

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DE BAIXO CUSTO DE EXTRUSORA DE POLÍMEROS DE BANCADA
PARA IMPRESSORAS 3D

Por

William Moreira Gomes Neto

Campos dos Goytacazes – RJ

Junho/2023

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO DE BAIXO CUSTO DE EXTRUSORA DE POLÍMEROS DE BANCADA
PARA IMPRESSORAS 3D

Por

Wiliam Moreira Gomes Neto

Projeto Final de Curso apresentado em
cumprimento às exigências para a obtenção
do grau no Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica nos Institutos
Superiores de Ensino do CENSA.

Orientador: Alecsander Teixeira dos Santos, Esp.

Campos dos Goytacazes – RJ

Junho/2023

Ficha Catalográfica

Gomes Neto, Wiliam Moreira

Projeto de baixo custo de extrusora de polímeros de bancada para impressoras 3D / Wiliam Moreira Gomes Neto. - Campos dos Goytacazes (RJ), 2023.

45 f.: il.

Orientador: Prof. Alecsander Teixeira dos Santos
Graduação em (Engenharia de Mecânica) - Institutos Superiores de Ensino do CENSA, 2023.

1. Engenharia Mecânica. 2. Extrusora de Polímeros. 3. Impressora 3D. I. Título.

CDD 620.192

Bibliotecária responsável Glauce Virgínia M. Régis CRB7 - 5799.
Biblioteca Dom Bosco.

PROJETO DE BAIXO CUSTO DE EXTRUSORA DE POLÍMEROS DE BANCADA
PARA IMPRESSORAS 3D

Por

Wiliam Moreira Gomes Neto

Projeto Final de Curso apresentado em
cumprimento às exigências para a obtenção
do grau no Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica nos Institutos
Superiores de Ensino do CENSA.

Aprovado em 29 de JUNHO de 2023

BANCA EXAMINADORA



Alecsander Teixeira dos Santos, Esp. - ISECENSA



Mara Regina Dos Santos Barcelos, DSc. - ISECENSA



Davi Kezen Padrão Manhães, MSc. - UENF

DEDICATÓRIA

Quero dedicar esse trabalho primeiro à Deus por me dar forças ao longo de toda essa jornada, depois aos meus pais, Jeremias e Diná, minha irmã kristie e minha noiva Bárbara por ajudarem com recursos e apoio.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus por me proporcionar vida e saúde, por dirigir meus passos e iluminar meu caminho.

À Instituição ISECENSA, por prezar pelo ensino, ética e futuro dos novos profissionais.

Aos professores que tive ao longo do curso, que me ajudaram a trilhar os rumos do aprendizado, em especial aos meus orientadores que estiveram comigo de maneira mais próxima da fase final.

Aos meus parentes e amigos que sempre torceram por mim e pelo meu sucesso.

E a todos que fizeram parte direta ou indiretamente, contribuindo para minha formação.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

2D - Duas Dimensões

3D - Três Dimensões

ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

CAD - Computer Aided Design

CJP - Color Jetting Printing

DLP - Digital Light Processing

FDM - Modelagem de deposição por fundição

GPa - Gigapascal

MJP - Multi Jetting Printing

MPa - Megapascal

NBR - Norma Brasileira

NR - Norma Regulamentadora

PET - Politereftalato de Etileno

PETG - Politereftalato de Etileno Glicol

PLA - Ácido Polilático

SESI - Serviço Social da Indústria

SLA - Estereolitografia

SLS - Sinterização Seletiva a laser

STL - Esteliografia

W/m.K - Watt por metro Kelvin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Influência da temperatura nas características mecânicas de um Acrílico.	15
Figura 2: Comportamento tensão-deformação para polímeros frágeis (curva A), plásticos (curva B) e altamente elásticos (curva C).....	16
Figura 3: Processos produtivos na produção de transformados plásticos no Brasil em 2015.	18
Figura 4: Processo de extrusão de polímeros.	19
Figura 5: Processo FDM.....	21
Figura 6: Peça e estruturas de suporte da impressão 3D (FDM).	22
Figura 7: Rolo de filamento ABS	23
Figura 8: Propriedades das matérias primas de impressora 3D.....	24
Figura 9: Planejamento de execução de projeto.	28
Figura 10: Comparativo de materiais para fabricação do canhão.	30
Figura 11: Tubo SCH 40.	31
Figura 12: Broca serpentina para madeira.	31
Figura 13: Bico de extrusão de 1,75mm.....	32
Figura 14: Resistência 90W 30x30mm.....	32
Figura 15: Motor 12 V 40 Rpm	33
Figura 16: Vista isométrica da extrusora.	33
Figura 17: Vista explodida dos principais componentes.....	34
Figura 18: Montagem da estrutura.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista completa de materiais.....	9
Tabela 2: Informações do comparativo de materiais do canhão.....	30
Tabela 3: Cotação de material	37
Tabela 4: Cotação de matéria prima	39
Tabela 5: Diferença de preços de matéria prima.....	39

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Limite de resistência à compressão.....	35
Equação 2: Área da seção transversal circular.....	35
Equação 3: Torque máximo.....	35

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo geral	13
1.1.1 Objetivos específicos.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 POLÍMEROS	14
2.1.1 Classificação dos Polímeros	15
2.1.2 Processamento dos Polímeros.....	17
2.2 MÁQUINA EXTRUSORA	18
2.2.1 Principais Componentes.....	19
2.3 IMPRESSORAS 3D	20
2.3.1 Tecnologia FDM	20
2.3.1.1 Polímeros usados na Impressão 3D (FDM)	23
2.4 CONSTRUÇÃO MECÂNICA	25
3. METODOLOGIA.....	27
3.1 Classificação do projeto	28
3.2 Equipamento utilizado	29
3.3 Materiais.....	29
3.4 Especificação e critério de escolha dos principais componentes.	30
3.4.1 Canhão.....	30
3.4.2 Fuso	31
3.4.3 Matriz.....	32
3.4.4 Resistências elétricas.....	32
3.4.5 Motor	33
3.5 Desenhos SolidWorks	33
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5. CONCLUSÃO.....	40
6. REFERÊNCIAS.....	41
APÊNDICE A.....	43
APÊNDICE B.....	44
APÊNDICE C	45

PROJETO DE BAIXO CUSTO DE EXTRUSORA DE POLÍMEROS DE BANCADA PARA IMPRESSORAS 3D

William Moreira Gomes Neto¹, Alecsander Teixeira dos Santos²

RESUMO

Presente em diversos segmentos profissionais e domésticos, as impressoras 3D ampliaram seus limites de atuação, trazendo novas maneiras construtivas e possibilidades criativas infinitas. Por isso, este trabalho tem como objetivo diminuir os custos de produção de peças fabricadas com impressoras 3D elaborando um projeto mecânico de um protótipo de extrusora de polímeros para fabricação de filamentos por meio do software Solidworks. Tendo como foco para escolha dos componentes: a segurança, baixo custo, tamanho compacto, facilidade de montagem e alta disponibilidade no mercado. Diante dos resultados obtidos e preço final dos componentes, se mostra altamente competitivo economicamente e possui a capacidade efetiva de diminuir os custos de produção de peças 3D.

Palavras-chave: Projeto Mecânico; Extrusora de Polímeros; Impressora 3D.

¹ Aluno Orientado – Curso de Engenharia Mecânica-Institutos Superiores de Ensino do CENSA –ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
e-mail: wiliamneto@isecensa.edu.br

² Professor Orientador – Curso de Engenharia Mecânica-Institutos Superiores de Ensino do CENSA – ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
e-mail: alecsandersantos@isecensa.edu.br

PROJETO DE BAIXO CUSTO DE EXTRUSORA DE POLIMEROS DE BANCADA PARA IMPRESSORAS 3D

William Moreira Gomes Neto^{1}, Alecsander Teixeira dos Santos²*

ABSTRACT

Present in several professional and domestic segments, 3D printers have expanded their limits of action, bringing new constructive ways and infinite creative possibilities. Therefore, this work aims to reduce the production costs of parts manufactured with 3D printers by developing a mechanical design of a polymer extruder prototype for the manufacture of filaments using Solidworks software. Focusing on the choice of components: safety, low cost, compact size, ease of assembly and high availability in the market. In view of the results obtained and the final price of the components, it is highly economically competitive and has the effective capacity to reduce the production costs of 3D parts.

Keywords: Mechanical Project; Polymer Extruder; Printer 3D.

¹ Aluno Orientado – Curso de Engenharia Mecânica-Institutos Superiores de Ensino do CENSA –ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

e-mail: wiliamneto@isecensa.edu.br

² Professor Orientador – Curso de Engenharia Mecânica-Institutos Superiores de Ensino do CENSA – ISECENSA, Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

e-mail: alecsandersantos@isecensa.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Peças produzidas com impressoras 3D já são uma realidade consolidada em diversos campos de atuação profissional como: palentologia, medicina, veterinária, arquitetura e urbanismo, tecnologias assistivas, design de produtos, fabricação de ferramental, aplicação espacial e até fabricação final de produtos. Porém, foi só a partir de 2012 que as impressoras 3D receberam grande divulgação e conscientização no público geral, acentuando a entrada desta tecnologia no mercado doméstico (RELVAS, 2018; VOLPATO, 2017).

Há de se salientar, que após os custos de aquisição da impressora 3D, os filamentos representam grande parte do preço de fabricação de protótipos ou peças finais. Por isso, esse trabalho pretende agregar conteúdo ao mercado da produção aditiva que tem sido muito promissor nos últimos anos.

Uma vez que esse material pode ser adquirido por pequena fração de custo, quando comprado na forma de granulados, uma pequena extrusora se apresenta como excelente opção para mitigar os custos de produção.

Pode-se ainda encontrar características diversas e inovações na área dos filamentos, já que podem ser incorporados elementos ao material virgem, como inclusão de pós metálicos ou cerâmicos, entre outros que irão conferir diversidade de propriedades ao novo compósito.

Além da possibilidade de reciclar filamento perdido em impressões malsucedidas, uma vez que este material passe antes por processo de trituração.

1.1 Objetivo geral

Projetar uma extrusora de filamentos poliméricos para impressoras 3D.

1.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Realizar a descrição completa da lista de materiais necessários para construção.
- ✓ Apresentar justificativa de escolha dos principais componentes do projeto.
- ✓ Apresentar valor médio de custos e viabilidade econômica da solução de engenharia para a redução dos custos de impressão de peças 3D.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 POLÍMEROS

Polímeros são longas cadeias de moléculas orgânicas chamadas também de macromoléculas, que são divididas em unidades de estrutura menor (monômeros) e que têm o carbono com base, a origem do nome vem de “poli” que significa “muitas” e “meros” que remete a “partes”, logo, um polímero seria um composto com muitas partes. Apesar de existirem compostos poliméricos na natureza, a maior parte dos que são usados em engenharia são sintetizadas por força humana, usando geralmente o petróleo ou o carvão (CALLISTER, 2012; NORTON, 2013).

Mano e Mendes (2004, p.3) completam a definição dizendo que:

Polímeros (“polymers”) são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra- e intermoleculares. Possuem unidades químicas ligadas por covalências, repetidas regularmente ao longo da cadeia, denominadas meros (“mers”). O número de meros da cadeia polimérica é denominado grau de polimerização, sendo geralmente simbolizado por n ou DP (“degree of polymerization”).

Para Ashby (2012) e Norton (2013), por possuírem grande diversidade é difícil chegar a uma resposta precisa sobre as propriedades mecânicas gerais dos polímeros mas os módulos de elasticidade são no geral baixos, contudo podem variar de 69 MPa até em torno de 2,8 GPa, apresentam baixa densidade (variando de 0.95 a 1,8 de densidade relativa), baixa resistência, baixa rigidez, são fáceis de conformar, possuem diagrama tensão-deformação elásticos não lineares e suas propriedades dependem diretamente da temperatura.

A figura 1, apresenta um gráfico de Tensão x Deformação que mostra como o Acrílico, que é um material da classe dos polímeros, pode variar suas propriedades mecânicas de acordo com a variação da temperatura.

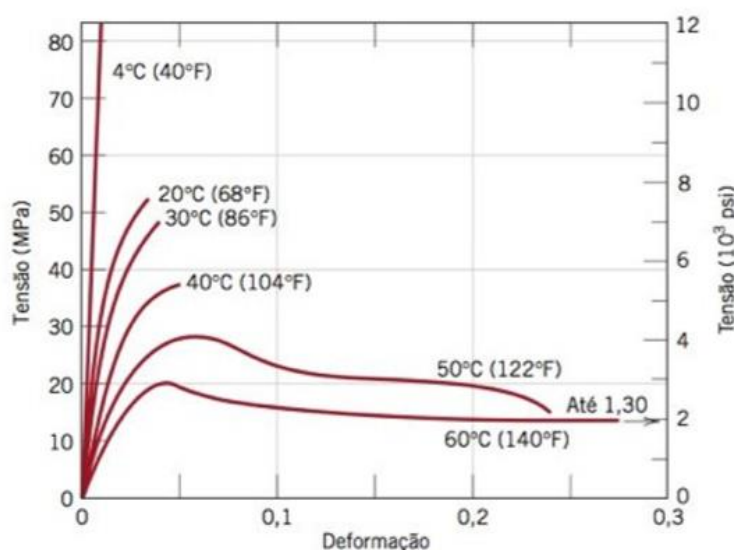


Figura 1: Influência da temperatura nas características mecânicas de um Acrílico.

Fonte: Callister (2012).

Pode-se perceber que para o mesmo material têm-se diversas tensões de ruptura, variando de mais de 80 MPa para 4 °C até por volta de 15 MPa para 60 °C, tendo ainda a variação do comportamento mecânico já que se pode observar características de materiais muito frágeis (4 °C), quase dúcteis (50 °C) e quase elastômeros (60 °C).

Além da temperatura vários fatores estruturais e de processamento podem afetar as propriedades dos polímeros, entre elas estão: o grau de cristalinidade, o tratamento térmico, a pré-deformação (estiramento) e a massa molar (CALLISTER, 2012).

2.1.1 Classificação dos Polímeros

Conforme dito por Callister (2012), os polímeros podem ser elastômeros (ou borrachas), adesivos, fibras, filmes, revestimentos, espuma, ou plásticos, às vezes podendo pertencer a mais de uma categoria. Mas segundo SESI (Serviço Social da Indústria)(2012), existem três classificações básicas de acordo com as propriedades mecânicas, são elas: termorrígidos/termofixos, elastômeros e os termoplásticos.

Os materiais termoplásticos conseguem amolecer sempre que expostos à temperatura e endurecer quando resfriados, apresentando estruturas lineares e ramificadas (CALLISTER, 2012).

Os termoplásticos podem ser repetidamente fundidos e solidificados, ainda que suas propriedades possam se degradar devido às altas temperaturas de fusão. Os termoplásticos são fáceis de moldar e seus refugos e restos podem ser reaproveitados em uma nova moldagem (NORTON, 2013, p. 61).

A figura 2 mostra as três diferentes curvas típicas observadas para os gráficos Tensão x Deformação de polímeros frágeis, plásticos e elastômeros.

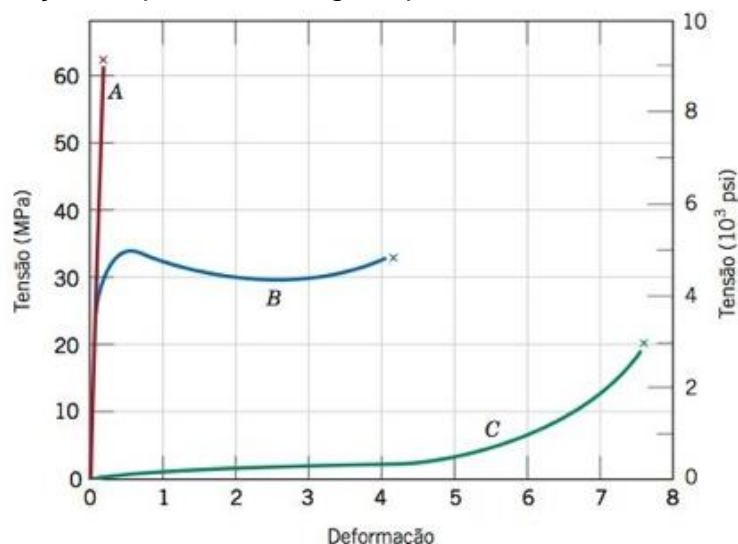


Figura 2: Comportamento tensão-deformação para polímeros frágeis (curva A), plásticos (curva B) e altamente elásticos (curva C).

Fonte: Calister (2012).

A curva A mostra um material que fratura ainda na deformação elástica, característica dos polímeros frágeis, a curva B apresenta deformação inicial elástica, passa pelo escoamento e chega à deformação plástica, comportamento dos materiais plásticos, já o C fica todo na deformação elástica, típico das borrachas ou da classe dos elastômeros.

Apesar da grande abrangência das classificações de polímeros, a maioria dos materiais poliméricos distintos podem ser classificados simplesmente como plásticos (CALLISTER, 2012).

Conforme dito por SESI (2012), a palavra plástico tem origem no grego plastikos e significa capaz de ser moldado. “Dessa forma, para todos os materiais que diante de uma reação química podiam ser moldados, adotou-se o nome de “plástico”.” (TEIXEIRA, 2017, p. 12).

Hoje, o plástico é produzido em ampla escala e pode ser considerado um material básico, usado em quase todos os ramos da indústria (SESI, 2012).

O setor industrial da transformação do material plástico teve início no século XIX com resinas vegetais, mas teve seus principais desenvolvimentos após 1910 quando a resina fenólica, a primeira totalmente sintética, teve êxito

comercial. As necessidades de substituição de outros materiais e inovações tecnológicas dos materiais, processos e maquinarias impulsionaram a evolução dessa indústria que produz materiais para inúmeros usos com polímeros derivados do petróleo (SESI, 2012, p. 14).

De acordo com o SESI (2012) e Callister (2012) é possível dizer que o desenvolvimento do plástico se deu essencialmente por suas características: peso reduzido, variações de cor e forma, boa resistência, baixo custo e devido a possibilidade da colocação de aditivos.

2.1.2 Processamento dos Polímeros

Na etapa de processamento dos polímeros são incluídos diversos aditivos que formam uma mistura moldável. Esses aditivos podem ser: estabilizantes, corantes e pigmentos, modificadores de impacto, plastificantes, lubrificantes, entre outros, a depender da classificação do polímero, de sua estabilidade química, do tamanho do produto final, da temperatura na qual ele amolece e do tipo de processamento (SESI, 2012).

As máquinas que processam essas misturas moldáveis, conforme dito por Teixeira (2017), obtêm peças já acabadas ou semiacabadas, dependendo do processo de manufatura e dos parâmetros de operação. Além disso, essa mistura pode ser encontrada sob a forma de resinas plásticas, de pó ou ainda na forma granular.

A matéria prima passa por operações que abrangem uma combinação de exposição a variações na pressão, temperatura ou composição química por meio dos processos de injeção, sopro, termoformagem, rotomoldagem, extrusão, entre outros. (TEIXEIRA, 2017).

De acordo com a ABIPLAST (2017, p. 25), o processo extrusão,

consiste em forçar a passagem controlada do material plástico fundido através de um cilindro e na sua saída, o material é comprimido em uma matriz com a forma desejada do produto. Por meio desse processo são fabricados, por exemplo, chapas, perfis ou filmes, para posterior acabamento.

O processo de extrusão é composto por um tubo cilíndrico equipado com resistências elétricas na área externa e em seu interior contém um parafuso de Arquimedes, também conhecido como parafuso sem-fim que conduz a matéria prima na forma de grão ou pó. Esse material vai sendo fundido por ação térmica das

resistências ao decorrer do tubo e comprimido contra um cabeçote ou matriz, que dá forma ao produto. Como resultado pode-se fabricar chapas, filmes, bobinas, laminados, mangueiras, tubos plásticos, filamentos... (SESI, 2012).

A figura 3 mostra a porcentagem de cada tipo de método produtivo na indústria de manufatura plástica brasileira em 2015.

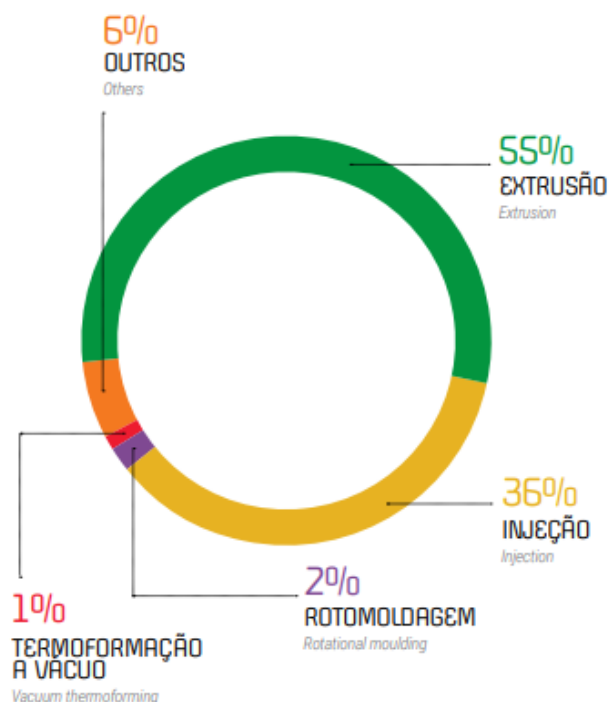


Figura 3: Processos produtivos na produção de transformados plásticos no Brasil em 2015.

Fonte: ABIPLAST (2017)

Como percebe-se na figura 3, o processo de extrusão é o detentor da maior parte da produção brasileira e grande é a diversidade de produtos obtidos a partir desse processo de produção.

O processo de extrusão citado acima é conformado através das máquinas extrusoras.

2.2 MÁQUINA EXTRUSORA

A extrusora é uma máquina que transforma material através de um cilindro com isolamento térmico e uma matriz de perfil cilíndrico. O sistema de aquecimento da extrusora conta com um controlador térmico, que tem por fim, manter a temperatura constante e ideal para o processo de extrusão. O material é aquecido na medida em que avança no interior do cilindro em direção à saída, normalmente em níveis

diferentes de temperatura, formando um composto pastoso que é forçado através de uma matriz localizada no cabeçote sendo então expelido (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Swift e Booker (2014, p. 172), uma outra definição do processo de extrusão de plástico é:

“a matéria prima é alimentada por um funil para um tambor aquecido e empurrada através de uma rosca extrusora, onde é comprimido e derretido. A massa fundida é então forçada através de uma matriz com o perfil desejado, onde se resfria ao sair da matriz”.

Um dos métodos mais utilizados para a transformação de um tipo de material polimérico em outro consumível é a extrusão de polímeros e esse processo utiliza a extrusora como maquinário de processamento. Esse sistema possui principais complexidades em seu parafuso de transporte, material a ser extrudado e sistema de monitoramento de temperatura, além do consumo de energia (OLIVEIRA, 2018).

A matéria-prima usada nas extrusoras é geralmente apresentada na forma de grãos ou pó. Em sua maioria esses materiais são plásticos, principalmente termoplásticos, porém alguns elastômeros e termofixos podem ser considerados em algumas aplicações. (SWIFT e BOOKER, 2014).

2.2.1 Principais Componentes

A maioria dos componentes estão descritos na figura 4, que mostra em detalhes o processo de extrusão do plástico fundido.

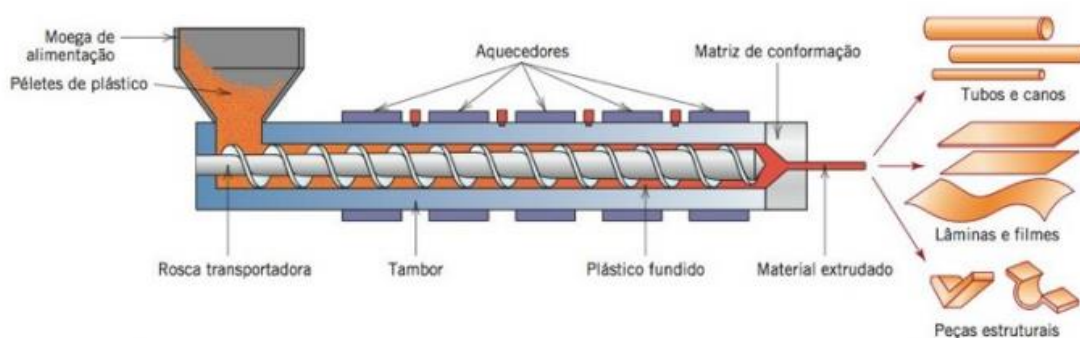


Figura 4: Processo de extrusão de polímeros.

Fonte: Callister (2012).

Os principais componentes são: o tambor ou canhão, a rosca transportadora ou fuso, os aquecedores e a matriz de conformação.

2.3 IMPRESSORAS 3D

Existem diversas tecnologias denominadas como impressão de três dimensões (3D) ou fabricação aditiva, segundo Relvas (2018), a classe da impressão 3D compreende tecnologias como: Estereolitografia (SLA), Sinterização Seletiva a laser (SLS), Modelação por fusão e deposição (FDM), Multi Jetting Printing (MJP), Color Jetting Printing (CJP), Digital Light Processing (DLP), dentre outras.

As impressoras 3D utilizam desenhos digitais de peça advindos de softwares como o CAD ou SOLID WORKS, sendo normalmente depois convertidos em um formato poligonal, que seria o mesmo desenho dividido em camadas 2D, esse formato poligonal que então é lido pelas impressoras, geralmente esse arquivo é no formato .stl que é abreviação para *Stereolithography* (Relvas, 2018).

2.3.1 Tecnologia FDM

Dentre todos os processos que fazem parte do grupo da impressão 3D, talvez o que tenha se tornado mais popular é o processo *fused deposition modeling* (FDM) ou modelagem de deposição por fundição em português que passou a ser empregado pela mídia em geral como impressora 3D (VOLPATO, 2017).

Neste processo, filamentos de resina termoplástica aquecida são extrudadas a partir de uma matriz de extrusão (head) que se move num plano X-Y. A matriz de extrusão controlada deposita filamentos de material sobre a plataforma de construção, formando a primeira camada do componente. A plataforma é mantida sob uma temperatura inferior à do material extrudado, de forma que a resina termoplástica endureça rapidamente. Após esse endurecimento a plataforma se abaixa da espessura da camada e a matriz de extrusão deposita uma segunda camada sobre a primeira. O processo é repetido até a construção total do protótipo. São construídos suportes durante o processo para dar sustentação ao protótipo durante sua fabricação. Tais suportes são fixados ao protótipo usando um segundo material, mais fraco, ou uma junção perfurada. As resinas termoplásticas adequadas a esse processo incluem poliéster, polipropileno, ABS, Policarbonatos, elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida. Este processo necessita de um cuidado maior durante o tempo de preparo para o processamento por parte do projetista e/ou operador do equipamento. (WAGNER, 2007, p. 17).

A figura 5 mostra o processo de impressão 3D (FDM), bem como sua operação e componentes básicos.

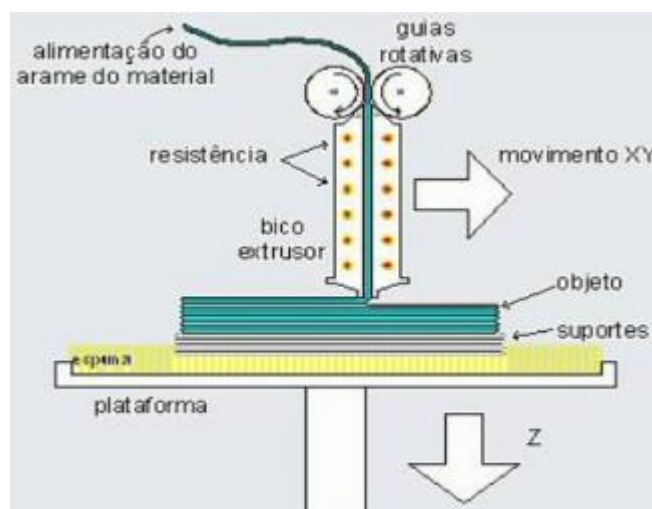


Figura 5: Processo FDM.

Fonte: Pedrosa (2015).

Constata-se que nesse modelo que a plataforma de operações se movimenta para baixo (no eixo Z), enquanto o bico extrusor realiza movimentos em X e Y, fazendo com que a peça seja impressa camada a camada.

Na definição de Swift e Booker (2014, p. 239), no processo FDM:

um material sólido, normalmente em forma de filamento, é derretido e extrudado por um bico injetor aquecido para criar um filete derretido do material de construção. A câmara de construção é mantida a uma temperatura pouco abaixo do ponto de fusão do material da montagem, e o bico injetor controlável é movido no plano horizontal, depositando o filete derretido para criar uma fina camada do perfil 2D exigido. O filete derretido se solidifica e, efetivamente, se solda ao contado com a camada anterior. A plataforma de construção é baixada por uma distância igual à espessura da camada solidificada, e o processo é repetido, construindo uma peça 3D.

Devido a simplicidade no processo e através da diminuição do custo de aquisição do equipamento, se comparado com os da mesma classificação dentro das impressoras 3D, o processo FDM tem encontrado um grande campo de aplicação doméstico e popular (VOLPATO, 2017).

Segundo Relvas (2018), faz-se necessário no processo FDM, o uso de algum objeto com o mínimo de fio, como uma espátula, para remover da plataforma de impressão algumas peças mais delicadas.

De forma geral, a maior parte das peças impressas devem passar por remoção de estruturas de suporte, frequentemente denominadas de peças “não autoportantes”, pois necessitam de algum suporte extra. Esses suportes podem possuir diversas

funções como: sustentação ao decorrer da impressão, evitar distorção da peça, construir ângulos inferiores a 30° entre outras (RELVAS, 2018).

A figura 6 mostra a peça produzida e as estruturas de suporte necessárias para a estabilidade da construção.

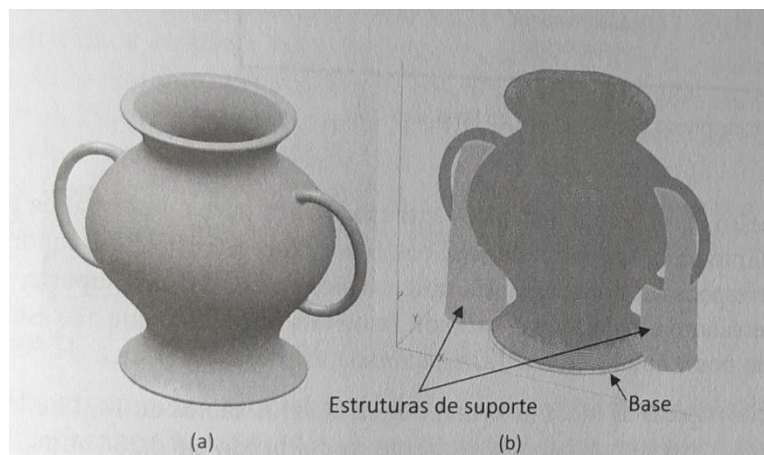


Figura 6: Peça e estruturas de suporte da impressão 3D (FDM).

Fonte: Volpato (2017)

Na figura 6 (a) é vista a peça final após todo o acabamento e na (b) pode-se observar como ela ficou após impressa e antes do processo de retirada dos suportes.

A tecnologia de impressão 3D (FDM) apresenta de maneira geral grandes vantagens, garantindo sua disseminação tanto no âmbito industrial para: protótipos funcionais, ferramental rápido, moldes e núcleos para processos de fundição, moldes médicos, modelos de conceito de produto, mas também na esfera doméstica com hobbystas e entusiastas nas mais diversas aplicações (SWIFT e BOOKER, 2014; PREDOSA, 2015).

2.3.1.1 Polímeros usados na Impressão 3D (FDM)

Segundo Swift e Booker (2014) na impressão 3D (FDM) existem algumas poucas máquinas que funcionam diretamente com os grãos de polímeros, mas a grande maioria usa os materiais consumíveis fornecidos em forma de filamento e enrolados em bobinas, como mostra a figura 7.



Figura 7: Rolo de filamento ABS

Fonte: <https://3dlab.com.br>

A figura 7 é de um rolo de filamento ABS, 1,75mm de espessura x 1 kg de peso, na cor verde da marca 3DLAB.

Dentre os polímeros mais habituais credenciam-se o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), Ácido Polilático (PLA) e ainda o Politereftalato de Etileno Glicol (PETG) sendo fornecidos em dois tamanhos padronizados de filamento com diâmetro de 1,75 ou 2,85mm (RELVAS, 2018).

O ABS é um termoplástico muito utilizado na impressão 3D, esse material apresenta um aspecto fosco, é resistente a altas temperaturas, ao atrito e impacto, sendo bastante durável e produzindo peças resistentes, de acordo com a geometria. Pode ser usado em peças de montagem ou encaixe, porém não oferece tantos detalhes, não fabrica cantos ou arestas acentuadas nem tem a mesma precisão dimensional que peças confeccionadas em PLA (RELVAS, 2018).

O PLA é um termoplástico biodegradável feito a partir de recursos renováveis como amido de milho e material vegetal, que pode se degradar em 48 meses quando dentro d'água ou 24 meses quando enterrado. Possui alta fluidez durante a extrusão, baixa concentração, fidelidade de detalhes, bom acabamento superficial e precisão dimensional. É muito rígido e resistente sendo difícil de flexionar ou deformar, apresenta ainda aspecto brilhante com uma vasta gama de cores (RELVAS, 2018).

De acordo com (RELVAS 2018) o PETG é proveniente do petróleo, possui aspecto brilhante, transparente ou translúcido que oferece bom acabamento da superfície, detalhes pequenos e bem definidos e uma ótima aderência entre camadas. O grande diferencial desse material é a sua excelente resistência química.

A figura 8 mostra as propriedades dos principais materiais usados em impressora 3D.

Propriedades Materia Prima 3D LAB - Grãos			
Propriedades	PLA	ABS Premium	PETG
Densidade	1,24 [g/cm ³]	1,04 [g/cm ³]	1,27 [g/cm ³]
Temp. Fusão	185 [°C]	220 [°C]	240 [°C]
Tg	60 [°C]	100 [°C]	85 [°C]
Tensão de Escoamento	66 [Mpa]	38 [Mpa]	51 [Mpa]
Resistencia a Flexão	130 [Mpa]	66 [Mpa]	72 [Mpa]
Modulo de Elasticidade	4350 [Mpa]	2200 [Mpa]	2120[Mpa]
Resultado ensaio de Tração segundo a Norma ASTM D 638 - Corpo de provas Impresso			
Propriedades	PLA	ABS Premium	PETG
Tensão de Escoamento	24,8 [Mpa]	14,7[Mpa]	18,6 [Mpa]
Modulo de Elasticidade	1896,0 [Mpa]	1335,9 [Mpa]	1067,9 [Mpa]
Tensão de Ruptura	46 [Mpa]	29 [Mpa]	32,6 [Mpa]
Alongamento	3,69 [%]	7,08 [%]	7,74 [%]
Resultado ensaio de Dureza segundo a Norma ASTM D 2240 - Corpo de provas Impresso			
Dureza Shore D	85 [Shore D]	74 [Shore D]	75 [Shore D]
Resultado ensaio HTD segundo a Norma ISO 75 - Corpo de provas Impresso			
Temperatura HDT	55,11°C	86,13°C	67,3 °C

Figura 8: Propriedades das matérias primas de impressora 3D.

Fonte: <https://3dlab.com.br/>

2.4 CONSTRUÇÃO MECÂNICA

A parte inicial de um projeto é ter uma nova ideia ou uma necessidade de mercado e é primordial definir com precisão essa necessidade. A escolha do material precisa estar diretamente ligada ao processo de escolha de conformação, união e acabamento. A equação de custo de execução final precisa envolver tanto o modo de processamento quanto o material, o que influencia diretamente na escolha. Um bom projeto deve sobretudo funcionar, mas um excelente projeto, além de funcionar, deve levar em conta o design escolhido a fim de proporcionar prazer ao usuário e se possível promover uma inovação (ASHBY, 2012).

Desse modo, por inovação entende-se tudo aquilo que faz a diferença em produto, em processo produtivo ou em processos de gestão. Ao inovar, traz-se o novo ou renova-se o que se tem previamente a fim de garantir condições mais promissoras, desde que as mudanças venham acompanhadas de uma alteração substancial no que já estava sendo praticado ou materializado. É um processo que não ocorre ao acaso, como algo descomprometido da necessidade cotidiana, de investimentos financeiros, de políticas públicas, de iniciativas do setor privado e, primordialmente, do patrimônio intelectual da humanidade (MOCROSKY, 2010, p. 321).

Contudo, Agostinho (2018) explica que mesmo sendo inovador esse produto ou máquina precisa ter peças intercambiáveis para atender o estado de competitividade do mercado, ou seja, seus componentes devem ser fabricados em épocas diferentes e de preferências também por fábricas diversas.

Existem três pilares básicos para que um produto possa ser competitivo: a qualidade, a intercambialidade e os custos. Esses três pilares podem ser mensurados através do planejamento tecnológico da fabricação composto por processos e roteiros de fabricação, dimensionamento de ferramental, tempos-padrões, capacidade instalada e índices de controle de fabricação (AGOSTINHO, 2018).

No estágio conceitual do projeto, o projetista analisa conceitos alternativos que podem ser usados combinados ou separados, já no estágio de corporificação deve atentar-se a conceitos promissores e sua operação em nível aprimorado. O que envolve selecionar os materiais e dimensionar os componentes que terão desempenho adequado no ambiente do projeto, faixa de tensão e temperatura, sempre levando em conta desempenho e custo (ASHBY, 2012).

Segundo Helman (2015) é função da teoria de conformação mecânica fornecer elementos necessários para que se possa fazer uma lista da seleção razoável de

equipamentos para fazer com que o projeto seja factível, assim como planejar a sua utilização para se obter, por exemplo, produtividade máxima.

Como elementos necessários para se executar projetos mecânicos, existem os recursos físicos composto por equipamentos, instalações e máquinas, os recursos humanos, representado pelas pessoas enquanto executantes especializados e os recursos de informação que permeiam as duas fases anteriores e tornam novos projetos possíveis (AGOSTINHO, 2018).

Para Ashby (2012), a fase de construção começa com um estágio de projeto detalhado, onde são produzidas todas as especificações. Componentes críticos podem ser submetidos a análises térmicas e mecânicas precisas e para maximizar o desempenho são feitos métodos de otimização em componentes e grupos de componente. É importante se atentar que no final da fase de projeto uma simples mudança de escala ou dimensão pode exigir mudança de material, de componentes ou estrutura. A seguir os métodos de produção são analisados e custeados juntamente com o devido tipo de conformação.

Para um projeto responsável e bem pensado é preciso se pensar também na segurança do operador e do entorno.

Na operação e também na manutenção de máquinas e equipamentos, o risco de acidentes manifesta-se substancialmente em dois pontos:

No ponto de operação, em que se processa a transformação da peça trabalhada, seja corte, dobra, moldagem, outros;

Sistemas de transmissão, nos quais há a transferência de energia mecânica para os elementos da máquina realizarem a operação, tais como: roldanas, polias, correias, volantes, acoplamentos, correntes e engrenagens.

Há ainda outras partes que podem ser importantes na geração de fator de risco de natureza mecânica, como elementos de movimento transversal e de rotação e outros mecanismos que, embora não se enquadrem nas categorias citadas, integram o funcionamento das máquinas.

Também deve ser prevista a adoção de medidas de proteção contra queimaduras causadas pelo contato da pele com superfícies aquecidas de máquinas e equipamentos, tais como:

Redução da temperatura superficial; Isolação com materiais apropriados e barreiras, sempre que a temperatura da superfície for maior do que o limiar de queimaduras do material do qual é constituída, para um determinado período de contato (CAMISASSA, 2015, p. 320-321).

No que tange a operação com máquinas extrusoras, do ponto de vista de normas regulamentadoras, existem duas mais importantes: a NR 12, que trata de máquinas e equipamentos girantes e a NR 34, específica para trabalhos à quente. Quanto aos riscos físicos inerentes às atividades das extrusoras tem-se: o risco de queimaduras, esmagamento de dedo, choques elétricos e a inalação de fumos ou gases (TEIXEIRA, 2017).

Todas as máquinas e equipamentos e suas instalações, além de possuir identificação e informações mínimas em lugares visíveis, devem possuir sinalização de segurança que siga as características necessárias ao tipo de trabalho realizado, visando advertir os trabalhadores e terceiros sobre os riscos a que estão expostos, sobre instruções de operação e manutenção e outras informações que se fazem necessárias para garantir a segurança. Além dos sinais escritos e desenhos instrutivos, quando se faz necessário, devem-se utilizar sinais ativos ou de alerta, tais como luminoso e/ou sonoros (TEIXEIRA, 2017, p. 51-21).

3. METODOLOGIA

Para desenvolver e construir uma extrusora de bancada serão utilizadas diversas bibliografias que contemplarão uma introdução básica às impressoras 3D e toda produção aditiva, extrusoras de polímeros e por fim, estudos dos processos de projeto e construção de máquinas, além de relações custo x benefício x eficiência.

Por se tratar de um equipamento já existente, este estudo terá por finalidade buscar otimizações, melhor dimensionamento para os devidos fins e redução dos custos de projeto e construção. Fazendo com que possa ser viável como forma de reduzir o gasto com a produção de peças via impressoras 3D.

Após a construção do equipamento, essa redução de custo poderá ser dada não somente na fabricação do filamento, mas em diversas frentes bem comuns para quem opera essa tecnologia como:

Reaproveitar restos de filamentos decorrente de impressões incorretas ou que apresentem falha, uma vez que desperdiçam muito material de filamento, mas que podem ser perfeitamente reaproveitados após passar por processo de fusão novamente.

Apresentar alternativa para quem quer imprimir peças coloridas, entretanto pode ao invés de comprar um carretel de filamento de cada cor, utilizar o material virgem acrescido da cor que se deseja em menores quantidades.

Evitar perda de filamentos em razão da degradação por umidade devido ao tempo sem uso, quando exposto ao ar.

A figura 9 mostra o planejamento de atividades e roteiro de ações do projeto.

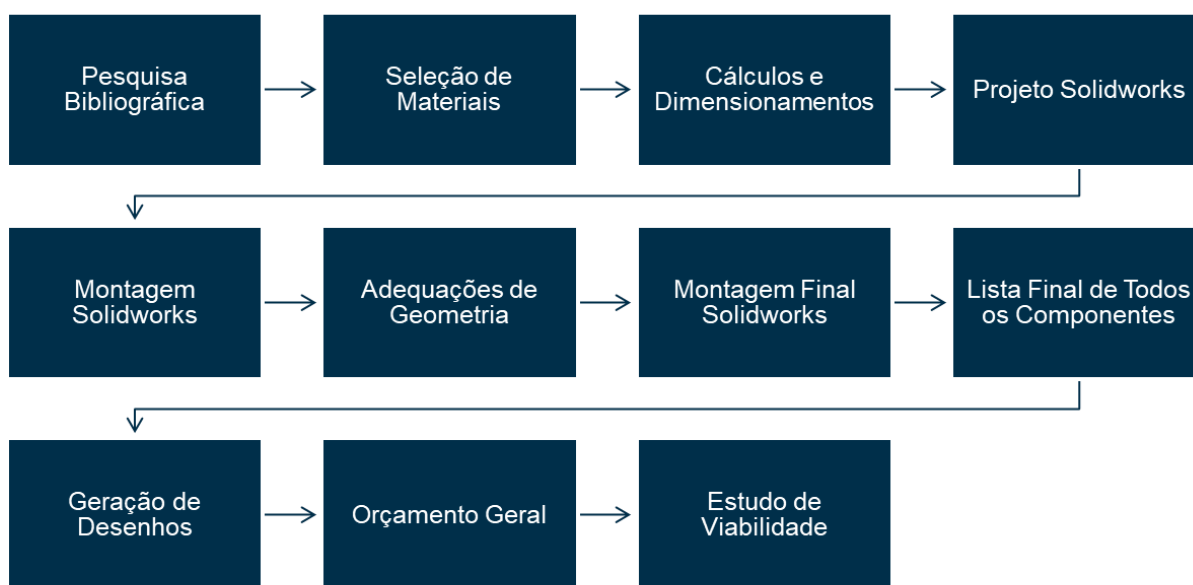


Figura 9: Planejamento de execução de projeto.

Fonte: Autoria Própria

3.1 Classificação do projeto

Quanto a natureza: Aplicada

A pesquisa aplicada tem o intuito de gerar entendimento para resolução de problemas particulares ou específicos de caráter restrito (SILVA e MENEZES, 2001).

Quanto aos procedimentos: Pesquisa experimental

Conforme Gil (2002, p. 47), “essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.”.

3.2 Equipamento utilizado

Para os desenhos e montagens foi utilizado o software SolidWorks versão 2020.

3.3 Materiais

Tabela 1: Lista completa de materiais.

Item	Descrição	Material	Quantidade	Unidade
1	Chapa 26 2000x1000x0,50mm	Aço Carbono Galvanizado	1	Peça
2	Chapa 14 Fina Frio 200x200x1,95mm	Aço Carbono Zincada	1	Peça
3	Adesivo de segurança	-	1	Peça
4	Abraçadeira Tipo "U" - 38 Fita 16	Aço Carbono Zincado	2	Peça
5	Perfil Estrutural 20x20 V-Slot - Canal 6	Alumínio	1500	Mm
6	Conexão de Topo 90° de 3 Vias em Alumínio Para V-Slot	Alumínio	8	Peça
7	Parafuso Sextavado M6x1,00x18mm Rosca Inteira	Aço Carbono Zincado	3	Peça
8	Tubo SCH 40 3/4" NBR 5590	Aço Carbono Galvanizado	300	Mm
9	Arruela Lisa 6 6,4x12x1,4mm	Aço Carbono Zincado	3	Peça
10	Fonte de alimentação chaveada bivolt 12V 30A 360W	-	1	Peça
11	Rebite Rebite De Repuxo 4,0 Mm X 25 Mm	-	4	Peça
12	Cantoneira 20x20x17 para V-Slot E T-Slot	Alumínio	4	peça
13	Porca T Econômica para Perfil V-Slot e T-Slot Canal 6	Aço Carbono Galvanizado	32	Peça
14	Cabo Flexível 1,5mm ²	Cobre	1	Mm
16	Motor com Redução Dc 12v 45rpm	-	1	Peça
17	Acoplamento Flexível Modelo 25x30mm Furos 8x10mm	Alumínio	1	Peça
18	Broca Especial para Madeira 20x460mm	Aço Carbono	1	Peça
19	Rolamento 608ZZ	Aço Cromo	2	Peça
20	Cap Tampão Sextavado Fêmea 3/4" Rosca BSP 14 Fios	Aço Carbono Galvanizado	1	Peça
21	Bocal de extrusão 1,75 Rosca M30x2	Aço Carbono 1045	1	Peça
22	Conector Tomada Macho Tripolar De Força As-07 Porta Fusível	-	1	Peça
23	Cabo de Energia ATX Padrão Novo 3 Pinos 120cm	-	1	Peça
24	Controlador Temperatura Digital Termostato 110/220v Rex C100	-	1	Peça
25	Relé De Estado Solido Ssr-25da 25a 380v 3-32v - Fotek	-	1	Peça
26	Sensor de Temperatura Termopar Tipo K - 0°C à 400°C	-	1	Peça
27	Controlador de Velocidade PWM 12V	-	1	Peça
28	Botoeira de Emergência Tipo Cogumelo 40x22mm	Plástico	1	Peça
29	Parafuso Allen Abaulado M5x0,80x6mm Rosca Inteira	Aço Carbono Liga	32	Peça
30	Resistência Elétrica Coleira Mica 30x30mm 90W 220v	-	2	Peça

Fonte: Autoria Própria

3.4 Especificação e critério de escolha dos principais componentes.

3.4.1 Canhão

A tabela 2 apresenta os dados usados para confecção do gráfico apresentado na figura 10.

Tabela 2: Informações do Comparativo de Materiais do Canhão.

Material	Resistência Mecânica	Nota Atribuída	Condutibilidade Térmica	Nota Atribuída	Custo da Quantidade Necessária	Nota Atribuída
Aço 1020	350 MPa	10,0	52 W/m.K	4,0	R\$ 140,80	10,0
Aço Inox	207 MPa	6,0	19 W/m.K	1,5	R\$ 575,50	4,0
Alumínio	145 Mpa	4,0	209 W/m.K	8,0	R\$ 456,00	5,0
Cobre	259 Mpa	7,5	390 W/m.K	10,0	R\$ 2.120,00	1,0
Latão	117 Mpa	2,0	115 W/m.K	6,0	R\$ 2.000,00	1,5

Fonte: Biblioteca Solidworks (2020)

Foram atribuídas notas de 0 a 10 para os seguintes materiais com base nos valores encontrados, de acordo com a tabela 2.

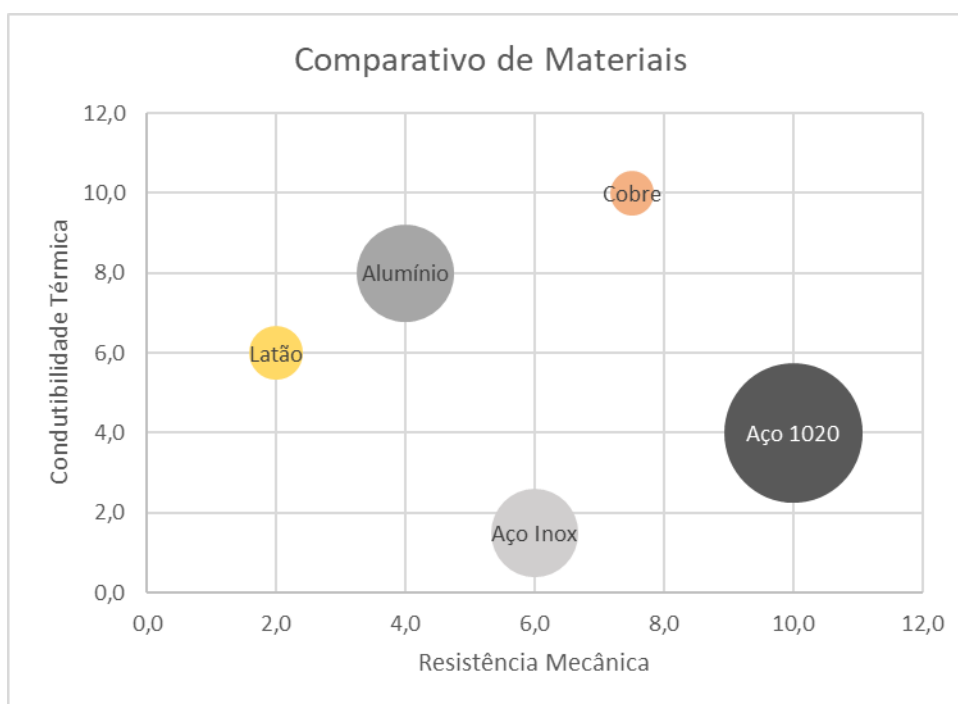


Figura 10: Comparativo de materiais para fabricação do canhão.

Fonte: Autoria Própria.

Na figura 10 analisa-se o comparativo de materiais para fabricação do canhão em 3 parâmetros analisados: resistência mecânica no eixo x, condutibilidade térmica no eixo y e custo da quantidade necessária para o projeto no tamanho da bolha.

Sendo escolhido o aço carbono 1020 por apresentar melhores características com base nos critérios de escolha.

A escolha do diâmetro e espessura de parede, segue os critérios de parede mais espessa para concentração de temperatura e menor folga entre fuso e diâmetro interno do canhão.

Na figura 11 é possível observar o tubo escolhido: Schedule 40 3/4" com costura NBR 5590, diâmetro externo de 26,70mm e espessura de parede de 2,87. Sendo necessário usinagem conforme apêndice A.



Figura 11: Tubo SCH 40.

Fonte: <https://www.cemporcentometais.com.br/>

3.4.2 Fuso

O fuso escolhido atende ao conceito de baixo custo, dimensões compatíveis e geometria parecida com os fusos próprios para extrusão de material polimérico. Na figura 12 pode-se observar a broca tipo serpentina para madeira de 20mm que será utilizada como fuso. Sendo necessário usinagem conforme apêndice B.



Figura 12: Broca serpentina para madeira.

Fonte: www.stdistribuidora.com.br

3.4.3 Matriz

Tendo em vista que a matriz de extrusão tem fator determinante na precisão dimensional do filamento, optou-se por um bocal comercial pronto com rosca externa, diâmetro compatível com o tubo escolhido e orifício de saída de 1,75mm, medida mais comum de uso de filamentos para impressora 3D. A figura 13 evidencia os modelos da matriz em questão, sendo escolhido o de diâmetro compatível.



Figura 13: Bico de extrusão de 1,75mm.

Fonte: <https://pt.aliexpress.com>

3.4.4 Resistências elétricas

Devido a facilidade de montagem e alta disponibilidade comercial a resistência elétrica escolhida foi a tipo coleira mica. O primeiro critério analisado no catálogo do fabricante foi ser compatível com o diâmetro do canhão e o segundo foi atingir a temperatura mínima necessária para o projeto. De acordo com o fabricante Anluz esta resistência tem a capacidade de aquecer até 250°C, com uma capacidade de dissipação de potência de 4W/cm, sendo sua potência total de 90W e suas dimensões de 30x30mm. Optou-se por 2 resistências para aumentar a flexibilidade do processo e diminuir o tempo de fabricação. A figura 14, disponibilizada no site da Anluz, ilustra o modelo de resistência escolhido.



Figura 14: Resistência 90W 30x30mm.

Fonte: <https://www.anluz.com.br>

3.4.5 Motor

O motor escolhido foi um motor 12V 50N.m 40 Rpm marca Imobras. De acordo com dimensionamento que levou em conta as propriedades físicas dos materiais alvos do projeto (ABS, PLA e PETG) e torque necessário.

A figura 15 é uma imagem ilustrativa do modelo de motor escolhido.



Figura 17: Motor 12 V 40 Rpm

Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br>

3.5 Desenhos SolidWorks

A figura 16 mostra a montagem final dos componentes da extrusora e as dimensões totais do equipamento.

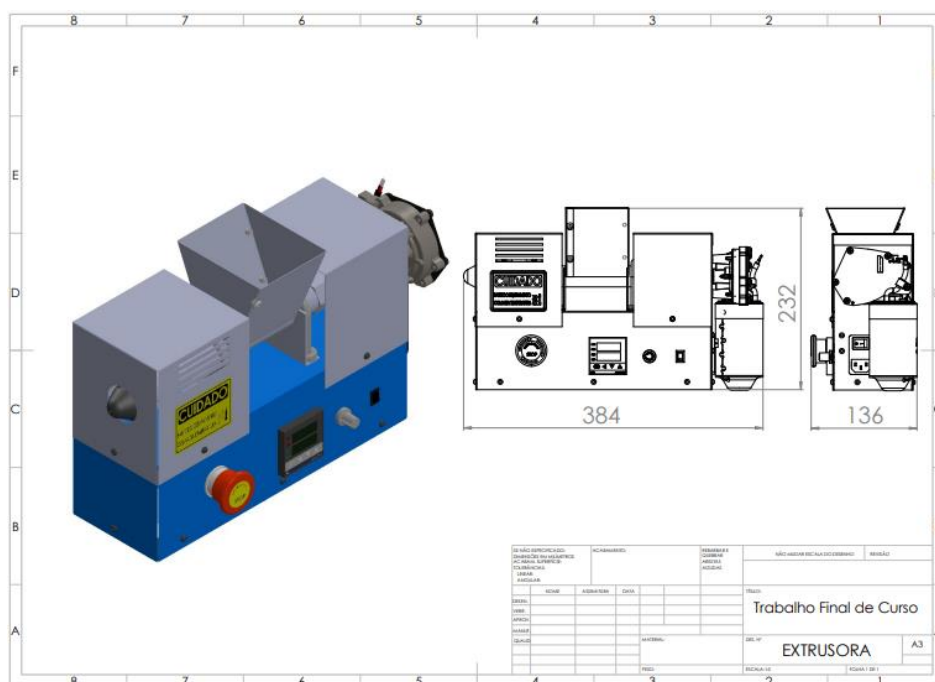


Figura 18: Vista isométrica da extrusora.

Fonte: Autoria Própria

Já na figura 17 pode-se observar a vista explodida de montagem dos principais componentes.

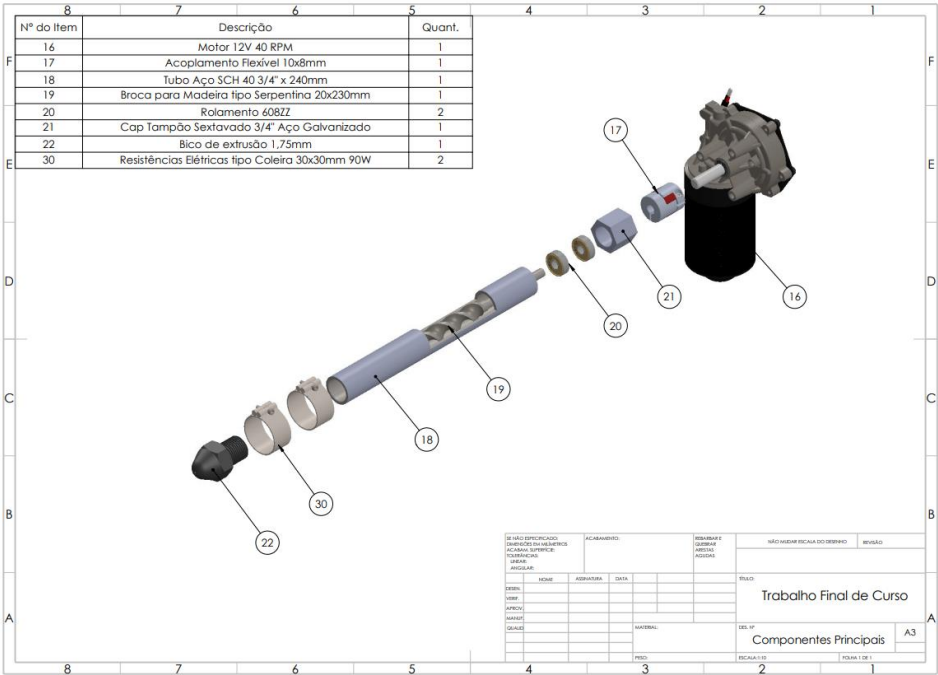


Figura 19: Vista explodida dos principais componentes.

Fonte: Autoria Própria

Por fim, a figura 18 mostra em detalhes a estrutura do equipamento através da vista explodida.

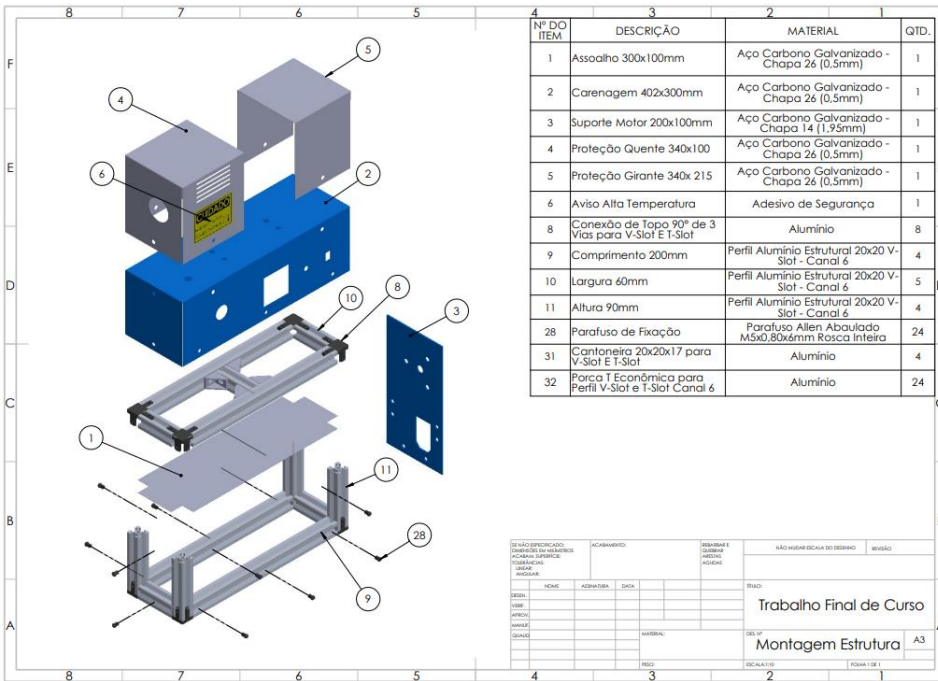


Figura 22: Montagem da estrutura.

Fonte: Autoria Própria

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Material com maior tensão de escoamento dentro os mais comuns usadas em impressões 3D é o PLA que em temperatura ambiente chega a 66 Mpa. Segundo Callister (2012), as propriedades de resistência mecânica dos polímeros termoflexíveis podem reduzir até 70% ao se elevar a temperatura de 20°C para 60°C.

No início da movimentação do motor, ponto de maior exigência de torque, tomando como base o PLA sendo comprimido com o início da movimentação do fuso acionado pelo motor, teria-se uma resistência de ruptura de 19 Mpa, supondo que o fuso seria acionado com no mínimo 60°C. Logo, a tensão máxima de compressão do motor deveria ser de no mínimo 19 MPa.

Considerando uma área de seção transversal dos pellets (granulados de polímero) de aproximadamente 3,5mm e tensão de 19 MPa, pode-se calcular o limite de resistência à compressão, através da fórmula 1:

$$LR = \frac{F_{max}}{S_o} \quad (1)$$

A partir da área da seção transversal na equação 2, tem-se que:

$$S_o = \frac{\pi \times 3,5^2}{4} = 9,62 \text{ mm}^2 \quad (2)$$

Ao substituir a área encontrada na equação 2, encontra-se que a Força máxima para romper o material é dada por:

$$19 \text{ MPa} = \frac{F_{máx}}{9,62 \text{ mm}^2}$$

$$F_{máx} = 182,8 \text{ N}$$

Logo, para a máxima distância da ponta do eixo até a ponta do fuso, o torque máximo, que é dado através da equação 3:

$$\tau_{máx} = F_{máx} \times d_{máx} \quad (3)$$

$$\tau_{máx} = 182,8 \times 0,226$$

$$\tau_{máx} = 41,31 \text{ Nm}$$

Ao se multiplicar a forma máxima ($F_{máx}$) pela distância máxima ($d_{máx}$) tem-se o torque máximo.

Ao se admitir um fator de segurança de 1,20, o valor do torque máximo do motor seria de aproximadamente 49,6 Nm.

Como será usado um variador de rotação para um maior ajuste fino de acordo com a melhor receita de temperatura e rotação para cada material. O valor de rotações por minuto não foi fator determinante na escolha do motor, apenas foi considerado um motor de baixa rotação (abaixo de 60 RPM).

Vale a observação de que o motor de acionamento, item mais caro do projeto, pode facilmente ser achado em ferros velhos e reaproveitado para baratear ainda mais os custos de produção, por se tratar de um motor utilizado como acionamento do limpavidros automotivo, portanto facilmente encontrado comercialmente.

Após computados todos os custos com material e com base nos resultados aproximados de projeto, tem-se que o custo final de montagem desta extrusora seria ao preço médio de R\$ R\$ 1.324,28 e menor custo encontrado de R\$ R\$ 1.056,31, como mostra a tabela 3, em junho de 2023, sem contar as despesas com correios e mão de obra de usinagem que podem variar dependendo do local.


Tabela 3: Cotação de material

Item	Descrição	Quantidade	Unidade	Valor Médio	Preço 1	Preço 2	Preço 3	Valor Mínimo
1	Chapa 26 2000x1000x0,50mm	1	Peça	R\$ 111,98	R\$ 93,97	R\$ 110,31	R\$ 131,67	R\$ 93,97
2	Chapa 14 Fina Frio 200x200x1,95mm	1	Peça	R\$ 34,10	R\$ 67,00	R\$ 21,10	R\$ 14,20	R\$ 14,20
3	Adesivo de segurança	1	Peça	9,93	13,99	2,90	12,90	2,90
4	Abraçadeira Tipo "U" - 38 Fita 16	2	Peça	R\$ 35,09	R\$ 51,10	R\$ 22,20	R\$ 31,98	R\$ 22,20
5	Perfil Estrutural 20x20 V-Slot - Canal 6	1500	Mm	R\$ 68,73	R\$ 54,00	R\$ 77,19	R\$ 75,00	R\$ 54,00
6	Conexão de Topo 90° de 3 Vias em Alumínio Para V-Slot	8	Peça	R\$ 97,08	R\$ 83,56	R\$ 128,28	R\$ 79,40	R\$ 79,40
7	Parafuso Sextavado M6x1,00x18mm Rosca Inteira	3	Peça	R\$ 0,77	R\$ 1,05	R\$ 0,57	R\$ 0,69	R\$ 0,57
8	Tubo SCH 40 3/4" NBR 5590	300	Mm	R\$ 35,79	R\$ 23,46	R\$ 54,95	R\$ 28,95	R\$ 23,46
9	Arruela Lisa 6 6,4x12x1,4mm	3	Peça	R\$ 0,59	R\$ 0,21	R\$ 1,05	R\$ 0,51	R\$ 0,21
10	Fonte de alimentação chaveada bivolt 12V 30A 360W	1	Peça	R\$ 62,35	R\$ 79,90	R\$ 49,84	R\$ 57,32	R\$ 49,84
11	Rebite Rebite De Repuxo 4,0 Mm X 25 Mm	4	Peça	R\$ 0,88	R\$ 0,64	R\$ 1,44	R\$ 0,56	R\$ 0,56
12	Cantoneira 20x20x17 para V-Slot E T-Slot	4	peça	R\$ 15,65	R\$ 11,36	R\$ 15,60	R\$ 20,00	R\$ 11,36
13	Porca T Econômica para Perfil V-Slot e T-Slot Canal 6	32	Peça	R\$ 27,95	R\$ 23,96	R\$ 41,60	R\$ 18,30	R\$ 18,30
14	Cabo Flexível 1,5mm ²	1	Mm	R\$ 1,52	R\$ 1,01	R\$ 2,20	R\$ 1,34	R\$ 1,01
16	Motor com Redução Dc 12v 45rpm	1	Peça	R\$ 331,40	R\$ 372,00	R\$ 309,00	R\$ 313,20	R\$ 309,00
17	Acoplamento Flexível Modelo 25x30mm Furos 8x10mm	1	Peça	R\$ 16,91	R\$ 17,53	R\$ 17,30	R\$ 15,90	R\$ 15,90
18	Broca Especial para Madeira 20x460mm	1	Peça	R\$ 57,16	R\$ 44,91	R\$ 67,34	R\$ 59,24	R\$ 44,91
19	Rolamento 608ZZ	2	Peça	R\$ 4,97	R\$ 4,76	R\$ 3,50	R\$ 6,66	R\$ 3,50
20	Cap Tampão Sextavado Fêmea 3/4" Rosca BSP 14 Fios	1	Peça	R\$ 9,50	R\$ 6,60	R\$ 8,75	R\$ 13,14	R\$ 6,60
21	Bocal de extrusão 1,75 Rosca M30x2	1	Peça	R\$ 67,89	R\$ 50,88	R\$ 92,54	R\$ 60,25	R\$ 50,88
22	Conector Tomada Macho Tripolar De Força As-07 Porta Fusível	1	Peça	R\$ 9,68	R\$ 15,09	R\$ 8,10	R\$ 5,85	R\$ 5,85
23	Cabo de Energia ATX Padrão Novo 3 Pinos 120cm	1	Peça	R\$ 26,59	R\$ 30,89	R\$ 19,99	R\$ 28,89	R\$ 19,99
24	Controlador Temperatura Digital Termostato 110/220v Rex C100	1	Peça	R\$ 98,16	R\$ 78,90	R\$ 99,90	R\$ 115,69	R\$ 78,90
25	Relé De Estado Solido Ssr-25da 25a 380v 3-32v - Fotek	1	Peça	R\$ 35,44	R\$ 35,20	R\$ 36,23	R\$ 34,90	R\$ 34,90
26	Sensor de Temperatura Termopar Tipo K - 0°C à 400°C	1	Peça	R\$ 21,15	R\$ 16,46	R\$ 16,06	R\$ 30,92	R\$ 16,06
27	Controlador de Velocidade PWM 12V	1	Peça	R\$ 20,16	R\$ 14,16	R\$ 25,65	R\$ 20,68	R\$ 14,16
28	Botoeira de Emergência Tipo Cogumelo 40x22mm	1	Peça	R\$ 23,18	R\$ 36,49	R\$ 18,90	R\$ 14,14	R\$ 14,14
29	Parafuso Allen Abaulado M5x0,80x6mm Rosca Inteira	32	Peça	R\$ 24,47	R\$ 44,60	R\$ 8,64	R\$ 20,16	R\$ 8,64
30	Resistência Elétrica Coleira Mica 30x30mm 90W 220v	2	Peça	R\$ 75,20	R\$ 60,90	R\$ 96,00	R\$ 68,70	R\$ 60,90
Total				R\$ 1.324,28	-	-	-	R\$ 1.056,31

Fonte: Autoria Própria

A figura 19 mostra a tabela tarifária vigente em março de 2023 e os custos de consumo da energia elétrica nas respectivas bandeiras.

Tarifas Enel RIO

Decisão Liminar - Retorno Reh.3177/2023 

FORNECIMENTO EM BAIXA TENSÃO

VIGÊNCIA 15/03/2023

	Bandeira Ativa VERDE		
	R\$/kWh		
	VERDE	AMARELA	VERMELHA P2
RESIDENCIAL BAIXA RENDA - B1			
0 A 30 kWh	0,24891	0,25545	0,28213
31 a 100 kWh	0,42672	0,43794	0,48367
101 a 220 kWh	0,64008	0,65691	0,72551
ACIMA 220 kWh	0,71121	0,72991	0,80613
B1 - RESIDENCIAL NORMAL	0,88834	0,90177	1,03034
SUB-GRUPO - OUTROS			
	R\$/kWh		
B2 - R U R A L	0,88834	0,90177	1,03034
B2 - RURAL IRRIGANTE - 60% desc.	0,35534	0,36071	0,41214
B2 - RURAL COOP. ELET RIF. RURAL	0,88834	0,90177	1,03034
B3 - DEMAIS CLASSES (Com, Ind e Poder Público)	0,88834	0,90177	1,03034
B4a - ILUMINACAO PUBLICA	0,48858	0,50201	0,63058
B4b - ILUMINACAO PUBLICA	0,53301	0,54644	0,67501
Res. Homol. ANEEL 3.177, de 14/03/2023 - vigência 15/03/2023			
Res. Homol. ANEEL 3.015, de 15/03/2022 - vigência 15/03/2022			
Res. Homol. ANEEL 2.836, de 09/03/2021 - vigência 15/03/2021			
Res. Homol. ANEEL 2.666, de 10/03/2020 - vigência 15/03/2020			
Res. Homol. ANEEL 2.523, de 26/03/2019 - vigência 01/04/2019			
Res. Homol. ANEEL 2.519, de 14/03/2019 - vigência 15/03/2019			
Res. Homol. ANEEL 2.377, de 14/03/2018 - vigência 15/03/2018			
Res. Homol. ANEEL 2207, de 14/03/2017 - vigência 15/03/2017			
Res. Homol. ANEEL 2214, de 28/03/2017 - vigência 01/05/2017			

Figura 19: Tarifa de energia elétrica vigente

Fonte: <https://www.enel.com.br/>

Considerando um consumo de 1 Kg de filamento por mês, a maior tarifa vigente possível para imóveis residenciais da região, um consumo de 500W/h do equipamento, teremos um aumento na conta de energia de apenas R\$ 0,40 no mês.

A tabela 4 apresenta cotação de filamentos prontos e da matéria prima para fabricação própria.

Tabela 4: Cotação de matéria prima

Filamento Pronto			
Material	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3
ABS mais caro	R\$ 58,90	R\$ 65,90	R\$ 54,64
ABS mais barato	R\$ 58,90	R\$ 45,00	R\$ 54,64
PLA mais caro	R\$ 120,90	R\$ 177,67	R\$ 89,00
PLA mais barato	R\$ 80,00	R\$ 72,73	R\$ 89,00
PETG mais caro	R\$ 110,00	R\$ 118,90	R\$ 69,85
PETG mais barato	R\$ 110,00	R\$ 118,90	R\$ 96,85
Pellet Virgem			
Material	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3
ABS	R\$ 28,26	R\$ 30,40	R\$ 27,99
PLA	R\$ 75,00	R\$ 58,50	R\$ 34,46
PETG	R\$ 90,00	-	-

Fonte: Autoria Própria

Já na tabela 5 é possível ver a diferença percentual da média de preço do material virgem comparado ao filamento pronto.

Tabela 5: Diferença de preços de matéria prima

Filamento Pronto		Pellet Virgem		Diferença de preço
Material	Preço Médio Kg	Material	Preço Médio Kg	
ABS	R\$ 56,33	ABS	R\$ 28,88	195%
PLA	R\$ 104,88	PLA	R\$ 55,99	187%
PETG	R\$ 104,08	PETG	R\$ 90,00	116%

Fonte: Autoria Própria

A partir dos dados da tabela 5, supõe-se um consumo de 1 kg de PLA por mês. Com isso, o investimento da construção da extrusora seria revertido em aproximadamente 2 anos e 3 meses dependendo do material e do preço de compra da matéria prima virgem, mesmo com os gastos de energia elétrica na bandeira tarifária mais cara.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados uma vez que foi possível fazer o projeto mecânico da extrusora no Solidworks com os respectivos esquemas de montagem e usinagem, foi divulgada a lista completa de materiais necessários para o projeto, foram apresentadas as justificativas de escolha dos principais componentes e foram apresentados os valores médios dos componentes juntamente com um estudo de viabilidade econômica da solução de engenharia.

Esta solução se mostrou satisfatória e viável economicamente, tendo em vista que foram considerados parâmetros conservadores, sempre levando em conta os piores cenários e valores de mercado médios. Apesar de ser um projeto pensado no âmbito doméstico, quanto mais filamento for produzido, mais vantajoso será economicamente, como mostrado através da diferença do preço do material virgem para o filamento pronto.

A partir dos valores encontrados de retorno de investimento e comparando com as opções já disponíveis no mercado, que podem chegar a custar R\$5.500,00, o projeto mostra-se vantajoso dependendo dos custos de transporte e usinagem.

Fica disponível o arquivo do projeto para trabalhos futuros.

6. REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, O. L. **Engenharia de Fabricação Mecânica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 402p.
- ASHBY, M. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. Título original: Materials Selection in Mechanical Design. Tradução: Arlete Simille Marques. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 696p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PLÁSTICO: ABIPLAST. Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico. Perfil: 2017. São Paulo, 2017. 87p. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 30 jul. 2020.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. Título original: Materials Science and Engineering: An Introduction. Tradução: Sergio Murilo Stamile Soares. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 844p.
- CAMISASSA, M. Q. **Segurança e saúde no trabalho: NR 1 a 36 comentadas e descomplicadas**. São Paulo: Método, 2015. 976p.
- HELMAN, H.; CETLIN, P. R. **Fundamentos da conformação mecânica dos metais**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2015. 264p.
- MANO, E. B.; Mendes, L. C. **Introdução a Polímeros**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 208p.
- MOCROSKY, L. F. **A Presença da Ciência, da Técnica, da Tecnologia e da Produção no Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica**. 2010. 364 f. Tese (Doutorado em Educação Matemática) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/>>. Acesso em: 07 out. 2019.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. Título original: Machines Design. Tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos ... et al. 4. ed. Porto Alegre : Bookman, 2013. 1060p.
- OLIVEIRA, U. C.; PEREIRA, T. Z.; DAMAS, M. S. Mini extrusora didática de polímeros utilizados em impressora 3D. In: Congresso Internacional de pesquisa, ensino e extensão, 3. **Anais Eletrônicos...** Anápolis – GO: UniEVANGÉLICA, 2018. p. 1-3. Acesso em: 07 out. 2019.
- PEDROSA, T. F. S. P. **Conceção e desenvolvimento de equipamentos de extrusão de filamentos para impressora 3D**. 2015. 55p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia do Porto (FEUP), Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/>>. Acesso em 15 out. 2019.
- QUELHO, P. E. Q. **Desenvolvimento de extrusora experimental e software para controle e supervisão das variáveis de extrusão ABS**. 2018. 114p. Dissertação (Mestrado em Materiais) Universidade de Volta Redonda (UNIFOA), Volta Redonda, 2018. Disponível em: <<https://www.unifoa.edu.br/>>. Acesso em 10 jun. 2020.

RELVAS, C. **O Mundo da Impressão 3D e o Fabrico Digital**. 1. ed. Engebook, 2018. 294p.

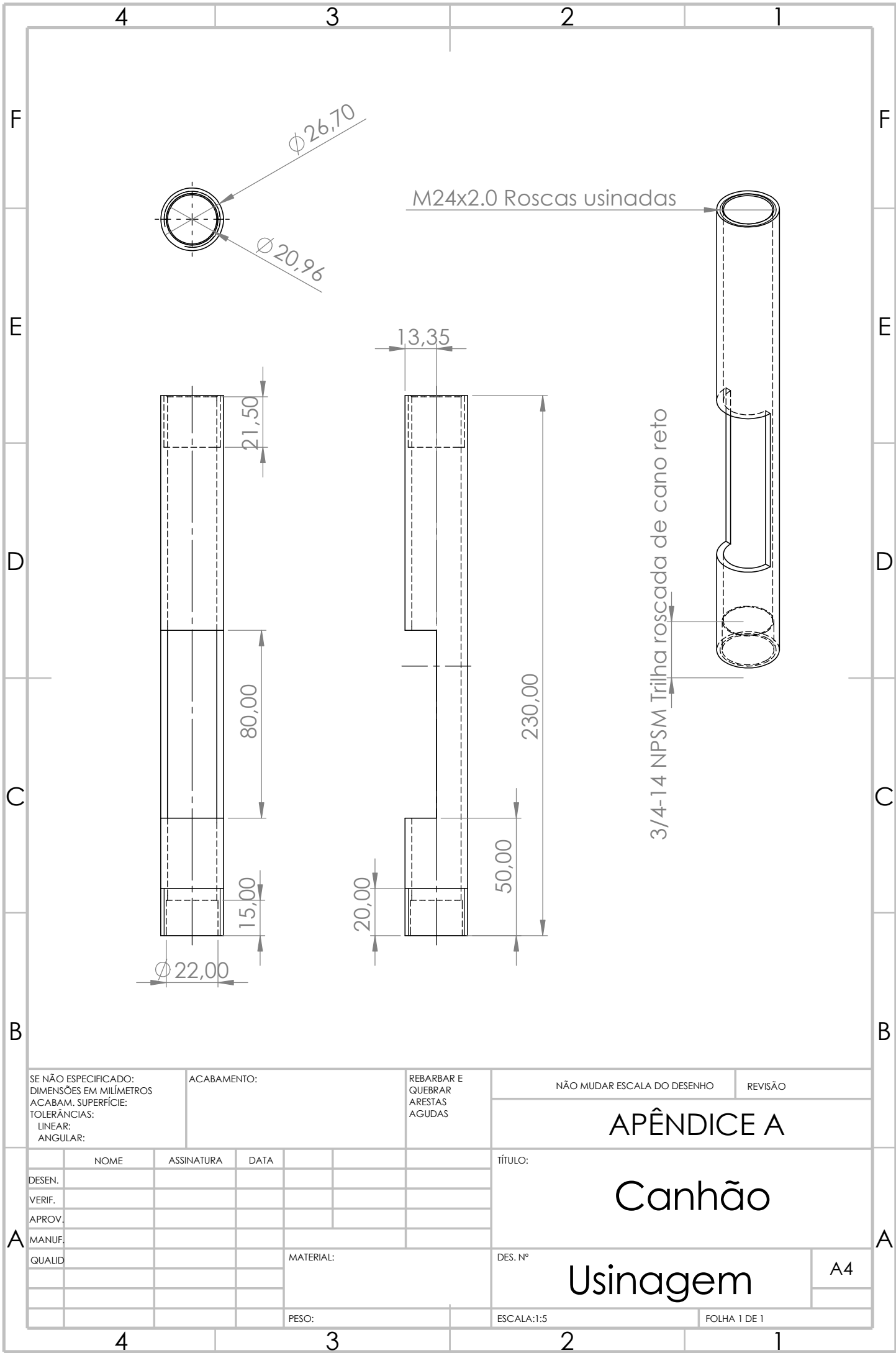
SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA/ DEPARTAMENTO REGIONAL DE SÃO PAULO: SESI/SP. Indústria da Transformação do Material Plástico: Manual de Segurança e Saúde no Trabalho. São Paulo : SESI-SP editora, 2012. 92p.

SWIFT, K. G.; BOOKER, J. D.. **Seleção de Processos de Manufatura**. Título original: Manufacturing Process Selection Handbook. Tradução: Multinet Produtos. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 464p.

TEIXEIRA, M.; CIRINO, C. C.; LINO, D. **A indústria de transformados plásticos**. 1. ed. São Paulo : Sindicato dos Químicos de São Paulo, 2017. 108p.

VOLPATO, N. (org.). **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. 400p.

WAGNER, J. A. **Otimização estrutural de protótipos fabricados pela tecnologia FDM utilizando métodos os elementos finitos**. 2007. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso em: 07 out. 2019.



SE NÃO ESPECIFICADO:
DIMENSÕES EM MILÍMETROS
ACABAM. SUPERFÍCIE:
TOLERÂNCIAS:
LINEAR:
ANGULAR:

ACABAMENTO:

REBARBAR E
QUEBRAR
ARESTAS
AGUDAS

NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO

REVISÃO

APÊNDICE A

TÍTULO:

Canhão

DES. Nº

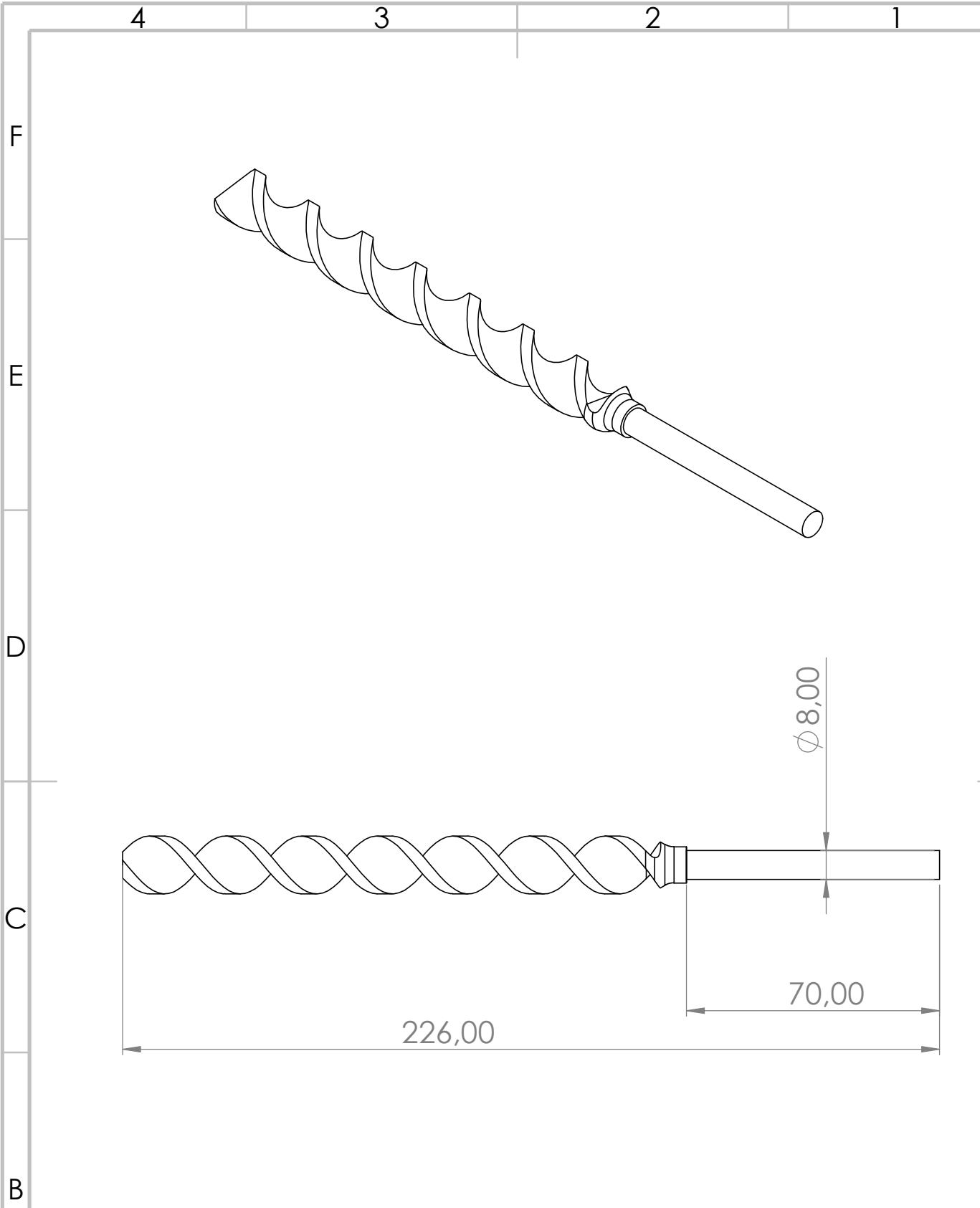
Usinagem

A4

PESO:

ESCALA:1:5

FOLHA 1 DE 1



SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:				ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS		NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO		REVISÃO	
										APÊNDICE B	
										TÍTULO: Fuso	
										DES. Nº Usinagem	
										A4	
PESO:				ESCALA:1:5				FOLHA 1 DE 1			

	NOME	ASSINATURA	DATA			
DESEN.						
VERIF.						
APROV.						
MANUF.						
QUALID						

	4	3	2	1			
F						F	
E						E	
D						D	
C						C	
B						B	
A	SE NÃO ESPECIFICADO: DIMENSÕES EM MILÍMETROS ACABAM. SUPERFÍCIE: TOLERÂNCIAS: LINEAR: ANGULAR:		ACABAMENTO:		REBARBAR E QUEBRAR ARESTAS AGUDAS	NÃO MUDAR ESCALA DO DESENHO	REVISÃO
						APÊNDICE C	
						Título:	
						Tampão	
						DES. Nº	
						Usinagem	
						A4	
						ESCALA:1:1	
						FOLHA 1 DE 1	
	4	3	2	1			

Technical drawing of a hexagonal plug. The top view shows a hexagon with a central circle of diameter 9. The side view shows a rectangle with a width of 32 and a height of 16. The drawing is labeled with dimensions 32 and 16, and a hole diameter of 9.