



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ALTINO ARAÚJO SOARES NETO

**EXTRUSORA DE TERMOPLÁSTICO PET PARA PRODUÇÃO DE
FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D: PROJETO DE SISTEMA MECÂNICO**

CRUZ DAS ALMAS

2019

ALTINO ARAÚJO SOARES NETO

**EXTRUSORA DE TERMOPLÁSTICO PET PARA PRODUÇÃO DE
FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D: PROJETO DE SISTEMA MECÂNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof.^o Dr. Ivanoé João Rodowanski

CRUZ DAS ALMAS

2019

ALTINO ARAÚJO SOARES NETO

**EXTRUSORA DE TERMOPLÁSTICO PET PARA PRODUÇÃO DE
FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D: PROJETO DE SISTEMA MECÂNICO**

Aprovado em: 13 de dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof.º Dr. Ivanoé João Rodowanski
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof.º MSc. Leonardo Rafael Teixeira Cotrim
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof.º MSc. Vânio Vicente Santos de Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

AGRADECIMENTOS

À Deus, razão de toda a existência, pelas graças conquistadas, por tudo, pela vida que me concedeu, amor e por me guiar em minha trajetória. Aos meus pais, Agevaldo e Anilse, por todo apoio, amor, ensinamentos e por tudo que fizeram por mim, todo esforço sempre visando o melhor para meu bem-estar. Aos meus demais familiares pela torcida. Aos amigos Victor, Igor, Sillas, Bruna, Rafael, Hugo, Nei, Clécia e algum que não citei, obrigado pelo apoio. Ao professor Ivanoé por toda orientação, pelo apoio, tempo dedicado, por todos os conselhos, ensinamentos, sempre prestativo e motivador. Ao grupo do projeto, o amigo, Paulo Victor.

RESUMO

O presente trabalho visa a elaboração e fabricação de um dispositivo capaz de realizar extrusão de filamentos para impressoras 3D em pequena escala, utilizando como matéria-prima o termoplástico PET, contribuindo para a reciclagem do mesmo, além de ser um equipamento de baixo custo e com fácil manuseio. A escolha por este tema foi motivada pelo crescente aumento no uso da impressão 3D, seja em laboratórios e nas casas das pessoas, além da questão ambiental pela escolha do material a ser empregado como matéria-prima. A partir disso foi desenvolvido o conceito de um dispositivo que utiliza como princípio de funcionamento a extrusão por meio de parafuso. Para verificação da eficiência do equipamento foram realizados testes utilizando o PET, aplicando-se variadas temperaturas, até determinar a temperatura que mais se adequasse a extrusão do termoplástico PET. Dificuldades foram encontradas para realização dos experimentos, que apresentou resultados consideráveis e coerentes com a literatura, e sugestões de melhorias foram obtidas para ajustes futuros. Ainda sobre os resultados, sabendo-se das limitações do projeto, foi possível obter resultados em que constatou-se como se comporta o PET em variadas temperaturas durante o processo de extrusão, em que o mesmo em um experimento aderiu a rosca do parafuso e solidificou na saída do canhão extrusor, no outro experimento o material ficou líquido, não sendo possível a extrusão e em outro experimento foi obtido o filamento do PET, porém um filamento curto, pois durante a realização do experimento, ocorreu vazamento de material, sendo necessária a interrupção do experimento.

Palavras-chaves: Extrusão, filamentos, impressão 3D, reciclagem, PET.

ABSTRACT

The present research aims to the elaboration and manufacture of a device capable of extruding filaments for small-scale 3D printers, using PET thermoplastic as raw material, contributing to its recycling, besides being a piece low-cost equipment with Easy handling. The choice for this theme was motivated by the increasing use of 3D printing, whether in laboratories and people's homes, as well as the environmental issue due to the choice of material to be used as raw material. From this, the concept of a device that uses screw extrusion as a working principle was developed. To verify the equipment tests were performed using PET, in which these tests were applied various temperatures, until determining the temperature that best suited the extrusion of PET thermoplastic. Difficulties were found to perform the experiments, which presented considerable results consistent with the literature, and suggestions for improvements were obtained for future adjustments. Still on the results, knowing the limitations of the project, it was possible to obtain results in which it was verified how the PET behaves at various temperatures during the extrusion process, in which in one experiment adhered the screw thread and solidified at the exit of the extruder gun, in the other experiment the material was liquid, no extrusion was possible and in another experiment the PET filament was obtained, but a short filament, because during the experiment, material leakage occurred, requiring interruption of the experiment.

Keywords: Extrusion, filaments, 3D printing, recycling, PET.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva do comportamento da temperatura de extrusão.....36

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Filamentos comerciais.....	5
Figura 2.2 – Esquema do processo FDM	6
Figura 2.3 – Esquema de funcionamento da fotopolimerização	7
Figura 2.4 – Diagrama esquemático da LOM	7
Figura 2.5 – Esquema do processo de Sinterização Seletiva a Laser (SLS)....	8
Figura 2.6 – Impressora 3D FDM baseada no projeto RepRap.....	9
Figura 2.7 - Propriedades físicas e química do PET.....	10
Figura 2.8 – Processo de extrusão	13
Figura 2.9 – Zonas da rosca	14
Figura 2.10 – Produtos obtidos a partir de extrusão	14
Figura 2.11 – Equipamento para extrusão de filamentos	15
Figura 2.12 – Modelos de extrusores de filamentos	16
Figura 2.13 – Exemplo de rosca para o PET reciclado.....	17
Figura 3.1- Materiais utilizados.....	19
Figura 3.2 – Equipamento fabricado e seus componentes.....	20
Figura 3.3 – Trado utilizado como parafuso de extrusão.....	21
Figura 3.4 – Tubo industrial galvanizado.....	21
Figura 3.5 – Plug e bucha de redução.....	22
Figura 3.6 – Canhão da extrusora	22
Figura 3.7 – Canal de alimentação da extrusora	23
Figura 3.8 – Suporte do canhão da extrusora.....	23
Figura 3.9 – Suporte do motor	24
Figura 3.10 – Transmissão do motor para o parafuso de extrusão	25
Figura 3.11 – Motor de levantador de vidro veicular.....	25
Figura 3.12 – Fonte de alimentação	26
Figura 3.13 – Componentes elétricos	26
Figura 3.14 – Controle de temperatura	27
Figura 4.1 – Finta Kapton após o experimento	28
Figura 4.2 – Manta cerâmica	29
Figura 4.3 – Pellets de PET	30
Figura 4.4 – PET após o primeiro teste	30

Figura 4.5 – PET após a limpeza do canhão	31
Figura 4.6 – PET após teste com temperatura acima de 260°C	31
Figura 4.7 – Extrusão do PET	32
Figura 4.8 – PET extrudado	33
Figura 4.9 – Filamentos de PET	33
Figura 4.10 – Local de vazamento do material	34
Figura 4.11 – Gases provenientes do aquecimento do PET	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila, Butadieno e Estireno
FDM	<i>Fused Deposition Modelling</i>
LOM	<i>Laminated Object Modelling</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Polietileno tereftalato
PETG	Polietileno tereftalato com glicol
PETT	Plitereftalato de trimetileno
PLA	Ácido Polilático
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
SLA	<i>Stereolithography</i>
SLA-1	<i>StereoLithography Apparatus</i>
SLS	<i>Seletive Laser Sintering</i>
TPE	Elastómero termoplástico
CAD	Computer-aided desing
CAM	Computer-aided manufacturing
3D	Três Dimensões

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo Geral	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. IMPRESSÃO 3D	4
2.1.1. Filamentos	4
2.1.2. Tecnologias de Impressão	5
2.1.2.1. Tecnologia FDM	8
2.1.2.2. Matéria-prima das Impressoras FDM	10
2.2. PET	10
2.3. PROCESSO DE EXTRUSÃO DE PLÁSTICO	13
2.3.1. Equipamentos de extrusão de filamentos	15
2.3.2. Rosca para polietileno tereftalato (PET) reciclado	16
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1. MATERIAIS	18
3.2. MÉTODOS	19
3.2.1. Componentes Elétricos do extrusor	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1. TESTES DE EXTRUSÃO DE PET	29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	38
REFERÊNCIAS	39

APÊNDICES.....	43
ANEXO A - CATÁLOGO BROCAS IRWIN PARA MADEIRA.....	49
ANEXO B - CATÁLOGO BOSCH: MOTOR ELEVADOR DE VIDROS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Em constante desenvolvimento, as indústrias de plásticos estão desenvolvendo a cada dia tecnologias que atendam às crescentes demandas. Segundo a Braskem (2012), a produção de plásticos chegou a 288 milhões de toneladas, com um crescimento de 9% ao ano. E devido seu uso variado, grande parte do lixo produzido dia após dia é constituído deste material.

Segundo a WWF (2008), o petróleo é a principal matéria prima da maioria dos plásticos, sendo um recurso natural não renovável e extremamente poluente, em que 100 toneladas de plástico reciclado evitam a extração de 1 tonelada do mesmo.

Os gastos ambientais adjuntos à geração de energia para fabricação inicial dos plásticos são da ordem de R\$ 6,56 por tonelada fabricada, e os custos ambientais adjuntos à geração de energia para reciclagem de plástico são da ordem de R\$ 1,40 por tonelada, logo, a reciclagem do plástico pode provocar economia de energia em até 80% (DE OLIVEIRA, 2012).

Dos materiais plásticos que foram reciclados no Brasil, os mais abundantes são o PET (Polietileno tereftalato), PVC (policloreto de vinila), PEBD (polietileno de baixa densidade), PEAD (polietileno de alta densidade) e PP (polipropileno). Dentre estes o PET é o material mais empregado no processo de reciclagem, correspondendo à 54% do total.

Segundo Marques (2014), a utilização das tecnologias de manufatura aditiva encontra-se em uma crescente em vários campos do mercado industrial. Derivada de um processo de impressão de objetos claramente concretas, a manufatura aditiva é aplicada em variadas áreas, tendo nos dias de hoje um destaque nos setores automotivos e aeroespacial, além de sua utilização nos projetos de implantes odontológicos.

Segundo Raulino (2011), a manufatura aditiva tem como princípio a prototipagem, através da modelagem de peças a partir de desenhos produzidos em CAD ou também por engenharia reversa.

Segundo Casagrande (2013), a tecnologia de manufatura aditiva possui uma proposta altamente ecológica, em que à mesma se trata de um processo em que o material é acrescentado ao invés de ser removido, possuindo uma quantidade menor de resíduos, menos poluição e conseqüentemente menos gastos na fabricação. Comprovando o aumento na conscientização das empresas, que estão investido cada vez mais em processos e equipamentos eficientes energeticamente.

Segundo Jetprinter (2015), vem ocorrendo um crescimento na demanda por impressoras 3D domésticas. É previsto que em 10 a 15 anos, todos os lares poderão ter uma impressora 3D.

A estrutura deste trabalho divide-se em 6 capítulos.

- O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, discorrendo sobre o processo de produção e reciclagem dos plásticos e sobre impressão 3D, além de sintetizar os objetivos principais;
- No capítulo 2 são abordadas as principais características e conceitos do processo de extrusão de plásticos, sobre impressão 3D e os termoplásticos (PET);
- O capítulo 3 aborda os materiais e os métodos utilizados neste trabalho;
- O capítulo 4 aborda os resultados obtidos e as discussões pertinentes;
- O capítulo 5 aborda as considerações finais;
- O capítulo 6 indica algumas sugestões para trabalhos futuros.

1.1. Justificativa

O presente trabalho visa apresentar uma forma de se fazer o reaproveitamento, ou seja, a reciclagem do material plástico PET para a fabricação de matéria prima do processo de impressão 3D, fazendo o processo ser mais ecológico e com eficiência. As propostas do trabalho são:

- A diminuição dos custos na aquisição de matéria prima;
- Reciclagem do plástico PET.

Com este equipamento de fabricação de filamentos, os usuários poderão transformar um material que antes seria descartado de maneira provavelmente incorreta, em novos objetos ou peças prontas para sua destinação final.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é dimensionar e fabricar um equipamento que seja utilizado para fabricação de filamentos para impressora 3D em pequena escala, utilizando PET para a reciclagem de plásticos, sabendo-se do comportamento complexo do PET durante o processo de extrusão.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Dimensionar, fabricar, avaliar e qualificar uma extrusora de termoplásticos para fabricação de filamentos;
- Desenvolver um equipamento capaz de produzir filamentos com o diâmetro específico de 1,75mm;
- Utilizar como material principal o PET, devido sua alta disponibilidade e pelo seu alto potencial de reciclagem;
- Projetar um equipamento de baixo custo de fabricação, de manutenção e fácil manuseio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.IMPRESSORA 3D

De acordo com Silveira (2016), a princípio o processo de impressão 3D possui diversos propósitos, visando o baixo custo e uma maior velocidade na confecção das peças. Tem seu funcionamento basicamente por meio de modelagem por fusão e depósitos, com isso para a formação da peça desejada é preciso que ocorra a adição de camadas sobrepostas sobre a outra.

Segundo Azevedo (2013), impressão 3D é o nome dado ao procedimento de criação de uma peça em três dimensões a partir de um modelo digital. Em que, essa impressão é feita por um processo de adição, no qual camadas de material são adicionadas um sobre a outra até compor peças em formatos diversos. Essa técnica difere consideravelmente de outras formas tradicionais de criação, a exemplo temos a usinagem, devido que essas outras funcionam removendo material até a obtenção do objeto, já na impressão 3D é adicionado material, reduzindo a sobra de material.

2.1.1. Filamentos

São a matéria-prima para as impressoras 3D, motivando as empresas com investimentos em tecnologia para a obtenção de novos materiais para a sua fabricação. Em que são obtidos por meio do processo de extrusão (PESSI et al, 2018).

Em relação a reciclagem, a fabricação dos filamentos se tornou uma das formas mais simples de fazer a reciclagem de plásticos. Na Figura 2.1 são mostrados filamentos encontrados no mercado.

Figura 2.1 – Filamentos comerciais.



Fonte: WISHBOX (2016).

2.1.2. Tecnologias de impressão

Segundo Volpato (2006), os principais procedimentos de fabricação têm como princípio normalmente a fusão e moldagem, que seria a fundição; a remoção de material, que se trataria da usinagem; a conformação, seria o forjamento e adição, se trataria da soldagem.

De acordo com Besko (2017), a impressão 3D é um procedimento de fabricação por manufatura aditiva, denominada também por prototipagem rápida, em que um modelo tridimensional feito em um programa CAD, que então é "fatiado" em camadas através de um programa CAM, que na sequência um filamento termoplástico que é direcionado até uma matriz de extrusão aquecida, possa fundir o material e depositá-lo camada por camada de baixo para cima até a fabricação da peça.

Segundo Cunico (2015), a tecnologia de impressão 3D teve seu surgimento por volta da década de 80, em que o intuito era a fabricação de protótipos em processos rápidos e sem a remoção de material, com sua aplicação voltada para a indústria.

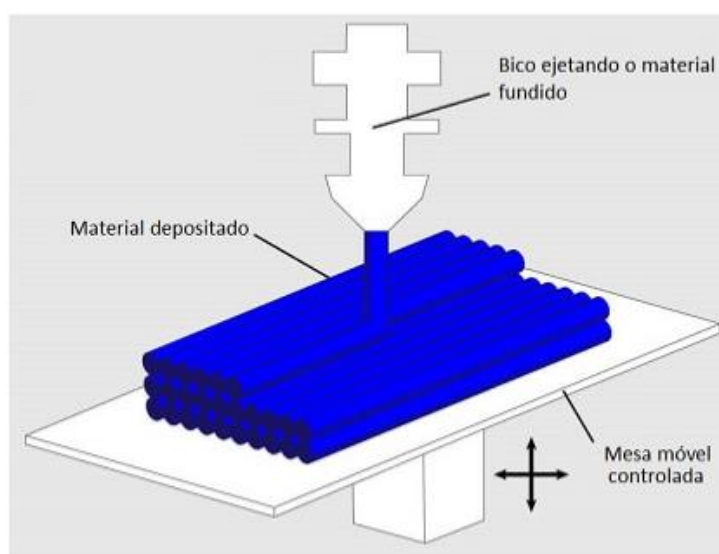
O primeiro equipamento usado para a prototipagem rápida comercial foi o SLA-1 (*StereoLithography Apparatus*), lançado em 1987, em que se utilizava a técnica de estereolitografia ou *Stereolithography* (VOLPATO, 2006).

Segundo Dabague (2014), a impressão 3D, possui em seu princípio, características que permitem a fabricação de conceitos que não são possíveis por meio dos processos tradicionais. Além do que, a fabricação aditiva das impressoras possui um potencial de fabricação customizado e economicamente viável, pois não é necessário moldes e ferramentas de elevados custos para a fabricação das peças. Devido que a falta ou baixo volume de sucatas produzidas pelas impressoras 3D, além de econômico, torna o processo sustentável.

As tecnologias de prototipagem rápida dividem-se em quatro grupos (Cunico, 2015).

- Tecnologias a base de fusão e deposição: Incide na deposição de material através de um extrusor, como por exemplo o processo de Modelagem por Fusão ou Deposição (*Fused Deposition Modelling – FDM*). Na Figura 2.2 a seguir, temos o processo de impressão FDM.

Figura 2.2 – Esquema do processo FDM.

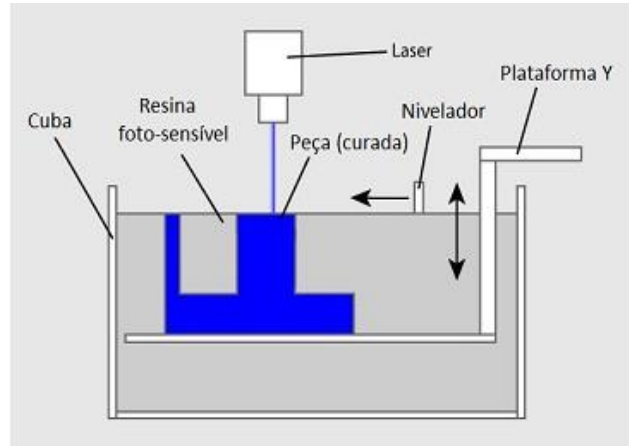


Fonte: TUDOSOBREPLÁSTICO, acesso em 2019.

- Tecnologias a base de polímeros Líquidos: Baseia-se na aplicação de materiais fotopolimerizáveis normalmente baseados em epóxis e acrilatos, sendo que a cura destes materiais ocorre com a ação de luz ou laser Ultra-Violeta. Pode-se citar como exemplo o processo de estereolitografia (*Stereolithography – SLA*). Na Figura 2.3 a seguir, o processo de

fotopolimerização.

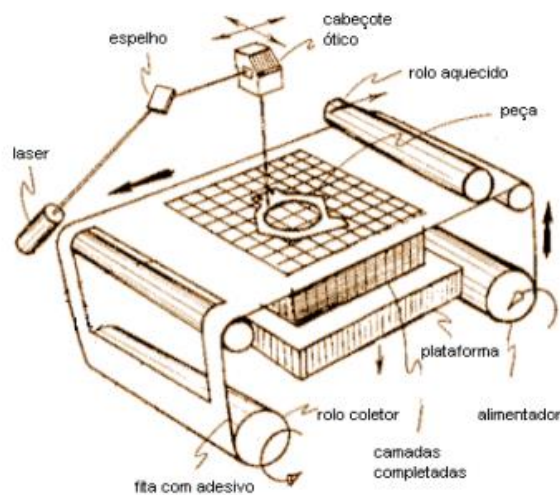
Figura 2.3 – Esquema de funcionamento da fotopolimerização.



Fonte: TUDOSOBREPLÁSTICO, acesso em 2019.

- Tecnologias a base de sólidos laminados: Incide no empilhamento de camadas de plástico ou papel cortadas e coladas de acordo com o formato da geometria desejada. Como exemplos têm-se o processo *Laminated Object Moldelling* – LOM. Na Figura 2.4 abaixo, temos o processo de impressão LOM.

Figura 2.4 – Diagrama esquemático da LOM.

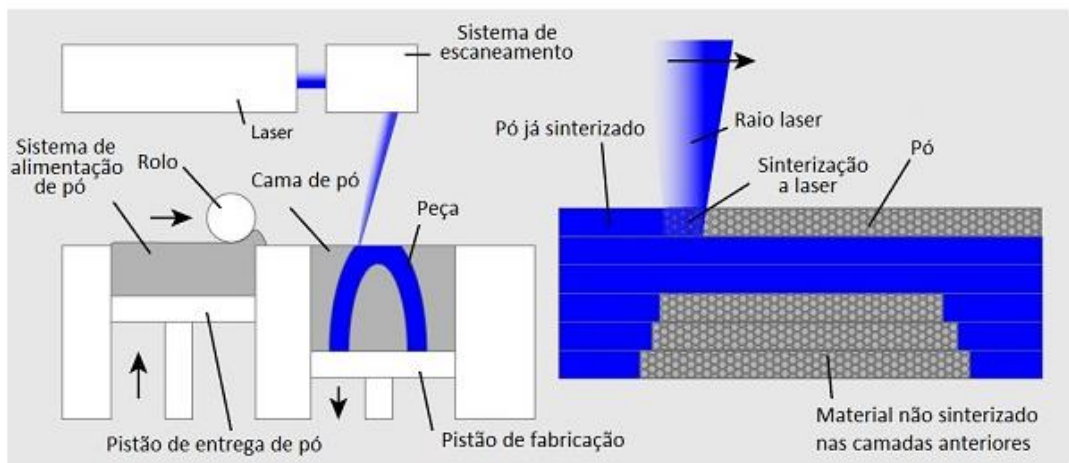


Fonte: HOTZA, 2009.

- Tecnologias a base de pó: Incide na fusão ou derretimento de materiais a base de partículas discretas ou pó para a construção das camadas. Exemplo processo de Sinterização Seletiva a Laser (*Selective Laser Sintering - SLS*). Na Figura 2.5 a seguir, o processo de impressão SLS.

Segundo Dabague (2014), o universo da prototipagem rápida (impressão 3D) possui diversas aplicações e já abrange, mesmo que em modesta proporção, grandes indústrias, como aeroespacial, automobilística, aparelhagem médica e ortodôntica, entre outras.

Figura 2.5 – Esquema do processo de Sinterização Seletiva a Laser (SLS).



Fonte: TUDOSOBREPLÁSTICO, acesso em 2019.

2.1.2.1. Tecnologia FDM

Segundo Abreu (2015), a partir do término da patente do processo FDM nos anos 2000, ocasionando no desenvolvimento dos equipamentos autorreplicáveis chamados de RepRap (*Replicating Rapid Prototyper*). Por possuírem software e hardware em código aberto, estão disponíveis para qualquer usuário possa fazer o download do software e projetos, e assim desenvolverem os seus próprios. Por conta disso ocorreu a popularização das impressoras 3D, muitas dessas baseadas no RepRap.

Segundo Rodrigues (2017), as impressoras FDM são as mais conhecidas, o que as tornam as mais vendidas entre as demais impressoras 3D. São modelos considerados de entrada para fabricação de peças, apresentam uma construção simples, operacional e matéria prima barata, por conta disso possuem um bom custo benefício. Na Figura 2.6 abaixo, o modelo de impressora FDM baseada no projeto RepRap.

Figura 2.6 – Impressora 3D FDM baseada no projeto RepRap.



Fonte: ADRENALINADIGITAL, acesso em 2019.

Pereira (2014) aponta algumas vantagens do processo, que são:

- Fabricação de partes funcionais.
- Mínimo desperdício de material.
- Facilidade no pós-processamento.
- Facilidade de troca de material de impressão.

E as principais desvantagens do processo, são:

- O processo FDM é mais lento, se comparado com os demais processos de impressão 3D.

- A depender do material extrudado, pode ocorrer encolhimento ou retração dos objetos por conta de gradientes térmicos elevados.

2.1.2.2. Matéria-prima das Impressoras FDM

O processo mais utilizado entre as impressoras 3D de baixo custo é denominado de Fused Deposition Modeling (FDM). Os materiais utilizados como matéria prima nos equipamentos de FDM são as resinas termoplásticas com baixo ponto de fusão (entre 68°C e 270°C) e que também apresentem baixa condução térmica. Estes materiais são PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon, os flexíveis TPE, TPN e TPC e o PC, porém as características técnicas difundidas se resumem apenas sobre resistências, durabilidade e custos, mas as características ambientais como toxicidade e consumo de energia emitidas na fabricação das peças durante o processo de impressão ou reciclabilidade não são muito levadas em conta pelos usuários na sua grande maioria.

2.2. PET

Segundo a ABIPET (Associação Brasileira de PET), define-se PET - Poli (Tereftalato de Etileno), como um poliéster, polímero termoplástico (Plásticos que possuem cadeia polimérica linear ou pouco ramificada e com um grande crescimento na temperatura, amolecem e se liquefazem de forma que podem ser moldados nessas condições e, quando o material resfria, o plástico irá tomar a forma do molde).

Ainda segundo a ABIPET, é o melhor e mais resistente plástico para fabricação de garrafas, frascos e embalagens para refrigerantes, água, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos, cervejas, etc.

Proporciona elevada resistência mecânica (impacto) e química, suportando o contato com agentes agressivos. Possui excelente barreira para gases e odores. Por conta disso é possível conter os mais diversos produtos com total higiene e

segurança para o produto e para o consumidor. Na Figura 2.7 a seguir, apresenta as principais características do politereftalato de etileno.

Figura 2.7 – Propriedades físicas e químicas do PET.

Propriedade	Método Utilizado	Valor
Peso molecular do monômero	-	192 (g/mol)
Peso molecular do polímero	-	30.000-80.000 (g/mol)
Densidade	-	1,41 (g/cm ³)
Temperatura de Transição Vítrea	DSC	69-115 (°C)
Temperatura de Fusão	DSC	265 (°C)
Calor de Fusão	DSC	166 (J/g)
Resistência à Ruptura	Tensile	50 (MPa)
Resistência à Tração	-	1700 (MPa)
Força de Impacto	ASTM D256-86	90 (J/m)

Fonte: ANDRADE (2016).

A embalagem de PET tem mostrado ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transportes e produção, evitando desperdícios em todas as fases de produção e distribuição.

Por meio dos benefícios disponibilizados para a indústria e varejo, o PET oferece ao consumidor um produto seguro, moderno e mais acessível, democratizando mercados e permitindo que todas as classes obtenham produtos de alta qualidade.

Sobre o processamento do PET, é um polímero que necessita de um processamento posterior para ter uma transformação correta durante o processo de extrusão. Sendo as principais etapas: secagem, desumidificação e cristalização (WIEBECK & HARADA, 2005).

A secagem é um processo que consiste em insuflar ar quente e seco com uma faixa de temperatura de 160 a 180 °C por um secador em um silo de secagem e a permanência do PET dentro desses silos com duração de 5 a 6 horas (WIEBECK & HARADA, 2005).

Em relação a desumidificação, para que o processo anterior ocorra de maneira mais eficiente, é necessário que o desumidificador retire toda a umidade do ar utilizado na secagem (WIEBECK & HARADA, 2005).

A cristalinidade depende da estrutura molecular e pode ser determinada pela forma de suas moléculas, pela simetria, pela ramificação, rigidez e regularidade. No produto extrudado, o PET apresenta-se amorfo ou com baixo grau de cristalização por conta de o material fundido resfriar-se muito rápido (WIEBECK & HARADA, 2005).

Na moldagem por extrusão, o PET deve estar em grânulos secos e cristalinos. Somente a secagem não é suficiente, devido que o PET amolece e gruda na rosca extrusora, logo é necessário a recristalização para evitar que ocorra de aderir a rosca (WIEBECK & HARADA, 2005).

Segundo Besko (2017), o PET “bruto” na impressão 3D não vem a ser muito aplicado, mas o mesmo possui um derivado denominado como polietileno tereftalato alterado com glicol ou PETG, por conta disso é considerado por alguns um componente no meio do PLA e do ABS, sendo mais fácil de ser impresso do que o ABS, e mais duradouro e com mais flexibilidade do que o PLA.

Da mesma forma que o PLA, o PETG é higroscópico, logo seu armazenamento deve ser em local fresco e seco, é pegajoso no processo de impressão e arranha com uma maior facilidade do que o ABS.

Um dos motivos pelo qual na impressão 3D se utiliza o PETG em vez de PET é pelo problema que possui o PET ao aquecer. Durante um sobreaquecimento, o PET faz-se nebuloso e frágil (com sua coloração turva e quebradiço), algo inviável para a sua utilização com uma impressora 3D FDM / FFF, problema que não lhe ocorre ao PETG por conter glicol. Também é mais duradouro graças à sua maior resistência ao desgaste e a corrosão a agentes oxidantes, aspetos que estão combinados com uma alta firmeza ante impactos. Outras vantagens que apresenta ao PETG em frente ao PET é a opção de esterilizar qualquer objeto e a possibilidade de ser soldado por rádio frequência.

De acordo com Besko (2017), o Politereftalato de trimetileno (PETT) de polietileno é outro derivado de PET. Possui uma maior rigidez do que o PETG, esse filamento de impressora 3D é conhecido por ser transparente.

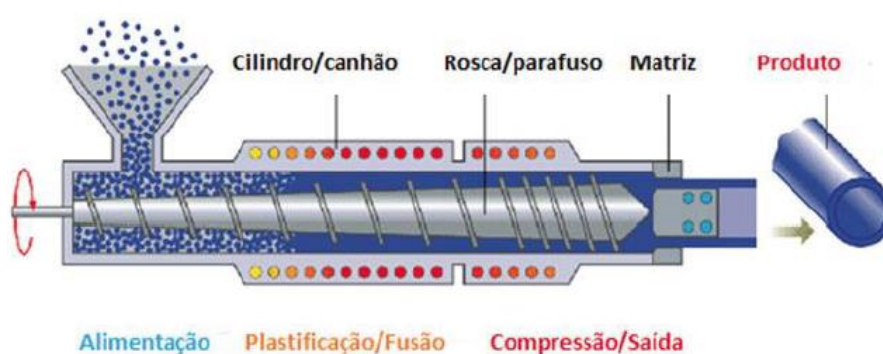
Em princípio o PET, PETG e o PETT são polímeros estáveis e inofensivos, são recicláveis e não produzem fumaça ou odores durante a impressão e sua temperatura de impressão é por volta de 220°C à 250°C e sendo necessário mesa aquecida.

2.3. PROCESSO DE EXTRUSÃO DE PLÁSTICO

O processo de extrusão é considerado o mais utilizado em processos de transformação de plásticos na indústria. Além dos plásticos, muitos outros materiais passam pelo processo, a exemplo temos os metais, alimentos, argila, dentre outros. O processo de extrusão ocorre basicamente com o plástico sendo aquecido e forçado dentro de um cilindro por roscas “sem fim”, podendo ser uma ou duas roscas, que transportam, misturam, compactam e liberam gases provenientes do processo. Haverá uma matriz na saída do cilindro, que dará o formato desejado ao produto, que depois é calibrado, resfriado, cortado ou enrolado (ABIPLAST, 2014).

A extrusora é um equipamento padrão para instalações e processos tendo como base a extrusão, em que esse equipamento transporta o composto necessário que pode se encontrar em pó ou granulado em sua maioria (PESSI et al, 2018). Os principais componentes de uma extrusora são: motor, transferência de torque do motor para a rosca, cilindro, rosca, matriz, carcaça, painel de controle, resistências de aquecimento, ventiladores para resfriamento e bomba de vácuo. Na Figura 2.8 a seguir, o esquema do processo de transformação por extrusão.

Figura 2.8 – Processo de extrusão.



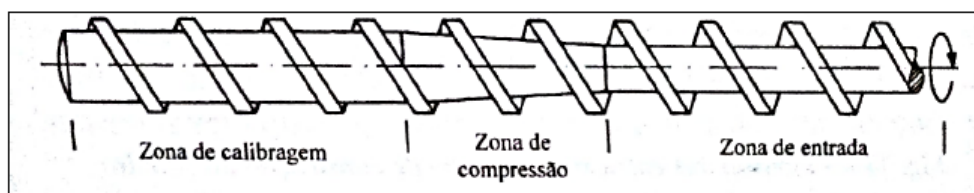
Fonte: ABIPLAST (2014).

Segundo Manrich (2005), a rosca é o componente mais importante de uma extrusora devido ser responsável por transportar, fundir ou amolecer, homogeneizar e plastificar o polímero. Além de gerar cerca de 80% da energia térmica e mecânica

necessária para transformar os polímeros, a outra parte da energia é proveniente de aquecedores externos.

Sendo a rosca de três zonas a mais utilizada, devido que possui uma vasta aplicação para diversos termoplásticos, gerando uma economia no processo segundo Michaeli (1995). Na Figura 2.9 tem-se as três zonas da rosca, em que acontece o processo de passagem do polímero.

Figura 2.9 – Zonas da Rosca.

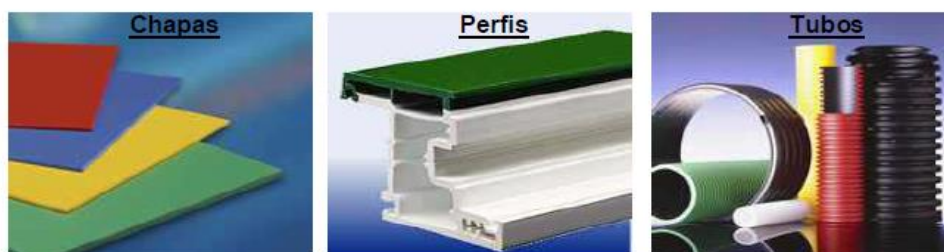


Fonte: MICHAELI (1995).

Durante o processo alguns polímeros podem liberar gases ou líquidos, sendo necessário que o barril da extrusora tenha entradas e saídas evitando assim a degasagem, em que os voláteis são extraídos, o design da rosca deve ser feito para atender essas exigências.

Os produtos provenientes do processo de extrusão têm suas principais aplicações em: embalagens, tubos, sacolas, mangueiras e chapas (KANTOVISCKI, 2011). Alguns desses produtos são apresentados na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Produtos obtidos a partir de extrusão.

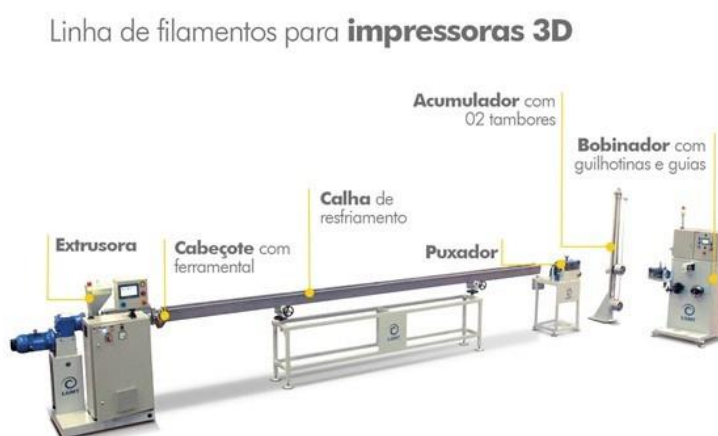


Fonte: VIGNOL (2005).

2.3.1. Equipamentos de extrusão de filamentos

De acordo com Rodrigues (2017), existem hoje alguns fabricantes de equipamentos de extrusão de filamentos, sendo que já há equipamentos que possuem a linha de componentes completa, com resfriadores e bobinadeiras, em que os consumidores principais são as empresas que fabricam filamentos para impressão 3D. Na Figura 2.11, apresenta o equipamento de extrusão.






Figura 2.11 – Equipamento para extrusão de filamentos.



Fonte: LGMT (2016).

Ainda segundo Rodrigues (2017), há também equipamentos fornecidos para os usuários comuns. Em que esses equipamentos são capazes de reutilizar os resíduos provenientes da impressão 3D. Na Figura 2.12 a seguir, alguns equipamentos de extrusão de filamentos.

Figura 2.12 – Modelos de extrusores de filamentos.

MODELO	DIÂMETRO DE EXTRUSÃO	VELOCIDADE DE EXTRUSÃO	TOLERÂNCIA	PREÇO
 Strooder	1,75mm 2,85mm 3,00mm	0,3 kg/h (1,98 m/min)	0.1mm	\$1035
 Wellzoom	1,75mm 3,00mm	650 mm/min (0,1kg/h)	--	\$700
 ProtoCycler	1,75mm	10 ft/minuto (0,45 kg/h)	0,05mm	\$900
 Filastruder	1,75mm 3,00mm	0,125 kg/h (0,125 kg/h)	0,05 mm	\$300
 Filabot	1,75mm 2,85mm	0.5 lb/h (0,230 kg/h)	0,1mm	\$1400

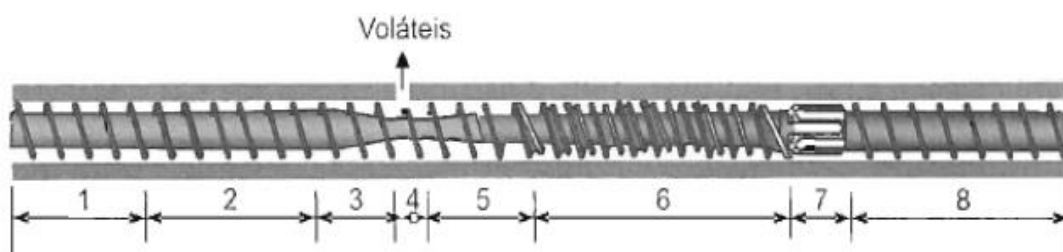
Fonte: RODRIGUES (2017).

2.3.2. Rosca para polietileno tereftalato (PET) reciclado

O PET por ser um material que funde a uma temperatura alta, em média 275 °C e durante o processo de extrusão libera materiais voláteis, no PET reciclado principalmente, com isso é necessária uma rosca ajustada para que ocorra degasagem. Além disso o PET possui baixa viscosidade no estado fundido, sendo necessário uma rosca com barreira e um agente cisalhante (MANRICH, 2005).

Para o PET a rosca possui 8 zonas, em que a zona 1 é de alimentação, com 5 passos; a zona 2 é a primeira zona de compressão, composta por 7 passos; na zona 3, com 2,5 passos, é a zona de descompressão com uma redução no diâmetro; a zona 4 é a degasagem, com 1,5 passos; a zona 5, com 3 passos, é a segunda zona de alimentação; a zona 6, em que o filete primário com 10 passos, com barreira na rosca, sendo também a zona de fusão; na zona 7, é a de cisalhamento ou pode ser utilizado o Maddock; e a zona 8 é a zona de vazão, com 8 passos, mas geralmente com 4 passos. Na Figura 2.13, o exemplo de rosca recomendada para o PET reciclado.

Figura 2.13 – Exemplo de rosca para o PET reciclado.



Fonte: MANRICH (2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação foi empregado um maquinário adequado, além de materiais e peças que constituem o equipamento. Neste capítulo estão listados todos os materiais utilizados e a metodologia aplicada para a fabricação e montagem do equipamento, bem como os materiais aplicados na parte experimental, assim como os métodos empregados.

O cronograma de estudos do trabalho definiu-se da seguinte forma:

- Etapa 1: Desenvolvimento do projeto do equipamento;
- Etapa 2: Seleção dos materiais e equipamentos que viriam a ser utilizados na fabricação do equipamento;
- Etapa 3: Fabricação do equipamento;
- Etapa 4: Determinação dos parâmetros aplicados na parte experimental;
- Etapa 5: Experimento extrudando com o equipamento;
- Etapa 6: Análise dos resultados obtidos nos experimentos.

3.1. MATERIAIS

1. Trado manual mathieson 5/8 x 18" Irwin iw513;
2. Tubo industrial galvanizado 19,05mm 3/4";
3. Luva de 1/2" galvanizada;
4. Bucha de redução 1/2" macho X 1/4" fêmea;
5. Plug macho rosca 1/4";
6. Espigão macho rosca 1/4" x 1/4";
7. Motor Bosch FPG 12V;
8. Fonte FX 450 LPJ2-20;
9. Arduino;
10. Termopar tipo K com max6675;
11. Relé de estado sólido;
12. Fita Kapton;
13. Manta cerâmica;
14. Fita de Níquel-Cromo;
15. Conector cerâmico;
16. Cabo de energia adaptado;
17. Interruptor.

Figura 3.1 – Materiais utilizados.

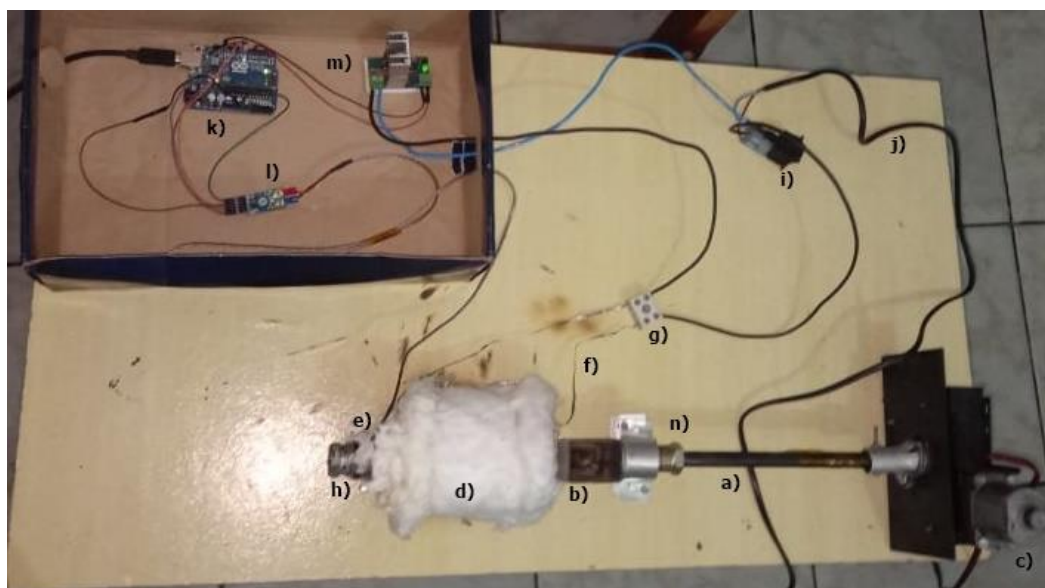


Fonte: Autor (2019).

3.2. MÉTODOS

Esta seção apresenta as etapas de fabricação e montagem do equipamento. Na Figura 3.2, pode-se observar o dispositivo finalizado, com os componentes fabricados após todos os procedimentos descritos nesta seção, juntamente com os componentes que foram apenas montados.

Figura 3.2 – Equipamento fabricado e seus componentes.



Fonte: Autor (2019). Nota: a) trado; b) tubo; c) motor; d) manta cerâmica; e) termopar; f) fita de Níquel-Cromo; g) conector cerâmico; h) luva; i) interruptor; j) cabo de energia; k) arduino; l) max6675; m) relé de estado sólido; n) bucha de redução.

Para a utilização como parafuso de extrusão do dispositivo, optou-se pelo uso de um Trado manual para madeira, conforme Figura 3.3. Sendo este trado da marca Irwin, modelo mathieson 18” (Cerca de 457 mm de comprimento e o canal com comprimento de 178mm), possuindo diâmetro de 5/8 de polegada (Cerca de 16mm), sendo uma ferramenta obtida por meio de forjamento, tratada termicamente por processo de austêmpera e protegida de corrosão com a utilização de óleo anticorrosivo.

O motivo por esta escolha devido principalmente pelo fato do baixo custo ser um dos objetivos do projeto, pois a utilização de um parafuso específico para extrusão (seja o mesmo usinado ou conformado) ocasionaria em elevados custos para montagem do equipamento

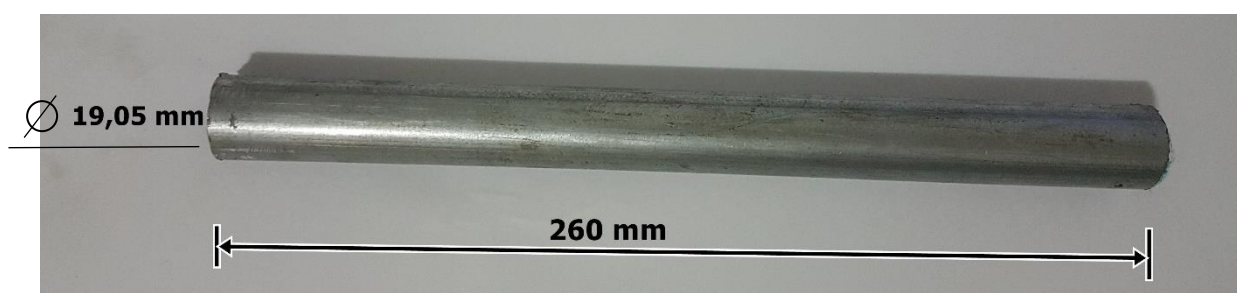
Figura 3.3 – Trado utilizado como parafuso de extrusão.



Fonte: IRWIN (2014).

Para o corpo do canhão do sistema de extrusão, foi planejado a utilização de um tubo industrial galvanizado (comprimento de 200mm) com diâmetro de 19,05mm, visto na Figura 3.4. Devido principalmente por possuir diâmetro interno próximo ao do trado além de possuir uma boa resistência mecânica e ser um bom condutor térmico, propriedades necessárias para o bom funcionamento do equipamento, além do custo baixo.

Figura 3.4 – Tubo industrial galvanizado.



Fonte: Autor (2019).

A matriz utilizada que será responsável por dar formato ao filamento no extrusor foi um plug macho rosca de 1/4 de polegada junto a bucha de redução de 1/2 polegada macho x 1/4 polegada fêmea, em que o plug com a furação central correspondente ao diâmetro do filamento que virá a ser produzido, como apresentado nos objetivos deste projeto, 1,75mm. Na Figura 3.5 a seguir, temos o plug e a bucha de redução.

Figura 3.5 – Plug e bucha de redução.



Fonte: Autor (2019).

As extremidades do corpo do canhão foram unidas cada uma com uma luva de 1/2 polegada galvanizada, para manter o padrão de montagem e facilitar a desmontagem quando necessário do sistema. Sendo que uma das luvas será unida com o plug e a bucha de redução, responsável pela saída do filamento e a outra extremidade será unida somente por uma bucha, que servirá como um mancal para o eixo do parafuso e também para evitar que o material possa escoar do canhão. Na Figura 3.6 podemos ver o corpo do canhão da extrusora.

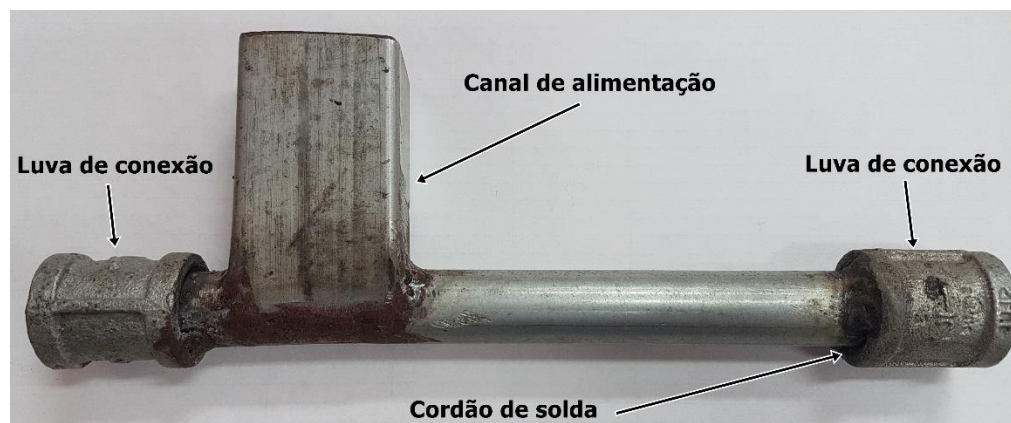
Figura 3.6 – Canhão da extrusora.



Fonte: Autor (2019).

O canal de alimentação do equipamento foi cortado uma cavidade e então soldado a partir de um perfil metálico retangular, para adição da matéria-prima. Na Figura 3.7 o canhão da extrusora com o canal de alimentação.

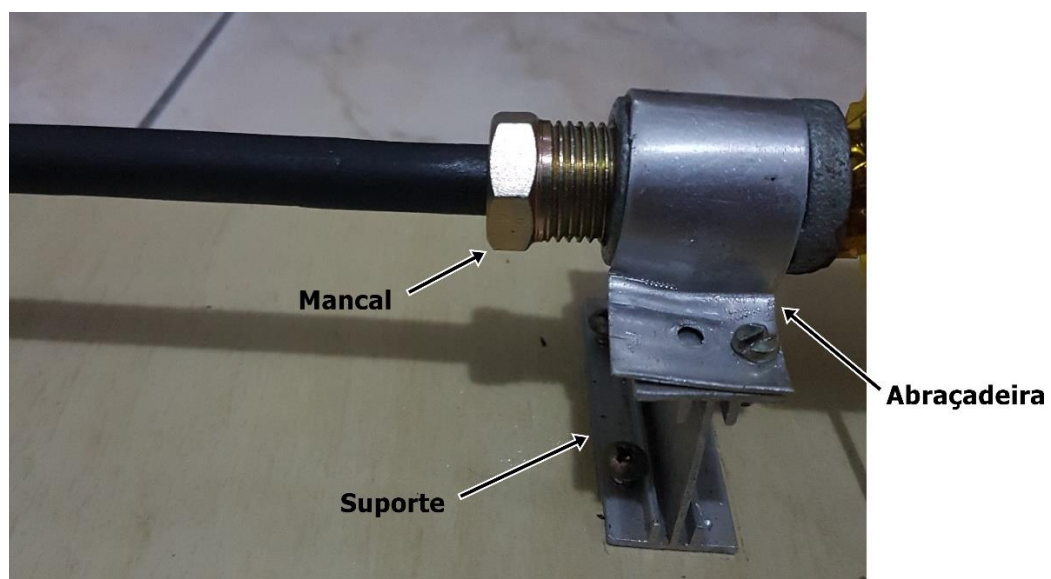
Figura 3.7 – Canal de alimentação da extrusora.



Fonte: Autor (2019).

As extremidades do corpo do canhão foram fixadas em suportes de alumínio por meio que abraçadeiras fabricadas a partir de chapas de alumínio. Na Figura 3.8, temos a extremidade traseira do canhão que faz a ligação do eixo do parafuso com o motor, em que é mostrada também a bucha que tem a função de mancal de deslizamento para apoiar o eixo e evitar algum tipo de escoamento do material que estará dentro do corpo do canhão.

Figura 3.8 – Suporte do canhão da extrusora.



Fonte: Autor (2019).

Em relação ao suporte do motor, este foi fabricado a partir de uma chapa de aço em formato de L, onde o motor foi fixado a este suporte por meio de parafusos, que por sua vez será fixado a mesa de montagem juntamente com os demais componentes. O papel deste suporte é fazer com que o parafuso não se desloque na direção oposta à matriz devido às forças axiais desempenhadas pelo material que estará sendo fundido no canhão da extrusora. Na Figura 3.9, temos o suporte do motor.

Figura 3.9 – Suporte do motor.



Fonte: Autor (2019).

A transmissão de movimento entre o motor e o parafuso de extrusão foi fabricada por meio de um tubo de alumínio, em que este tubo foi acoplado no eixo do motor através de uma abraçadeira e acoplado junto ao parafuso de extrusão com o auxílio de um parafuso passante com porca, e para evitar folga, mantendo o eixo do parafuso centrado em relação ao eixo do motor, foi utilizado fita isolante, em que a mesma foi enrolada na extremidade do parafuso extrusor até se aproximar do diâmetro do tubo e foi realizado um furo passante para a passagem do parafuso com porca. A Figura 3.10 a seguir, mostra essa transmissão.

Figura 3.10 – Transmissão do motor para o parafuso de extrusão.



Fonte: Autor (2019).

O sistema de transmissão de movimento foi realizado utilizando um motor 12v com redução do tipo rosca sem fim, encontrado em levantadores de vidro automotivos, similar ao mostrado na Figura 3.11.

Figura 3.11 – Motor de levantador de vidro veicular.



Fonte: BOSCH (2014).

A fim de minimizar os custos, motor foi alimentado por meio de uma fonte de computador modelo FX 450 LPJ2-20, vista na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Fonte de alimentação.

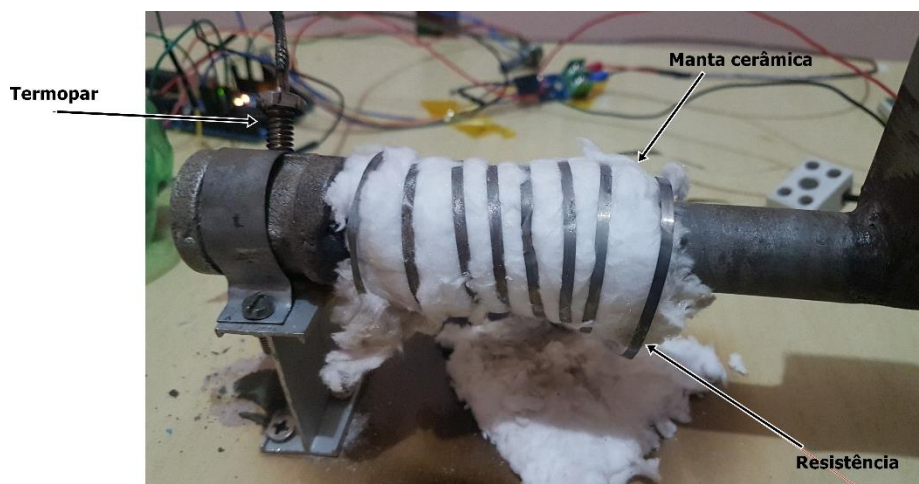


Fonte: Autor (2019).

3.2.1. Componentes elétricos do extrusor

O sistema elétrico do extrusor é composto basicamente por um sistema para controle de temperatura conectado à uma resistência de fita Níquel-Cromo, um termopar do tipo K e a manta cerâmica, em que a manta é enrolada em volta do canhão da extrusora e sobre a manta a resistência é enrolada, sendo o papel da manta evitar a fuga de corrente elétrica e calor no dispositivo. A Figura 3.13 mostra a montagem dos componentes citados.

Figura 3.13 – Componentes elétricos.

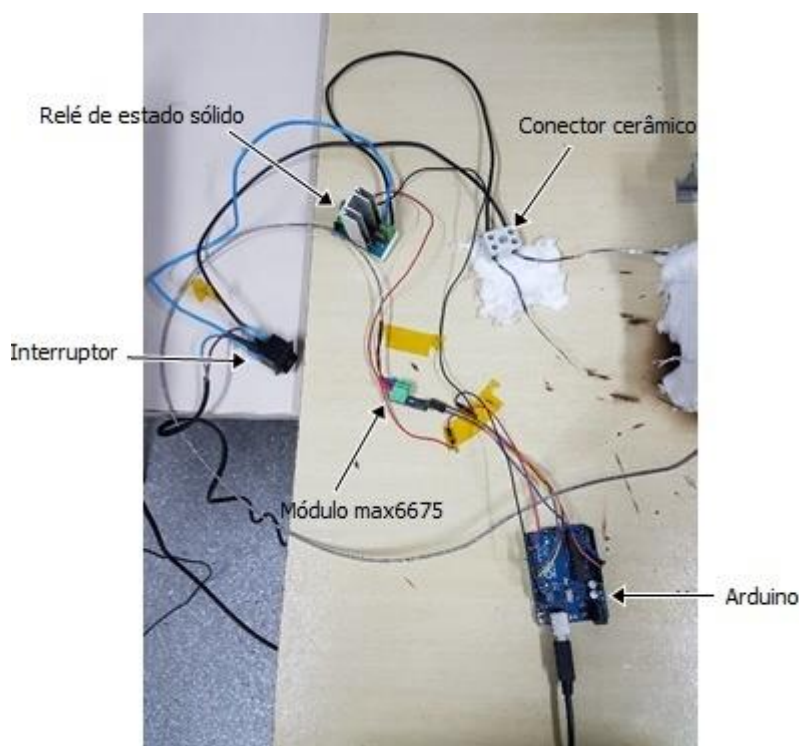


Fonte: Autor (2019).

Sendo o papel do controlador de temperatura estabilizar a temperatura próxima da zona de fusão do material utilizado. No caso do PET, por volta de 265 °C.

Na Figura 3.13, como citado anteriormente, temos o termopar, que foi instalado ao lado da resistência para que seja possível o controle da temperatura próximo a matriz de extrusão. E temos a resistência enrolada sobre a manta cerâmica, que se encontra por sua vez enrolada no canhão extrusor. E na Figura 3.14 temos os demais componentes do sistema de controle de temperatura (O Diagrama Elétrico se encontra nos apêndices).

Figura 3.14 – Controle de temperatura.



Fonte: Autor (2019).

Cabe ressaltar que o detalhamento do sistema elétrico não faz parte do escopo desse trabalho, em que o mesmo tem como objetivo o projeto de sistema mecânico do dispositivo, sendo o dimensionamento e fabricação da extrusora de filamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o processo de instalação da resistência de aquecimento, inicialmente optou-se pela utilização da fita kapton como isolante elétrico, ou seja, para que não ocorresse fuga de corrente por meio do contato da resistência com o corpo do canhão extrusor, porém, apesar de sua aplicação ser em situações com temperaturas próximas dos 400 °C, durante os testes seu comportamento não foi o esperado (ou seja, que suportasse a temperatura do experimento), à medida que se aquecia a extrusora e conseqüentemente elevava-se a temperatura, notou-se um início de fumaça proveniente da fita, indicando sua queima, após a parada do experimento e retirada a fita para verificação, o seu estado final é mostrado na Figura 4.1 a seguir.

Figura 4.1 – Fita Kapton após o experimento.



Fonte: Autor (2019).

Percebe-se na imagem da Figura 4.1 que a fita já estava ultrapassando o seu limite de temperatura e conseqüentemente perdendo suas propriedades, entrando em combustão.

Em razão disso, a solução encontrada para substituição da fita kapton foi a utilização da manta cerâmica que suporta temperaturas próximas de 1760 °C, além

de ter o papel de isolante elétrico. O resultado da aplicação da manta é mostrado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Manta Cerâmica.



Fonte: Autor (2019).

O comportamento da manta foi satisfatório e atendeu as expectativas (suportou a temperatura do experimento, mantendo suas propriedades), sendo utilizadas camadas enroladas sobre a resistência para conservação e manutenção da temperatura e conseqüentemente favorecendo a transferência de calor para o interior do canhão.

4.1. TESTES DE EXTRUSÃO DE PET

Com a montagem completa da extrusora, iniciaram-se os primeiros testes, foi configurado o controlador para manter a temperatura na faixa desejada, a princípio optou-se pela temperatura de 200 °C (Utilizando o controlador de temperatura para obter essa temperatura) para dar início a alimentação do canal com pellets de PET e com o motor acionado. Na Figura 4.3, temos os pellets de PET produzidos artesanalmente.

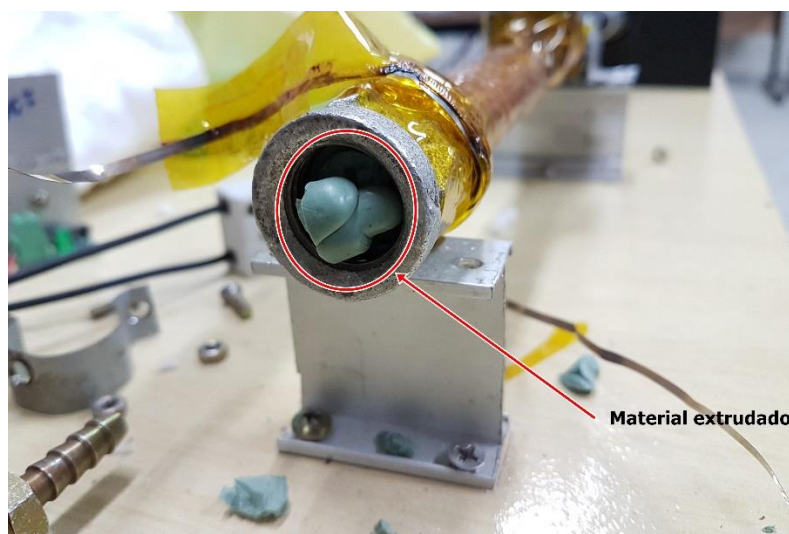
Figura 4.3 – Pellets de PET.



Fonte: Autor (2019).

A medida que passava o tempo, notou-se que não estava ocorrendo a saída do PET pela matriz extrusora, após a parada do teste e a retirada da matriz para verificar o que havia ocorrido. O parafuso não estava mais conseguindo empurrar o material devido que a temperatura utilizada não ter sido suficiente para o PET chegar no comportamento ideal de extrusão e o mesmo acabou solidificando próximo da matriz, o resultado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – PET após o primeiro teste.



Fonte: Autor (2019).

E após o canhão extrusor resfriar, foi realizada a limpeza do mesmo e o resultado de como ficou o PET utilizado, na Figura 4.5.

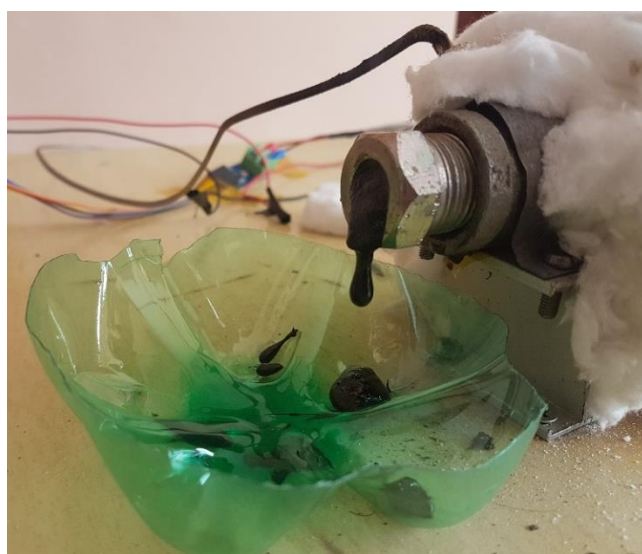
Figura 4.5 – PET após a limpeza do canhão.



Fonte: Autor (2019).

Dando continuidade aos testes, com uso dos controladores de temperatura, optou-se por testar com a temperatura acima de 260 °C e próximo de 270 °C, conforme a literatura o ponto de fusão do PET fica em torno de 265 °C. Logo, o resultado obtido de fato foi o PET fundir, se tornando praticamente líquido (meio pastoso) e sua extrusão se mostrou inviável, o resultado é mostrado na Figura 4.6.

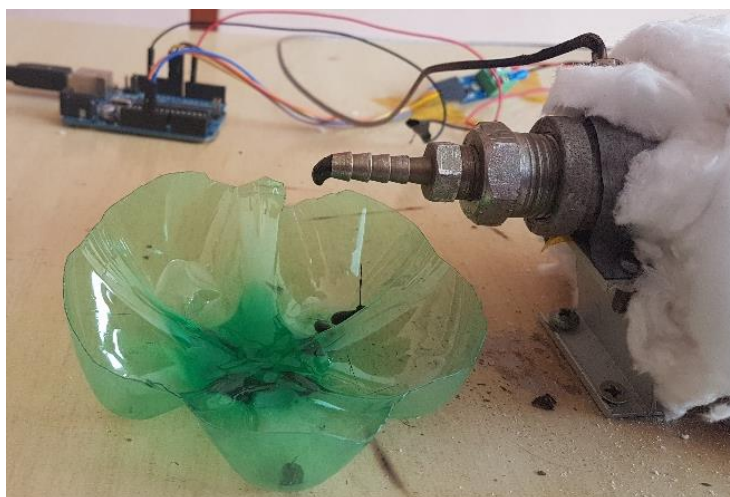
Figura 4.6 – PET após teste com temperatura acima de 260 °C.



Fonte: Autor (2019).

Devido ao comportamento complexo do PET, foi realizada uma série de testes empíricos (Feitos no equipamento, utilizando o controlador de temperatura) com diferentes temperaturas, e foi possível a extrusão do material a 240 °C, o resultado na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Extrusão do PET.



Fonte: Autor (2019).

Por conta do comprimento da matriz utilizada no momento do teste, no caso o espigão. Não foi possível a continuidade da extrusão do material, por conta da distância de saída da matriz, aparentemente o parafuso não conseguiu empurrar o material até a extremidade, e o sistema de aquecimento não estava conseguindo acompanhar a tempo a vazão do PET, em razão de não estar derretendo o material a tempo de passar pelo canal do parafuso e o mesmo empurrá-lo para a matriz.

Então foi realizada a substituição da matriz de extrusão por outra de menor diâmetro e menor comprimento, após isso foi possível a obtenção da continuidade na extrusão, logo foi obtido um filamento de PET, mostrado na Figura 4.8.

Figura 4.8 – PET extrudado.



Fonte: Autor (2019).

Não foi possível um filamento extenso, mas os obtidos podem ser visualizados na Figura 4.9

Figura 4.9 – Filamentos de PET.



Fonte: Autor (2019).

Os motivos que ocasionaram a interrupção na continuidade do filamento, foram: a quantidade de PET introduzida pelo canal de alimentação foi maior do que

as anteriores, em razão dessa maior quantidade, a vazão de material foi maior e à medida que era empurrado pelo parafuso. O material extrudado não saiu somente pelo orifício da matriz, mas também pelo furo realizado na luva de conexão, responsável por alocar o termopar utilizado para medição da temperatura do processo, resultando no vazamento de PET por ele, para que o material vazado não atingisse a resistência elétrica, foi interrompido o teste. O efeito desse comportamento (indicado pela seta, por onde vazou o material) é mostrado na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Local de vazamento do material.



Fonte: Autor (2019).

Foi observado durante os testes, uma certa quantidade de gases provenientes do aquecimento do PET, que são gases tóxicos derivados da composição química do PET. Logo é necessário a utilização de máscara se possível e a realização dos testes em local arejado, para a circulação destes gases. Na Figura 4.11 é mostrado a quantidade de gases eliminados.

Figura 4.11 – Gases provenientes do aquecimento do PET.

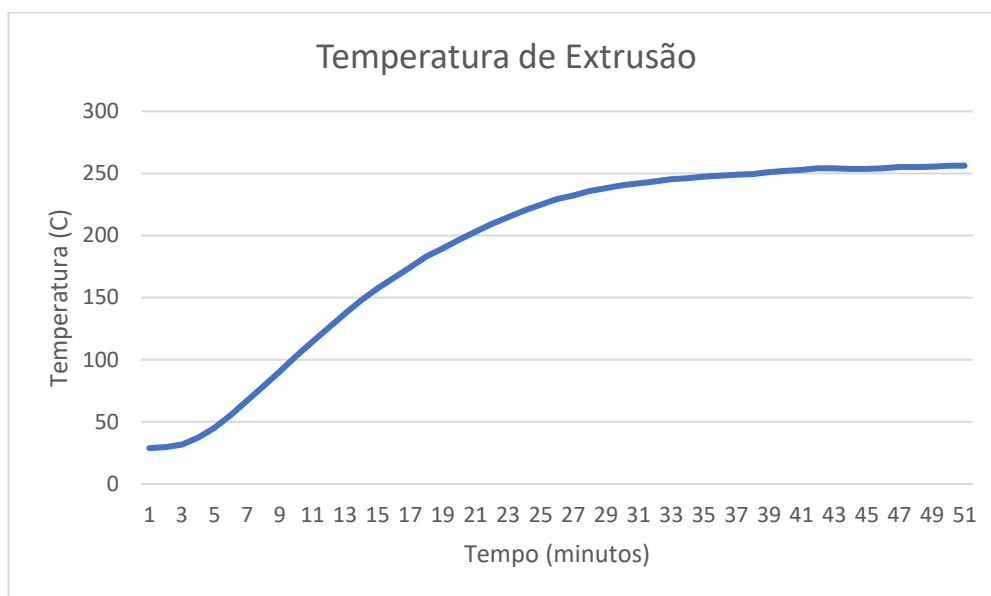


Fonte: Autor (2019).

Durante os testes realizados e a obtenção da temperatura para extrusão, gerou-se um gráfico da temperatura em função do tempo de aquecimento, onde foi realizado inicialmente um pré-aquecimento do canhão da extrusora, sem a presença do material PET, após a temperatura atingir o intervalo de 245 °C a 255 °C, a mesma se manteve constante. Então foi adicionado a matéria-prima no canal de alimentação e acionado o motor, dando início ao processo de extrusão, ocorrendo uma queda na temperatura, mas depois a mesma retornou ao intervalo inicial.

No Gráfico 1, é mostrado como se comportou a curva de aquecimento até atingir a temperatura próxima da ideal (conforme verificado na literatura) de extrusão. Analisando o gráfico, é possível verificar que foram necessários aproximadamente 33 minutos para se atingir a temperatura de extrusão, comportamento típico de pré-aquecimento necessário a praticamente todo equipamento de extrusão, evidentemente esse tempo pode variar a depender da potência da fonte de aquecimento e características termodinâmicas do sistema.

Gráfico 1 – Curva do comportamento da temperatura de extrusão.



Fonte: Autor (2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes realizados apresentaram resultados consideráveis, apesar de não terem sido extrudados filamentos contínuos do material. Com as variações de temperatura nos experimentos, foram percebidas alterações no comportamento do PET.

Mesmo com as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do projeto, foi alcançado o objetivo de fabricação de um equipamento para extrusão de plástico, sendo necessário ajustes futuros.

Confirmou-se com o visto na literatura, o comportamento complexo do PET durante o processo de extrusão, em que a extrusão do PET puro não se obtém filamentos com precisão, sendo necessário procedimentos para que ocorra uma correta transformação durante o processo de extrusão, em que as etapas do procedimento são: secagem, desumidificação e cristalização.

Outro ponto observado, é como o material PET fundido solidifica-se rapidamente, como foi nos resultados, em que o material travou na saída do canhão extrusor e também aderiu ao canal do parafuso.

A não obtenção de um parafuso específico para o material PET e de um sistema de controle de temperatura com uma maior precisão, se deu pela falta de recursos para aquisição dos mesmos.

Na análise final do projeto, pode-se concluir que o projeto e a fabricação da extrusora foi suficiente, apesar dos ajustes futuros necessários para ter seu completo funcionamento e propósito de fabricação, foi possível a fabricação de um filamento. Em que, validou-se o equipamento como um equipamento de ensino e pesquisa aceitável.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Quanto as melhorias construtivas, recomenda-se:

- Melhorar o canal de alimentação, para facilitar a entrada de matéria-prima, visto a dificuldade com o formato do canal feito, sendo necessário aumentar a dimensão do mesmo e o seu formato ser fabricado como o de um funil;
- Fabricar a matriz de extrusão, visto que a utilizadas notou-se a dificuldade de saída do PET, por conta da distância do furo da matriz e o término do parafuso, em que o mesmo em determinados momentos não conseguia empurrar mais material;
- Apesar de um dos objetivos do projeto é o baixo custo, conforme a literatura, o PET necessita de um parafuso específico para ser extrudado. Logo, a fabricação de um parafuso por meio do processo de usinagem, melhoraria o processo;
- E a realocação do Termopar, visto que o furo feito para instalação do mesmo, causou vazamento de material, devido à grande quantidade que foi utilizada durante os testes.

Para recomendações experimentais, é sugerido:

- Utilizar matéria-prima proveniente também dos descartes da impressora 3D da universidade, fazendo o reaproveitamento do mesmo, ajudando com a reciclagem.

REFERÊNCIAS

ABIPIET. **Resina Pet – O que é PET?** São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=81>>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

ABIPLAST. **Processo de Transformação para Materiais Plásticos.** São Paulo, 2014. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf>. Acesso em: 03 de setembro de 2019.

ABREU, S. A. C. **Impressão 3D Baixo Custo Versus Impressão em Equipamentos de Elevado Custo.** 2015. 235 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Porto, Portugal, 2015.

AZEVEDO, F. M. Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D. 2013. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2013.

BESKO, Marcos. Aspectos Técnicos e Nocivos dos Principais Filamentos usados em Impressão 3D. *Gestão Tecnologia e Inovação, Revista eletrônica dos cursos de Engenharia.* 2017.

BOSCH. **Catálogo 2004/2005: Motores Elétricos Aplicações Industriais.** Campinas, 2004.

BRASKEM. **O Plástico no Planeta: O uso consciente torna o mundo mais sustentável.** São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/download/Principal/21103?file=Cartilha_Braskem.pdf> . Acesso em: 17 de setembro de 2019.

CASAGRANDE, M. V. S. **Projeto De Um Cabeçote De Extrusão De Uma Máquina De Prototipagem Rápida FDM.** 2013. 111p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

CUNICO, M. **Impressoras 3d: O Novo Meio Produtivo.** 1 ed. Curitiba: 2014. 158p.

DABAGUE, L. A. M. **O Processo De Inovação No Segmento De Impressoras 3d**. 2014. 51 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

DE ANDRADE, Rafael Melo Paes. **Reciclagem Química de PET – Processo de Fusão e Reticularização com Glicerol**. 2016. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2016.

DE OLIVEIRA, M. C. B. R. **Gestão De Resíduos Plásticos Pós-Consumo: Perspectivas Para a Reciclagem No Brasil**. 2012. 91 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

HOTZA, D. Prototipagem rápida de pilhas a combustível de óxido sólido. Revista Matéria. Florianópolis, vol. 14 no.4, 2009.

IMPRESSAO3DFACIL. **Conheça os diferentes tipos de materiais para impressão 3D FDM**. 2015. Disponível em: <<http://www.impressao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2019.

IRWIN. **Brocas para Madeira**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.irwin.com.br/uploads/products/brochure/827_brocas-para-madeira.pdf>. Acesso em: 29 de agosto de 2019.

JET PRINTER. **A impressão 3D já é uma realidade e está revolucionando o mercado**. São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://jetprinter.com.br/?p=3651>>. Acesso em: 19 de outubro de 2019.

KANTOVISCKI, A. **Materiais Poliméricos: Módulo 2 – Processos de Transformação de Polímeros**, 2011. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d6matPolimMod2.pdf>>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

LGMT EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. **Linha de Extrusão para Produzir Filamentos para Impressora 3D**. Piracicaba, 2016. Disponível em: <<http://www.lgmt.com.br/linha-extrusao-produzir-filamentos-impressora-3d>>. Acesso em: 12 de setembro de 2019.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: Rosca única, Extrusão e matrizes, Injeção e moldes.** 1 ed. São Paulo :2005. 431p.

MARQUES, K. **Manufatura aditiva: o futuro do mercado industrial de fabricação e inovação.** EESC- Escola de Engenharia de São Carlos, USP- Universidade de São Paulo, 2014.

MICHAELI, Walter. **Tecnologia dos plásticos: livro texto e de exercícios.** São Paulo, SP: E. Blücher, 1995.

PEREIRA, F. D. A. S. **Desenvolvimento de um Cabeçote para Extrusão de Filamento Fundido Aplicado a Manufatura Aditiva.** 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PESSI, Fernando; PAGLIOSA, Thiago Antônio. **Projeto e Construção de uma Mini Extrusora de Filamentos.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2018.

RAULINO, B. R. **Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição).** Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 105p. 2011

RODRIGUES, Luís Felipe Birmann. **Análise do Aproveitamento de Polímeros Recicláveis para Obtenção de Filamentos para Impressora 3D.** 2017. 43 p. Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, RS, 2017.

RILKO, J. C. **Manufatura Aditiva aplicada ao ensino de engenharia mecânica.** Universidade de Rio Verde, Rio Verde, GO. 2017

SILVEIRA, Debora Priscila. **Como funciona e como surgiu a impressora 3D?** 2016. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/11352-como-funciona-e-como-surgiu-a-impressora-3d>>. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

TUDOSOBREPLÁSTICO. **Impressoras 3D: Como funcionam**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://tudosobreplasticos.com/processo/impresao3D.asp>>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

VIGNOL, Leonardo de Alencastro. **Desenvolvimento de Modelos Simplificados para o Estudo da Extrusão de Polímeros**. 2005. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

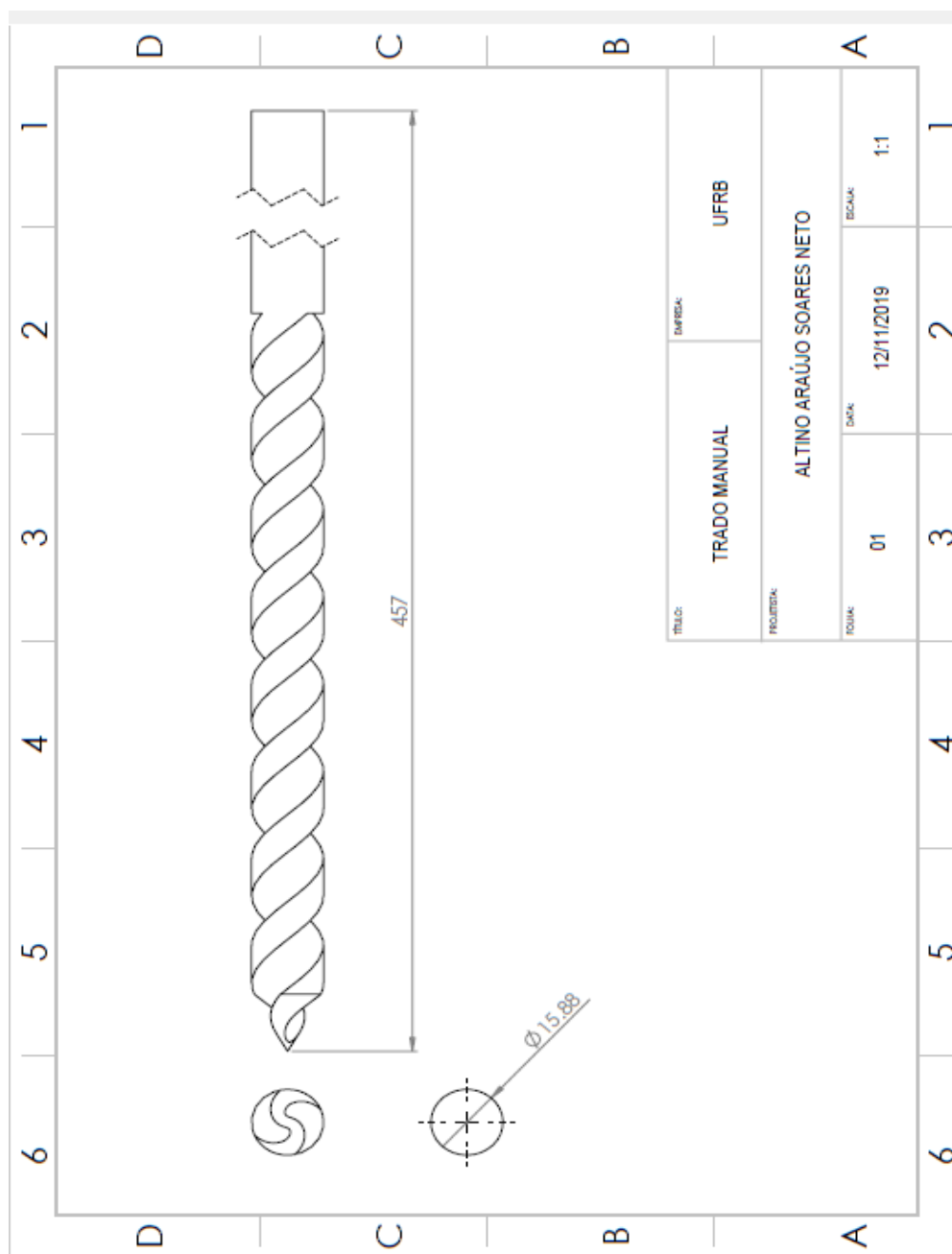
VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida: Tecnologia e Aplicações**. 1 ed. São Paulo :2006. 244p.

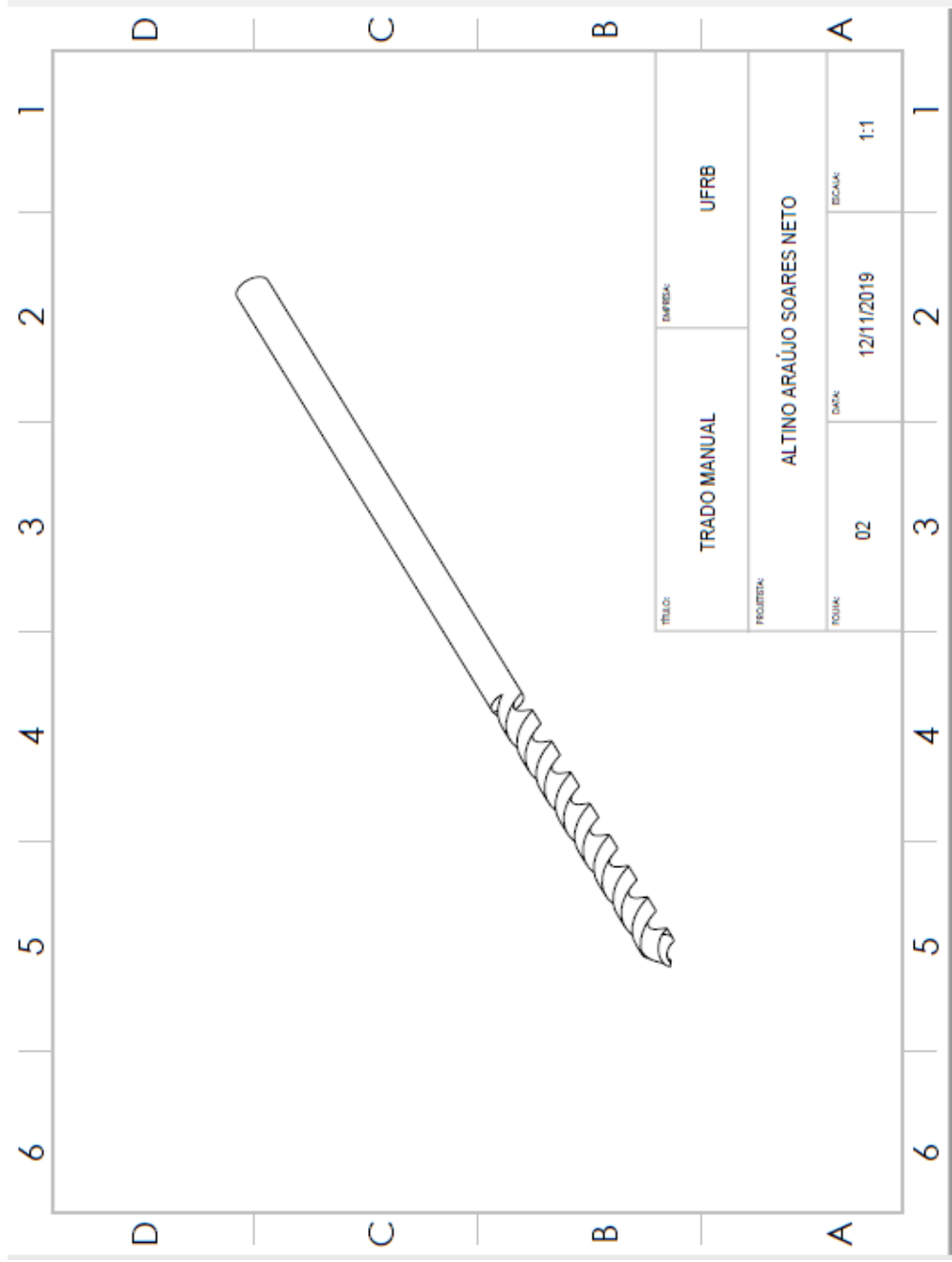
WIEBECK, Hélio; HARADA, Julio. **Plásticos de Engenharia Tecnologia e Aplicação**. São Paulo: Artiliber Editora, 2005.

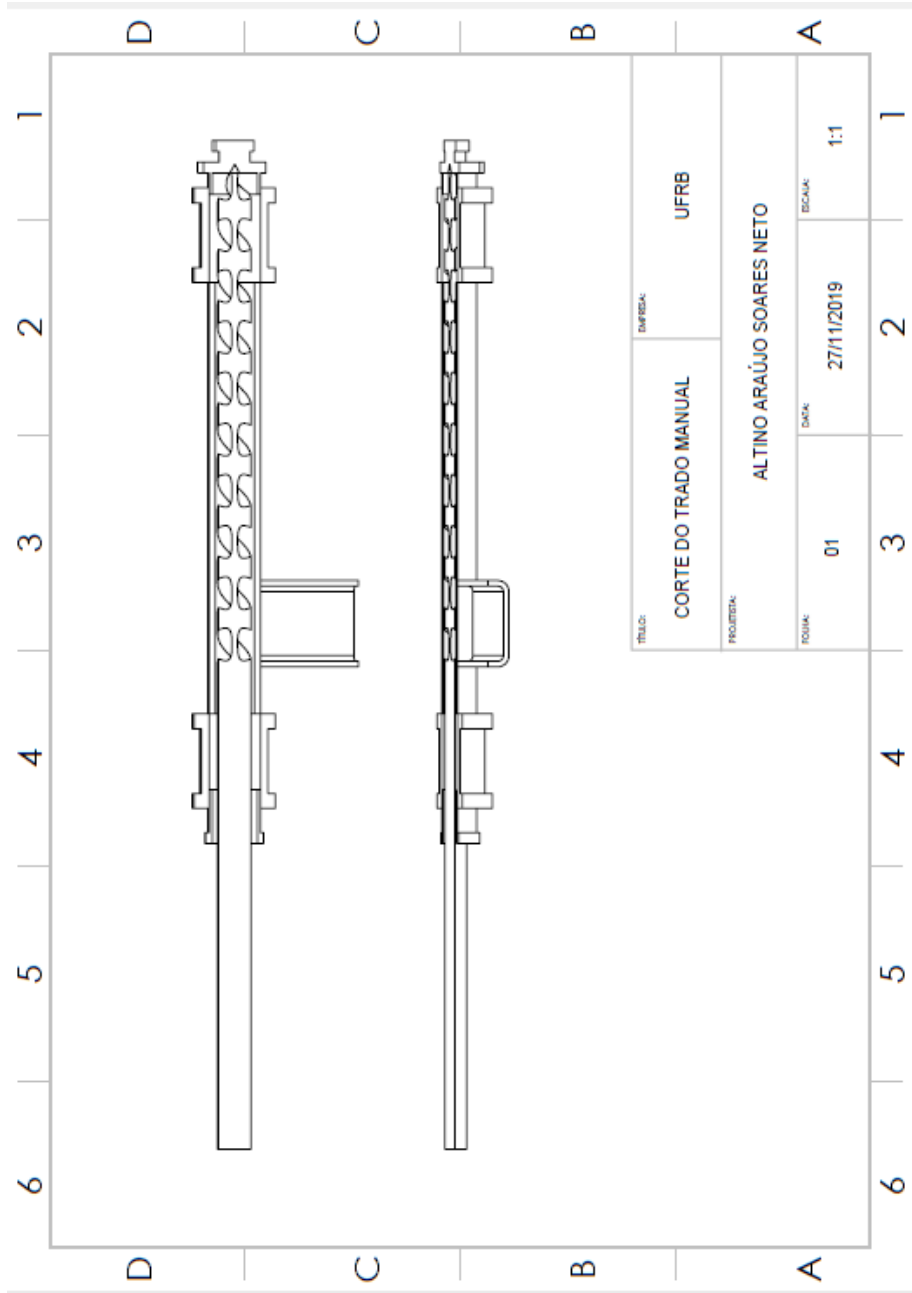
WISHBOX. **Filamentos para impressão 3D**. 2016. Disponível em: <<http://blog.wishbox.net.br/2016/05/24/filamentos-para-impresao-3d-2/>>. Acesso em: 1 de setembro de 2019.

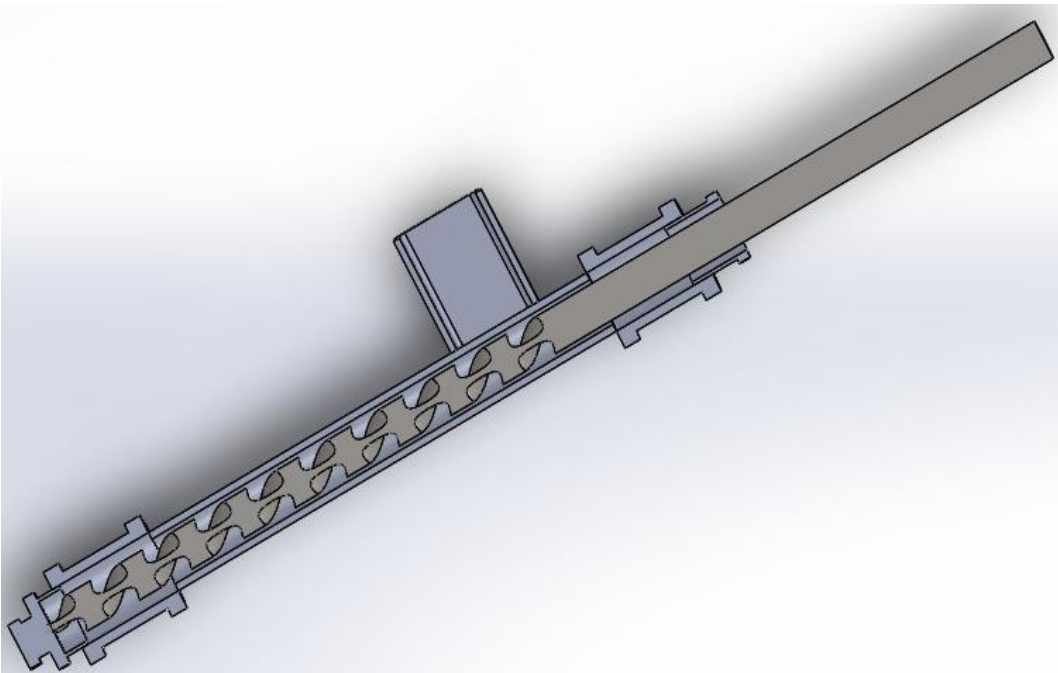
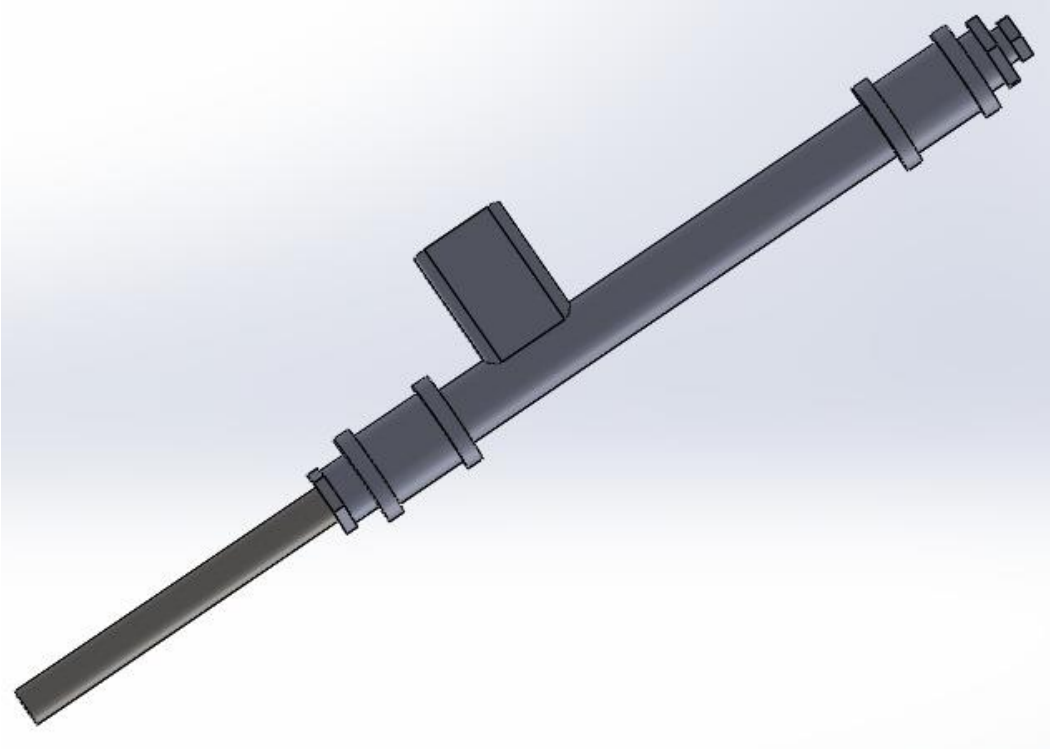
WWF – BRASIL. **Conheça os benefícios da coleta seletiva**. Brasília, 2008. Disponível em <<http://www.wwf.org.br/?uNewsID=14001>>. Acesso em: 19 de agosto de 2019.

APÊNDICES









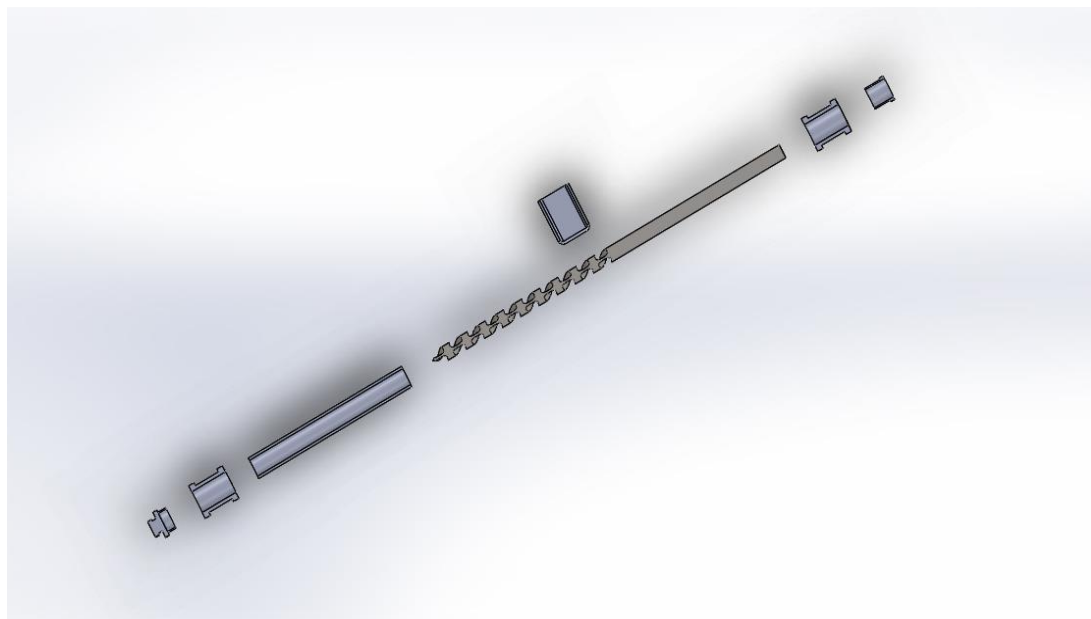
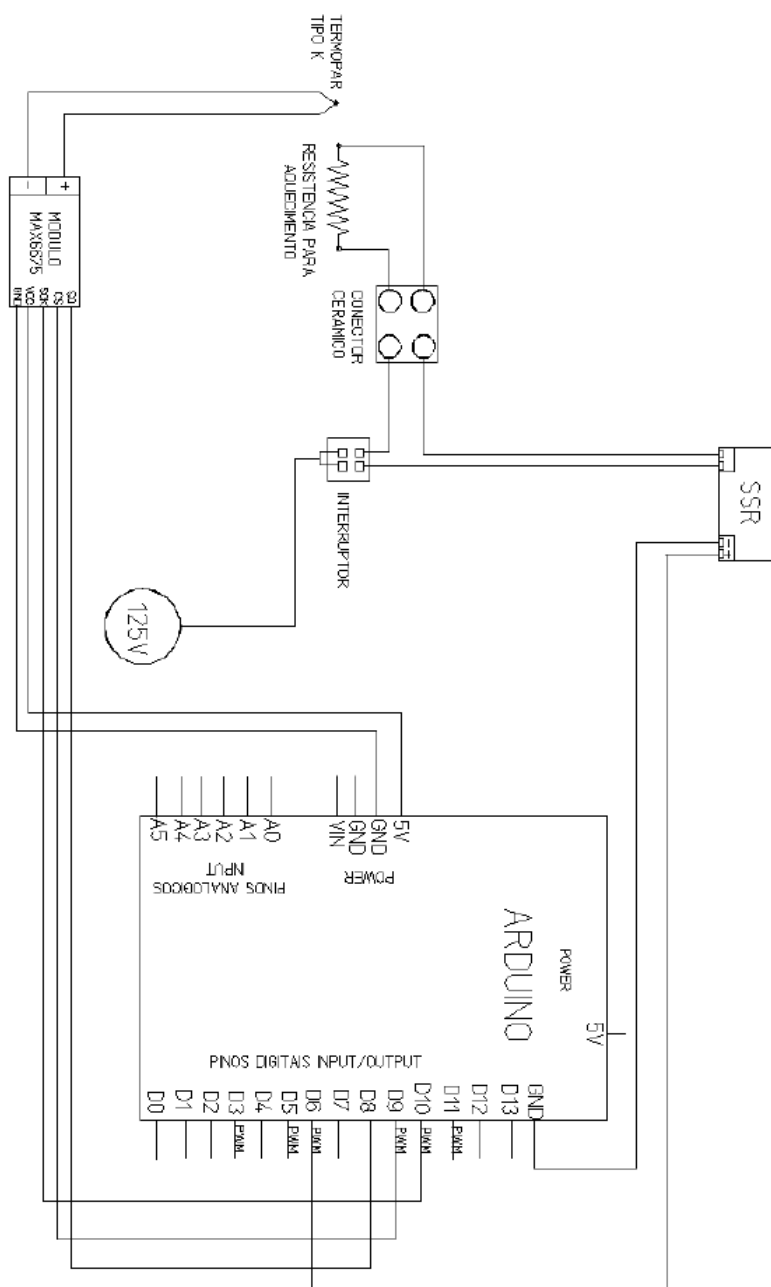


DIAGRAMA ELÉTRICO



ANEXO A – CATÁLOGO BROCAS IRWIN PARA MADEIRA

Trado Manual Mathieson 18"



IW509

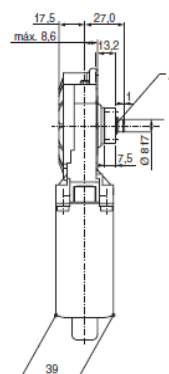
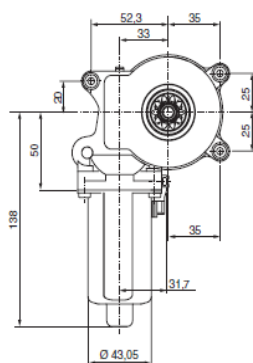
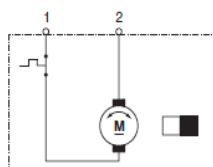
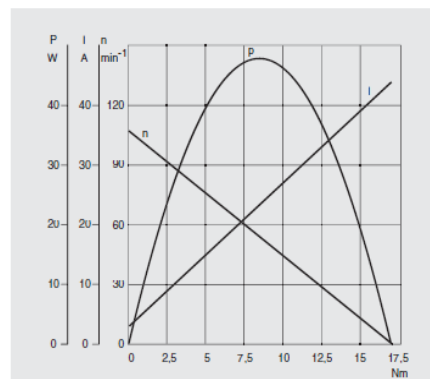
- Os Trados Manuais Mathieson são ferramentas obtidas através do processo de forjamento, sendo tratados termicamente por processo de austêmpera e são protegidos contra corrosão através da aplicação de óleo anticorrosivo.
- A rosca é composta por dois canais sendo que a navalha de corte possui duas arestas principais de corte e duas arestas laterais, localizadas abaixo das arestas principais.

Código	- Ø - (pol.)	Comprimento Total (pol.)	Comprimento Total (mm)	Comprimento Canal (mm)	Peso (g)
Embalagem Granel					
IW509	3/8"	18"	457	178	261
IW510	7/16"	18"	457	178	272
IW511	1/2"	18"	457	178	276
IW512	9/16"	18"	457	178	418
IW513	5/8"	18"	457	178	427
IW514	11/16"	18"	457	178	447
IW515	3/4"	18"	457	178	466
IW516	7/8"	18"	457	178	493
IW517	1"	18"	457	178	549
IW519	1.1/4"	18"	457	178	732
IW520	1.1/2"	18"	457	178	849

ANEXO B – CATÁLOGO BOSCH: MOTOR ELEVADOR DE VIDROS



U_N	12 V
P_N	10,2 W
n_N	98 rpm
I_N	6 A
$I_{MÁX.}$	42,0 A
M_N	1 Nm
M_A	16,9 Nm
i	73 : 1
Rot.	L / R
S	S2 - 5 min
IP	IP 5X
kg	0,600 kg
$\oplus R$	0 130 821 428
$\oplus L$	0 130 821 429



- A** O eixo deve ser apoiado no plano de parafusagem.
Folga máx. admitida 0,1
- El eje debe apoyarse en el plano de destornillamiento.
Holgura máx. admitida 0,1
- The shaft must be supported on the screw plan.
Max. clearance acceptable 0,1