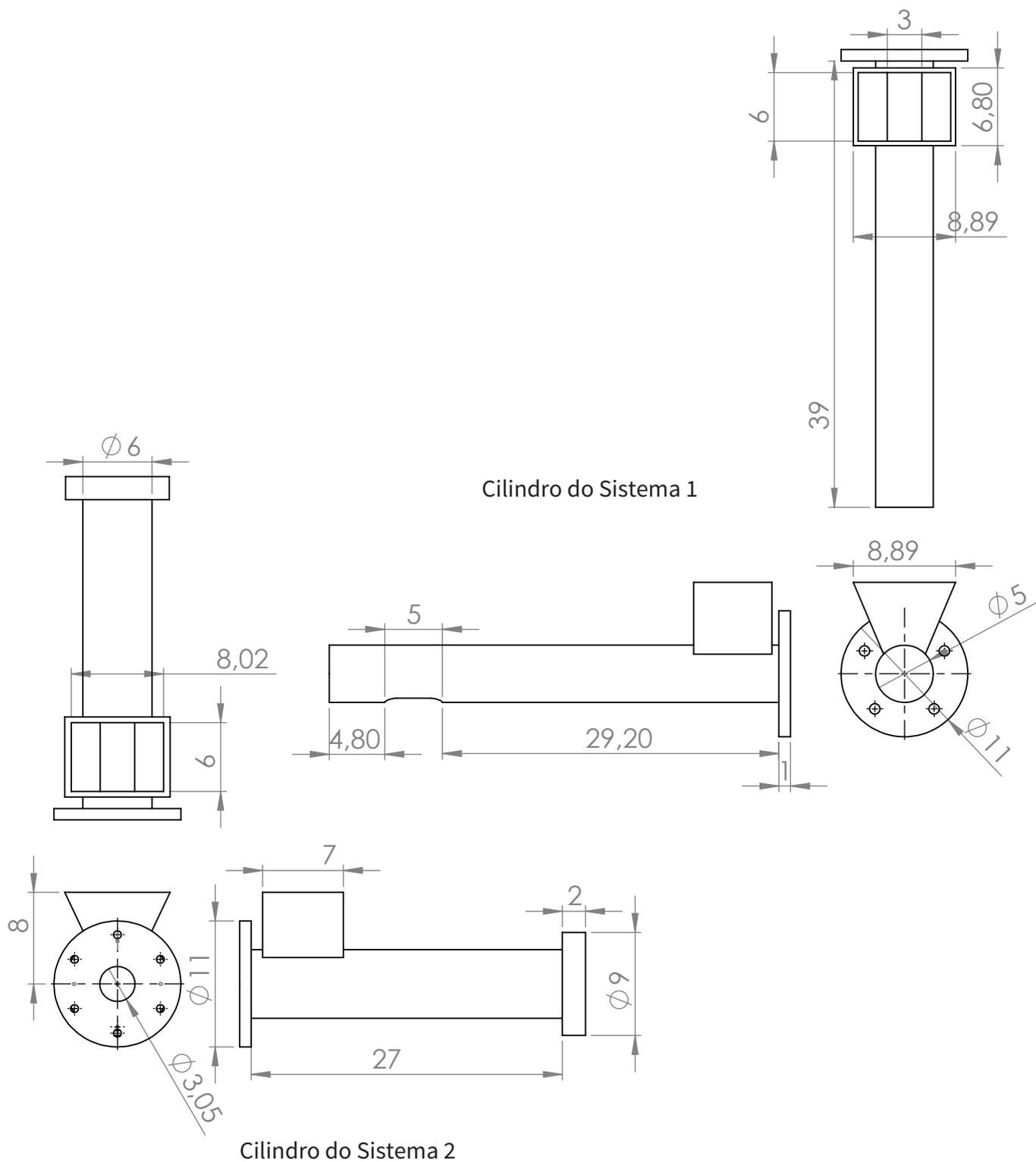
Motor Nema 23 com suporte do Sistema 1



Componentes: motores Nema23 com suportes

Unidade: centímetros
Escala: 1:5

Apêndice C - Desenhos Técnicos

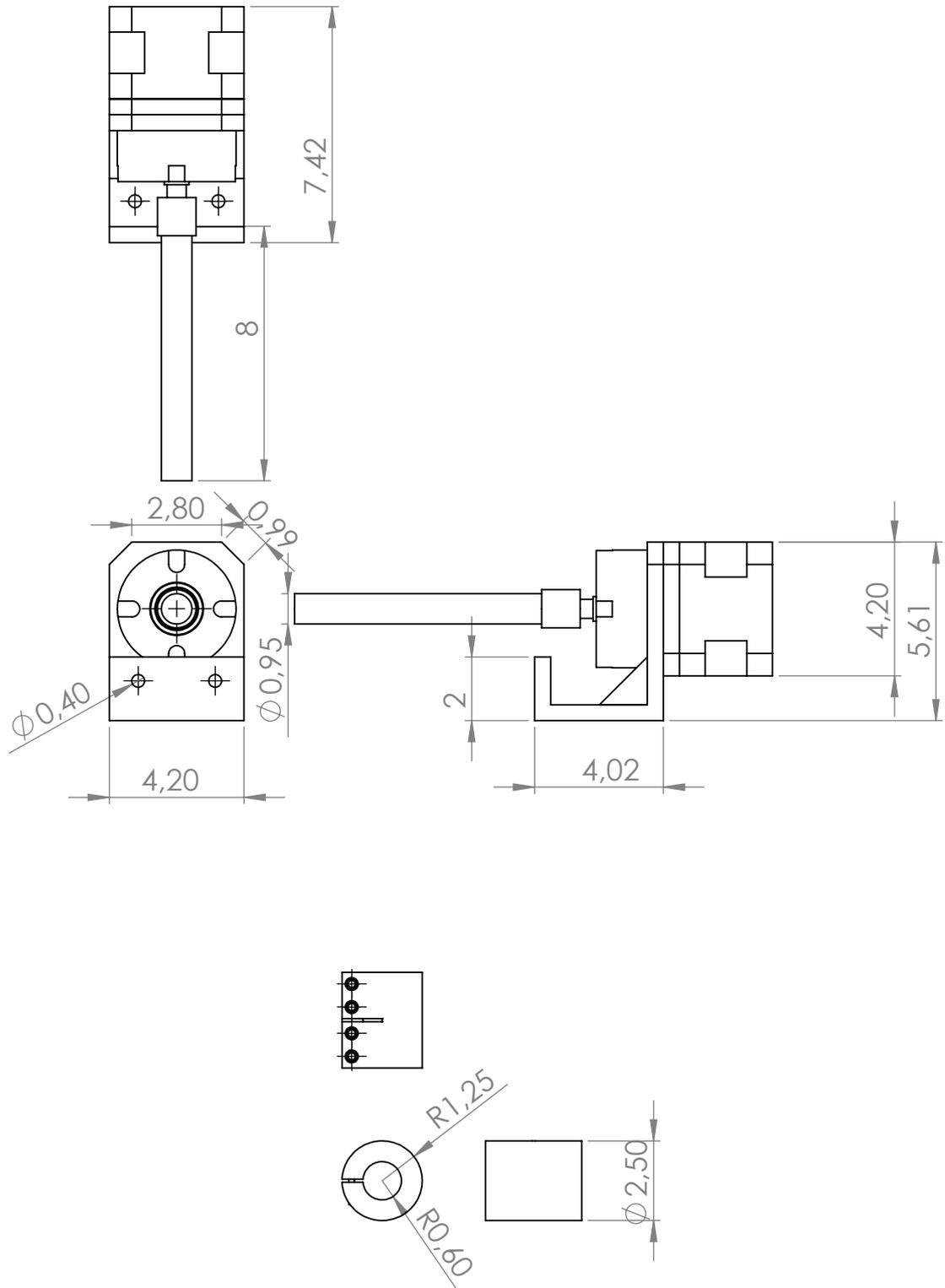


Componentes: cilindros do sistema 1 e 2

Unidade: centímetros

Escala: 1:5

Apêndice C - Desenhos Técnicos



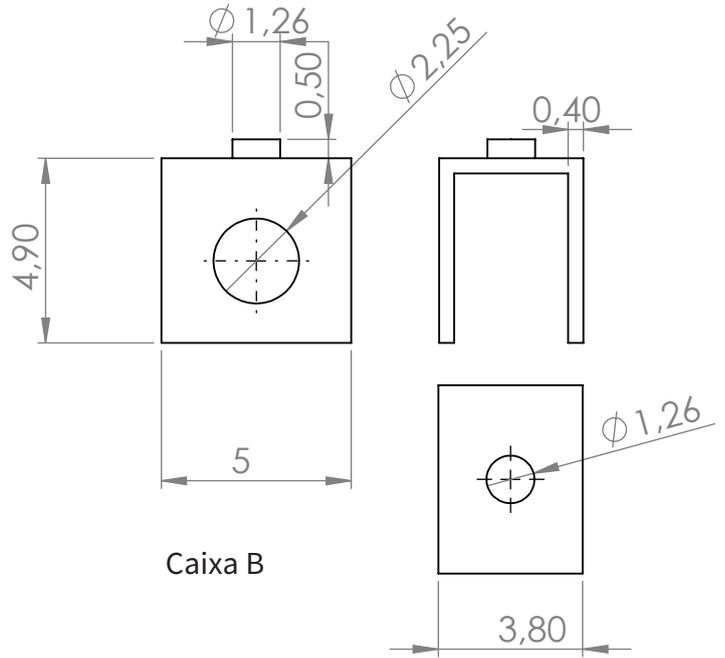
Componentes: Motor Nema17
com suporte e conector

Unidade: centímetros

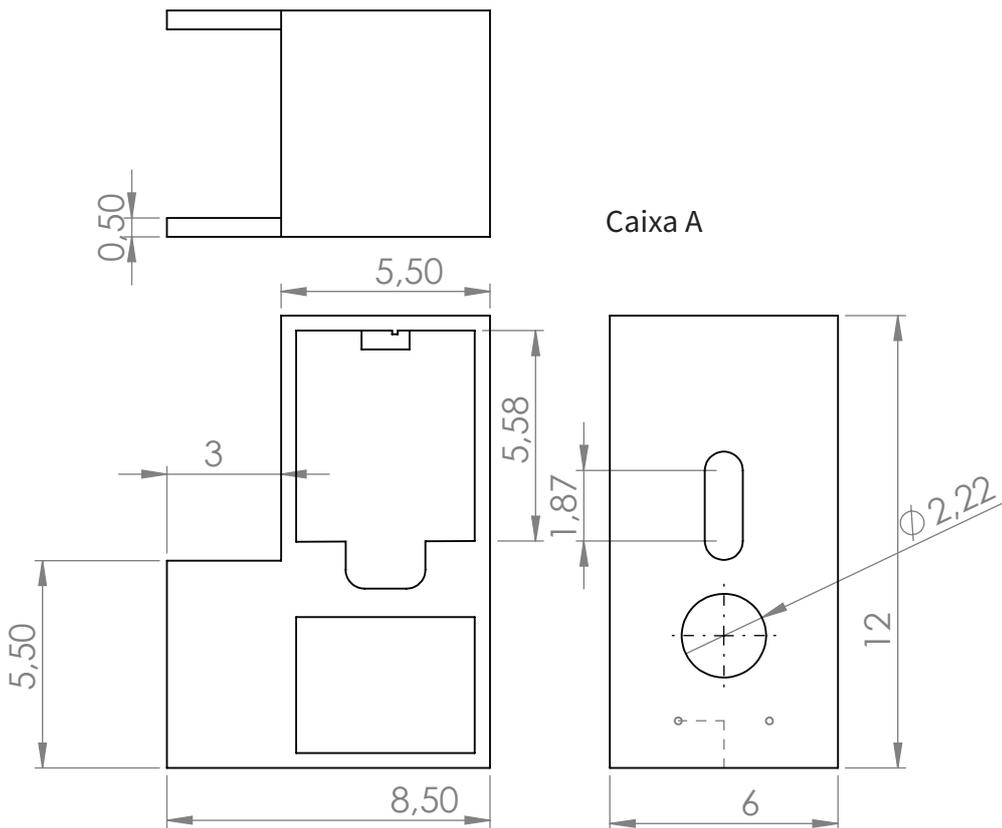
Escala: 1:2

Apêndice C - Desenhos Técnicos

2



Caixa B



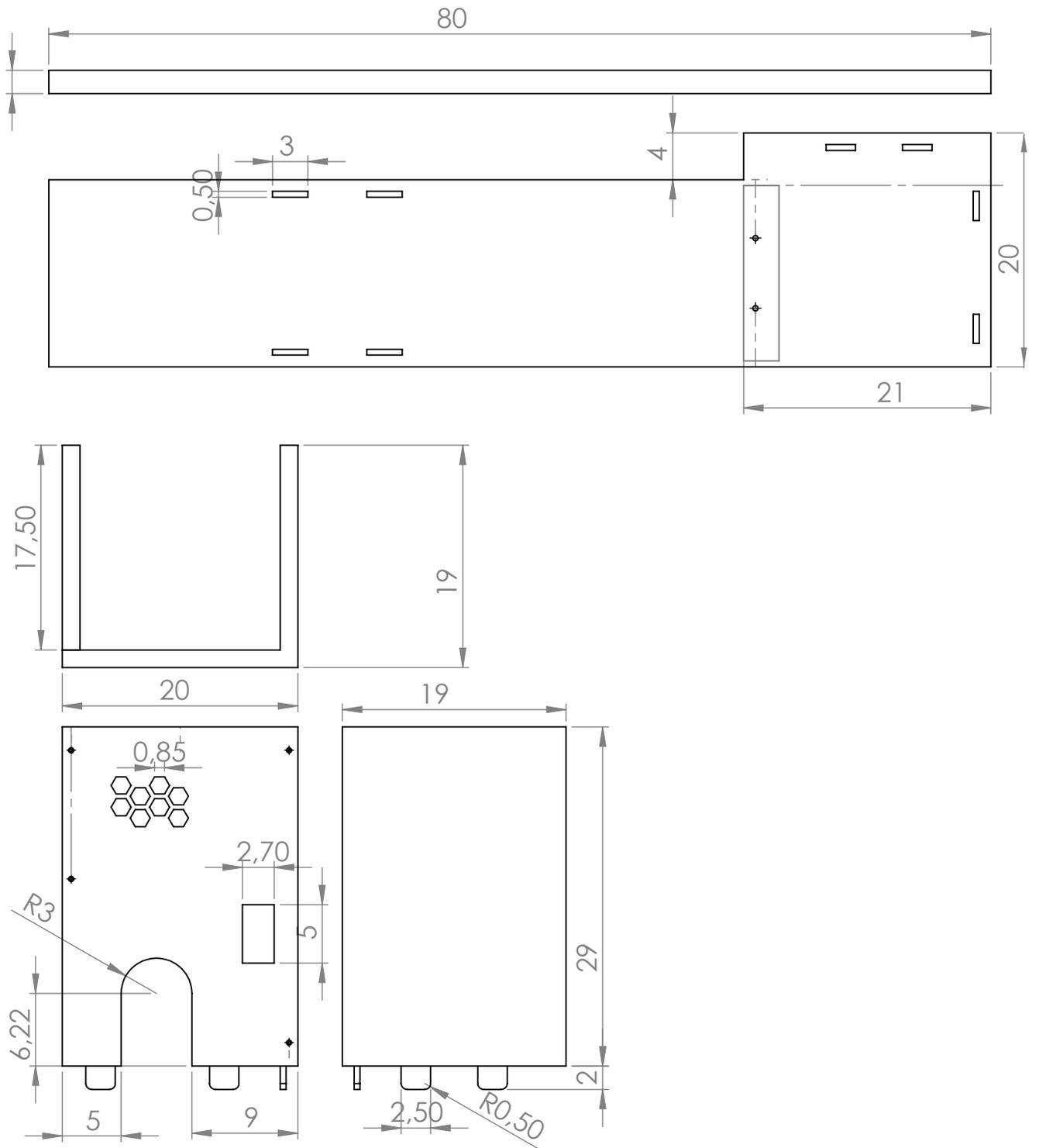
Caixa A

Componentes: Caixa A e B
do sistema de estiramento

Unidade: centímetros

Escala: 1:2

Apêndice C - Desenhos Técnicos

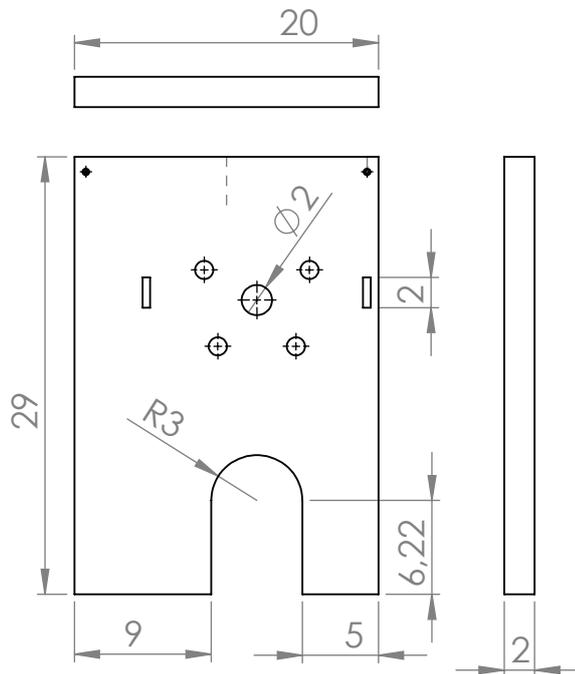
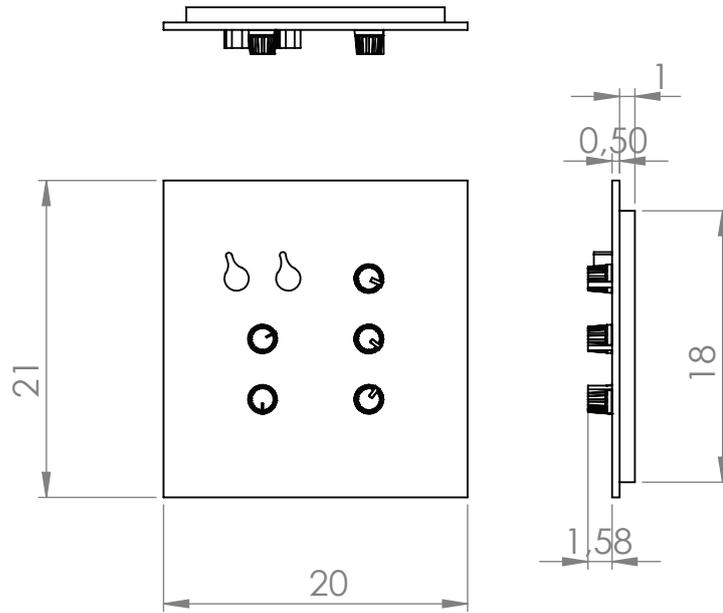


Componentes: Base e proteção do motor de cima (Sistema 1)

Unidade: centímetros

Escala: 1:5

Apêndice C - Desenhos Técnicos

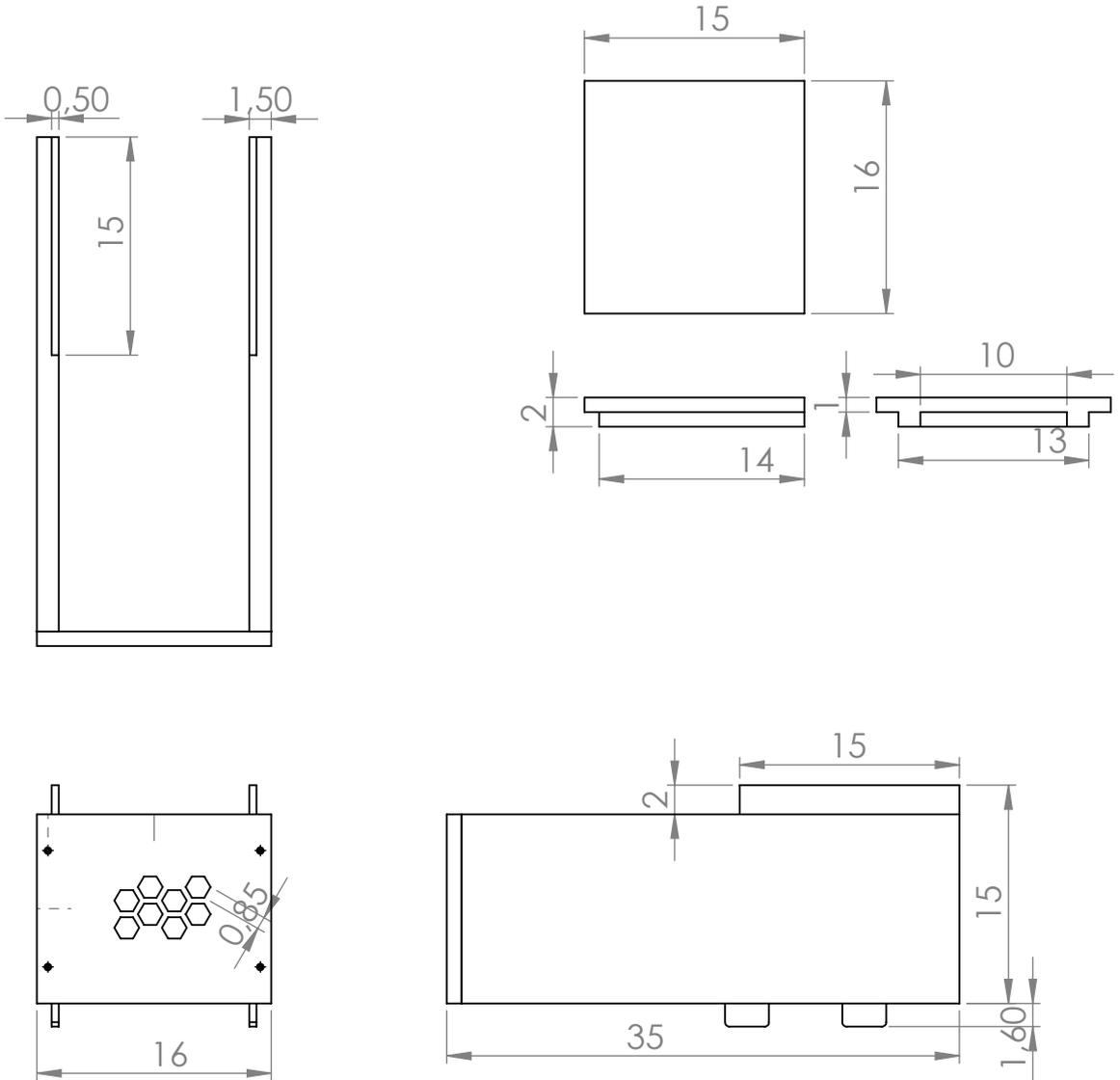


Componentes: Estrutura central vertical e tampa (painel)

Unidade: centímetros

Escala: 1:5

Apêndice C - Desenhos Técnicos

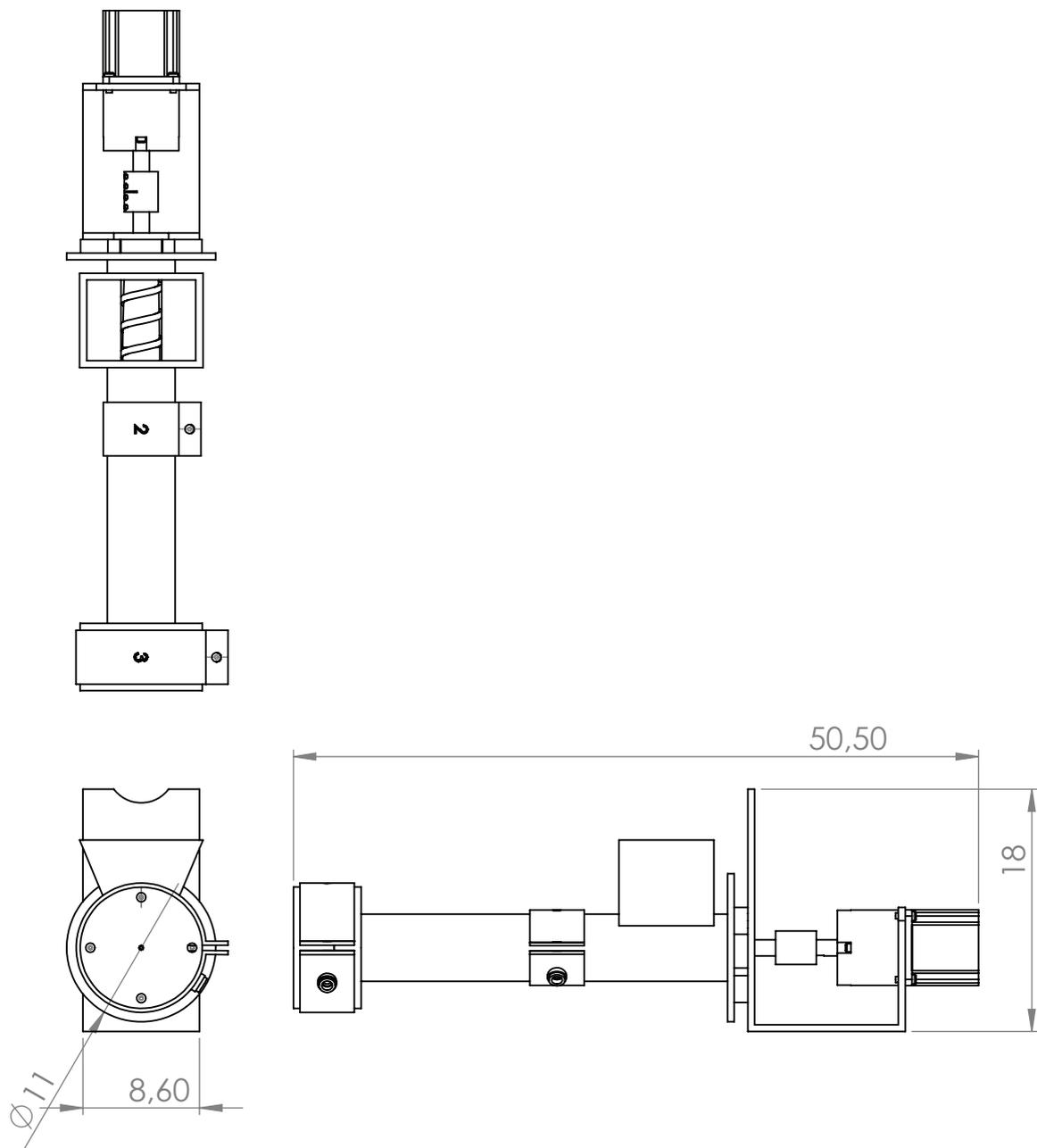


Componentes: Proteção do motor de cima (Sistema 1) e tampa

Unidade: centímetros

Escala: 1:5

Apêndice C - Desenhos Técnicos

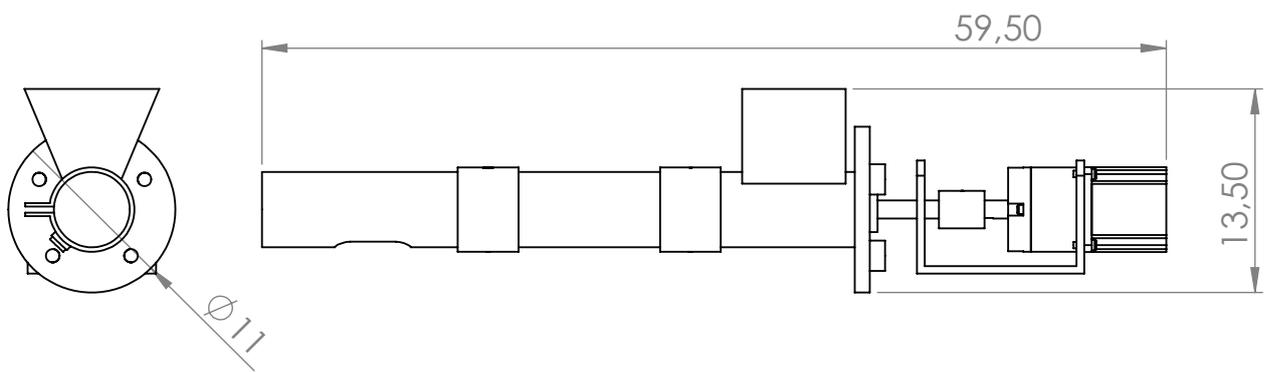
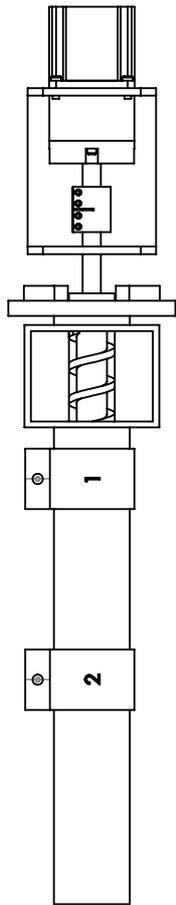


Componentes: Montagem do Sistema 2 de extrusora

Unidade: centímetros

Escala: 1:5

Apêndice C - Desenhos Técnicos



Componentes: Montagem do Sistema 1 de extrusora

Unidade: centímetros

Escala: 1:5

Apêndice D – Listagem das Peças da Extrusora

Quantidade	Peça	Dimensões	Diâmetro/Espessura	Materiais
1	Base	800 x 200 mm	20mm	Madeira Pinus
1	Estrutura Central Vertical	290 x 220 mm	20mm	Madeira Pinus
2	Laterais da caixa de proteção do motor de baixo	166 x 250 mm	15mm	Madeira Pinus
1	Fundo da caixa de proteção do motor de baixo	120 x 160 mm	10mm	Madeira Pinus
1	Tampa da caixa de proteção do motor de baixo	150 x 160 mm	20 mm	Madeira Pinus
1	Chapa frontal da caixa de proteção do motor de cima	175 x 150mm	15mm	Madeira Pinus
1	Chapa lateral da caixa de proteção do motor de cima	210 x 200 mm	15mm	Madeira Pinus
1	Fundo da caixa de proteção do motor de cima	315 x 175 mm	15mm	Madeira Pinus
1	Tampa/ Painel de controle	200 x 210 mm	15m	Madeira Pinus
1	Proteção do sistema de degasagem	150 x 150 x 455 mm	5mm	Polipropileno
12	Parafusos Allen B18.35M	-	-	-
2	Parafusos Allen M6	-	-	-
1	Motor Nema 23	134 x 56,4 mm	56,4 mm	-
1	Estrutura de Aço do Sistema2	116 x 180 mm	86mm	aço
1	Cilindro do Sistema 2	125 x 295 mm	110mm	aço CrMoALA
1	Rosca do Sistema 2	320 x 30 mm	30mm	aço nitretado
1	Disco de Ruptura	60 x 60 mm	15mm	aço
1	Matriz	90 x 90 mm	30 mm	aço
16	Parafusos M6 sextavados	-	-	-
16	Porcas M6 sextavados	-	-	-
1	Banda de Aquecimento Z2	71,9 x 56 x 40 mm	3mm	-
1	Banda de aquecimento Z3	119,9 x 96 x 40 mm	3mm	-
4	Borrachas isolantes	20 x 20 mm	10mm	Borracha isolante térmica
1	Motor Nema 23	134 x 56,4 mm	56,4 mm	1

extrusora	1	Estrutura de Aço do Sistema 1	109 x 75mm	83mm	aço
	1	Cilindro do Sistema 1	400 x 135 mm	110 mm	aço CRMOALA
	1	Rosca do Sistema 1	445 x 30 mm	30 mm	aço nitretado
	2	Bandas de Aquecimento	71,9 x 56 x 40 mm	3 mm	
	1	Conector	12,5 mm	30 mm	aço
	1	Rolamento	40 x 40 mm	15,5 mm	aço
	4	Borrachas isolantes	20 x 20 mm	10 mm	borracha isolante térmica
	12	Parafusos M6 sextavados	-	-	-
	12	Porcas M6 sextavadas	-	-	-
	1	Nema17	42 x 42 mm	55mm	-
	1	Caixa A	85 x 120 mm	60mm	ABS, PLA ou PEAD (impressão 3D)
	1	Caixa B	38 x 54 mm	50mm	ABS, PLA ou PEAD (impressão 3D)
2	Rolos tratores	38 mm	26 mm	poliuretano	
2	Eixos	9,5mm	95mm	metal	
4	Rolamentos	22, 2 mm	7mmmm	aço	
1	Mola	12,6 mm		metal	
1	conector	15mm	-	aço	
1	Suporte da estrutura	56,1 x 42mm	40,2mm	aço	
6	Parafusos Allen B18, 34M	-	-	-	
6	Porcas sextavadas				
Sistema Elétrico e de Controle	3	Botões de controle da temperatura	19 mm	15,7mm	polímero
	2	Botões de controle da velocidade	19mm	15,7mm	polímero
	2	Botões de acionamento	32 x 20mm	15mm	polímero
	1	Botão de emergência	36mm	12,5mm	polímero
	1	Fonte de Energia	100 x 140mm	40mm	-
	1	Conjunto RAMPS (Arduino)	110 x 41,9mm	61,2 mm	-
	7	Potenciômetros	-	-	-