

ESTUDO DE IMPLEMENTAÇÃO DE UMA CAIXA ESTUFA INTELIGENTE PARA ARMAZENAR FILAMENTOS DE IMPRESSÃO 3D CAD/CAM

IMPLEMENTATION STUDY OF AN INTELLIGENT GREENHOUSE BOX FOR STORING 3D CAD/CAM PRINTING FILAMENTS

ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UNA CAJA DE INVERNADERO INTELIGENTE PARA ALMACENAR FILAMENTOS DE IMPRESIÓN 3D CAD/CAM



10.56238/edimpecto2025.023-004

Renan Almeida Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6162-7146>

Universidade do Estado do Amazonas, Brasil

E-mail: renan.almeida.tx@gmail.com

Edry Antonio Garcia Cisneros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2395-8663>

Universidade do Estado do Amazonas, Brasil

E-mail: ecisneros@uea.edu.br

RESUMO

O armazenamento de filamentos de impressão 3D em ambientes inadequados pode comprometer significativamente a qualidade das impressões, devido à absorção de umidade e degradação térmica do material. Filamentos como PLA, por exemplo, tornam-se quebradiços e instáveis quando expostos à umidade por longos períodos, resultando em entupimentos da extrusora e superfícies com acabamento irregular. Considerando esse cenário, torna importante o desenvolvimento de soluções que garantam a preservação das propriedades dos filamentos ao longo do tempo. Desenvolver uma estufa inteligente que mantenha os filamentos em temperatura e umidade controladas, de forma contínua, com monitoramento em tempo real, é o objetivo central desta pesquisa. A proposta visa aumentar a vida útil dos filamentos, preservar sua integridade mecânica e garantir qualidade nas impressões.

A metodologia adotada incluiu a pesquisa técnica de componentes e sistemas de controle, o desenvolvimento de um modelo CAD-CAM da estufa e a construção de um fluxograma de funcionamento baseado em sensores de temperatura e umidade, módulos de desumidificação ativa (Peltier e sílica gel), aquecimento via resistências elétricas e controle com ESP32.

Os resultados preliminares demonstraram que o armazenamento inadequado de PLA compromete sua performance, enquanto o armazenamento controlado permite impressões de maior qualidade e estabilidade. O projeto da estufa também foi ajustado para acomodar até 20 kg de filamento com estrutura vedada e modular. A estufa inteligente proposta é uma alternativa viável e eficaz para minimizar perdas de material, promover a sustentabilidade no uso de filamentos e garantir impressões mais eficientes.

Palavras-chave: Impressão 3D. Filamentos. Estufa inteligente. Armazenamento controlado. Umidade.

ABSTRACT

The storage of 3D printing filaments in unsuitable environments can significantly compromise the quality of the prints, due to moisture absorption and thermal degradation of the material. Filaments such as PLA, for example, become brittle and unstable when exposed to humidity for long periods, resulting in extruder clogging and unevenly finished surfaces. Considering this scenario, it is important to develop solutions that guarantee the preservation of filament properties over time. Developing an intelligent oven that keeps the filaments at a controlled temperature and humidity, continuously, with real-time monitoring, is the central objective of this research. The proposal aims to increase the useful life of the filaments, preserve their mechanical integrity and guarantee print quality.

The methodology adopted included technical research into components and control systems, the development of a CAD-CAM model of the oven and the construction of an operating flowchart based on temperature and humidity sensors, active dehumidification modules (Peltier and silica gel), heating via electrical resistors and control with ESP32.

Preliminary results have shown that inadequate storage of PLA compromises its performance, while controlled storage allows for prints of higher quality and stability. The design of the oven was also adjusted to accommodate up to 20 kg of filament with a sealed and modular structure. The proposed smart oven is a viable and effective alternative for minimizing material losses, promoting sustainability in the use of filament and ensuring more efficient printing.

Keywords: 3D printing. Filaments. Smart greenhouse. Controlled storage. Humidity.

RESUMEN

Almacenar los filamentos de impresión 3D en entornos inadecuados puede comprometer considerablemente la calidad de las impresiones, debido a la absorción de humedad y la degradación térmica del material. Filamentos como el PLA, por ejemplo, se vuelven quebradizos e inestables cuando se exponen a la humedad durante largos periodos, lo que provoca atascos en el extrusor y superficies con acabados desiguales. Teniendo en cuenta este escenario, es importante desarrollar soluciones que garanticen la conservación de las propiedades del filamento a lo largo del tiempo. Desarrollar un horno inteligente que mantenga los filamentos a una temperatura y humedad controladas, de forma continua, con monitorización en tiempo real, es el objetivo central de esta investigación. La propuesta pretende aumentar la vida útil de los filamentos, preservar su integridad mecánica y garantizar la calidad de impresión.

La metodología adoptada incluyó la investigación técnica de componentes y sistemas de control, el desarrollo de un modelo CAD-CAM del horno y la construcción de un diagrama de flujo operativo basado en sensores de temperatura y humedad, módulos de deshumidificación activa (Peltier y gel de sílice), calentamiento a través de resistencias eléctricas y control con ESP32.

Los resultados preliminares han demostrado que un almacenamiento inadecuado del PLA pone en peligro su rendimiento, mientras que un almacenamiento controlado permite obtener impresiones de mayor calidad y estabilidad. El diseño del horno también se ajustó para acomodar hasta 20 kg de filamento con una estructura sellada y modular. El horno inteligente propuesto es una alternativa viable y eficaz para minimizar las pérdidas de material, promover la sostenibilidad en el uso del filamento y garantizar una impresión más eficiente.

Palabras clave: Impresión 3D. Filamentos. Invernadero inteligente. Almacenamiento controlado. Humedad.



1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D tem se consolidado como uma ferramenta de prototipagem e produção personalizada nos últimos anos, sendo utilizada em setores como engenharia, odontologia, design e educação. O processo se baseia na deposição sucessiva de camadas de material termoplástico fundido, como PLA (ácido polilático) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno), para formar objetos tridimensionais. Entretanto, um dos desafios enfrentados pelos usuários é o armazenamento adequado dos filamentos utilizados nesse processo.

Conforme destacado por Carvalho (2019), a umidade absorvida pelo filamento PLA pode comprometer significativamente suas propriedades mecânicas e gerar variações dimensionais, afetando a qualidade da impressão 3D e tornando essencial a manutenção do filamento em ambiente controlado. A absorção de umidade pelos filamentos termoplásticos altera seu ponto de fusão, promove a formação de bolhas internas durante a extrusão, gera inconsistências no fluxo de material e leva à formação de peças com baixa adesão entre camadas, superfícies rugosas e falhas estruturais. Essa degradação também pode resultar em entupimento do bico extrusor, falhas de aderência à mesa de impressão e interrupção do processo, representando perdas materiais e de tempo.

O PLA (ácido polilático) é um polímero termoplástico biodegradável derivado de fontes renováveis como amido de milho ou cana-de-açúcar. Sua estrutura química contém grupos éster, que são altamente suscetíveis à hidrólise — uma reação química em que a água quebra ligações moleculares. Essa característica torna o PLA mais vulnerável à degradação quando exposto à umidade do ar, mesmo em níveis moderados. Além disso, o PLA possui uma baixa temperatura de transição vítrea (cerca de 60 °C), o que faz com que ele perca rigidez rapidamente em ambientes ligeiramente aquecidos, facilitando ainda mais a absorção de água.

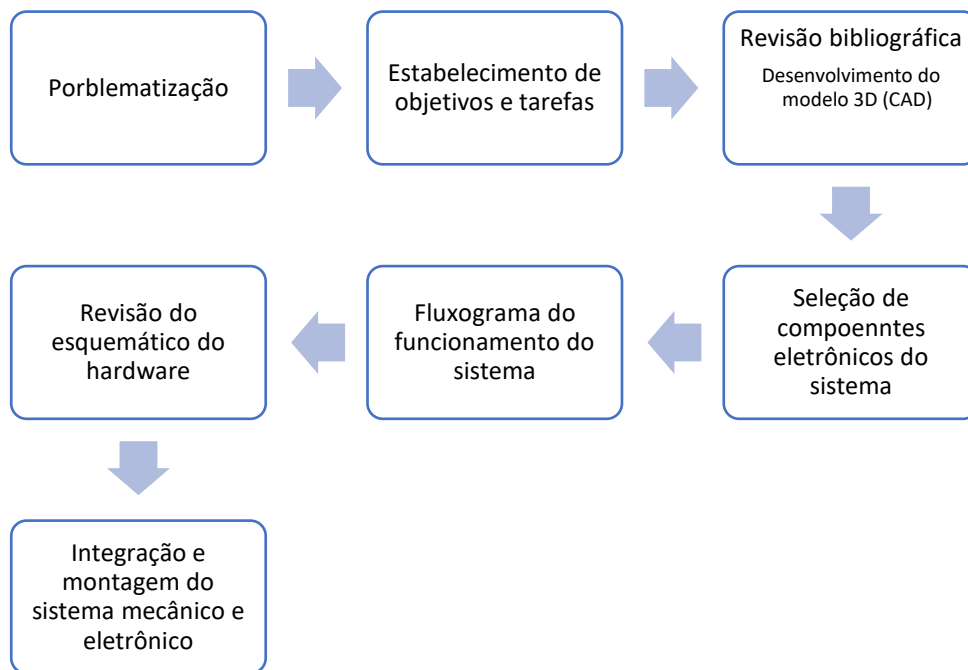
Diante dessa problemática, este projeto tem como objetivo desenvolver uma estufa inteligente para o armazenamento de filamentos de impressão 3D, capaz de manter a temperatura e a umidade dentro de faixas ideais por meio de automação e monitoramento em tempo real. O sistema proposto busca preservar a integridade dos filamentos ao longo do tempo, ampliando sua vida útil e garantindo qualidade nas impressões.

2 TAREFAS DESENVOLVIDAS ATÉ O MOMENTO

- Testes comparativos entre filamentos armazenados em diferentes condições ambientais;
- Modelagem CAD-CAM da estufa;
- Definição de requisitos funcionais e estruturais do sistema;
- Desenvolvimento do fluxograma de controle embarcado;
- Estudo e especificação dos sensores, atuadores e microcontrolador.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como pesquisa experimental aplicada, voltada ao desenvolvimento de um protótipo funcional de uma estufa inteligente para armazenamento de filamentos de impressão 3D. O projeto foi conduzido em etapas estruturadas, combinando revisão bibliográfica técnica, modelagem tridimensional (CAD), seleção de componentes eletrônicos, simulações de funcionamento e testes práticos de armazenamento. Inicialmente, foi realizada uma análise das propriedades térmicas e higroscópicas dos principais filamentos utilizados na impressão 3D, com destaque para o PLA, visando compreender os efeitos da umidade sobre sua integridade física e desempenho durante a extrusão. Em seguida, foram definidos os requisitos funcionais da estufa: manter umidade relativa inferior a 10%, temperatura estável entre 35 °C e 45 °C, controle automático por microcontrolador e capacidade de armazenar até 20 kg de filamento em bobinas.



O projeto CAD-CAM da estufa foi desenvolvido considerando uma estrutura modular de aproximadamente 100x100x100 cm, fabricável em alumínio ou aço inoxidável, com prateleiras ajustáveis e vedação hermética por borracha de silicone. Para garantir o isolamento térmico interno e evitar dissipação de calor, foi especificado o uso de forramento com lã de vidro ou lã de rocha.

Para o monitoramento ambiental, foram selecionados sensores de temperatura e umidade (como DHT22 ou SHT30), e o controle foi delegado a um microcontrolador ESP32, responsável pela leitura dos sensores, acionamento do sistema de aquecimento (resistências cerâmicas de baixa potência).

Um fluxograma lógico de funcionamento foi elaborado para orientar a estrutura de firmware embarcado. O sistema opera em ciclos contínuos, realizando a leitura dos sensores e ativando os

atuadores conforme as faixas de tolerância pré-configuradas. Foram previstas rotinas de segurança, como desligamento automático em caso de falha dos sensores ou superaquecimento, além de indicadores visuais de status.

4 RESULTADOS

A etapa experimental concentrou-se na avaliação do comportamento de filamentos PLA armazenados sob diferentes condições, com o objetivo de quantificar os efeitos da umidade e validar a necessidade de um ambiente controlado como o proposto na caixa estufa inteligente. Nos testes realizados, o filamento **PLA Preto Premium** armazenado em ambiente aberto apresentou fragilidade acentuada, com quebras durante a impressão, entupimentos do bico extrusor e baixa adesão à mesa de impressão. Esses problemas comprometeram a qualidade das peças e indicaram a degradação estrutural do material devido à absorção de umidade.

Já o PLA lacrado, sem exposição direta à umidade ambiente, obteve desempenho superior. Embora ainda apresentasse pequena fragilidade, o material não ocasionou entupimentos nem falhas de extrusão, com fluxo estável e impressões com acabamento visual aceitável. Esses dados corroboram estudos prévios (CARVALHO, 2019; KAMIO e ONDA, 2022) que apontam o comportamento higroscópico do PLA como fator crítico para sua estabilidade térmica e mecânica.

Em uma terceira condição, foi avaliado o impacto do pré-aquecimento do PLA aberto em uma miniestufa convencional (modelo eSun) por 2 horas antes da impressão. O resultado foi positivo: o filamento exibiu fluxo consistente, ausência de entupimentos e peças com excelente acabamento superficial, evidenciando a eficácia do controle térmico mesmo de forma pontual.

Figura 1 – Estufa utilizada para os testes de armazenamento



Autor: autores, 2025.

Além dos testes com filamentos, foi concluído o design inicial da estufa, incluindo modelagem CAD/CAM e definição dos requisitos técnicos para o controle automatizado por ESP32, sensores DHT22 e desumidificação ativa. As impressoras utilizadas foram modelos Creality CR10s e K1 MAX, garantindo compatibilidade com filamentos de uso profissional.

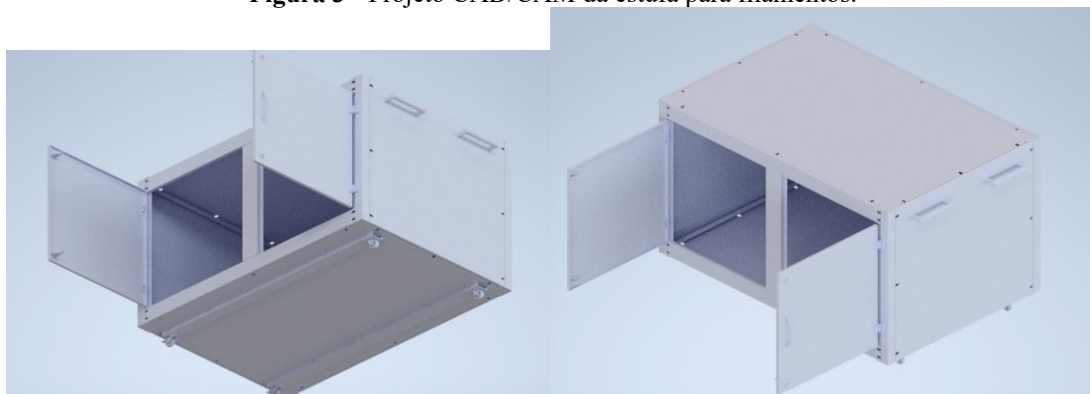
Figura 2 –Impressoras utilizadas para os testes de impressão

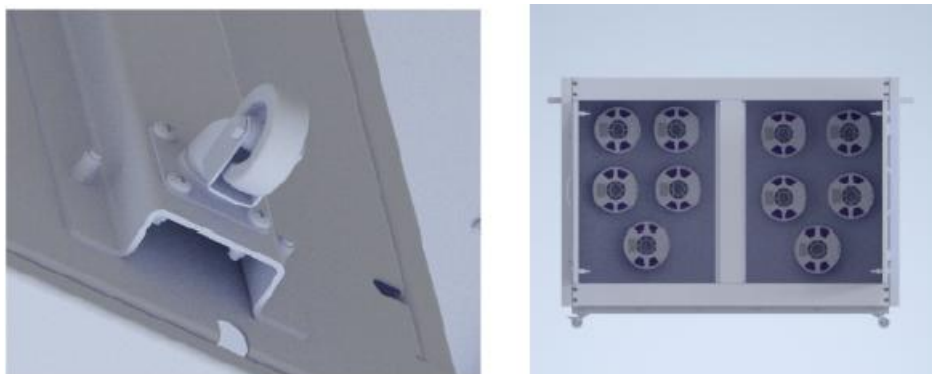


Autor: autores, 2025.

Esses resultados reforçam a viabilidade da proposta e sua importância prática para garantir longevidade aos filamentos, reduzir desperdícios e melhorar significativamente a qualidade da impressão 3D.

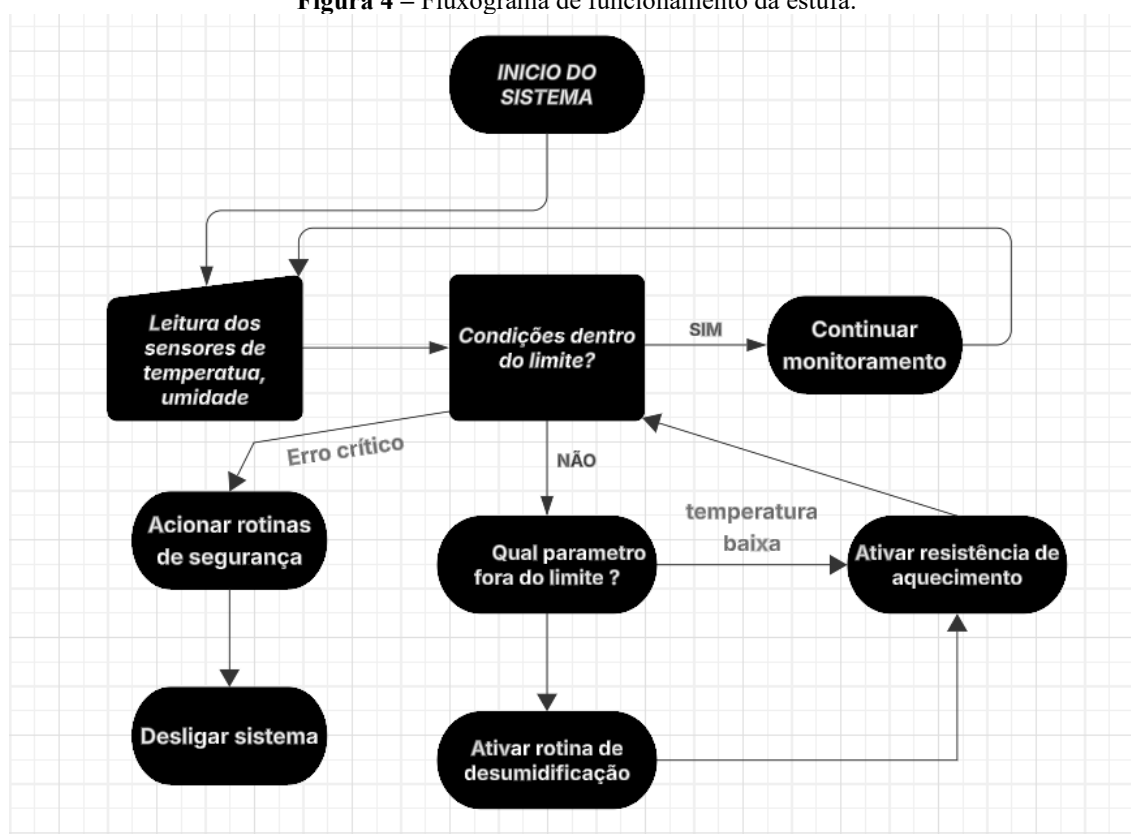
Figura 3 - Projeto CAD/CAM da estufa para filamentos.





Autor: autores, 2025.

Figura 4 – Fluxograma de funcionamento da estufa.



Autor: autores, 2025.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante os testes práticos confirmam a influência da umidade no desempenho de filamentos termoplásticos, especialmente o PLA. O comportamento fragilizado, os entupimentos e a má adesão observados em filamentos armazenados em ambiente aberto são compatíveis com a literatura técnica, que caracteriza o PLA como um material altamente higroscópico e termicamente instável (CARVALHO, 2019; KAMIO e ONDA, 2022). Esses efeitos comprometem diretamente a qualidade da impressão e aumentam o índice de refugo e retrabalho, especialmente em aplicações que demandam precisão dimensional e acabamento superficial adequado.

Embora o armazenamento lacrado mitigue parcialmente os efeitos da umidade, ele não elimina por completo o risco de degradação, especialmente em ambientes. Já o aquecimento pré-impressão se



mostrou uma solução eficaz, mas pontual, que não resolve o problema de forma contínua ou preventiva. Isso reforça a necessidade de uma solução de armazenamento ativa e automatizada, como a estufa inteligente proposta.

O projeto desenvolvido apresenta um diferencial relevante ao propor um sistema automatizado de controle ambiental, com monitoramento em tempo real e atuação adaptativa conforme as condições internas da caixa. O uso de sensores precisos, microcontrolador e isolamento térmico com lã de vidro ou de rocha confere ao protótipo robustez, eficiência energética e escalabilidade.

Dessa forma, os dados obtidos não apenas validam o conceito da estufa inteligente, como também indicam que seu uso pode representar uma solução prática e econômica para prolongar a vida útil dos filamentos e elevar o padrão de qualidade das impressões.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver uma solução inteligente para o armazenamento de filamentos de impressão 3D, buscando mitigar os efeitos negativos da umidade e temperatura inadequadas sobre materiais como o PLA, sensíveis a essas variáveis. Através da elaboração de um projeto CAD/CAM estruturado, da seleção de componentes e da construção de um sistema de controle baseado em microcontrolador, foi possível propor uma estufa funcional, tecnicamente viável e de aplicação direta em ambientes acadêmicos e profissionais.

Os testes práticos demonstraram que o armazenamento inadequado compromete o desempenho dos filamentos, resultando em falhas de extrusão, baixa adesão e perda de integridade mecânica das peças impressas. Por outro lado, o uso de uma estufa com controle térmico — mesmo em soluções comerciais simples — comprovou melhora substancial na qualidade das impressões, validando a proposta de uma estrutura mais robusta, automatizada e contínua.

A estufa inteligente desenvolvida se destaca por integrar controle de temperatura e umidade em tempo real, isolamento térmico com materiais como lã de vidro ou rocha, e uma estrutura modular capaz de armazenar até 20 kg de filamentos. Essa abordagem promove não apenas o reaproveitamento de materiais sensíveis, mas também reduz o desperdício, melhora a eficiência da impressão e amplia a vida útil dos insumos.



REFERÊNCIAS

CARUSO, R. C.; SILVA, S. de C. R. da; MARCONDES, R. USO DA IMPRESSÃO 3D NO ENSINO-APRENDIZAGEM: REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS. Boletim de Conjuntura (BOCA), Boa Vista, v. 16, n. 47, p. 448–473, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.10208017. Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/2704>. Acesso em: 3 jun. 2025.

CARVALHO, M. N. "Análise de desempenho de um ciclo de regeneração de sílica gel como desumidificador de filamentos para impressão 3D" (2019).

Farah S, Anderson DG, Langer R. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications - A comprehensive review. Adv Drug Deliv Rev. 2016 Dec 15;107:367-392. doi: 10.1016/j.addr.2016.06.012. Epub 2016 Jun 26. PMID: 27356150.

Wittbrodt, Ben & Pearce, Joshua. (2015). The Effects of PLA Color on Material Properties of 3-D Printed Components. Additive Manufacturing. 8. 10.1016/j.addma.2015.09.006.