

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
ÁREA DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ATTILIO ALFREDO BOURCKHARDT

**DESENVOLVIMENTO DE ESTUFA COM BAIXO CUSTO PARA SECAGEM DE
FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2025**

ATTILIO ALFREDO BOURCKHARDT

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientador: Prof. Me. Adilson Luís Stankiewicz

**ERECHIM - RS
2025**

ATTILIO ALFREDO BOURCKHARDT

ATTILIO ALFREDO BOURCKHARDT

DESENVOLVIMENTO DE ESTUFA COM BAIXO CUSTO PARA SECAGEM DE
FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D

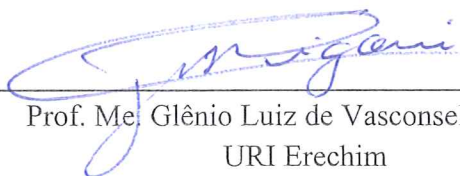
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, Área de Engenharias e
Ciência da Computação da Universidade
Regional Integrada do Alto Uruguai e das
Missões – Câmpus de Erechim.

Erechim, 04 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Adilson Luís Stankiewicz
URI Erechim



Prof. Me. Glênio Luiz de Vasconcelos Rigoni
URI Erechim



Prof.ª Dra. Simone Fátima Zanoello
URI Erechim

*Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho
mais certo de vencer é tentar mais uma vez.*

(Thomas Edison)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pela vida, pela sabedoria, pela saúde e também pela força que me destes para continuar e superar os desafios encontrados. Agradecer aos meus pais Lidio Roberto Bourckhardt e Arlete Krombauer Bourckhardt, por todo o amor e carinho, grato por todo esforço e a educação que me proporcionaram, por todo o apoio e incentivo durante toda essa trajetória graças a isso posso estar concluindo a graduação dos sonhos.

Agradecer ao meu orientador, Prof. Me. Adilson Luís Stankiewicz, pela disponibilidade e pelas valiosas orientações, agradecer a todos os professores que fizeram parte desta minha trajetória, por compartilharem seus conhecimentos e experiências que foram de grande importância para o meu aprendizado.

Agradecer a todos os meus colegas e amigos que participaram da minha trajetória acadêmica, pelo apoio, pela amizade, companheirismo, brincadeiras, pela troca de conhecimento, e a todos que contribuíram para a realização deste sonho, muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para secagem de filamentos de impressoras 3D. O projeto surgiu da necessidade de manter os filamentos em condições ideais para a impressão, ou em condições semelhantes as entregues pelo fornecedor, uma vez que esses materiais são higroscópicos e tendem a absorver umidade do ar, o que compromete a qualidade da impressão e pode causar danos aos equipamentos. O projeto tende a ser de fácil produção e de baixo custo, tendo em vista o alto valor de secadoras comerciais disponíveis no mercado, que possuem suporte para poucos carretéis de filamento e elevado custo. A estufa que será desenvolvida utiliza materiais acessíveis como caixa de isopor para garantir o isolamento térmico, e um sistema de controle utilizando um microcontrolador ESP32. Sendo assim o mesmo contará com controle de temperatura e umidade e ainda uma fonte de calor com ventilação forçada garantindo uma secagem homogênea e eficiente dos filamentos. Os resultados demonstram que é possível construir uma estufa funcional, confiável e de fácil utilização, contribuindo com soluções práticas para o crescente mercado da impressão 3D.

Palavras-chave: Impressão 3D, estufa de filamento, drybox, estufa de baixo custo, controle de temperatura e umidade.

ABSTRACT

This work presents the development of a low-cost oven for drying 3D printer filaments. The project arose from the need to maintain the filaments in ideal conditions for printing, or in conditions similar to those delivered by the supplier, since these materials are hygroscopic and tend to absorb moisture from the air, which compromises print quality and can damage equipment. The project aims to be easy to produce and low-cost, considering the high value of commercial dryers available on the market, which support only a few filament spools and have a high cost. The oven to be developed uses accessible materials such as a styrofoam box to ensure thermal insulation, and a control system using an ESP32 microcontroller. Thus, it will have temperature and humidity control and a heat source with forced ventilation, ensuring homogeneous and efficient drying of the filaments. The results demonstrate that it is possible to build a functional, reliable, and easy-to-use oven, contributing practical solutions to the growing 3D printing market.

Keywords: 3D printing, filament drybox, drybox, low-cost drybox, temperature and humidity control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Impressora 3D FDM	15
Figura 2 - Filamento para impressão 3D	19
Figura 3 - Moléculas de água no filamento	21
Figura 4 - Problemas ocasionados pela umidade no filamento	22
Figura 5 – Sub extrusão na impressão ocasionado pela umidade no filamento	23
Figura 6 - Secadora de filamentos	25
Figura 7 - Caixa térmica aluminizada	28
Figura 8 - Aquecedor PTC	30
Figura 9 - Cooler para ventilação forçada	31
Figura 10 - Sensor de temperatura DHT22	32
Figura 11 - Display LCD com I2C 16x2 e 20x4	32
Figura 12 - Encoder com botão	33
Figura 13 - Fonte de alimentação 300W	34
Figura 14 - Microcontrolador ESP32	35
Figura 15 - Fluxograma da Estufa	38
Figura 16 - Montagem e primeiro teste em bancada	39
Figura 17 - Suporte para rolos de filamento	42
Figura 18 - Caixa para comportar componentes eletrônicos	43
Figura 19 - Secadora de filamentos montada	44
Figura 20 - Fixação dos componentes	44
Figura 21 - Tela de seleção de temperatura	45
Figura 22 - Tela de seleção do tempo	45
Figura 23 - Tela do ciclo de secagem	46
Figura 24 - Tela ao finalizar o ciclo	47
Figura 25 - Modelo impresso com filamento úmido	48
Figura 26 - Modelo impresso após secagem do filamento	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Secadoras Comerciais	25
Tabela 2 – Valores dos componentes.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Prof.	Professor
FDM	Modelagem por fusão e deposição
SLA	Estereolitografia
DLP	Processamento de Luz Direta
SLS	Sinterização seletiva a laser
MDLS	Sinterização direta a laser de metal
SLM	Derretimento seletivo a laser
EBM	Fusão de feixe de elétrons
LOM	Fabricação de objetos laminados
Inkjet	Jato de tinta
PLA	Ácido polilático
ABS	Acrilonitrila butadieno estireno
PETG	Polietileno tereftalato glicol
PET	Polietileno tereftalato
TPU	Poliuretano termoplástico
ASA	Acrilonitrila estireno acrílico
HIPS	Poliestireno de alto impacto
PVA	Álcool polivinílico
UV	Ultravioleta
MDF	Painel de fibra de densidade média
PTC	Coeficiente de temperatura positivo
DHT	Digital Humidity and Temperature (Umidade e temperatura digital)
LCD	Tela de Cristal Líquido
A	Ampere
V	Volts

LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volume [cm ³]
L	Largura [cm]
A	Altura [cm]
P	Profundidade [cm]
m	Massa [kg]
Q	Quantidade de calor [J]
c	Calor específico [J/kg*°C]
ΔT	Variação de temperatura [°C]
P	Potência [W]

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo.....	14
1.1.1 Objetivo Geral.....	14
1.1.2 Objetivo Específico.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 História da impressão 3D	15
2.2 Impressão 3D na atualidade.....	16
2.3 Polímeros para impressão 3D	18
2.3.1 Ácido polilático (PLA).....	18
2.3.2 Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)	19
2.3.3 Polietileno tereftalato glicol (PETG)	19
2.3.4 Nylon	20
2.3.5 Poliuretano termoplástico (TPU)	20
2.3.6 Policarbonato (PC).....	21
2.4 Umidade nos filamentos	21
2.5 Soluções existentes para secagem de filamentos de impressão 3D	23
2.5.1 Funcionamento.....	23
2.5.2 Estufas comerciais.....	24
3 METODOLOGIA	26
3.1 Definição do projeto.....	26
3.1.1 Requisitos para o projeto	26
3.1.2 Definição de especificações mínimas	26
3.1.3 Levantamento de preço	27
3.2 Seleção dos componentes	28
3.2.1 Estrutura.....	28
3.2.2 Resistência	29
3.2.3 Ventilação forçada.....	31
3.2.4 Sensores	31
3.2.5 Tela e controle	32
3.2.6 Fonte de alimentação	34
3.2.7 Microcontrolador	34
3.2.8 Componentes selecionados.....	36
4 RESULTADO E DISCUSSÕES.....	37
4.1 Primeiros testes	37
4.1.1 Montagem.....	37
4.1.2 Resultado dos testes de bancada.....	39
4.2 Correção e ajustes.....	40
4.2.1 Troca de componentes	40
4.2.2 Validação do projeto	41
4.3 Implementação prática.....	41
4.3.1 Montagem final.....	42
4.3.2 Resultados obtidos	47
4.3.3 Melhorias futuras	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS.....	53
APÊNDICE.....	56

1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D é uma tecnologia inovadora, mas não tão recente. Há algum tempo equipamentos e materiais para este fim tinham um custo elevado. Com o avanço tecnológico das máquinas, ampliou a concorrência com novas empresas desenvolvendo equipamentos mais rápidos e tecnológicos, sendo assim tornando-as mais acessíveis para consumidores entusiastas da impressão ou empresas com o intuito de desenvolver produtos para comercializar (MORANDINI; VECCHIO, 2020).

Juntamente com o avanço nas máquinas o desenvolvimento de novos materiais tornou-se necessário, como materiais com maior fluidez, maior resistência a temperaturas, tração mecânica, materiais mais flexíveis dentre outros. Os insumos para impressão 3D FDM (Fused Deposition Modeling) são filamentos de matérias como PLA (Ácido Polilático), ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), PETG (Tereftalato de Polietileno com Glicol), TPU (Poliuretano Termoplástico) entre outros, são polímeros em sua grande maioria possuem a espessura, diâmetro do filamento de 1,75mm, e em grande parte dos rolos possuem 1 quilograma de material, podendo variar a metragem devido a diferente massa dos polímeros (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Filamentos são materiais higroscópicos, material que tem probabilidade de absorver umidade, uma vez que removido da sua embalagem original, embalagem a vácuo, o material tende a absorver a umidade contida no ar, fazendo com que o mesmo fique quebradiço, pelo aumento no diâmetro do fio. O que ocasiona sérios problemas ao bico extrusor do equipamento, falhas na impressão por deposição irregular do material entre as camadas e maior incidência de fios e bolhas pelo entorno da peça (BAÊTA; SILVA, 2023).

Para evitar danos ao material, é necessário o uso de secadoras de filamento. Esse equipamento aquece tanto o filamento quanto o ar em seu interior. Como a água, ao ser aquecida, se transforma em vapor, esse processo permite que a umidade absorvida pelo filamento seja evaporada. Com o auxílio de uma ventilação forçada e de aberturas na estrutura da secadora, é possível ocorrer a troca do ar, ou seja, o ar úmido interno é substituído por ar seco vindo do ambiente externo. É recomendado o uso de sílica (Dióxido de Silício) durante esse processo, pois ajuda na absorção dessa umidade. Após a secagem armazenar o material em uma embalagem selada ou bem vedado, preferencialmente sem ar e com sílica gel. Dessa forma é possível conservar o material com suas propriedades por um maior período de tempo, já que o mesmo não possui prazo de validade (CHERVYAKOV, 2024).

Considerando então o alto custo de secadoras comerciais, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma alternativa de baixo custo e boa eficiência de secagem. O projeto visa um sistema com controle de temperatura e umidade, aliado a uma interface intuitiva para o usuário.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo de estufa para secagem de filamentos de impressão 3D com baixo custo, contando com um sistema de controle de temperatura e umidade controlado por um ESP32.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar tecnologias utilizadas em estufas para secagem de filamentos;
- Especificar os componentes a serem utilizados no projeto;
- Avaliar a viabilidade técnica e econômica por meio de um orçamento;
- Pesquisar produtos semelhantes disponíveis no mercado e seus valores;
- Projetar e simular o funcionamento do sistema em ferramentas computacionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 História da impressão 3D

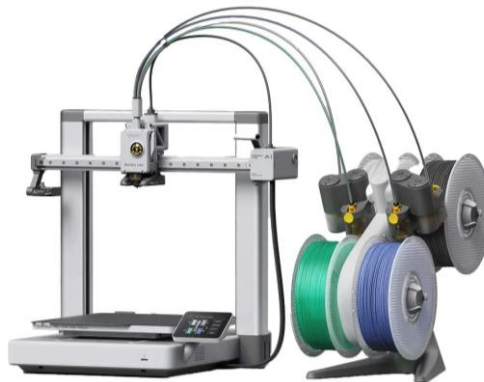
Com o avanço tecnológico e a busca por ganhar tempo muitas tecnologias surgiram ao longo dos séculos e a ideia de algo que pudesse replicar de forma rápida e precisa objetos e modelos tridimensionais.

Hideo Kodama, médico japonês do Instituto Municipal de Pesquisa Industrial de Nagoya por volta dos anos de 1980 solicitou a patente de um sistema de prototipagem rápida, descrita por ele como uma “cuba de material fotopolímero, exposta a uma luz UV (ultravioleta), que endurece uma peça e constrói um modelo em camadas”. Entretanto não conseguiu registro da mesma (MORANDINI; VECHIO, 2020).

No ano de 1983, o Engenheiro Charles Hull desenvolveu a primeira impressora 3D que operava através de uma técnica patenteada por ele chamada de estereolitografia (SLA). Esse fato se deu por um dilema que o engenheiro tinha, a demora para a fabricação de modelos simples de produtos plásticos, que geram gastos desnecessários. Em 1986 Charles fundou a 3D Systems, primeira empresa de impressão 3D do mundo, em pouco tempo a empresa iniciou a venda de seu primeiro modelo de impressora de estereolitografia, onde o seu primeiro modelo foi nomeado de SLA-1 (MORANDINI; VECHIO, 2020).

Já a impressão 3D FDM (Fig. 1) se deu um pouco mais tarde, surgindo com Scott Crump, Engenheiro Mecânico e cofundador da empresa de impressão 3D Stratasys. Scott inventou a tecnologia de modelagem por fusão e deposição (FDM), do inglês Fused Deposition Modeling. Crump, na cozinha de sua casa desenvolveu o primeiro material, com auxílio de panelas e frigideiras, com o mesmo fez pequeno sapo de brinquedo para sua filha (CRUMP, s.d.).

Figura 1 – Impressora 3D FDM



Fonte: (3D LAB, 2018)

Tendo como objetivo automatizar a prototipagem e preencher as lacunas entre o projeto computadorizado e a peça final. A invenção de Crump revolucionou o processo de fabricação permitindo a criação de peças e protótipos complexos usando o método de criação por camadas, onde cerca de noventa por cento das impressoras 3D no mundo utiliza sua tecnologia (CRUMP, s.d.).

Impressão 3D é uma tecnologia capaz de conceber objetos físicos, baseando se em dimensões de altura, largura e profundidade de um modelo digital, sendo o mesmo fornecido através de softwares de computador. A composição desse modelo tridimensional se dá através da deposição do material em várias camadas até completar as medidas originais do objeto dado pelo modelo digital, também conhecida como manufatura aditiva (MORANDINI, VECHIO, 2020).

Impressão 3D é uma tecnologia capaz de conceber objetos físicos, baseando se em dimensões de altura, largura e profundidade de um modelo digital, sendo o mesmo fornecido através de softwares de computador. A composição desse modelo tridimensional se dá através da deposição do material em várias camadas até completar as medidas originais do objeto dado pelo modelo digital, também conhecida como manufatura aditiva (MORANDINI, VECHIO, 2020).

Sobretudo com o aumento da velocidade em que é possível transformar um modelo em arquivo digital tridimensional para um objeto real com dimensões reais e em escala, as impressoras vêm revolucionando as indústrias e os métodos de prototipagem de novos produtos, bem como reduzindo as despesas no desenvolvimento de novos produtos (TME, 2023).

Através de impressoras 3D inúmeros objetos podem ser fabricados, com complexidade de modelos variados, geralmente utilizados no ramo de estética automotiva, moldes e até para objetos de decoração como vasos e personagens. Uma tecnologia com uma ampla e vasta área de utilização (MORANDINI, VECHIO, 2020).

2.2 Impressão 3D na atualidade

Existem várias tecnologias de impressão 3D, modelagem por fusão e deposição (FDM ou FFF), estereolitografia (SLA), Processamento de Luz Direta (DLP), Sinterização Seletiva a Laser (SLS), Sinterização Direta a Laser de Metal (MDLS), Derretimento Seletivo a Laser (SLM), Fusão de feixe de elétrons (EBM), Fabricação de Objetos Laminados (LOM), Jato de tinta (Inkjet), Polyjet (LA *et al.*, 2023).

Sendo que a mais popular e difundida é a impressão 3D FDM, originada pelo derretimento de um polímero plástico em uma extrusora com guias lineares, permitindo que um bico de impressão por onde sai o filamento derretido seja depositado a uma mesa, sendo assim a impressora fará a deposição desse material, camada sobre camada até formar a geometria final da peça, podendo ser chamada de manufatura aditiva. Termo utilizado para criação de peças ou objetos através da adição de material (3D LAB, 2018).

A tecnologia de impressão 3D evoluiu significativamente nas últimas décadas, partindo apenas da prototipagem e avançando para produção em massa de peças e componentes. Com uma evolução significativa nos equipamentos e materiais as impressoras se tornaram equipamentos cada vez mais precisos, com variadas utilidades e usada para os mais variados tipos de materiais, sendo eles plásticos, metais, cerâmicas (MORANDINI; VECHIO, 2020).

Em virtude da popularidade, equipamentos como esse tem se tornado cada vez mais acessíveis para usuários comuns, pessoas que utilizam impressoras para produzir pequenas esculturas e vasos decorativos para si próprios ou até mesmo para comercialização, através de impressoras menores que tem capacidade de reproduzir peças com alta qualidade e fluidez, e os mais diversos tipos de filamentos, semelhante a impressoras utilizadas para materiais de engenharia onde tem um custo bem mais alto (PORTELA, Sérgio, 2021).

Há pouco mais de três décadas, adquirir um equipamento para realizar a impressão de qualquer peça tridimensional custava mais de 100 mil reais onde máquinas de engenharia custavam próximo a 1 milhão de reais (CHERVYAKOV, 2024). Hoje máquinas comercializadas no mercado nacional é possível encontrar por aproximadamente 2000 reais, podendo utilizá-lo até mesmo no seu quarto ou em salas de aula para fins didáticos (3D LAB, 2025).

Tornando-se muito eficientes e versáteis com redução de tempo e custos significativos de produção, comparando-se com os meios mais convencionais como a injeção de plástico, sendo esse um processo muito automatizado e que requer um investimento menor, não necessita de espaços grandes entre outros mais benefícios.

Inicialmente desenvolvida para confecção de protótipos e produção em menor escala, as tecnologias que se tem atualmente no mercado tornam o mercado de impressão 3D capaz de produzir peças em grande escala. Sendo possível apenas através de impressoras industriais com

tecnologia confiável, equipamentos robustos e muito precisos, permitindo a produção de peças com muita qualidade e precisão (WIDYIANTO *et al.*, 2025).

Permitindo obter-se peças precisas com muita qualidade, resistência e durabilidade das peças, isso se dá graças a materiais de alta qualidade. Muito utilizado no setor automotivo, aeroespacial, construção civil e até mesmo em áreas da saúde.

2.3 Polímeros para impressão 3D

Em virtude da popularização da impressão 3D em diversos segmentos, pode-se observar um avanço na criação de objetos complexos a partir de modelos digitais. Dentre os materiais utilizados nesse processo, os polímeros destacam-se por sua versatilidade, baixo custo e ampla disponibilidade. Esses materiais termoplásticos possibilitam a produção de peças funcionais, protótipos e modelos didáticos, atendendo desde aplicações domésticas até demandas industriais. Com o avanço da tecnologia, a variedade de polímeros adaptados à impressão 3D vem crescendo e impulsionando o desenvolvimento de novos materiais (VILLACRESES; PIO, 2022).

2.3.1 Ácido polilático (PLA)

O ácido polilático (PLA) demonstrado na Figura 2, é o filamento de impressão 3D mais utilizado no mundo por possuir uma temperatura de fusão inferior a outros tipos de materiais e em alguns casos sendo possível a impressão do mesmo com a mesa aquecida em 60°C ou em alguns casos sem mesa aquecida somente em temperatura ambiente. O PLA é um material biodegradável e atóxico produzido através de fontes renováveis como cana de açúcar, amido de milho e amido de batata, sendo um material mais ecológico (BESKO, BILYK; SIEBEN; 2017).

Quando aquecido ao ponto de fusão do termoplástico, é possível sentir um aroma adocicado sendo liberado ao ambiente, não emite gases tóxicos ou que possam causar danos ao organismo humano, denominado então um material biodegradável e o menos prejudicial para a natureza (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017). Possui uma baixa resistência térmica e mecânica, portanto deve ser evitado o uso do PLA para temperaturas acima de 60° C ou para peças com uma resistência mecânica considerável, por se tratar de um material quebradiço (TME, 2025).

É de suma importância os cuidados no armazenamento do material, em virtude do mesmo ser higroscópico (material que tem facilidade em absorver umidade), após aberto deve ser armazenado em sacos plásticos selados ou bem vedados, em ambientes secos sem umidade,

pode se utilizar sílica gel junto com o polímero no plástico para manter o material seco ou inclusive em caixas plásticas bem vedadas (VILLACRESES; PIO, 2022).

Figura 2 - Filamento para impressão 3D



Fonte: (VOOLT3D, 2025)

2.3.2 Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)

O segundo filamento mais utilizado para impressão é o polímero ABS. Obtido a partir da reação de três monômeros, butadieno, acrilonitrilo e estireno (FRANCISCO, 2016). Para impressão requer mais atenção e conhecimento técnico, por se tratar de um material que necessita de mais aquecimento de mesa e da extrusora além de uma impressora totalmente fechada.

O ABS tem propriedades mecânicas e térmicas muito maiores do que o PLA, por isso o ABS é um material mais durável, forte e leve, ainda assim é o termoplástico mais barato encontrado no mercado nacional para impressoras 3D, muito utilizado para peças automotivas como aerofólio, para-choque e peças que requerem uma maior resistência mecânica (VILLACRESES; PIO, 2022).

Derivado do petróleo o ABS não é um material biodegradável, portanto para sua impressão é necessária uma área ventilada ou uma impressora fechada com filtro de ar. Necessita de uma maior temperatura no bico para atingir o ponto de fusão do material e impressora fechada com mesa aquecida para evitar rachaduras, empenamentos e descolagem da mesa de impressão (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

2.3.3 Polietileno tereftalato glicol (PETG)

Um meio termo entre PLA e ABS, o PETG é um material derivado do PET (Polietileno Tereftalato), considerado o plástico mais utilizado no mundo. Portanto o PETG tem em sua composição a modificação com glicol (WANG; LI, 2024).

Sendo assim essa modificação com o uso de glicol torna o material mais fácil de imprimir e mais resistente. Um polímero muito estável para imprimir requer uma temperatura maior de impressão, próximo a 250°C para sua fusão e uma mesa aquecida. Muito utilizado para peças de culinária por se tratar de um material inofensivo, não é tóxico e é reciclável, possível encontrá-lo em variadas cores (SANTANA *et al*, 2018).

2.3.4 Nylon

Também conhecido como poliamida, o nylon é um polímero sintético muito popular em diversas áreas, trata-se de um material de baixo custo, forte, leve e mais maleável em comparação a outros plásticos. Se tornou um dos polímeros mais utilizados para aplicações de engenharia devido à combinação de suas propriedades de resistência térmica, química e a impacto (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

Extremamente sensível à umidade, portanto é necessário a utilização de secadoras ou estufas de conservação do material para a sua armazenagem, sendo importante antes do uso realizar a secagem do nylon para não ter qualquer tipo de complicação (PORTELA, 2017).

Para realizar a impressão do polímero plástico, necessita-se o uso de impressora fechada e com filtro de ar para filtrar a fumaça tóxica que é emitida ao imprimir, semelhante ao ABS. O nylon, possui a temperatura de fusão entre 210°C e 250°C, uma temperatura considerada alta, mas que atualmente é facilmente encontrada uma impressora que seja capaz de trabalhar com esse material, e ainda que tenha um bom custo benefício (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

2.3.5 Poliuretano termoplástico (TPU)

O poliuretano Termoplástico como também é conhecido é uma variação do elastômero termoplástico (TPE), com uma composição mais durável e mais rígida.

Poliuretano (PU) é o nome dado aos materiais produzidos através da reação entre isocianatos e polióis. Digo "materiais", no plural, pois o poliuretano é um polímero extremamente versátil e permite desde a fabricação de produtos rígidos, passando pelos elastoméricos/borrachosos, até as espumas/esponjas. Além disso, o poliuretano pode ser tanto termoplástico quanto termofixo (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

A principal característica do polímero é sua flexibilidade e a facilidade para a adição de diferentes cores. Amplamente utilizado em objetos que necessitam de elasticidade, dobrar,

esticar ou comprimir. Sendo assim um polímero flexível muito resistente a desgastes e a exposição em níveis elevados de temperatura, podendo ficar exposto a aproximados 220 graus Celsius (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

2.3.6 Policarbonato (PC)

O policarbonato ou PC como também é conhecido, é o termoplástico convencional mais resistente conhecido para o uso em impressoras 3D. Suporta temperaturas de até 110°C e é extremamente resistente a impactos físicos, com características de transparência semelhantes ao vidro.

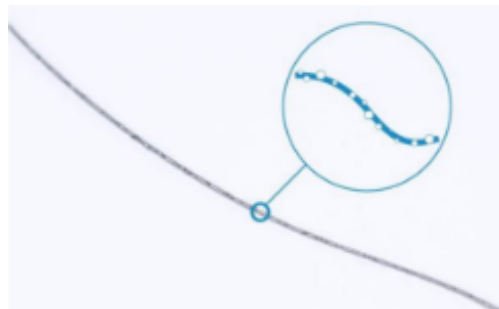
Por ser considerado o material mais forte utilizado em impressoras 3D requer uma temperatura de fusão elevada, em torno de 310°C. Além de uma mesa aquecida e impressora fechada, conservar de forma a evitar contato com ambiente para impedir que o mesmo absorva a umidade (BESKO; BILYK; SIEBEN, 2017).

2.4 Umidade nos filamentos

Os filamentos por natureza higroscópica, ou seja, material com facilidade de absorção da umidade, aderem as moléculas de água contidas no ar para as moléculas do material, pode-se observar na Figura 3 um exemplo dessa umidade absorvida, ela acontece por conta da afinidade química dos polímeros com as moléculas de água que se infiltram a estrutura molecular do material quando exposto a umidade do ar (VILLACRESES; PIO, 2022).

A contaminação pela umidade pode ser dada em poucas horas exposto ao ar livre, ou até mesmo durante o tempo que é utilizado para a impressão. Em dias de chuva ou no inverno onde a umidade do ar aumenta, o tempo para contaminação pode ser reduzido (SILVA; LESSA; SERVIDONI, 2023).

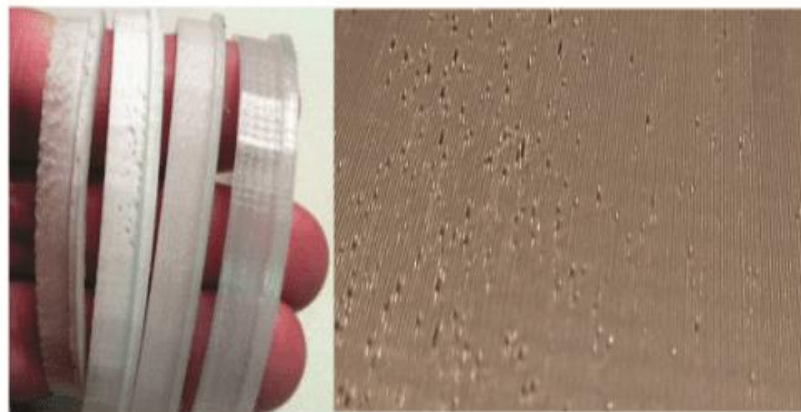
Figura 3 - Moléculas de água no filamento



Fonte: 3DEVO (2021)

Segundo a 3D Lab (2016), que é fabricante de filamentos para impressão 3D, a umidade nos filamentos pode causar falhas nas impressões como marcas de sub extrusão por falta de material que originam bolhas na hora da impressão (Fig. 4), onde deixam marcas com falta de material, baixa aderência e resistividade entre as camadas, entupimento do bico e da extrusora e as impressões ficam quebradiças.

Figura 4 - Problemas ocasionados pela umidade no filamento



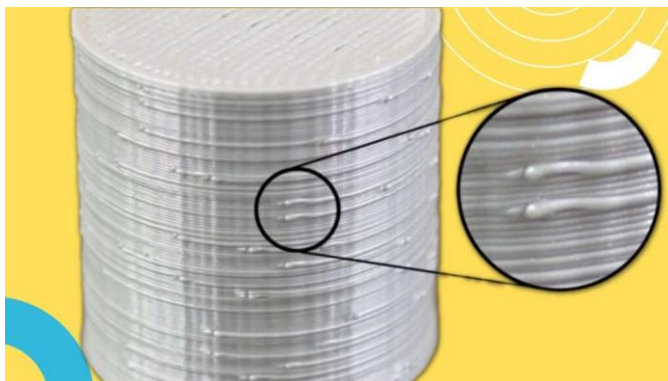
**Impressões com filamentos úmidos.*

Fonte: 3D LAB (2016)

Os filamentos higroscópicos possuem tendências significativas para absorção de micropartículas de água presente no ar, ocasionando sérios danos a estrutura molecular dos polímeros (Fig. 4 e 5), o filamento apresentará pequenas fissuras popularmente chamadas de buracos que o deixam frágil, portanto, qualquer esforço mecânico sob a região fragilizada do polímero pode causar o rompimento do mesmo (VILLACRESES; PIO, 2022). Um exemplo claro é o rompimento do material durante uma impressão, onde a extrusora traciona o filamento para alimentar o bloco de aquecimento da impressora, em virtude da fragilidade do polímero ocasiona o rompimento do mesmo (SILVA; LESSA; SERVIDONI, 2023).

Ruptura dos filamentos é um problema muito recorrente para iniciantes ou pessoas sem experiência, pelo armazenamento incorreto dos filamentos. Muitas vezes impressões podem levar muitas horas ou até mesmo alguns dias, sendo assim necessário que o filamento fique exposto a umidade do ar. Portanto problemas como esse podem causar perda de produção, desperdício de material ou até mesmo danos ao equipamento (3D LAB, 2016).

Figura 5 – Sub extrusão na impressão ocasionado pela umidade no filamento



Fonte: 3D FILA (2023)

2.5 Soluções existentes para secagem de filamentos de impressão 3D

2.5.1 Funcionamento

As secadoras são projetadas para retirar a umidade de polímeros utilizados para a impressão 3D FDM, como mencionado os polímeros plásticos utilizados são higroscópicos, absorvem umidade do ar, por sua vez compromete a impressão, apresentando falhas como sub extrusão, fragilidade, formação de bolhas, entupimento do bico e da extrusora (VILLACRESES, PIO, 2022).

São compostas por uma estrutura térmica isolante, permitindo que a temperatura interna seja constante, podendo ser de isopor ou metal com revestimento interno, seja ele por manta aluminizada refletiva ou não. Contam com um sistema de aquecimento de resistência elétrica, permitindo que o calor transferido para o ar aqueça o filamento, fazendo com que a umidade nele acumulada evapore (DE OLIVEIRA, 2023).

Contam com um cooler (ventoinha) para promover uma circulação de ar quente internamente na estufa, isso garante uma secagem mais uniforme, e evita pontos de calor excessivo, e áreas frias em toda a parte interna da secadora.

Tendo em vista um funcionamento eficiente para a secagem de filamentos, em sua maioria, as fabricantes de estufas utilizam sensores como o DHT22, que permite medir temperatura e umidade interna da estufa em tempo real. Esses dados são processados por um microcontrolador que gerencia a necessidade de calor, ou seja, liga e desliga a resistência quando necessário (BAÊTA, SILVA, 2023).

Para uma maior e melhor experiência do usuário, estufas de secagem de filamentos mais modernas contam com uma tela, sendo ela de LCD ou touchscreen (sensível ao toque), permitindo que o usuário monitore em tempo real a temperatura, a umidade e o tempo que o

material está secando. Em alguns casos as estufas contam com configurações pré-estabelecidas, onde o usuário seleciona o material que vai secar, e o sistema ajusta automaticamente a temperatura e o tempo de secagem necessário para o material selecionado. Em projetos mais complexos, as estufas contam com sistema de desligamento automático, e aviso sonoro ao finalizar o ciclo (CHERVYAKOV, 2024).

2.5.2 Estufas comerciais

Com a pesquisa de mercado realizada foi possível encontrar alguns modelos de secadoras de variadas marcas para um carretel de filamento de 1kg, onde os preços variam de modelos e marcas, partindo de 400 a 600 reais, algumas possuem limitações para temperatura máxima, tornando alguns modelos mais baratos.

Já modelos com suportes para mais rolos de filamento e com capacidade para atingir maiores temperaturas custam em média 900 reais para até 2 rolos e aproximadamente 2 mil reais para até 4 rolos. Todos os modelos de secadora encontram-se no Brasil e a pesquisa de preço é realizada em sites confiáveis.

Com o avanço e a disseminação da impressão 3D no Brasil, podemos observar empresas nacionais investindo muito no ramo, como alguns fabricantes de filamentos, impressoras e estufas. Sendo assim, nas buscas encontramos a Fozit Tecnologia, uma empresa nacional estabelecida na cidade de Timbó no estado de Santa Catarina.

A Fozit Tecnologia desenvolveu uma secadora de filamentos de impressoras 3D com capacidade para até 5 rolos de 1kg de filamento a qual pode-se visualizar na Figura 6, conta com uma tecnologia de rotação dos rolos para uma secagem homogênea de alta qualidade e reservatório para sílica. Sendo sua estrutura em metal resistente com isolamento térmico, possui iluminação interna, atinge temperaturas até 70°C com uma potência de 200W, a secadora pesa aproximadamente 7 kg e dimensões de 46x26x30 cm (FOZIT TECNOLOGIA, 2025). A mesma é comercializada por aproximadamente R\$2500,00 reais, podendo variar de loja para loja.

Figura 6 - Secadora de filamentos

Fonte: FOZIT TECNOLOGIA (2025)

Conta com uma tela touch screen (tela sensível ao toque), que permite ajustar a temperatura e o tempo de secagem dos filamentos, tem sensor de temperatura e umidade para monitoramento mais preciso garantindo as condições ideais para secagem dos polímeros. Para facilitar a utilização do usuário possui configurações de tempo e temperaturas pré-programadas, além de permitir o ajuste conforme desejo do usuário. A secadora suporta até 5 rolos, entretanto os mesmos devem ser do mesmo polímero, a secadora não permite a secagem de diferentes filamentos ao mesmo tempo, por exemplo: secar ABS e PLA juntos não funciona, pois cada um tem uma temperatura ideal, nesse caso o PLA iria deformar já que o ABS necessita de uma temperatura maior para secagem (FOZIT TECNOLOGIA, 2025).

Possui conectividade direta para até duas impressoras, ou seja, a estufa permite que deixe o filamento conservado e aquecido em um ambiente controlado alimentando a impressora diretamente pela estufa, por dois conectores para tubo pneumático, os mesmos utilizados nas impressoras 3D (FOZIT TECNOLOGIA, 2025).

Na Tabela 1 podemos observar custos e capacidade de modelos de secadora comercial mais vendidos, onde possuem um alto valor e comportam um número menor de carretéis de filamento.

Tabela 1 – Secadoras comerciais

Marca	Modelo	Capacidade	Valor R\$	Loja
Creality	2.0 dry box	1Kg	350,00	Mercado Livre
Creality	Space PI	1Kg	449,90	3D lab
Sovol	SH01	2Kg	643,26	Amazon
Creality	Space PI Plus	2Kg	782,65	Mercado Livre
Creality	Space PI X4	4Kg	2088,74	Mercado Livre

Fonte: O Autor (2025)

3 METODOLOGIA

3.1 Definição do projeto

3.1.1 Requisitos para o projeto

Esse estudo se caracteriza como uma pesquisa aplicada, visando o desenvolvimento de uma solução prática e acessível de uma estufa para secagem de filamentos de impressão 3D, com capacidade de alcançar 70°C e eficiência para secagem. Tendo como objetivo o desenvolvimento tecnológico, a construção e a validação do protótipo.

Requisitos fundamentais foram levados em consideração, através das pesquisas realizadas foi possível compreender itens com maior e menor significância para o intuito do protótipo assim como os componentes necessários para dar início ao projeto da estufa. São eles:

- **Custo:** Desenvolver um projeto com um orçamento reduzido.
- **Eficiência:** Manter a temperatura estável dentro do dispositivo conforme a necessidade dos materiais.
- **Capacidade:** Suportar uma quantidade mínima de três rolos de filamento do mesmo material.
- **Desempenho:** Desenvolver o projeto capaz de desumidificar e secar filamentos de forma uniforme e eficiente.

3.1.2 Definição de especificações mínimas

Conforme pesquisas realizadas, os materiais mais utilizados por usuários de impressoras 3D, tanto para uso pessoal quando para produção e comercialização de peças são, PLA, PETG e o ABS, com isso é possível definir a temperatura máxima que a estufa precisa atingir. Onde a temperatura máxima utilizada para esses casos é de até 70°C para a secagem dos polímeros citados acima (DE OLIVEIRA, 2023).

Segundo a F3D Brasil (2025) fabricante nacional de filamentos para impressão 3D, para a secagem de polímeros como os citados acima, as temperaturas ideais em secadoras são alteradas conforme as propriedades dos materiais. Portanto para PLA a temperatura ideal para secagem é de 45°C e o tempo para secagem do material é de 4 horas, o ABS necessita de uma temperatura de 70°C por 3 horas já o PETG necessita 60°C por um tempo de 4 horas.

Considerando as especificações necessárias previamente mencionadas para garantir a funcionalidade do protótipo, deu-se início a uma etapa de buscas e pesquisas de mercado com o objetivo de elaborar uma lista completa dos materiais e componentes eletrônicos

indispensáveis para a montagem do sistema. Durante esse processo, priorizou-se a seleção de itens que apresentassem o melhor custo-benefício possível, levando em conta a premissa fundamental de que o projeto deve manter um baixo custo total, sem comprometer sua eficiência e desempenho.

3.1.3 Levantamento de preço

Antes da definição dos componentes do projeto realizou-se uma pesquisa de preços em sites, para verificar a viabilidade do projeto e a compatibilidade dos componentes. Os componentes e seus respectivos valores estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores dos componentes

Item	QT D	Valor R\$	Cotação
Sensor de temperatura e umidade DHT22	1	15,00	Mercado Livre
Aquecedor PTC 220v 200w	1	140,00	Mercado Livre
Botão ON/OFF	1	10,00	Mercado Livre
Tomada Fêmea 220V	1	15,00	Mercado Livre
Modulo relé 10A	1	15,00	Mercado Livre
Fonte chaveada /5v	1	30,00	Mercado Livre
Madeiras MDF	1	60,00	Mercado Livre
Esp32	1	22,00	Mercado Livre
Parafusos diversos	1	15,00	Mercado Livre
Display LCD 20x4 com módulo I2C	1	36,00	Mercado Livre
Encoder com botão KY-040	1	33,00	Mercado Livre
Caixa de isopor 40 litros	1	50,00	Mercado Livre
Filamento PETG 500 gramas	1	70,00	Mercado Livre

Fonte: O Autor (2025)

Para ambos os componentes citados na tabela 1, para realizar o orçamento levou-se em consideração o valor do frete de cada item para o endereço da universidade. Tendo em vista o baixo orçamento para o desenvolvimento do projeto, a pesquisa de preço permitiu a visualização dos gastos aproximados, visando que o custo para o projeto seja na faixa de R\$500,00 (quinhentos reais). Sendo assim, o projeto é viável custando R\$504,00 reais nesta cotação e pôde ser desenvolvido.

3.2 Seleção dos componentes

A seleção dos componentes foi motivada pela melhor funcionalidade para a estufa de secagem de filamentos de impressão 3D, priorizando o custo dos materiais, sensores, microcontrolador e demais componentes.

3.2.1 Estrutura

Visando acomodar mais do que dois carretéis de um quilograma de filamento, o protótipo poderia ser construído em chapas de metal ou de painel de fibra de densidade média (MDF), derivado da madeira. Portanto o custo para o desenvolvimento do projeto com esses materiais se tornaria inviável já que o mesmo busca o custo benefício.

Neste caso, para se obter um ambiente interno com temperatura controlada optou-se pela utilização do isopor. O mesmo apresenta uma alta resistência a temperaturas elevadas, resistindo a temperaturas de até 80°C, é isolante térmico onde ajudará a manter o ambiente interno na temperatura ideal evitando trocas de calor com o ambiente externo, possui um valor de mercado acessível e é possível encontrá-lo em diferentes tamanhos.

Para o projeto buscamos modelos de caixas térmicas de 45 a 60 litros, comercialmente encontram-se caixas de 45 litros (Fig. 7), possuem um custo estimado de sessenta reais, tamanho suficiente para comportar mais de 3 rolos de filamento a um custo acessível, viabilizando o orçamento do projeto.

Figura 7 - Caixa térmica aluminizada



Fonte: HARDBAGS (2025)

Para um melhor comportamento térmico, o isopor será revestido com uma manta aluminizada que melhora a eficiência térmica ao manter o calor interno por mais tempo. A manta reflete a radiação térmica de volta para dentro da caixa, reduzindo perdas de calor. Além disso, ajuda a vedar melhor a estrutura, evitando trocas de ar com o ambiente externo. A combinação dos dois materiais resulta em um isolamento mais eficiente e econômico, reduzindo o gasto com energia elétrica e reduzindo o tempo em que a fonte de calor permanece ligada.

3.2.2 Resistência

Para a resistência ideal precisou ser calculado o volume interno da caixa a ser utilizada, portanto, para encontrar o volume calcula-se por:

$$V = L \times A \times P$$

As medidas internas de uma caixa de 45 litros levadas em consideração para o cálculo são: 40 cm de Largura, 31 cm de Profundidade e 36 cm de Altura. Portanto substituindo a entrada da equação (1.1) é possível encontrar o volume de 44,640cm³.

$$V = L \times A \times P$$

$$V = 40 \times 36 \times 31$$

$$V = 44,640cm^3$$

Com o volume da caixa encontrado pela equação (1.1), precisamos calcular a massa de ar para encontrar a energia térmica necessária. Considerando que a densidade do ar é de aproximadamente 1.2 kg/m³, a massa do ar é dada por (m).

$$m = V \times 1,2$$

$$m = 0,04464 \times 1,2$$

$$m = 0,05357kg$$

O próximo passo é calcular a energia necessária para aquecer a caixa aos 70°C, considerando que a temperatura ambiente é de 25°C e o calor específico do ar é aproximadamente 1000 J/kg*°C.

$$Q = m \times c \times (\Delta T)$$

$$Q = 0,05357 \times 1000 \times (70 - 25)$$

$$Q = 2410,65J$$

Onde:

Q = Quantidade de calor (J)

m = Massa (kg)

c = Calor específico ($\frac{J}{kg} \times ^\circ C$)

ΔT = Variação de temperatura ($^\circ C$)

Com os valores para a quantidade de calor necessários para aquecer a caixa calculamos qual a resistência necessária, para isso é necessário estimar um tempo dado em segundos, esse tempo é levado em consideração para encontrarmos a resistência ideal para aquecer a estufa a sua temperatura desejada em um determinado período de tempo. Para esse cálculo usamos um tempo (t) estimado de 20 segundos e quantidade de calor (Q) de 2,410,65 Joules, onde será encontrado a potência (P) dada em Watts.

$$P = \frac{Q}{t}$$

$$P = \frac{2410,65}{20}$$

$$P = 120,53 \text{ W}$$

Com a potência da resistência calculada de aproximadamente 120W, realizou-se pesquisa em busca da mesma, portanto encontrou-se somente resistências comerciais com valores de 100W ou 150W para tensão de 12 volts, optou-se pela utilização de um aquecedor PTC (Fig. 8), onde o mesmo possui 100W de potência e ligação em corrente contínua de 12V.

Figura 8 - Aquecedor PTC



Fonte: PTCYIDU (2025)

3.2.3 Ventilação forçada

Para uma melhor circulação do calor por toda a área da secadora, fazendo com que os filamentos possuam uma secagem uniforme a utilização de uma ventilação forçada é necessária. Tendo em vista que com o auxílio de um ventilador posicionado atrás da fonte aquecedora impulsiona o ar quente para a direção dos filamentos, formando um fluxo de ar quente internamente.

Com relação ao custo benefício, o ventilador orçado para o projeto é utilizado em computadores conforme o da Figura 9, com dimensões de 90 mm e espessura de 25 mm sua tensão de alimentação é 12 volts (V), sendo ele facilmente encontrado no mercado por um valor acessível, em pesquisas realizadas o mesmo foi encontrado por 15 reais.

Figura 9 - Cooler para ventilação forçada



Fonte: CASA DA ROBÓTICA (2025)

3.2.4 Sensores

Tratando-se de uma estufa para secar filamentos há se a necessidade de um controle muito preciso de temperatura, uma vez que o filamento ultrapassa sua temperatura de secagem pode apresentar deformidades e por sua vez gerar danos a impressora quando utilizado ou erros na impressão.

Portanto, com as pesquisas bibliográficas podemos encontrar dois modelos de sensor para temperatura e umidade, são os modelos DHT11 e o DHT22. Ambos os modelos são utilizados para medição de temperatura e umidade ambiente.

A maior diferença entre os dois é a precisão da medição de temperatura na qual pode ser submetido, e faixa de leitura de umidade do ar ambiente, portanto, o DHT22 (Fig. 10) leva

vantagem nesses quesitos. Atua de -40°C até 80°C , possui uma precisão aproximada de $0,5^{\circ}\text{C}$ e atua em uma faixa de leitura de umidade de 0% a 100%.

Figura 10 - Sensor de temperatura DHT22



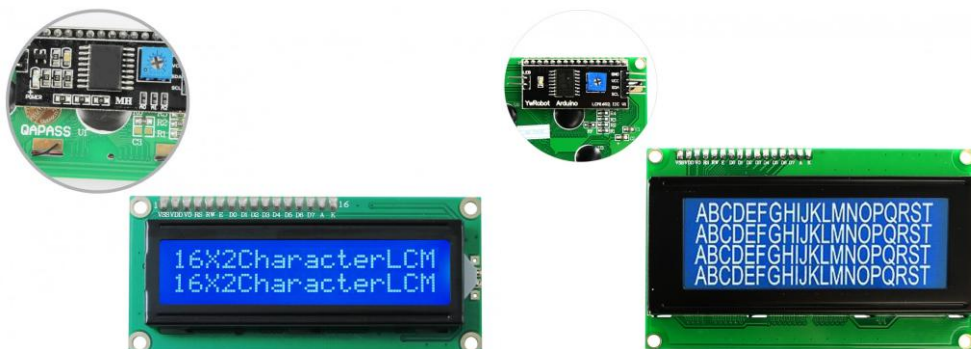
Fonte: USINAINFO (2025b)

Será utilizado o módulo sensor DHT22 que já compõem ao sensor uma placa eletrônica com um resistor pull-up embutido para proteção, assim facilitando a prototipagem. O mesmo custa em média trinta reais, opera com uma tensão de alimentação de 3,3V a 5V, faixa de corrente de 0,5 a 2,5mA.

3.2.5 Tela e controle

Para a interface do usuário ao equipamento optou-se pela utilização de uma tela de cristal líquido (LCD) idêntica a Figura 11, tendo em vista que a mesma facilitará a visualização da temperatura e da umidade interna da secadora, no entanto tem duas alternativas a tela de 20x4 que possui mais caracteres e pode projetar mais informações, porém é mais cara e a tela de 16x2 que por sua vez é mais compacta, permite a projeção de menos caracteres e tem um custo benefício melhor.

Figura 11 - Display LCD com I2C 16x2 e 20x4



Fonte: USINAINFO (2025a)

Ambos os modelos contam com o módulo de circuito integrado ou I2C como é conhecido, este módulo acoplado ao display LCD simplifica a conexão do mesmo ao microcontrolador, reduzindo a quantidade de fios e o número de pinos utilizados no microcontrolador.

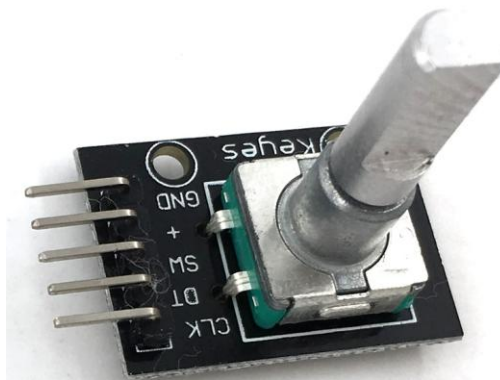
O display LCD com módulo I2C de 16x2 custa em média trinta reais, já o display LCD maior, também com a placa do módulo I2C custa cinquenta e cinco reais. O modelo do display para o projeto ainda não foi definido, podendo variar devido ao disponível na universidade.

Com um projeto intuitivo para a utilização do usuário, optou-se pela utilização de um encoder (Fig. 12), que funcionará basicamente para seleção da temperatura, o mesmo permite rotacionar para os dois sentidos sem um fim delimitado, ou seja, permite rotacioná-lo para ambos os lados de forma irrestrita, de forma infinita.

Portanto, diferente dos potenciômetros ele funciona com sinais pulsantes conforme o giro, permitindo a sua utilização para diversos fins, nesse caso será utilizado para aumentar e diminuir a temperatura da câmara interna da secadora de filamentos. Permitindo assim um controle muito preciso e minucioso.

O encoder a ser utilizado no projeto conta com um botão integrado, o mesmo será utilizado para selecionar e confirmar as seleções feitas pelo ajuste rotativo do mesmo componente, dispensando o uso de mais componentes ou botões para realizar as mesmas funções.

Figura 12 - Encoder com botão



Fonte: ELETROGATE (2025)

3.2.6 Fonte de alimentação

Para comportar a carga ligada na rede será necessário a utilização de uma fonte de 300W, que transforma a tensão vinda da rede de 220V em corrente alternada para as tensões necessárias em corrente contínua, portanto nesse projeto será utilizado uma fonte da marca kmex modelo PX-300 ATX conforme o da Figura 13 disposta abaixo.

Figura 13 - Fonte de alimentação 300W



Fonte: KMEX (2025)

Tendo em vista o gasto excessivo para o projeto, buscou-se em sucatas de lixo eletrônico, onde a mesma foi retirada em um computador descartado, caso fosse adquirida nova, com pesquisa realizada modelos semelhantes custam em média sessenta reais. A fonte alimentada em 220V pode operar com tensões de saída de 3,3V, 5V e 12V com as respectivas correntes 24 Ampere (A), 30A e 18A.

A utilização de uma fonte com alternativa de sinal de saída como a selecionada para o projeto é importante pois o projeto conta com a alimentação da resistência que é de 12V, os sensores e microcontrolador que pode ser dada de 3,3V ou de 5V.

3.2.7 Microcontrolador

O objetivo do projeto é desenvolver uma secadora de filamentos eficiente com baixo custo e microcontrolada, ou seja, interativa para o usuário, fácil de usar, secagem eficiente e que possa funcionar sem necessidade de supervisão. Portanto optou-se pela utilização de um sistema microcontrolado capaz de gerenciar todo o processo.

Permitindo o usuário de fornecer a temperatura desejada, e manter o polímero secando pelo tempo necessário, podendo acompanhar através do display LCD em tempo real a

temperatura e umidade interna da secadora. Para o projeto ideal seria importante um espaço com visibilidade na área interna, podendo essa ser uma tampa em acrílico ou material semelhante, entretanto com um orçamento restrito esse detalhe foi considerado inviável e com menor importância.

Para idealizar o projeto estuda-se utilizar uma de duas opções de microcontrolador facilmente encontradas o módulo ESP32 ou um ARDUINO NANO, o ESP32 que oferece uma excelente combinação de funcionalidades, conectividades, para possíveis atualizações do protótipo e um bom custo benefício e uma maior capacidade de processamento se comparada ao Arduino. Portanto optou-se pelo ESP32 (Fig. 14), em virtude da maior capacidade de processamento e a disponibilidade do mesmo pela universidade.

Figura 14 - Microcontrolador ESP32



Fonte: AUTOCORE (2025)

O módulo ESP32 é um superchip programável, o mesmo possui dois microprocessadores com uma velocidade de processamento de aproximadamente dez vezes a do Arduino UNO. Possuem diversas funcionalidades internas além de Wi-Fi e Bluetooth embutidos.

Possui uma alta capacidade de processamento e diversas funcionalidades simultâneas, como controle de motores, leitura de sensores, entre outras. Possui uma vasta quantidade de pinos de propósito geral chamados (GPIOs), permitindo a conexão fácil com diversos componentes eletrônicos.

Tendo em vista o desenvolvimento do projeto, o microcontrolador permite com a conectividade Wi-Fi ampliar a conectividade e a experiência do usuário no projeto, isso abre portas para futuras atualizações, como o desenvolvimento de um aplicativo para controlar em sua totalidade a estufa remotamente.

3.2.8 Componentes selecionados

Para concretizar o projeto selecionou-se os componentes que mais se adequariam para ele, como os que tivessem o melhor custo benefício, ou seja, melhor valor para adquirir e a melhor eficiência. Para o coração do projeto optou-se pelo uso do ESP32, o qual tem uma maior capacidade operacional, e pode comportar possíveis melhorias.

Na interface do usuário será utilizado um display LCD de 20X4 para se apresentar todas as informações necessárias, e um encoder para permitir que o usuário selecione todas as informações. Os mesmos possuem uma boa funcionalidade e preço acessível, portanto são a solução perfeita para idealizar o protótipo.

O elemento mais caro do projeto será o aquecedor PTC, selecionado em virtude do custo benefício e a facilidade de aplicação, para isso precisará ser importado, o mesmo será adquirido no mercado livre, porém a venda é internacional. Tornando o projeto mais difícil de replicar, porém mais seguro sem adaptações. Para complementar o aquecimento foi selecionado o sensor DHT22 o qual tem muita serventia para o projeto, bom custo benefício e capacidade para controlar as temperaturas conforme o projetado.

Alguns dos elementos serão reaproveitados de equipamentos velhos, como por exemplo a fonte ATX, a qual será removida de um computador antigo e não mais usual, incentivando o reaproveitamento de componentes para recriar novos projetos, assim como a caixa de isopor pode ser encontrada facilmente em estabelecimentos a qual importa produtos refrigerados. Portanto estes são os elementos selecionados, com tudo se calcula para o projeto um orçamento máximo de R\$500,00 reais, para ser um projeto viável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentam-se os principais resultados obtidos a partir do desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso. Primeiramente, valida-se a eletrônica que vai compor o projeto, evidenciando suas principais funções, verificando a funcionalidade e a eficácia do projeto, também se verificou os resultados dos testes realizados em bancada, além de propor a hipótese de novas melhorias.

4.1 Primeiros testes

Nesta seção serão realizados os testes e a validação de bancada do circuito eletrônico que será incorporado ao projeto.

4.1.1 Montagem

Neste processo realizou-se a montagem da eletrônica da estufa secadora de filamentos, onde foram utilizados o Esp32 como microcontrolador (Figura 14), onde ele fará todo o controle do projeto, sendo leitura de temperatura, comando para ligar o elemento resistivo e também é onde estão conectados todos os componentes.

Neste projeto utilizou-se um encoder modelo KY-040 (Figura 12) que permite selecionar a temperatura e o tempo em que o que a estufa vai trabalhar, para isso basta girar o encoder para ambos os lados, onde o mesmo não possui limitação de giro, ou seja, gira para ambos os lados infinitas voltas. O encoder conta com um botão no seu eixo central, onde este foi programado para ser o “OK”, ou seja, quando acionado faz a seleção e confirmação.

Para a visualização e a maior interação do usuário utilizou-se um display LCD 20X4 (Figura 11), que permite ter mais linhas e mais colunas para visualizar as informações. Sendo elas temperatura, umidade e tempo, além de informações para ajustar a temperatura conforme o tipo de filamento.

O elemento aquecedor, a resistência utilizada no projeto é uma aquecedor PTC conforme o da Figura 8, onde a mesma já vem com um cooler acoplado, permitindo um maior fluxo de calor, empurrando o ar de fora para a resistência e o aquecendo. Dentro da estufa será utilizado um sensor de temperatura e umidade DHT22 modelo da Figura 10.

Para a alimentação de todo o projeto utilizamos uma fonte de computador modelo ATX de 300W (Figura 13). Com todos os componentes selecionados iniciou-se a montagem em bancada, com uma protoboard para realizar os primeiros testes e validar o projeto.

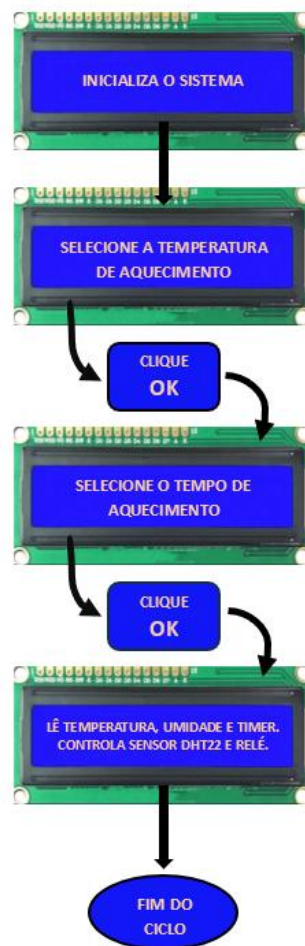
Para descrever o funcionamento da estufa de secagem de filamentos com uma maior facilidade para os leitores, optou-se por desenvolver um fluxograma (Figura 15), onde o mesmo

detalha o funcionamento desde o início até o final do ciclo, baseado no código programado em C++, o qual foi desenvolvido e implementado no microcontrolador.

O código desenvolvido em linguagem de programação C++ está disposto nos anexos deste documento, o mesmo é o código que foi implementado no projeto da estufa. Desenvolvido com o auxílio de inteligências artificiais para uma maior agilidade e melhor estruturação do código.

Tendo em vista um grande aumento no número de usuários de diversas inteligências artificiais, onde através delas torna possível ou de maior facilidade o alcance de um determinado objetivo, sendo elas utilizadas de maneiras corretas possuem inúmeros benefícios. Mesmo assim utilizadas de forma indevida acabam atrapalhando e prejudicando o desenvolvimento do aprendizado.

Figura 15 – Fluxograma da Estufa

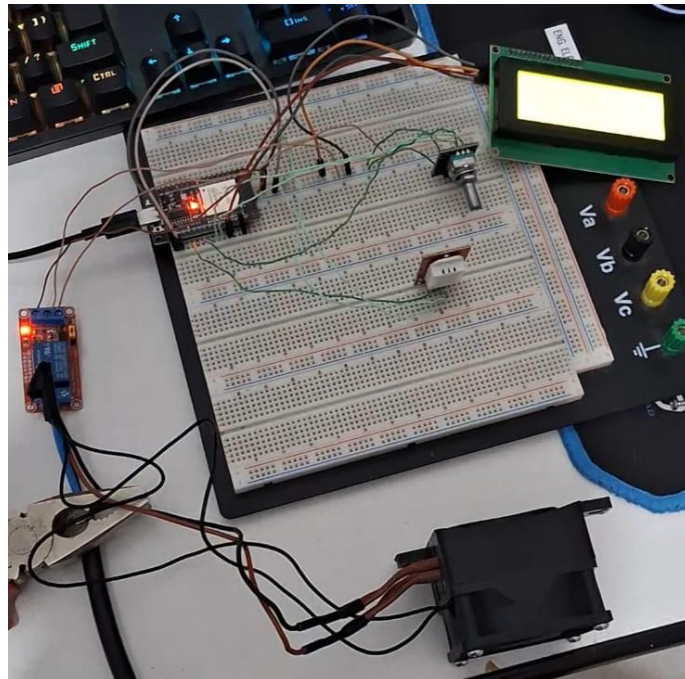


Fonte: O Autor (2025)

4.1.2 Resultado dos testes de bancada

Conforme descrito acima, iniciou-se a montagem do projeto em bancada, com a utilização de uma protoboard e alguns fios foi possível interligar todos os componentes para testar o funcionamento do código inserido no microcontrolador projetado para comandar os periféricos de todo o sistema eletrônico. Somente com ele é possível tornar o projeto viável, abaixo segue uma imagem do primeiro teste sendo realizado (Figura 16).

Figura 16 – Montagem e primeiro teste em bancada



Fonte: O Autor (2025)

Com o teste em bancada, foi possível extrair as primeiras conclusões do protótipo, onde na eletrônica apresentou alguns erros de leitura de temperatura, a qual o sensor DHT22 não estava lendo corretamente. Para isso comparamos as leituras do sensor com a temperatura medida através de um sensor termopar conectado a multímetro.

Além disso com os primeiros testes pode-se perceber que o elemento aquecedor, a resistência PTC calculada para o projeto não tinha capacidade suficiente para aquecer a estufa até a temperatura desejada de 70°C. Com algumas medições de corrente percebeu-se que a mesma estava funcionando conforme o manual, porém era ineficiente para o projeto, com isso optou-se por substituí-la por uma de maior potência.

Em contrapartida o restantes dos componentes comportaram-se conforme o esperado, o funcionamento da interface do usuário com o sensor encoder permitindo selecionar o tempo e temperatura, e com o display permitindo visualizar em tempo real as informações.

4.2 Correção e ajustes

Com os testes realizados foi possível prever algumas alterações necessárias para o funcionamento ideal da estufa secadora de filamentos, e com isso partir para as correções e a montagem final do projeto.

4.2.1 Troca de componentes

Em virtude dos testes realizados, permitiu visualizar erros antecipadamente para que os defeitos sejam sanados antes da montagem final do protótipo. Portanto nesta etapa do projeto serão descritas as alterações realizadas para sanar os defeitos.

Inicialmente realizou-se a substituição do aquecedor PTC por um novo com as mesmas dimensões de 60 mm por 60 mm e espessura de 42 mm, sendo que o componente a ser instalado é de 200W de potência ligado em 220V, com isso precisou ser removido a fonte de alimentação ATX de 300W com saídas de 12V e 5V que alimentavam a resistência anterior de 120W e 12V, para a instalação de uma fonte chaveada com saídas de 5V.

Esta etapa foi importante pois eliminou um componente que utilizava um espaço não mais necessário, e instalou-se uma fonte na qual irá atender a demanda e ocupa um espaço bem menor. Uma vez que a mesma será utilizada unicamente para alimentar o microcontrolador. O aquecedor PTC será ligado em tensão de 220V, onde para aciona-lo é preciso de um módulo relé que permitirá com um pulso de tensão de 3,3V vindo do pino digital 27 do ESP32 acionar o aquecedor quando necessário.

Para solucionar o erro na leitura de temperatura da estufa partiu-se primeiramente para alguns testes, inicialmente foram utilizadas duas fontes de alimentação distintas, uma para alimentar o ESP32 e outra para alimentar o relé, com isso foi possível verificar se estava ocorrendo algum tipo de queda de tensão da fonte e reinicialização por proteção do microcontrolador ou algum tipo de interferência eletromagnética, já que o mecanismo do relé funciona como um eletroímã, onde com o pulso de tensão de 3,3V energiza uma bobina e um contato mecânico dentro do relé, com isso ele fecha um contato físico que interliga o terminal de 220V com o terminal normalmente aberto do mesmo e conduz tensão para alimentar a resistência.

Concluído a substituição dos itens mencionados acima, a resistência e o sensor de temperatura, iniciou-se novos testes antes de concluir a montagem.

4.2.2 Validação do projeto

Após a conclusão de todas as alterações necessárias, iniciaram-se novos testes na secadora para verificar o desempenho da resistência. Observou-se um comportamento satisfatório, evidenciando a capacidade de aquecer toda a área da estufa sem dificuldades. Verificou-se também que o equipamento é capaz de alcançar temperaturas superiores às previstas no projeto em um curto intervalo de tempo. Nos testes realizados, a secadora atingiu aproximadamente 40 °C em cerca de 2 minutos.

Com esta informação é possível perceber a capacidade a qual a estufa tem de comportar os mais diversos tipos de matérias, tendo em vista que a mesma tenha sido projetada apenas para PLA, PETG e ABS a qual a máxima temperatura necessária é de 70°C, polímeros como o Nylon (PA), um dos filamentos com a maior capacidade de absorção de umidade deve ser mantido em temperatura controlada de aproximados 80°C por aproximadamente 12 horas, recomendado por fabricantes. Outros filamentos que para a melhor conservação devem ser conservados a temperaturas aproximadas são o TPU e o PVA.

Comparando a leitura de temperatura feita pelo sensor DHT22 novo, após a sua substituição com a leitura feita pelo multíteste, ou alicate amperímetro de marca Fluke, com um sensor termo par acoplado disponibilizados pela universidade, permitiu visualizar a temperatura real do ar interno da secadora.

Através deste teste observou-se duas leituras muito semelhantes com uma diferença que variava entre 2 e 3°C, a qual o DHT22 era sempre menor. Essa variação de temperatura é dada pela precisão do sensor DHT22 a qual é inferior a velocidade de leitura do multítestes. Sendo assim constatou-se que o defeito era o sensor de temperatura da estufa e o problema foi sanado com a substituição do mesmo por um novo.

Testado o sistema completo com todos os componentes juntos o protótipo não apresentou nenhuma nova falha ou erro. Constatando então a funcionalidade coerente do projeto conforme o projetado. Com isso deu-se início a montagem final do protótipo da estufa e posteriormente a retirada dos resultados e testes de eficiência.

4.3 Implementação prática

Nesta etapa do processo foi realizada a finalização do projeto, montagem da estufa, montagem de todos os componentes no casco da secadora, bem como realizado todos os testes e analisado todos os resultados

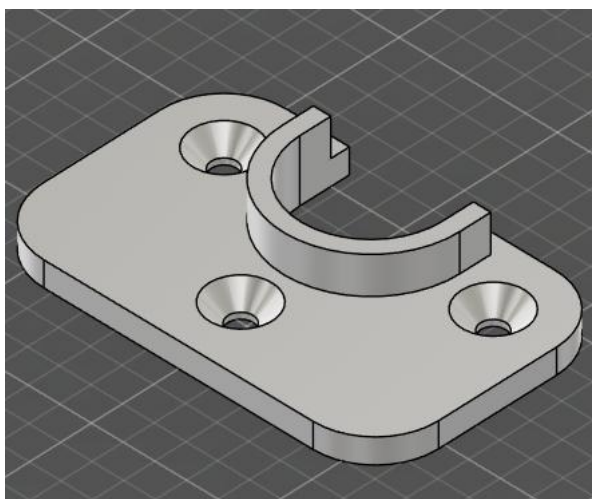
4.3.1 Montagem final

Dado início a montagem final do projeto, primeiramente foi fixado a tomada de força fêmea, esta que foi removida de uma fonte de computador com defeito e reutilizada para o projeto. Fixada atrás da caixa a tomada foi conectada com fios 2,5mm, onde a fase está sendo seccionada por uma chave gangorra ON/OFF, a mesma é de expressiva importância para a segurança do projeto e dos usuários, reduzindo a chance de choque, curto circuito.

Em seguida foi realizado o desenvolvimento das peças necessárias para realizar a impressão das mesmas. Iniciou-se pelo projeto apresentado na Figura 17, onde a mesma apresenta um modelo tridimensional do suporte feito para fixação de um tubo metálico no seu centro onde os carretéis de filamento serão posicionados. Neste modelo fez-se uma modelagem e impressão para a maior rigidez possível, sendo que previsto uma fixação tripla para garantir a massa que os mesmos irão suportar.

Na estufa foram utilizadas quatro unidades do suporte, sendo eles posicionados dois em cada lateral da caixa de isopor, posteriormente no encaixe previsto utilizou-se um tubo metálico de 20mm para suportar a massa de até cinco quilogramas totalizada pelos cinco carretéis de filamento. Para resistir a temperatura máxima que a estufa atinge, o suporte foi impresso em ABS, material que permite ser exposto a temperaturas de até 100°C, pensando em uma futura melhoria e aprimoramento do projeto, optou-se pela utilização do mesmo.

Figura 17 – Suporte para rolos de filamento

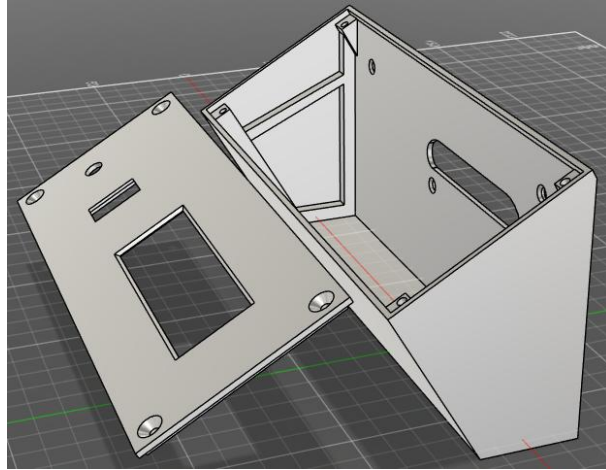


Fonte: O Autor (2025)

Em seguida iniciou-se o projeto mais desafiador de modelagem 3D, a caixa onde ficam todos os componentes eletrônicos do projeto, exceto o sensor DHT22. Sendo assim o projeto da caixa (Fig. 18) precisava ser funcional, comportar todos os periféricos e ser aparentemente

bonita, pois será ela que o usuário vai ver todas as vezes que olhar para a estufa. Ou seja, na parte frontal dela ficarão fixados o display e o encoder, que através deles permitem visualizar e controlar toda a estufa.

Figura 18 – Caixa para comportar componentes eletrônicos



Fonte: O Autor (2025)

Para chegar ao projeto final o modelo passou por vários ajustes e modificações, foram impressas cinco caixas diferentes para visualizar qual ficava esteticamente mais bonita, e para verificar se todas as fixações estavam corretas, o modelo final foi impresso com filamento PETG, o qual possui uma excelente propriedade mecânica e térmica, e ainda tem uma facilidade de impressão muito semelhante ao PLA.

Após concluir a impressão de todas as peças necessárias iniciou-se a montagem, para isso precisou ser utilizado furadeira, multicortadora para fazer o corte para fixar a resistência, cola quente, parafusos para madeira, fios flexíveis e espaguete termo retrátil para isolar as emendas. Na Figura 19, pode-se observar a estufa secadora de filamentos devidamente montada, com todos os componentes eletrônicos interligados e em pleno funcionamento, na Figura 20 é possível observar os componentes fixados dentro da caixa impressa em 3d.

Figura 19 – Secadora de filamentos montada



Fonte: O Autor (2025)

Na imagem acima pode se perceber que a secadora de filamentos na qual havia sido projetada para comportar no mínimo 3 carretéis de filamento de um quilograma, possui capacidade para até cinco rolos de um quilograma. Em seguida será apresentado todas as telas de seleção bem como os componentes fixados dentro da caixa impressa.

Figura 20 – Fixação dos componentes



Fonte: O Autor (2025)

Como é possível observar na Figura 20 tem-se um espaço muito pequeno para comportar todos os componentes necessários, portanto para uma melhoria futura, seria importante repensar no modelo da caixa para melhor fixar todos os componentes, facilitando a manutenção preventiva ou troca de componentes se necessária.

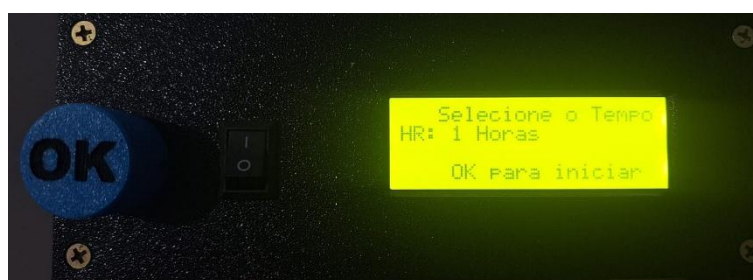
Figura 21 – Tela de seleção de temperatura



Fonte: O Autor (2025)

Na Figura 21 pode se observar a primeira tela apresentada ao ligar a secadora, nela é possível selecionar a temperatura desejada para a secagem do filamento, iniciando na temperatura mínima de 30°C e atingindo no máximo 70°C, para selecionar a temperatura desejada basta girar o botão do encoder ao lado esquerdo da imagem, girando em sentido horário irá aumenta a temperatura e anti-horário irá reduzir a temperatura. Após selecionada a temperatura correta basta pressionar o mesmo botão uma vez e a temperatura logo passará para a tela de seleção do tempo (Fig. 22).

Figura 22 – Tela de seleção do tempo



Fonte: O Autor (2025)

Na imagem a cima podemos visualizar a tela onde permite ao usuário selecionar o tempo na qual o material ficara secando, ou seja, o tempo do ciclo de secagem dos filamentos, a seleção do tempo se inicia com o tempo mínimo de 1 hora com tempo máximo de 24 horas, um dia completo. Ao selecionar o tempo e clicar no botão OK, o ciclo de secagem será iniciado, o tempo será contado de forma regressiva até finalizar.

Figura 23 – Tela do ciclo de secagem

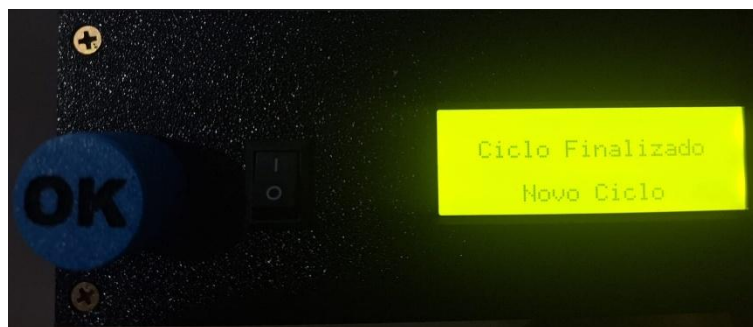
Fonte: O Autor (2025)

Na Figura 23 é possível ver o início de um ciclo de secagem, o filamento colocado para secar no equipamento é um polímero PLA, no qual deve ser submetido a uma temperatura máxima de 40°C, portanto iniciamos o ciclo com uma temperatura de 35°C para fins de testes. Na tela pode-se observar várias informações, a primeira “Temp.:” é a temperatura do interior da estufa medida através do sensor DHT22, portanto a resistência está ligada para fins de atingir a temperatura pré-selecionada.

Em seguida temos o Tempo, ele tem contagem regressiva na qual permite observar quando tempo resta para finalizar o ciclo, no caso da imagem foi selecionado 1 hora para a secagem do filamento, mais por recomendações de fabricantes o polímero PLA deve ter um ciclo mínimo de secagem de 4 horas para um resultado ideal.

A última informação lida pelo sensor é a umidade, deve-se ter um cuidado pois a umidade lida pelo sensor não é a umidade presente no filamento, mais sim a umidade do ar que está dentro da estufa, então conforme for aquecendo o ar a umidade vai diminuindo, pois, o ar vai ficando mais seco. Sendo assim para retirar a umidade do filamento é importante o uso de alguma substância química que auxilia, no caso dos testes para este projeto foi-se utilizado a sílica gel, muito utilizada no mercado e pode ser encontrada facilmente para comprar, possui um bom resultado na absorção da umidade e um custo baixo.

Por fim caso queira interromper o ciclo de secagem basta pressionar uma única vez o botão OK do encoder que a secadora automaticamente encerra seu ciclo de secagem e apresenta uma tela de descanso conforme Figura 24.

Figura 24 – Tela ao finalizar o ciclo

Fonte: O Autor (2025)

Na imagem superior pode-se observar uma tela de descanso, a mesma é apresentada ao finalizar o ciclo de secagem do filamento, ou seja, após encerrar o tempo selecionado para o ciclo de secagem, ou caso o processo seja interrompido clicando no botão OK do encoder, esta tela também será apresentada, para iniciar um novo ciclo basta clicar no OK e selecionar novamente a temperatura e o tempo conforme descrito anteriormente, caso deseje desligar a estufa basta passar a posição da chave ON/OFF para a posição com o círculo voltado para baixo, deixando ele próximo ao relevo da tampa. Assim encerra-se o ciclo da secagem de um filamento de impressão 3D na estufa desenvolvida para este trabalho de conclusão de curso.

4.3.2 Resultados obtidos

Iniciado os testes com o projeto após a conclusão da montagem, primeiramente realizou-se um teste agressivo, pelo fato de não se ter um filamento úmido optou-se por submergir algumas gramas do polímero PLA em um recipiente de água deixando o mesmo exposto por aproximadamente seis horas dentro da água, para que o mesmo possa absorver uma considerável quantidade de água e simular a umidade que o filamento absorve caso fique armazenado de forma indevida, ou seja, exposto ao tempo, sem plástico ou recipiente selado, sem utilização da sílica gel.

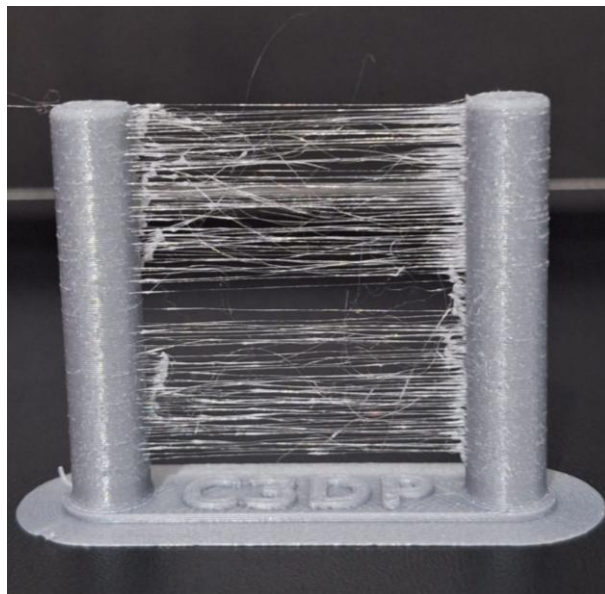
Sendo assim, passadas as seis horas do material exposto a absorção de umidade realizou-se o primeiro teste de impressão do filamento úmido, para o teste foi utilizado uma impressora de marca BambuLab modelo A1, para as configurações do filamento utilizou-se a temperatura da primeira camada em 210°C e temperatura das demais camadas em 215°C, para a temperatura da mesa utilizou-se 60°C.

O modelo a ser impresso é disponibilizado gratuitamente na comunidade “MakerWorld” da BambuLab, lá é possível localizar modelos para impressão 3D, portanto o arquivo selecionado é utilizado para realizar testes de umidade no filamento, e também para

calibração da temperatura ideal para impressão de cada tipo de filamento. As configurações para impressão do modelo selecionado foram: velocidade de retração a 30mm/s, velocidade da primeira camada, 25mm/s, velocidade das demais camadas 150mm/s, utilizou-se de borda 5 linhas para melhorar a fixação do modelo com a base, e impedir que o mesmo se desprenda durante a impressão. Para altura de camada utilizou-se 0,2 mm, duas voltas de parede e preenchimento de 5%.

Com estas configurações o modelo foi impresso em aproximadamente 30 minutos sem apresentar algum erro. Na Figura 25 pode-se perceber todos os detalhes que ocasionaram o filamento úmido ao modelo impresso.

Figura 25 – Modelo impresso com filamento úmido



Fonte: O Autor (2025)

Observando detalhadamente é possível observar muitos fiapos ou strings termo em inglês muito utilizado na comunidade de impressão 3D, estes fiapos são ocasionados pela alta umidade do filamento, ocasionando bolhas de água no filamento e quando o material passa pelo bico de extrusão é aquecido a altas temperatura onde ocasionam pequenas explosões dessas bolhas de água. Estas bolhas de água quando aquecidas explodem e vaporizam instantaneamente e faz com que ocorra uma extrusão descontrolada do material, ou seja, o filamento não é extrudado de forma coordenada.

Sendo assim o bico responsável por depositar o material derretido fica sempre com resquícios de material na ponta, espalhando-o de forma desorientada, gerando fiapos entre os pontos em que a cabeça de impressão viaja para o outro ponto onde deve depositar o material, além de deixar algumas rugosidades entre as camadas das impressões.

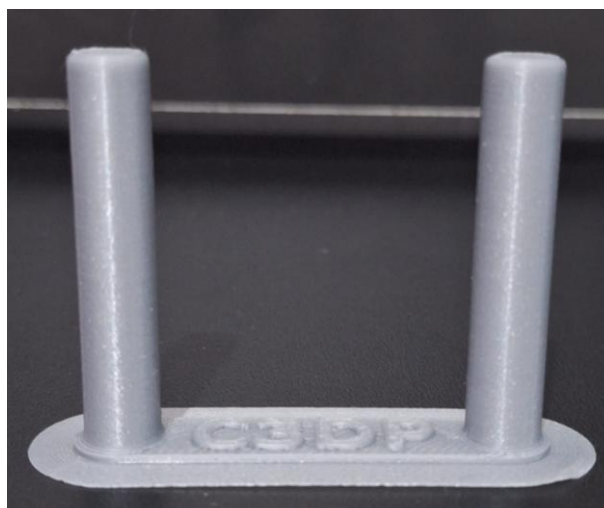
Um dos maiores problemas ocasionados pela umidade no filamento é a fragilidade do material, quando exposto a umidade o filamento inicia um processo de hidrólise, no qual a umidade presente no filamento reage com as propriedades do polímero fragilizando as cadeias do filamento que por sua vez tinha propriedades dúcteis e flexíveis perde essas propriedades e acaba se tornando frágil e quebradiço perdendo toda a sua resistência mecânica.

Portanto para recuperarmos as propriedades do filamento, ou chegar o mais próximo possível das propriedades originais de um polímero de impressão 3D é necessário o uso de uma secadora, portanto utilizou-se o protótipo para testar sua funcionalidade. Para o material correspondente ao teste o polímero PLA, um dos plásticos mais comuns na impressão 3D utilizou-se por recomendação do fabricante o tempo de 4 horas de secagem em uma temperatura de 40°C.

Com o filamento exposto ao ciclo de secagem utilizou-se sílica gel no interior caixa secadora para auxiliar o processo de desumidificação do polímero, o uso da sílica para secar o material é opcional, não é uma recomendação do fabricante do filamento mas sim uma sugestão, para que se possa ter um resultado melhor e o mais próximo do esperado.

Na Figura 26, podemos ver uma nova impressão do mesmo modelo, com as mesmas configurações já descritas acima. Nela é possível perceber facilmente a diferença entre a impressão com o filamento úmido e o filamento seco.

Figura 26 – Modelo impresso após secagem do filamento



Fonte: O Autor (2025)

Com uma nova impressão após o ciclo de secagem pode-se perceber que as falhas na impressão sumiram, não há mais fiapos entre os pontos extrusão do filamento, não apresenta

rugosidades, bolhas ou falhas entre a união das camadas, sendo que a visualização das camadas é suave e quase imperceptível através da imagem.

Portanto podemos observar a eficiência do projeto através das duas impressões, onde o mesmo apresentou um bom resultado na secagem do filamento PLA, o qual é um dos materiais que apresentam a menor capacidade de absorção de umidade se comparado com ABS, PETG e principalmente o PP, que tem a recomendação de ser impresso enclausurado em um recipiente com temperatura controlada como uma estufa drybox, ou seja, uma estufa com saída para impressora e eixos para girar o carretel durante a impressão.

Através deste projeto permitiu-se a visualização da importância de secar de forma correta e como conservar os filamentos para impressão 3D. Sendo que o filamento após seco pode ser armazenado dentro de uma caixa selada ou dentro de sacos com fecho, onde deve ser removido todo o ar e para uma maior durabilidade algumas embalagens de 10g de sílica gel, para auxiliar na conservação por um maior período de tempo do material.

O projeto mostrou ser economicamente viável uma vez que pode ser reproduzido facilmente sem muita dificuldade, o código carregado ao ESP32 está disposto abaixo no apêndice para visualizar. Com um gasto aproximado de R\$ 346,00 reais contabilizando os componentes e seus respectivos fretes obteve-se um gasto aproximado do esperado.

Comparando com estufas comerciais onde o custo inicial de modelos básico é de aproximadamente R\$ 300,00 reais para modelos com suporte para apenas um carretel de um quilograma, o projeto mostra-se viável e eficiente.

Para uma comprovação real seria muito importante realizar os mesmos testes para filamentos de engenharia como o PP, e o TPU, que são filamentos muito mais suscetíveis a exposição de umidade do ar, portanto consideramos o projeto altamente viável para o filamento PLA, PETG, e ABS, onde os mesmos apresentam características semelhantes quando a absorção de umidade e consequentemente se comportam de forma semelhante durante a secagem.

4.3.3 Melhorias futuras

Tendo em vista melhorias futuras para o projeto, pensou-se em uma atualização na sua tela, deixando a mais moderna implementando uma tela sensível ao toque, deixando mais intuitiva, onde o usuário possa selecionar o material que deseja secar e com uma temperatura pré-programada dá início ao ciclo sem muitos cliques, desenvolver um aplicativo para comunicação via WI-FI e ou Bluetooth, onde se pode acompanhar a temperatura e a umidade em tempo real, até mesmo ligar ou desligar o ciclo de secagem.

Aperfeiçoar o sistema interno de secagem, inserir mais um elemento aquecedor do modelo PTC para melhorar a distribuição do calor no interior da estufa, desenvolver peças que faça a circulação organizada do ar para não ter contato direto com o filamento.

Desenvolver um sistema com eixos rotativos de onde o filamento possa ser secado e eventualmente utilizar a estufa para imprimir com o material de dentro dela, sem ter a necessidade de remover o filamento da estufa e posiciona-lo na impressora. Esse sistema possibilitaria de utilizar filamentos de alta complexidade e alto índice de absorção de umidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho cumpriu seu objetivo principal ao desenvolver e validar um protótipo de estufa para filamentos de impressão 3D, aliando baixo custo a uma eletrônica funcional baseada no ESP32. A solução mostrou-se eficaz para combater a umidade nos polímeros, confirmando que é possível obter resultados profissionais com materiais acessíveis.

O processo de desenvolvimento evidenciou a importância da etapa de prototipagem, devido aos desafios que enfrentamos, como a insuficiência da resistência inicial de 12V que precisou ser substituída por um modelo de 200W em 220V e a instabilidade nas leituras do sensor DHT22, corrigida através da substituição do componente e de ajustes na alimentação elétrica. Essas adaptações foram cruciais para garantir a segurança e a confiabilidade dos dados apresentados.

Do ponto de vista econômico e funcional, o projeto foi um sucesso. O custo final de R\$ 346,00 ficou bem abaixo do teto estipulado de R\$ 500,00 e das opções comerciais equivalentes. Na prática, os testes de impressão comprovaram que a estufa recuperou as propriedades dos filamentos úmidos, eliminando falhas como fiapos e bolhas, além de superar a expectativa inicial ao comportar até cinco carretéis simultaneamente.

Como sugerido anteriormente para melhorar o projeto pode ser modernizado a interface com uso de tela sensível ao toque, o desenvolvimento de um aplicativo para controle remoto via Wi-Fi e a implementação de eixos rotativos para permitir a impressão direta a partir da estufa. Conclui-se, portanto, que o protótipo é uma ferramenta viável, capaz de elevar a qualidade da manufatura aditiva de forma econômica e eficiente, a qual será muito útil no dia a dia de usuários de impressoras 3D que sofrem com estes problemas nos filamentos assim como vem ocorrendo dentro da instituição onde os filamentos não possuem um local adequado para armazenar todos os filamentos fez-se necessário a aquisição de secadoras comerciais para suprir a necessidade;

REFERÊNCIAS

- 3D FILA. **Umidade em filamentos 3D? Como evitar e tratar**, 2023. Disponível em: <https://blog.3dfila.com.br/umidade-em-filamento-3d-como-evitar-e-tratar/>. Acesso em: 21 de junho de 2025.
- 3DEVO. **Say goodbye to failed 3D prints! A guide to keeping filament dry**, 2021. Disponível em: <https://www.3devo.com/blog/3-ways-to-dry-filament>. Acesso em: 21 de junho de 2025.
- 3DLAB. **Como resolver a umidade no filamento para impressora 3d? Descubra!** 2016. Disponível em: <https://3dlab.com.br/umidade-no-filamento/>. Acesso em: 21 de junho de 2025.
- 3DLAB. **Conheça os tipos de impressão 3D e os seus benefícios!** 2018. Disponível em: <https://3dlab.com.br/tipos-de-impressao-3d-e-beneficios/?srsltid=AfmBOope-IE0pBpvWR65rprFXP2pRsjUt3bJyy3yr0dDRZbJJST9YiDK>. Acesso em: 17 de maio de 2025.
- 3DLAB. **Tipos de filamentos: comparative dos principais da impressão 3D!** 2024. Disponível em: https://3dlab.com.br/tipos-de-filamentos-para-impressoras-3d/?srsltid=AfmBOorK-HHICS0ZHKFJQ5_mtgsX6j1MG0lwHq1IEKTwhKM3bwe588AF. Acesso em: 21 de junho de 2025.
- AUTOCORE. **Placa de desenvolvimento WiFi e Bluetooth ESP32 38 pinos**. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/placa-de-desenvolvimento-wifi-e-bluetooth-esp32-38-pinos>. Acesso em: 21 de junho de 2025.
- BAÊTA, Cláudio; SILVA, Erich. Desenvolvimento de uma estufa de baixo custo para filamentos de impressoras 3D. **Research, Society and Development**, v. 12, p. e1912641857, jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.41857>.
- BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila Gritten. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gestão Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 3, p. 9-18, 2017.
- CASADAROBOTICA. **Micro ventilador / cooler / ventoinha 80x80x25mm 24v chocadeira**. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/robotica/atuadores/outros/micro-ventilador-cooler-ventoinha-80x80x25mm-24v->. Acesso em: 21 de junho de 2025.
- CHERVYAKOV, Fedor. **Low cost controller and power supply for 3D-printing filament dryer**. [S.l.]: Theseus, 2024. Bachelor's thesis (Degree Programme in Electronics) – Metropolia University of Applied Sciences. Disponível em: <http://www.theseus.fi/handle/10024/859709>. Acesso em: 2 de junho de 2025.
- CREALITY. **Creality space pi filament dryer**. Disponível em: https://www.creality.com/products/creality-space-pi-filament-dryer?cfb=ade133d4-5215-4f8f-9b5c-72bce19cfd1c&ifb=ade133d4-5215-4f8f-9b5c-72bce19cfd1c&scm=search.v39.101.102.103.104&score=1&ssp=&spm=..article_b1cfe3b2-

9629-4f38-9e5d-315258797a3e.header_1.1&spm_prev=..index.blog1_1.1 Acesso em: 21 de junho de 2025.

CRUMP, Scott. *Newsmakers 2008 Cumulação*. Enciclopedia.com, [s.d.]. Disponível em: <https://www.encyclopedia.com>. Acesso em: 19 de junho de 2025.

ELETROGATE. **Encoder decoder rotacional ky-040**. Disponível em: https://www.eletrogate.com/encoder-decoder-rotacional-ky-040?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&gclid=CjwKCAjw3mCBhBxEiwArN0QE-BuHUbdd6-5f9LMOrInadY9T5qRmQY-32R-8M1KpoyCXGQLQ8Bd4xoCPK0QAvD_BwE. Acesso em: 21 de junho de 2025.

FOZIT TECNOLOGIA. **Estufa de filamentos**. Disponível em: <https://www.fozit.com.br/estufa>. Acesso em: 21 de junho de 2025.

HARDBAGS. **Caixa isopor aluminizada térmica 45 litros pra bag motoboy**. Disponível em: <https://www.hardbags.com.br/caixa-isopor-aluminizada-termica-45-litros-pra-bag-motoboy>. Acesso em: 21 de junho de 2025.

KMEX. **Fonte de alimentação PD-200 RNG**. Disponível em: <http://kmex.com.br/exibir.asp?pag=Exibir&parent=Fontes&chave=131&sb=278&tsb=Serie-PD&prod=1031>. Acesso em: 21 de junho de 2025.

MORANDINI, Moisés; VECHIO, Gustavo. IMPRESSÃO 3D, TIPOS E POSSIBILIDADES: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, p. 67–77, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31510/inf.v17i2.866>.

OLIVEIRA, Sanches Ismael de. **Desenvolvimento de filamentos para impressão 3D (de hélices de drones) a partir de nanocompósitos poliméricos Poli (ácido láctico) e nanotubo de carbono**. 2023. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

PTCYIDU. **Aquecedor de vento**. Disponível em: <https://www.ptcyidu.com/pt/12v-24v-220v-room-ptc-car-air-fan-heater-875x60mm962>. Acesso em: 21 de junho de 2025.

SANTANA, L. et al.. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 4, p. e12267, 2018. DOI:10.1590/S1517-707620180004.0601. Acesso em: 21 de junho de 2025.

SILVA, Luiz Augusto; LESSA, Carmen Lúcia Avelar; SERVIDONI, Carlos Eduardo. Proposta de desenvolvimento de estufa para filamento de impressão 3D. **Engenharia Elétrica**, v. 27, n. 128, 23 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10201674>. Acesso em: 21 de junho de 2025.

TME. **Filamentos para impressão 3D – tipos, características e uso em prototipagem.** 2023. Disponível em: <https://www.tme.com/br/pt/news/library-articles/page/51976/filamentos-para-impressao-3d-tipos-caracteristicas-e-uso-em-prototipagem/>. Acesso em: 21 de junho de 2025.

USINAINFO. **Display LCD 20x4 I2C com fundo azul.** Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/display-arduino/display-lcd-20x4-i2c-com-fundo-azul-4655.html>. Acesso em: 21 de junho de 2025a.

USINAINFO. **Módulo sensor de umidade e temperature AM2303 DHT22 -40 a 80°C.** Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-umidade-arduino/modulo-sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22-40-a-80c-4613.html>. Acesso em: 21 de junho de 2025b.

VILLACRESES, Pedro Vicente Ibarra; PIO, Josué David Ortega. **Diseño de un sistema embobinador y secador de filamentos para impresión 3D.** 2022. 141 f. Tesis (Grado en Ingeniería) – Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Guayaquil.

VOOLT3D, **Filamento PLA Preto Velvet High Speed Premium - 1Kg.** Disponível em: <https://voolt3d.com.br/produtos/filamento-pla-preto-velvet-premium/>. Acesso em: 23 de novembro de 2025.

WANG, Chen; LI, Jingyao. Efeito do tratamento de secagem nas propriedades físicas de modelos PETG impressos em 3D baseados em extrusão de materiais. **SSRN**, 2024. Pré-print. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4987826>. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4987826>. Acesso em: 2 jun. 2025.

WIDYIANTO, Agus. Development of filament dryer for drying process of 3D printing filament in open storage condition. 2025. **Pré-print**. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5803806/v1>. Acesso em: 2 jun. 2025.

APÊNDICE A – Código de programação completo

```
#include <Arduino.h>

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#include <DHT.h>


// --- BIBLIOTECAS PARA EVITAR REINÍCIO ---

#include "soc/soc.h"

#include "soc/rtc_cntl_reg.h"


// --- DEFINIÇÕES DE HARDWARE ---

#define LCD_I2C_ADDR 0x27

#define ROTARY_ENCODER_A_PIN 19

#define ROTARY_ENCODER_B_PIN 18

#define ROTARY_ENCODER_BUTTON_PIN 5

#define DHT_PIN 4

#define DHT_TYPE DHT22

#define HEATER_RELAY_PIN 23


// --- CONFIGURAÇÕES DE CONTROLE ---

#define HYSTERESIS_DEGREES 1.0

#define SENSOR_READ_INTERVAL 5000

#define TEMP_CORRECTION 0.0 // Para eventual correção na leitura da
temperatura


// --- OBJETOS ---

LiquidCrystal_I2C lcd(LCD_I2C_ADDR, 20, 4);

DHT dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
```



```

float newTemp;

float newHum;

unsigned long currentTime;


// --- ESTADOS E VARIÁVEIS ---
enum SystemState { STATE_SPLASH_1,
                   STATE_SPLASH_2,
                   STATE_SET_TEMPERATURE,
                   STATE_SET_TIME,
                   STATE_CYCLE_RUNNING,
                   STATE_CYCLE_FINISHED };

SystemState currentState;


int targetTemperature = 30;
int targetHours = 1;
float currentTemperature = 0.0;
float currentHumidity = 0.0;
unsigned long stateEntryTime = 0;
unsigned long lastUpdateTime = 0;
unsigned long cycleEndTime = 0;


// --- ENCODER ---
volatile int encoderValue = 0;
int lastEncoderValue = 0;
volatile unsigned long lastButtonPress = 0;


void IRAM_ATTR readEncoder() {

```

```

static unsigned long lastInterruptTime = 0;

unsigned long interruptTime = millis();

if (interruptTime - lastInterruptTime > 5) {
    if (digitalRead(ROTARY_ENCODER_B_PIN) !=
digitalRead(ROTARY_ENCODER_A_PIN)) {
        encoderValue++;
    } else {
        encoderValue--;
    }
    lastInterruptTime = interruptTime;
}
}

// --- SETUP ---

void setup() {

    WRITE_PERI_REG(RTC_CNTL_BROWN_OUT_REG, 0);

    Serial.begin(115200);

    lcd.init();

    lcd.backlight();

    dht.begin();

    pinMode(HEATER_RELAY_PIN, OUTPUT);

    digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, LOW);

    pinMode(ROTARY_ENCODER_A_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(ROTARY_ENCODER_B_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(ROTARY_ENCODER_BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

```

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ROTARY_ENCODER_A_PIN), readEncoder,
CHANGE);
```

```
changeState(STATE_SPLASH_1);
}
```

```
// --- LOOP ---
```

```
void loop() {
```

```
    // Leitura do botão
```

```
    if (digitalRead(ROTARY_ENCODER_BUTTON_PIN) == LOW && millis() -
lastButtonPress > 300) {
```

```
        lastButtonPress = millis();
```

```
        switch (currentState) {
```

```
            case STATE_SET_TEMPERATURE: changeState(STATE_SET_TIME); break;
```

```
            case STATE_SET_TIME: startCycle(); break;
```

```
            case STATE_CYCLE_RUNNING:
```

```
                endCycle();
```

```
                changeState(STATE_CYCLE_FINISHED);
```

```
                break;
```

```
            case STATE_CYCLE_FINISHED: changeState(STATE_SET_TEMPERATURE); break;
```

```
            default: break;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
// Atualização por rotação do encoder
```

```
if (encoderValue != lastEncoderValue) {
```

```
    if (currentState == STATE_SET_TEMPERATURE) {
```

```
        targetTemperature = encoderValue;
```

```
        displaySetTemperature();
```

```

    } else if (currentState == STATE_SET_TIME) {
        targetHours = encoderValue;
        displaySetTime();
    }
    lastEncoderValue = encoderValue;
}

// Máquina de estados principal
currentTime = millis();

if (currentTime - lastUpdateTime >= SENSOR_READ_INTERVAL) {
    lastUpdateTime = currentTime;

    // --- LEITURA E FILTRAGEM DO SENSOR ---
    newTemp = dht.readTemperature();
    newHum = dht.readHumidity();
}

switch (currentState) {
    case STATE_SPLASH_1:
        if (currentTime - stateEntryTime >= 3000) { changeState(STATE_SPLASH_2);
        }
        break;
    case STATE_SPLASH_2:
        if (currentTime - stateEntryTime >= 2000) {
            changeState(STATE_SET_TEMPERATURE); }
        break;
    case STATE_CYCLE_RUNNING:
        if (currentTime >= cycleEndTime) {

```

```

        endCycle();

        changeState(STATE_CYCLE_FINISHED);
    }

    // Lógica do Relé (só atua se a leitura foi válida)
    if (currentTemperature < (targetTemperature - HYSTERESIS_DEGREES)) {
        digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, HIGH);
    }

    if (currentTemperature > (targetTemperature + HYSTERESIS_DEGREES)) {
        digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, LOW);
    }

    displayCycleRunning();

    break;

default:
    break;
}
}

// --- FUNÇÕES AUXILIARES ---
void startCycle() {
    cycleEndTime = millis() + ((unsigned long)targetHours * 3600 * 1000UL);
    changeState(STATE_CYCLE_RUNNING);
}

void endCycle() {
    digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, LOW);
}

```

```

void changeState(SystemState newState) {
    currentState = newState;
    stateEntryTime = millis();
    lcd.clear();
    switch (newState) {
        case STATE_SPLASH_1: displaySplashScreen1(); break;
        case STATE_SPLASH_2: break;
        case STATE_SET_TEMPERATURE:
            encoderValue = 30;
            lastEncoderValue = 30;
            targetTemperature = 30;
            displaySetTemperature();
            break;
        case STATE_SET_TIME:
            encoderValue = 1;
            lastEncoderValue = 1;
            targetHours = 1;
            displaySetTime();
            break;
        case STATE_CYCLE_RUNNING:
            //lastUpdateTime = millis() - SENSOR_READ_INTERVAL;
            displayCycleRunning();
            break;
        case STATE_CYCLE_FINISHED: displayCycleFinished(); break;
    }
}

// --- DISPLAY ---

```

```

void displaySplashScreen1() {
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("ABV3D DRYBOX");
}

void displaySetTemperature() {
    if (targetTemperature > 70) targetTemperature = 70;
    if (targetTemperature < 30) targetTemperature = 30;
    encoderValue = targetTemperature;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Selecione a Temperat");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Temp: ");
    lcd.print(targetTemperature);
    lcd.print(" ");
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C ");
    lcd.setCursor(2, 3);
    lcd.print("OK para continuar");
}

void displaySetTime() {
    if (targetHours > 24) targetHours = 24;
    if (targetHours < 1) targetHours = 1;
    encoderValue = targetHours;
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("Selecione o Tempo");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("HR: ");
    lcd.print(targetHours);
    lcd.print(" Horas ");
}

```

```

    lcd.setCursor(4, 3);

    lcd.print("OK para iniciar");
}

void displayCycleFinished() {
    lcd.setCursor(2, 1);

    lcd.print("Ciclo Finalizado");

    lcd.setCursor(5, 3);

    lcd.print("Novo Ciclo");
}

void displayCycleRunning() {
    unsigned long remainingMillis = 0;

    if (millis() < cycleEndTime) { remainingMillis = cycleEndTime - millis(); }

    char timeBuffer[12];

    sprintf(timeBuffer, "%02lu:%02lu:%02lu", (remainingMillis / 3600000),
(remainingMillis / 60000) % 60, (remainingMillis / 1000) % 60);

    lcd.setCursor(0, 0);

    lcd.print("Temp: ");

    lcd.print(currentTemperature, 1);

    lcd.print((char)223);

    lcd.print("C  ");

    lcd.setCursor(0, 1);

    lcd.print("Tempo: ");

    lcd.print(timeBuffer);

    lcd.setCursor(0, 2);

    lcd.print("Umidade: ");

    lcd.print(currentHumidity, 0);

    lcd.print("%  ");

    lcd.setCursor(3, 3);

```



```
    lcd.print("OK para finalizar");  
}
```