

**CENTRO PAULA SOUZA
ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL PHILADELPHO GOUVÊA NETTO
Mecatrônica**

**Pedro Henrique Arduini De Almeida
Isabella Oliveira Ponciano
Isabela Evangelista Ferreira
Diego Grecco De Souza
Ana Laura Da Silva Lima
David Bilieri De Jesus**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA
IMPRESSÃO 3D DE BAIXO CUSTO**

**São José Do Rio Preto
2025**

**Pedro Henrique Arduini De Almeida
Isabella Oliveira Ponciano
Isabela Evangelista Ferreira
Diego Grecco De Souza
Ana Laura Da Silva Lima
David Bilieri De Jesus**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA
IMPRESSÃO 3D DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito para
conclusão do curso técnico em
mecatrônica da Escola Técnica
Estadual Philadelpho Gouvêa Netto –
Etec.

Orientador: Prof. Fernando Brasilino
Faitorone

**São José Do Rio Preto
2025**

**Pedro Henrique Arduini De Almeida
Isabella Oliveira Ponciano
Isabela Evangelista Ferreira
Diego Grecco De Souza
Ana Laura Da Silva Lima
David Bilieri De Jesus**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA
IMPRESSÃO 3D DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de Mecatrônica, Escola Técnica Estadual Philadelpho Gouvêa Netto – Etec, como requisito parcial para conclusão do curso técnico em mecatrônica, sob a orientação do Professor Fernando Faitorone Brasilino

BANCA EXAMINADORA

Professor Carlos Alberto Primo Agostinho

Professor Edison Hernandes Belon

Professor Fernando Faitarone Brasilino

DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho a todas as pessoas que nos acompanharam durante esse percurso e que nos incentivaram na realização dessa conquista dando apoio, compreensão, paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus, pois sabemos que está presente em nossas vidas em todos os momentos.

Agradecemos aos familiares pelo apoio, compreensão e por acreditarem que a conquista desse sonho seria possível.

Agradecemos aos colegas que durante três anos estiveram ao nosso lado nos momentos felizes e também nos difíceis.

Agradecemos aos professores pela dedicação e pelo incentivo para que continuássemos até o fim.

Ao nosso orientador professor Fernando Faitorone Brasilino pela paciência e dedicação durante o desenvolvimento desse trabalho, nossos sinceros agradecimentos.

"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar;
não apenas planejar, mas também acreditar."

(Anatole France)

DESENVOLVIMENTO DE UMA EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA IMPRESSÃO 3D DE BAIXO CUSTO

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma extrusora de filamento para impressão 3D, projetada com foco na utilização de resíduos plásticos do tipo polietileno tereftalato (PET). A proposta busca unir sustentabilidade e inovação tecnológica, permitindo a transformação de garrafas PET e sobras de impressões em um novo insumo, reduzindo custos e impactos ambientais. Para isso, a extrusora foi projetada a partir de princípios da engenharia mecatrônica, envolvendo a integração de sistemas mecânicos, eletrônicos e de controle, garantindo precisão no processo de extrusão. A metodologia incluiu a análise das propriedades térmicas do PET, a seleção de componentes adequados (resistências, motor de passo, rosca extrusora e sistema de resfriamento) e o desenvolvimento de um sistema de controle automatizado para regular temperatura e velocidade. Espera-se que o protótipo produzido seja capaz de gerar filamentos de qualidade compatível com impressoras 3D comerciais, promovendo a reutilização de resíduos plásticos e a redução da dependência de filamentos industriais. Dessa forma, o trabalho contribui tanto para o avanço da manufatura aditiva sustentável quanto para a disseminação de soluções de baixo custo em ambientes acadêmicos e industriais.

Palavras-chave: extrusora de filamento; PET reciclado; impressão 3D; mecatrônica; sustentabilidade.

DEVELOPMENT OF A LOW-COST FILAMENT EXTRUDER FOR 3D PRINTING.

ABSTRACT

This work presents the development of a filament extruder for 3D printing, designed to use polyethylene terephthalate (PET) plastic waste. The proposal seeks to combine sustainability and technological innovation by transforming PET bottles and printing leftovers into a new input, reducing costs and environmental impacts. For this purpose, the extruder was designed based on mechatronics engineering principles, involving the integration of mechanical, electronic, and control systems to ensure precision in the extrusion process. The methodology included the analysis of the thermal properties of PET, the selection of suitable components (heating elements, stepper motor, screw extruder, and cooling system), and the development of an automated control system to regulate temperature and speed. The prototype is expected to produce filaments with quality compatible with commercial 3D printers, promoting the reuse of plastic waste and reducing dependence on industrial filaments. Thus, the work contributes both to the advancement of sustainable additive manufacturing and to the dissemination of low-cost solutions in academic and industrial environments.

Keywords: Filament extruder; Recycled PET; 3D printing; Mechatronics; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processo de extusagem	23
Figura 2 Esquema Elétrico do Protótipo.....	24
Figura 3 – Motor 12v de 45 RPM com Caixa de Redução Acoplada.....	25
Figura 4 – A) Broca de concreto, B) Canhão de extrusão torneado	26
Figura 5 – Resistencia Coleira Mica Injetora.....	26
Figura 6 – A) LCD PID REX C-100 B) Termopar K C) SSR-40 DA.....	27
Figura 7 – Tarugo Redondo de Alumínio	28
Figura 8 – A) Regulador de Velocidade Motor Dc Pwm B) Fonte Colméia 12v 5a	28
Figura 9 - A) Matriz da Extrusão B) Canhão de Extrusão Completo.....	30
Figura 10 – A) Visão Lateral do Encaixe B) Visão Frontal do Encaixe	31
Figura 11 – Base Completa	32
Figura 12 – Montagem Completa.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de custos do projeto de extrusora de filamento de impressão 3D, de baixo custo.....	29
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PET	Polietileno Tereftalato
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
PLA	Ácido Polilático
PETG	Polietileno Tereftalato Glicol

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Embasamento Teórico	11
1.1.1 Impactos Ambientais do Descarte de PET	12
1.1.2 Custos e Limitações dos Filamentos Comerciais	12
1.1.3 Desafios da Reciclagem Tradicional do PET	13
1.2 Justificativas Do Trabalho	13
1.3 Objetivos Do Projeto	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
2. METODOLOGIA	16
2.1. Tipo de pesquisa	16
2.2. Estudo do Problema	16
2.3. Procedimentos De Coleta Do Material Para Extrusão	17
2.4. Instrumentos De Coleta De Dados:	17
2.4.1. Medições	17
2.4.2. Observação Direta	18
2.5. Técnicas De Análise Da Dados	18
2.5.1. Análise Quantitativa:	18
2.5.2. Análise Qualitativa	19
2.6. Validade e Confiabilidade	19
2.6.1. Validade	19
2.6.2. Confiabilidade	20
2.7. Resultados Esperados	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1. Princípio de Funcionamento da Extrusora de Filamento	22
3.2. Estrutura Mecânica do Equipamento	23
3.3. Estrutura Elétrica do equipamento	23
4. DESENVOLVIMENTO	25
4.1. Peças Escolhidas	25
4.2. Tabela de preços	29
4.3. Montagem	30
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
5.1. Futuras melhorias	34
6. CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a crescente utilização de plásticos descartáveis, especialmente o politereftalato de etileno (PET), entre outros plásticos, tem gerado sérios desafios ambientais devido ao seu descarte inadequado e ao longo tempo de decomposição na natureza. Paralelamente, a manufatura aditiva, mais conhecida como impressão 3D, tem se consolidado como uma tecnologia inovadora e acessível, capaz de produzir peças complexas de forma rápida e com menor desperdício de material. Nesse cenário, surge a oportunidade de unir sustentabilidade e inovação tecnológica por meio da reutilização de resíduos plásticos na forma de filamentos reciclados.

A extrusão de filamentos para impressão 3D a partir de garrafas PET representa uma solução viável para reduzir os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que diminui os custos de produção relacionados à aquisição de insumos comerciais. Para alcançar esse objetivo, é necessário o desenvolvimento de uma extrusora eficiente, que integre conceitos da engenharia mecatrônica, como automação, controle de temperatura, acionamento de motores e sistemas mecânicos de transporte do material.

Este trabalho tem como propósito o desenvolvimento de um protótipo de extrusora de filamento 3D utilizando plásticos PET reciclados, visando tanto a promoção da sustentabilidade quanto a disseminação de soluções de baixo custo para ambientes acadêmicos e industriais. Ao longo do estudo, serão abordados os fundamentos teóricos, o processo de projeto, a seleção de componentes e a análise de desempenho do sistema, de modo a demonstrar a relevância prática e ambiental da proposta.

1.1 Embasamento Teórico

O consumo de produtos plásticos tem crescido de forma exponencial nas últimas décadas (WHITEMAN, Hilary), impulsionado pela praticidade, baixo custo de produção e ampla aplicação em diferentes setores. Entre os diversos tipos de polímeros, o politereftalato de etileno (PET) destaca-se como um dos mais utilizados, principalmente na fabricação de garrafas descartáveis. Apesar de suas vantagens, o

descarte inadequado desse material representa um grande desafio ambiental, uma vez que sua decomposição pode levar séculos, resultando em poluição de solos, rios e oceanos.

Paralelamente, a impressão 3D vem se consolidando como uma tecnologia de manufatura moderna, permitindo a prototipagem rápida e a produção de peças personalizadas em pequena escala. Contudo, o alto custo dos filamentos comerciais ainda se apresenta como um obstáculo para a popularização da tecnologia em ambientes acadêmicos, laboratórios e pequenas empresas.

Diante desse cenário, surge a necessidade de soluções que conciliem sustentabilidade e viabilidade econômica. A ideia de reutilizar resíduos plásticos, como o PET, na produção de filamentos para impressoras 3D se apresenta como uma alternativa promissora, reduzindo tanto os impactos ambientais quanto os custos operacionais. Nesse contexto, o desenvolvimento de uma extrusora de filamentos reciclados representa uma oportunidade prática de aliar inovação tecnológica e preservação ambiental, além de contribuir para a disseminação de práticas sustentáveis na engenharia mecatrônica.

1.1.1 Impactos Ambientais do Descarte de PET

O descarte inadequado de garrafas PET é um dos grandes desafios ambientais da atualidade. Estima-se que bilhões de garrafas sejam consumidas anualmente, e grande parte delas não retorna para a cadeia de reciclagem. Por se tratar de um polímero de lenta degradação, o PET pode permanecer no meio ambiente por séculos, acumulando-se em aterros e ecossistemas naturais. Esse cenário acarreta graves problemas, como poluição de solos e águas, entupimento de sistemas de drenagem e prejuízos à fauna terrestre e marinha, que muitas vezes ingere ou se prende nos resíduos. Além disso, a baixa taxa de reciclagem efetiva ainda limita o aproveitamento desse material, reforçando a necessidade de novas alternativas para seu reaproveitamento.

1.1.2 Custos e Limitações dos Filamentos Comerciais

A popularização da impressão 3D é frequentemente restringida pelo alto custo dos filamentos disponíveis no mercado. Esses insumos, geralmente fabricados a partir

de polímeros como PLA e ABS, apresentam preços que podem inviabilizar sua utilização em larga escala em ambientes acadêmicos, laboratórios de prototipagem e pequenas empresas. Além do custo elevado, a dependência de fornecedores especializados e a variação de qualidade entre diferentes marcas são fatores que dificultam a padronização do processo produtivo. Assim, encontrar alternativas de baixo custo para a produção de filamentos torna-se fundamental para ampliar o acesso à tecnologia de manufatura aditiva.

1.1.3 Desafios da Reciclagem Tradicional do PET

Embora o PET seja um dos plásticos mais reciclados no mundo, o processo de reciclagem tradicional ainda enfrenta limitações significativas. A coleta seletiva insuficiente, a contaminação dos resíduos e os custos logísticos dificultam a reutilização eficiente desse material. Além disso, muitas vezes o PET reciclado é destinado à fabricação de produtos de menor valor agregado, como fibras têxteis ou embalagens secundárias, o que reduz seu potencial de aplicação em processos industriais de maior complexidade. Nesse contexto, a transformação do PET em filamentos para impressão 3D surge como uma alternativa inovadora, capaz de agregar valor ao resíduo e promover sua reinserção em cadeias produtivas tecnológicas.

1.2 Justificativas Do Trabalho

A realização deste projeto justifica-se pela necessidade de encontrar soluções tecnológicas capazes de reduzir os impactos gerados pelo descarte inadequado de plásticos, especialmente o PET. Como esse material possui alta durabilidade e baixo índice de reciclagem eficiente, torna-se urgente desenvolver alternativas que permitam seu reaproveitamento de forma prática e acessível.

A escolha por uma extrusora de filamento 3D se fundamenta no fato de que transformar o PET em insumo para impressão 3D agrega valor ao resíduo, amplia seu ciclo de vida e contribui diretamente para a economia circular. Além do impacto ambiental positivo, o projeto apresenta justificativa econômica: produzir filamentos

reciclados pode reduzir significativamente os custos de uso da tecnologia de impressão 3D em escolas, laboratórios e pequenas empresas.

No contexto acadêmico, o projeto também se justifica por promover a aplicação integrada de conhecimentos de automação, mecânica, eletrônica e controle de processos, permitindo aos estudantes vivenciar uma experiência prática alinhada às demandas reais da área de mecatrônica.

Por esses motivos — impacto ambiental, viabilidade econômica, relevância social e potencial formativo — o desenvolvimento da extrusora mostra-se plenamente justificável e pertinente.

1.3 Objetivos Do Projeto

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é projetar e desenvolver um protótipo de extrusora de filamento para impressão 3D, capaz de processar resíduos plásticos do tipo PET e transformá-los em filamentos contínuos. Para isso, o projeto busca integrar de forma articulada os sistemas mecânicos, eletrônicos e de controle necessários ao funcionamento da extrusora, incluindo o mecanismo de alimentação, o conjunto de aquecimento, o sistema de extrusão e o controle térmico e operacional do equipamento. O desenvolvimento do protótipo também envolve a definição de parâmetros de extrusão, a análise do desempenho do sistema e a verificação da capacidade do equipamento em produzir filamentos com características adequadas para uso em impressoras 3D. Assim, o objetivo central consiste em validar a construção e o funcionamento básico da extrusora, permitindo avaliar sua viabilidade técnica para a transformação do PET em insumo para manufatura aditiva.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Projetar e construir a estrutura mecânica da extrusora, incluindo canhão, rosca e matriz, adequada ao processamento de resíduos plásticos do tipo PET.

- Selecionar, integrar e configurar os componentes eletrônicos e de automação responsáveis pelo controle térmico e operacional do processo de extrusão.
- Desenvolver um sistema de aquecimento capaz de atingir e manter as temperaturas necessárias para a fusão do PET, garantindo condições mínimas para a formação do filamento.
- Avaliar a capacidade do protótipo em transformar resíduos plásticos pós-consumo em filamentos contínuos, verificando sua uniformidade e potencial de uso em impressoras 3D.
- Investigar o aproveitamento de resíduos plásticos como matéria-prima alternativa, promovendo o uso de PET reciclado e analisando sua viabilidade no processo de manufatura aditiva.
- Estudar como o reaproveitamento do PET pode contribuir para a redução de resíduos plásticos descartados, considerando o potencial do equipamento em práticas sustentáveis e na economia circular.
- Analisar o desempenho geral do sistema, identificando limitações, oportunidades de melhoria e diretrizes para o aprimoramento de versões futuras do protótipo. Avaliar a viabilidade econômica e ambiental do uso de PET reciclado como alternativa aos filamentos comerciais.

2. METODOLOGIA

Neste capítulo será mostrado toda a abordagem metodológica para o desenvolvimento de um protótipo referente ao projeto apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Buscando abordar desde os procedimentos utilizados para pesquisa, até o pensamento para criação do projeto.

2.1. Tipo de pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois busca desenvolver uma solução tecnológica voltada à reutilização de resíduos plásticos PET e sobras de impressões 3D que foram descartadas por estarem mal feitas, na produção de filamento para impressão 3D. Quanto aos procedimentos, trata-se de uma pesquisa experimental, na qual um protótipo funcional de extrusora foi projetado, com o intuito de ser testado em condições favoráveis para seu funcionamento. A abordagem é ainda qualitativa e quantitativa, visto que combina análises descritivas dos resultados obtidos com medições de temperatura, diâmetro do filamento e taxa de extrusão.

2.2. Estudo do Problema

O problema central está na elevada taxa de desperdício e na insuficiente reciclagem de materiais plásticos. Devido à sua baixa taxa de degradação natural, plásticos como PET, ABS e PLA permanecem no ambiente por longos períodos, contribuindo para a poluição e intensificando os impactos ambientais já existentes. Dessa forma, os desafios relacionados ao acúmulo de resíduos plásticos tendem a se agravar progressivamente caso não sejam adotadas soluções eficazes para sua reutilização e tratamento adequado.

Diante desse cenário, buscou-se desenvolver uma solução capaz de mitigar os impactos gerados pelo descarte inadequado de plásticos, alinhando-se às tecnologias contemporâneas e às diretrizes atuais de sustentabilidade. A partir de vivências práticas, análises técnicas e estudos aprofundados sobre reciclagem mecânica, além das contribuições fornecidas pelos orientadores do projeto, definiu-se a adoção dos princípios de funcionamento de uma extrusora para a produção de filamentos destinados à impressão 3D. Essa abordagem se destaca por permitir a reutilização de

resíduos plásticos, especialmente o PET, transformando-os em um insumo de alto valor agregado e reduzindo a dependência de filamentos comerciais. Além disso, estudos recentes demonstram que a extrusão de plásticos reciclados para manufatura aditiva tem potencial para reduzir custos, minimizar impactos ambientais e incentivar práticas de economia circular, tornando o processo tecnologicamente viável e ambientalmente relevante.

2.3. Procedimentos De Coleta Do Material Para Extrusão

O material empregado neste projeto consistiu predominantemente em garrafas PET pós-consumo, coletadas nas residências dos autores e de colaboradores próximos. Inicialmente, essas embalagens passaram por um processo de triagem, no qual foram removidos os rótulos, tampas e quaisquer resíduos líquidos, a fim de garantir a pureza da matéria-prima. Em seguida, o PET foi submetido a uma etapa de lavagem com água corrente, seco naturalmente em ambiente ventilado e posteriormente triturado em grânulos por meio de um triturador mecânico, facilitando sua alimentação no funil da extrusora e garantindo maior uniformidade térmica durante a fusão.

Paralelamente, realizou-se também a triagem de impressões 3D descartadas ou falhas, fabricadas em filamento ABS. Esse material passou pelo mesmo procedimento de limpeza, secagem e trituração, resultando em grânulos aptos a serem utilizados no processo de extrusão. A inclusão de resíduos de ABS visa ampliar o estudo sobre a viabilidade de reciclagem de diferentes termoplásticos para manufatura aditiva, permitindo comparações entre comportamento térmico, estabilidade dimensional e qualidade final do filamento extrudado. Essa abordagem reforça o caráter sustentável do projeto ao incorporar múltiplas fontes de resíduos poliméricos.

2.4. Instrumentos De Coleta De Dados:

2.4.1. Medições

Trata-se da etapa destinada à verificação dimensional de todos os componentes elétricos e mecânicos do projeto, incluindo peças usinadas e elementos estruturais. Essa análise busca assegurar que cada componente atenda às

especificações de projeto, garantindo precisão, segurança estrutural e redução de riscos de falhas durante a operação do protótipo. Além disso, a conferência dimensional contribui para a padronização do conjunto, permitindo a correta montagem e o funcionamento adequado da extrusora, conforme recomendam as normas técnicas de metrologia aplicada.

2.4.2. Observação Direta

Consiste em avaliar qualitativamente o protótipo finalizado, examinando a infraestrutura do equipamento, a durabilidade dos materiais empregados e a presença de possíveis falhas estruturais ou operacionais, além das estratégias para sua correção. A observação direta também possibilita verificar a qualidade do filamento produzido, considerando aspectos como regularidade, uniformidade e consistência do material extrudado. Esse método é amplamente utilizado em estudos de engenharia por permitir a análise prática do desempenho real de sistemas mecânicos e termoplásticos.

2.5. Técnicas De Análise Da Dados

2.5.1. Análise Quantitativa:

A análise quantitativa do projeto pode ser realizada por meio de estimativas baseadas nas propriedades físicas do PET pós-consumo e no diâmetro médio do filamento que se pretende obter. Considerando-se um filamento de 1,5 mm de diâmetro, obtém-se um raio de 0,75 mm, o que permite calcular a área da seção transversal, resultando em aproximadamente 1,767 mm². A partir desse valor, é possível determinar o volume teórico correspondente a 1 metro de filamento, que após conversão para cm³ equivale a cerca de 1,767 cm³. Multiplicando-se esse volume pela densidade média do PET (1,38 g/cm³), estima-se que cada metro de filamento possua massa aproximada de 2,44 g.

Com base nessa relação, pode-se estimar o comprimento de filamento gerado a partir de garrafas PET de diferentes massas: garrafas de 12 g, 20 g, 30 g e 40 g resultariam hipoteticamente em cerca de 4,92 m, 8,20 m, 12,30 m e 16,40 m de filamento, respectivamente. Considerando um rendimento prático entre 80% e 95%,

adota-se o valor hipotético de 90% para fins de cálculo, ajustando esses comprimentos para 4,43 m (500 mL), 7,38 m (1 L), 11,07 m (1,5 L) e 14,76 m (2 L).

Adicionalmente, a análise quantitativa pode incluir uma avaliação hipotética da uniformidade do diâmetro do filamento, utilizando gráficos e tabelas comparativas para simular medições em diferentes trechos do material extrudado. Essa etapa permitiria identificar, teoricamente, possíveis variações dimensionais e relacioná-las a parâmetros operacionais da extrusora, oferecendo subsídios para futuras otimizações do processo e para a verificação da consistência do filamento reciclado.

2.5.2. Análise Qualitativa

A análise qualitativa do processo incluiu a observação visual detalhada do filamento produzido, permitindo identificar possíveis defeitos, como bolhas de ar, regiões com variações no diâmetro ou irregularidades decorrentes da fusão do material. Esse procedimento também envolve a verificação da adequação do filamento para uso em impressão 3D, avaliando se ele percorre o *hotend* da impressora sem ocasionar obstruções ou falhas de extrusão. Além disso, foi considerada a qualidade do material obtido a partir do reaproveitamento de impressões falhas, as quais foram trituradas e reinseridas no processo de extrusão. Esse reaproveitamento permitiu avaliar se o material reciclado mantém propriedades físicas consistentes, bem como se apresenta alterações perceptíveis na textura, cor ou desempenho durante a impressão. Dessa forma, a análise qualitativa ofereceu uma visão abrangente da eficiência do processo, da integridade do filamento e da viabilidade do uso de resíduos poliméricos como matéria-prima.

2.6. Validade e Confiabilidade

2.6.1. Validade

A validade do estudo será estabelecida por meio da comparação dos parâmetros teóricos adotados com padrões técnicos consolidados na literatura sobre extrusão de polímeros e produção de filamentos para manufatura aditiva. A fundamentação bibliográfica permitirá verificar se as variáveis selecionadas — tais como temperatura de extrusão, velocidade de tração e taxa de alimentação do

material — encontram-se alinhadas às melhores práticas descritas em estudos anteriores (CANEVAROLO, 2018; MANRICH, 2017).

Além disso, a análise será complementada pela consulta a pesquisas que abordam especificamente a reciclagem de PET pós-consumo e ABS proveniente de impressões 3D falhas, assegurando que os procedimentos propostos estejam coerentes com métodos amplamente aceitos para a revalorização de termoplásticos.

2.6.2. Confiabilidade

A confiabilidade será considerada com base na possibilidade de replicação dos procedimentos teóricos definidos para o processo de extrusão. Para isso, prevê-se a proposição de ensaios hipotéticos de medição do diâmetro e de resistência mecânica do filamento extrudado, tanto para o PET pós-consumo quanto para o ABS reciclado de impressões 3D defeituosas. Tais ensaios, se realizados, possibilitariam a obtenção de médias representativas e a redução de erros experimentais, conforme recomendado por normas de controle dimensional e pela literatura de processamento de polímeros (CALLISTER; RETHWISCH, 2019). Dessa forma, busca-se garantir que os resultados esperados possam apresentar consistência e repetibilidade.

2.7. Resultados Esperados

Espera-se que o estudo resulte no desenvolvimento teórico de um projeto funcional de extrusora capaz de produzir filamento reciclado com propriedades adequadas para impressão 3D. Prevê-se que o filamento, tanto de PET pós-consumo quanto de ABS proveniente de impressões falhas, apresente diâmetro uniforme, boa resistência mecânica e compatibilidade com sistemas de deposição por fusão (FDM). Adicionalmente, estima-se que a análise dos parâmetros operacionais permita identificar combinações que potencialmente otimizariam a extrusão, reduzindo custos e aumentando o aproveitamento do material reciclado. Espera-se, ainda, que a abordagem proposta contribua para demonstrar a viabilidade técnica da reutilização de resíduos plásticos domésticos e de impressões 3D descartadas, reforçando os princípios da economia circular e da sustentabilidade.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A impressão 3D, também denominada manufatura aditiva, consiste na fabricação de objetos tridimensionais por meio da deposição sucessiva de camadas de material termoplástico. Segundo Silva (2022), essa tecnologia tem ganhado destaque por possibilitar a personalização de peças, a redução de desperdícios e a otimização de tempo e custos em processos industriais e acadêmicos. Entre os materiais comumente empregados estão o PLA (ácido polilático), o ABS (acrilonitrila butadieno estireno) e o PETG (polietileno tereftalato glicol), cada qual apresentando propriedades específicas quanto à temperatura de fusão, comportamento térmico, resistência mecânica e estabilidade dimensional durante a extrusão (Souza, 2023). Assim, compreender as características térmicas, reológicas e estruturais desses polímeros é fundamental para o desenvolvimento de um sistema de extrusão eficiente e compatível com os requisitos da manufatura aditiva.

Nesse contexto, destaca-se também o potencial de reaproveitamento de impressões 3D falhas, que representam uma das principais fontes de resíduos gerados durante o processo de fabricação aditiva. Conforme apontam Oliveira e Santos (2021), peças descartadas devido a erros de impressão, configurações inadequadas ou falhas operacionais podem ser trituradas e reinseridas no processo de extrusão, desde que passem por etapas adequadas de triagem, limpeza e secagem. Esse procedimento contribui para a redução de resíduos plásticos, promove a economia circular e permite avaliar o comportamento de materiais reciclados quando submetidos a ciclos repetidos de fusão e solidificação.

A extrusão de filamento configura-se como o processo destinado à transformação de materiais plásticos — sejam eles virgens, reciclados ou provenientes de impressões falhas — em fios contínuos de diâmetro uniforme, aptos ao uso em impressoras 3D comerciais. Esse processo envolve etapas como alimentação do material granulado, aquecimento, fusão, compressão e trefilagem. Conforme relatam Oliveira e Santos (2021), o controle adequado da temperatura nos estágios de aquecimento, aliado à definição precisa da velocidade de rotação do parafuso sem-fim, constitui fator determinante para a qualidade final do filamento, influenciando diretamente sua homogeneidade dimensional, resistência mecânica e desempenho durante a impressão.

3.1. Princípio de Funcionamento da Extrusora de Filamento

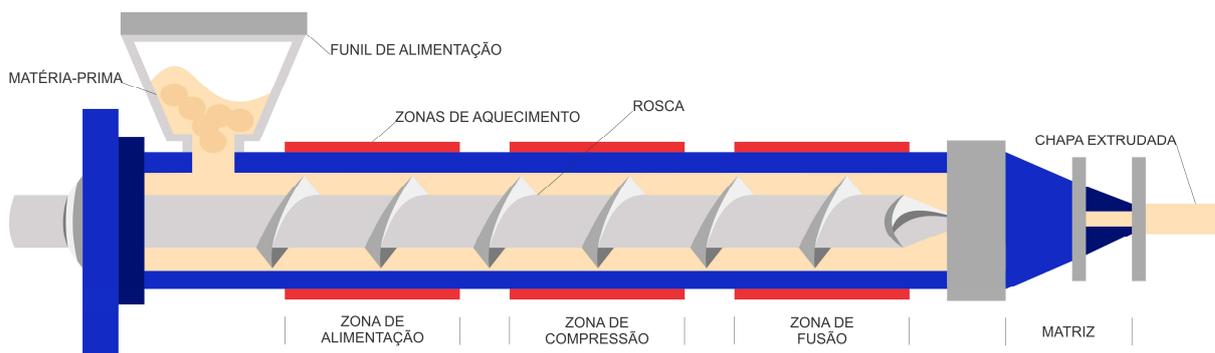
A extrusora de filamento é constituída por um conjunto de mecanismos mecânicos e eletrônicos que operam de forma integrada com o objetivo de transformar materiais plásticos — sejam eles virgens, granulados ou reciclados — em um filamento contínuo com diâmetro controlado. De acordo com Oliveira e Santos (2021), o processo de extrusão é tradicionalmente dividido em cinco etapas fundamentais: alimentação do material, fusão, extrusão, resfriamento e bobinagem.

No presente projeto, a alimentação consiste na inserção, no funil da extrusora, de PET pós-consumo previamente triturado, bem como de resíduos provenientes de impressões 3D falhas de ABS e PLA, igualmente limpos e granulados. Essa abordagem atende ao princípio da economia circular, conforme destacado por Silva (2022), ao reaproveitar materiais descartados para transformá-los novamente em insumos de manufatura aditiva.

Após a alimentação, o material é conduzido ao canhão de extrusão aquecido, onde ocorre sua fusão a temperaturas próximas de 230 °C. Em seguida, uma rosca sem fim promove o transporte e a compressão do polímero em direção à matriz (die), etapa em que o extrudado — produto resultante da extrusão — assume o formato cilíndrico do filamento. Como apontam Souza (2023) e Oliveira e Santos (2021), o controle da temperatura e da taxa de alimentação é essencial para garantir a estabilidade dimensional e a homogeneidade do material extrudado.

É importante destacar que, diferentemente das extrusoras industriais convencionais, o protótipo desenvolvido neste estudo não inclui os módulos de resfriamento e bobinagem, que tipicamente consistem em um banho de resfriamento e um enrolador automatizado. Dessa forma, o filamento extrudado é obtido de maneira contínua, porém sem os estágios finais que consolidariam o acondicionamento e o armazenamento do produto. Na Figura 1, encontra-se o esquema geral do processo de extrusão considerado no projeto.

Figura 1- Processo de extusagem



Fonte: [https://www.korp.com.br/extrusao-entenda-este-processo-industrial/\(2025\)](https://www.korp.com.br/extrusao-entenda-este-processo-industrial/(2025))

3.2. Estrutura Mecânica do Equipamento

A estrutura mecânica do equipamento foi projetada de forma a garantir rigidez, segurança operacional e estabilidade térmica durante todo o processo de extrusão. Para a construção do canhão de extrusão, empregou-se um tarugo de aço inoxidável com 500 mm de comprimento e 28 mm de diâmetro. A escolha desse material se deve à sua elevada resistência mecânica, à durabilidade e à confiabilidade em aplicações que envolvem altas temperaturas, visto que o aço inox apresenta ponto de fusão na faixa de 1400 °C a 1510 °C (CALLISTER; RETHWISCH, 2019). Essas características tornam o componente adequado para suportar o aquecimento necessário à fusão de polímeros como PET e ABS reciclado, assegurando a estabilidade do sistema e reduzindo riscos de deformações estruturais durante a operação.

3.3. Estrutura Elétrica do equipamento

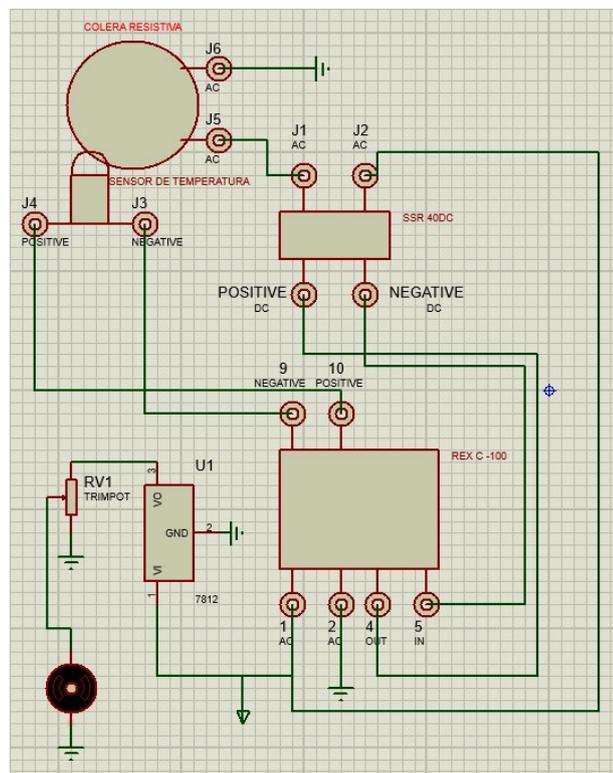
Toda a estrutura elétrica do protótipo foi projetada com foco na eficiência energética, na segurança operacional e na estabilidade térmica do sistema de extrusão. Para a alimentação do circuito, utilizou-se uma fonte de 12V e 5A, capaz de fornecer corrente contínua suficiente para os componentes de acionamento. O sistema de movimento foi composto por um motor de 45 RPM com alto torque, escolhido por sua capacidade de garantir alimentação constante do material ao canhão de extrusão, conforme recomendado por Silva e Andrade (2022) para extrusoras de pequeno porte. O aquecimento do canhão foi realizado por meio de uma

coleira resistiva de cerâmica, elemento amplamente empregado em extrusão de polímeros devido à sua estabilidade térmica (OLIVEIRA; SANTOS, 2021).

O controle de temperatura foi efetuado com o uso de um controlador de temperatura, responsável por monitorar e regular o aquecimento. Esse controlador atuou em conjunto com um relé de estado sólido (SSR), que permitiu acionar a coleira resistiva de forma eficiente e sem desgaste mecânico, prática recomendada em sistemas de extrusão de operação contínua (SOUSA; MENDES, 2020). Para o ajuste da velocidade de rotação do motor, utilizou-se um potenciômetro PWM (modulação por largura de pulso) de corrente contínua, que possibilita variação precisa da alimentação do parafuso extrusor. Por fim, um sensor de temperatura tipo termopar foi integrado ao sistema para realizar medições diretas do canhão de extrusão, garantindo maior precisão nos dados coletados.

O esquema elétrico completo do equipamento encontra-se apresentado na Figura 2, onde é possível visualizar a disposição dos componentes e a integração entre os sistemas de controle, acionamento e aquecimento.

Figura 2 Esquema Elétrico do Protótipo



Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2025)

4. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será apresentado como o projeto foi desenvolvido, sendo abordado todo o processo de pensamento em relação ao projeto, as ferramentas e aparatos utilizados para conclusão do projeto como um todo, bem como os parâmetros utilizados para medição de qualidade e confiabilidade do filamento tido como produto final.

4.1. Peças Escolhidas

Com a fundamentação teórica completa, entra-se a fase de compra e aquisição de peças. Como mencionada na seção 3, o projeto necessita de um motor, cujo torque e potencia se adequem em ambiente de estresse de extrusão, tal como um motor de 12v com 45 rotações por minuto (figura 3), que ao acoplado em uma caixa de redução, é possível ter torque suficiente para a rotação da via extrusora.

Figura 3 – Motor 12v de 45 RPM com Caixa de Redução Acoplada



Fonte: <https://www.tek8com.br> (2025)

Com a junção do motor no sistema, , dever haver o planejamento do guia extorsionário e seu atuador para movimentação, devido a força exercida do funcionamento do protótipo é necessário o uso de um tarugo de aço inox de 500mm de comprimento e 28.5mm de diâmetro como guia (figura 4A), devido sua facilidade de manuseio e adaptabilidade as condições apresentadas, e uma broca de 21,8mm

de diâmetro e 460mm de comprimento, adaptada para o movimento do material (figura 4B), pelo fato da sua resistência independente do uso.

Figura 4 – A) Broca de concreto, B) Canhão de extrusão torneado



Fonte: Próprios autores (2025)

Para então, haver a definição de formato e condicionamento do filamento, é usado uma coleira resistiva de cerâmica (figura 5A), para aquecimento do material e durabilidade de uso, junto de um bico de extrusão, formando o diâmetro correto do filamento.

Figura 5 – Resistencia Coleira Mica Injetora



Fonte: <https://www.fogoforteresistencias.com.br/> (2025)

Para controle do protótipo e definição de parâmetros de funcionamento, o uso de um controlador como REX C-100 (figura 6A) é necessário, em junção de um termopar (figura 6B), que monitorará a temperatura da coleira resistiva, ligando e desligando-a ao usar um relé de estado sólido (figura 6C) controlado por uma corrente contínua para operação de dispositivos de corrente alternada de até 40A.

Figura 6 – A) LCD PID REX C-100 B) Termopar K C) SSR-40 DA



Fonte: <https://www.amazon.com.br/> (2025)

Para confecção de partes adjacentes que seriam necessárias foi também comprado um tarugo de alumínio (figura 7) de 300mm de comprimento e 28.5mm de diâmetro, que foi escolhido pela sua facilidade de tornear, por ser um material mais maleável, e também por sua alta condutibilidade térmica, e elevado ponto de fusão.

Figura 7 – Tarugo Redondo de Alumínio



Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/> (2025)

Por fim para controle e entrega de energia ao motor é usado um dimmer de 3 a 35v (figura 8A) e uma fonte de 12v 5A (figura 8B) respectivamente, ambos os componentes são necessários para regular o funcionamento, delimitando a força do motor, adequando-a para o protótipo.

Figura 8 – A) Regulador de Velocidade Motor Dc Pwm B) Fonte Colméia 12v 5a



Fonte: <https://www.mercadolivre.com.br/> (2025)

4.2. Tabela de preços

Conforme a tabela abaixo (tabela 1), estão representados todos os custos nominais do projeto em questão, descontando mão de obra, por não ser um projeto comercial, e apenas levando em consideração o custo bruto dos itens.

Por conta da escolha serem peças de um custo menor do que está em mercado nos dias de hoje, tem-se um valor aproximado de R\$900,00.

Tabela 1 – Tabela de custos do projeto de extrusora de filamento de impressão 3D.

Análise da formação dos preços dos produtos				
Produto	Fornecedor	Custo Unitário (R\$)	Quantidade	Custo Total (R\$)
Fio Paralelo Bicolor Pt-vm 2x12 (2x2,50mm ²) Rolo 10 Metros	RPG-VENDA	29,90	1	29,90
Tarugo Redondo De Alumínio 1.1/8 (28,57mm) X 300mm / 30cm	Alure Metais	45,00	1	45,00
Motor 12v Dc 45 Rpm Com Caixa De Redução 45rpm Alto Torque	TEK8AUTO	195,98	1	195,98
Regulador De Velocidade Motor Dc Pwm 12v 5ª Dc 5-35v	BBACOMERCIO	19,99	1	19,99
Tarugo Redondo de Aço Inox 500mm x 28.75mm	Torno-Fer	170,00	1	170,00
Fonte Chaveada Colméia 120w 12v 10ª	MCCSHOP	32,48	1	32,48
Resistencia Elétrica Coleira Mica Injetora 30x80mm 240w 220v	Fogo Forte Resistências	67,26	1	67,26
Broca de Concreto 500mm x 25mm	BOSH	185,00	1	185,00
Rele De Estado Sólido Fotek Ssr-40da 40ª	LHCOMPONENTES	42,08	1	42,08
Controlador De Temperatura Pid Rex-c100	GV TECH	75,70	1	75,70
Sensor De Temperatura Termopar Tipo K	RoboBuilders	34,21	1	34,21
TOTAL				897,60

Fonte: Elaborado pelos próprios autores 2025.

4.3. Montagem

O primeiro passo iniciou-se com o tarugo do alumínio, que foi furado usando primeiramente uma broca de furo de centro, depois uma broca de 10mm, logo após uma 16mm, e por fim uma de 22mm criando o local de condução dos materiais de produção que passará pela coleira resistiva, conduzidos pela broca, que teve sua ponta retirada para a utilização de seu corpo inteiro, sem nenhuma intromissão de alguma parte banal, forçando todo material, passar pela extrusão no final, pós aquecimento. Há de se mencionar que para o desbaste do tarugo, foi necessário dividi-lo em duas partes, possibilitando a usinagem em troncos no devido ambiente de manufatura, também fazendo um furo retangular na junção de ambas as partes de 20mm de largura e 80mm de comprimento para a inserção de material para extrusão, após a criação dos furos foi utilizado solda para afixação das duas partes criando uma peça única que receberá todos os componentes mencionados (figura 9A). Após isso foi feito um corte de 90mm na parte traseira do canhão para que ele se adeque ao tamanho da broca. E por fim foi colocado na ponta a matriz da extrusão (figura 9B), que já havia sido previamente torneada por outros estudantes em projetos abandonados, que consiste em uma ligação entre o canhão para um bico de bronze com um furo de 1,5mm de diâmetro para que saia o filamento

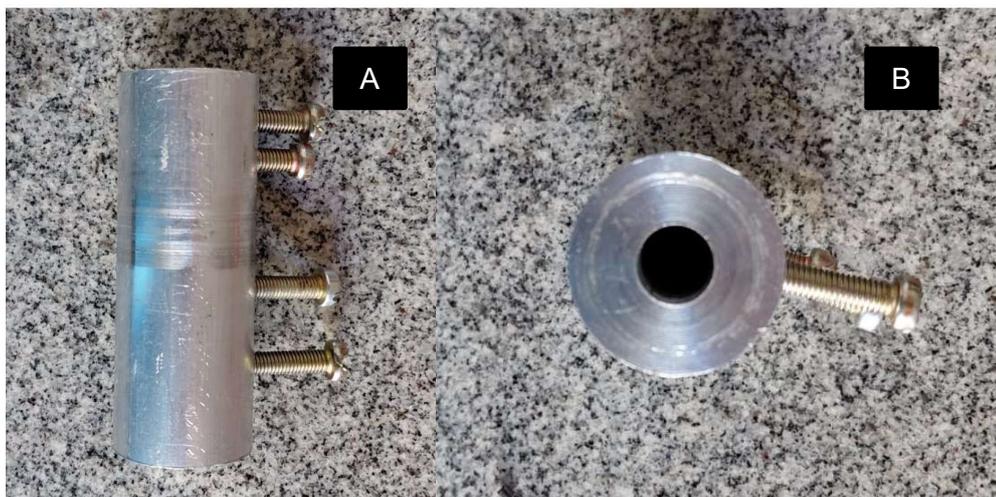
Figura 9 - A) Matriz da Extrusão B) Canhão de Extrusão Completo



Fonte: Próprios autores (2025)

Para o anexo do motor e a broca, foi feito uma bucha para parte de encaixe usando parte do tarugo de alumínio torneada de 75mm de comprimento, tendo um furo de 8mm de diâmetro com 20mm de comprimento para acoplar no eixo do motor, e outro de 10mm de diâmetro com 54mm de comprimento para acoplagem da broca passante, com buracos para posicionamento de parafusos para fixar ambas as partes (figura 10)

Figura 10 – A) Visão Lateral do Encaixe B) Visão Frontal do Encaixe



Fonte: Próprios autores (2025)

Após fazer as peças e torneá-las foram buscados materiais para realizar a confecção, onde foram escolhidos uma base de madeira com 10mm de espessura para pregagem de dois mancais também de madeira e um apoio feita para o motor

Para a base foi feita um corte em um pedaço de madeira achado nas instalações onde foi feito o projeto, que ao final, com 320mm de largura e 520 mm de comprimento.

Para o apoio do motor foi utilizado a mesma madeira com as dimensões de 245mm de comprimento e 320mm de largura. Pregada na vertical em relação a base, fazendo um furo no meio com um diâmetro aproximado de 29mm de diâmetro para apoio da bucha;

Já os mancais foram feitos, também de madeira, com uma altura de 130mm e uma largura de 70mm e uma espessura de 20mm, e feito um furo de raio de aproximadamente 15mm de raio para ser o apoio do canhão de extrusão e colocado um parafuso em cada para prender o canhão.

Para que as partes não se desprendam foi também feito um apoio de madeira com 170mm de comprimento e 45mm de largura pregadas tanto da base quanto no apoio do motor. O resultado de toda essa montagem pode ser visto na figura 11.

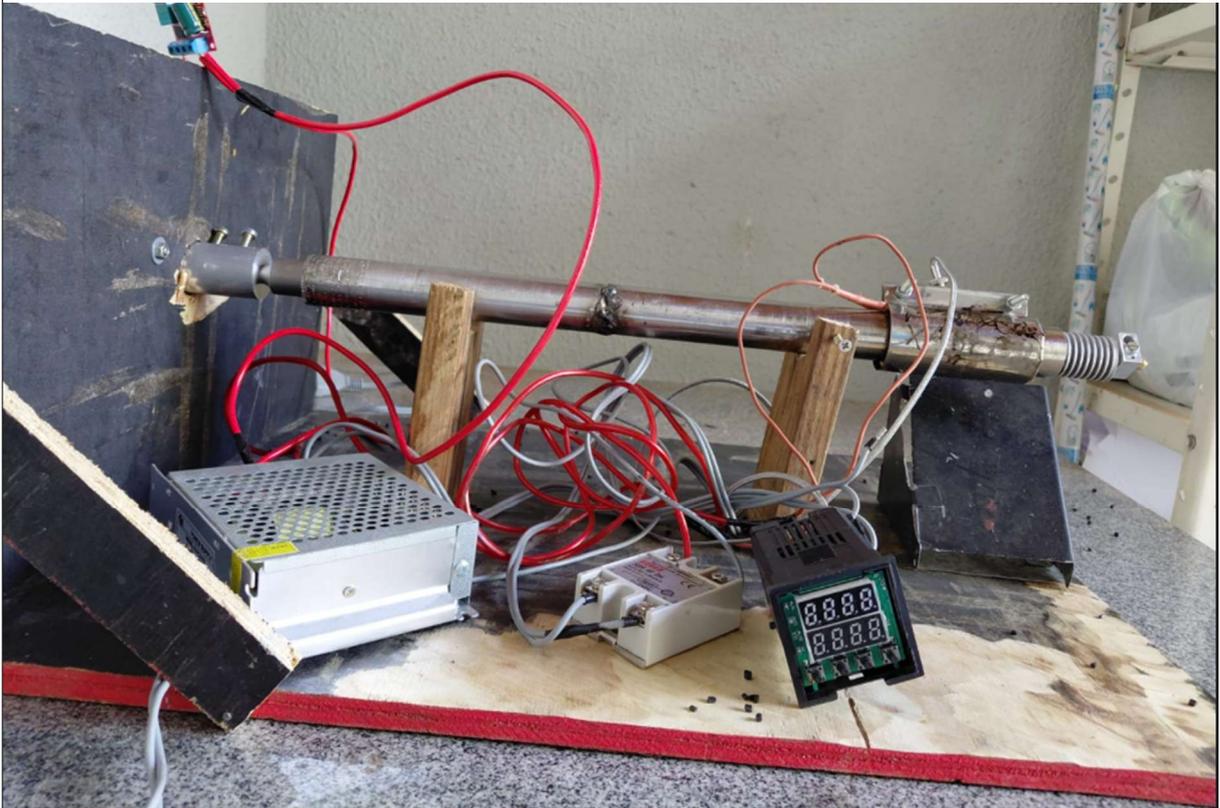
Figura 11 – Base Completa



Fonte: Próprios autores (2025)

Após toda a montagem do esquema mecânico e físico, foi implementado o sistema elétrico assim tendo a forma final do protótipo sinalizado na figura 12.

Figura 12 – Montagem Completa



Fonte: Próprios autores (2025)

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados deste projeto baseia-se na avaliação do desempenho do protótipo desenvolvido, considerando os objetivos iniciais propostos. Embora a extrusora tenha sido construída conforme os parâmetros estabelecidos no planejamento, o equipamento não funcionou de forma adequada para realizar o processo de extrusão do filamento. Essa análise, portanto, concentra-se na identificação das causas prováveis do insucesso, relacionando-as aos aspectos mecânicos e térmicos observados durante os testes preliminares.

A principal limitação identificada foi a incapacidade do sistema de atingir a temperatura ideal para a fusão do plástico. Mesmo com o uso da coleira resistiva e do controlador de temperatura, o conjunto não conseguiu elevar o canhão de extrusão ao nível térmico necessário para fundir adequadamente o PET ou o ABS reciclado. Essa condição impossibilitou a plastificação do material, impedindo sua compressão e passagem pela matriz.

Outro fator determinante foi a ausência de um acoplamento adequado entre o motor e a broca de extrusão. Essa falha mecânica fez com que a rotação transmitida pelo motor não fosse suficiente nem estável, resultando no deslocamento do canhão de extrusão para a frente. Esse movimento impediu que a pressão necessária para empurrar o material fundido fosse aplicada, inviabilizando completamente o processo.

Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que, embora a estrutura conceitual e construtiva do projeto esteja coerente, ajustes técnicos e melhorias são indispensáveis para garantir o funcionamento pleno da extrusora, tanto no controle térmico quanto no acoplamento mecânico do sistema.

5.1. Futuras melhorias

A partir da análise do desempenho parcial do protótipo e da identificação dos fatores que comprometeram seu funcionamento, foi possível estabelecer um conjunto de melhorias que podem ser implementadas em versões futuras do equipamento. A primeira delas refere-se ao sistema de acoplamento entre o motor e a broca extrusora. A ausência de um encaixe adequado resultou no deslocamento do canhão de

extrusão durante a operação, evidenciando a necessidade de um eixo de transmissão mais robusto ou de um acoplamento mecânico rígido, capaz de garantir alinhamento, estabilidade e transferência eficiente de torque.

Outra melhoria relevante diz respeito ao sistema de aquecimento. A coleira resistiva utilizada não foi capaz de atingir ou manter a temperatura ideal para a fusão completa do PET, o que impossibilitou o escoamento do material e, conseqüentemente, a extrusão do filamento. Assim, recomenda-se a utilização de uma coleira de maior potência, bem como a implementação de uma área de retenção ou isolamento térmico ao redor do canhão de extrusão, reduzindo perdas de calor para o ambiente e favorecendo a estabilidade térmica durante o processo.

Além disso, a etapa de alimentação do material pode ser aprimorada por meio da instalação de um funil acoplado diretamente ao furo de entrada do canhão. Essa modificação proporcionaria um fluxo mais constante e seguro de grânulos de PET ou de impressões 3D falhas trituradas, evitando bloqueios ou desperdícios durante a operação.

Por fim, futuras versões do projeto também podem incorporar sistemas complementares de resfriamento e bobinagem, ausentes no modelo atual, permitindo que o filamento extrudado seja direcionado e enrolado de forma controlada. A adição desses módulos tornaria o equipamento mais completo e funcional, aproximando-o dos padrões industriais e facilitando sua aplicação prática em processos de manufatura aditiva.

6. CONCLUSÃO

A realização deste Trabalho de Conclusão de Curso possibilitou o desenvolvimento de um projeto com foco em sustentabilidade, inovação tecnológica e aplicação prática dos conhecimentos adquiridos ao longo da formação em Mecatrônica. A proposta de construir uma extrusora capaz de produzir filamento para impressão 3D a partir de plásticos PET pós-consumo demonstrou-se tecnicamente promissora, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. O processo envolveu planejamento estrutural, dimensionamento de componentes mecânicos e eletrônicos, além da análise teórica de propriedades térmicas e comportamentais dos materiais utilizados.

O desenvolvimento do protótipo permitiu compreender, de maneira concreta, os desafios inerentes ao processo de extrusão de polímeros. Durante a fase de testes, entretanto, identificaram-se limitações que impediram o funcionamento adequado do equipamento. O principal obstáculo consistiu na incapacidade do sistema de atingir a temperatura ideal para a fusão completa do PET, o que inviabilizou o escoamento adequado do material pelo canhão de extrusão. Além disso, constatou-se a ausência de um acoplamento eficiente entre o motor e a broca, o que resultou no deslocamento do canhão durante a operação, comprometendo o avanço do material e a estabilidade mecânica do conjunto. Tais fatores evidenciaram pontos críticos de aprimoramento no projeto.

Apesar dessas dificuldades práticas, o estudo forneceu uma base sólida para a compreensão do processo de extrusão e dos requisitos necessários para garantir sua eficiência. A pesquisa bibliográfica, a análise de materiais e a estruturação conceitual demonstraram que a produção de filamento reciclado é plenamente viável, desde que o equipamento opere com controle térmico adequado, geometria compatível entre os componentes e um sistema mecânico devidamente acoplado e alinhado. Ademais, a possibilidade de reutilizar impressões 3D falhas reforça o potencial do projeto em ampliar o ciclo de reaproveitamento de resíduos plásticos, contribuindo ainda mais para a redução de desperdícios.

O caráter multidisciplinar do trabalho representou um importante diferencial, pois exigiu a integração de conhecimentos em eletrônica, automação, ciência dos materiais e projeto mecânico. Isso permitiu aos autores desenvolverem uma visão

mais ampla e crítica sobre o processo de criação de soluções tecnológicas, bem como sobre as dificuldades reais de implementação e os cuidados necessários para a transição entre concepção teórica e execução prática.

Por fim, conclui-se que, embora o protótipo não tenha alcançado pleno funcionamento nesta etapa, o projeto apresenta grande potencial de evolução. Os problemas identificados fornecem diretrizes claras para futuras melhorias, tais como o reforço estrutural do sistema mecânico, a implementação de um aquecimento mais eficiente e o desenvolvimento de acoplamentos adequados entre os elementos de transmissão. Dessa forma, este trabalho não representa um fim, mas um ponto de partida para aprimoramentos contínuos e futuras pesquisas capazes de transformar a proposta em uma solução funcional, inovadora e socialmente relevante.

REFERÊNCIAS

- ABIPET. História da Embalagem PET. [S.l.]: ABIPET, s.d. Disponível em: <https://abipet.org.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- ABIPET. Manual de reciclagem PET. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://abipet.org.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- CANEVAROLO, S. V. Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2018. Acesso em: 23 nov. 2025.
- CONJUNTO controlador de temperatura REX-C100 com termopar. Amazon, 2025. Disponível em: <https://www.amazon.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- DELING GEARBOX Co., Ltd. The Development History of Extrusion Machine. Jiangyin: Deling Gearbox, 2021. Acesso em: 23 nov. 2025.
- DISNER, Elton; CIPULLO, Giovanna. Extrusão: O que é, como funciona e tudo que você precisa saber! Korp ERP. Disponível em: <https://www.korp.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- FONTE Colmeia 12V 5A 60W LKFT60-5A. Mercado Livre, 2025. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- FUNVERDE. A evolução do plástico – A origem das sacolas plásticas. [S.l.]: Funverde, s.d. Disponível em: <https://www.funverde.org.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.
- MANRICH, S. Reciclagem de Plásticos: processos, técnicas e aplicações. São Paulo: Érica, 2017. Acesso em: 23 nov. 2025.
- MATHIAS, Cláudio. Relembrando a História do Desenvolvimento de Extrusoras. São Paulo: Editora Stilo, 2019. Acesso em: 23 nov. 2025.
- MATOZINHOS, Isabela Penido et al. Impressão 3D: Inovações no Campo da Medicina. *Interdisciplinary Journal of Ciências Médicas*, v. 1, n. 1, p. 143–162, 2017. Acesso em: 23 nov. 2025.
- OLIVEIRA, R. S.; SANTOS, D. M. Sistemas de aquecimento em extrusoras laboratoriais: fundamentos e aplicações. *Revista Polímeros*, v. 31, n. 4, 2021. Acesso em: 23 nov. 2025.

REGULADOR de velocidade motor DC PWM 12V 5A. Mercado Livre, 2025. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.

RESISTÊNCIA elétrica coleira mica injetora 35×70 mm 240 W 220 V. Fogo Forte Resistências, 2025. Disponível em: <https://www.fogoforteresistencias.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.

REVISTA ESPACIOS. O PET foi desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson. Revista Espacios, v. 37, n. 18, 2016. Acesso em: 23 nov. 2025.

SIKPLASTIC. História do PET. [S.l.]: Sik Plastic, s.d. Disponível em: <https://sikplastic.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SILVA, H. A.; ANDRADE, J. P. Projeto e automação de extrusoras de bancada para materiais termoplásticos. Engenharia Aplicada, v. 14, n. 2, 2022. Acesso em: 23 nov. 2025.

SILVA, R. M.; ALMEIDA, F. S. Processos de coleta e preparação de polímeros recicláveis para extrusão. Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 32, n. 2, 2022. Acesso em: 23 nov. 2025.

SOUSA, L. F.; MENDES, C. R. Controle eletrônico em extrusão de polímeros: uma revisão técnica. Revista Materiais & Processos, v. 42, n. 1, 2020. Acesso em: 23 nov. 2025.

TARUGO redondo de alumínio 1.18" x 300 mm. Mercado Livre, 2025. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.

WHITEMAN, Hilary. Uso de plástico bate recorde global, apesar de esforços contra poluição, diz estudo. CNN Brasil. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br>. Acesso em: 23 nov. 2025.