

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE EXTRUSORA DE FILAMENTO PARA IMPRESSÃO 3D QUE UTILIZA MATERIAL RECICLADO

Ana Beatriz Azevedo Nascimento¹, Gerlane de Sousa Nascimento², Ingrid Emanuelly da Silva de Oliveira³, Alesandro Macio Sousa Alves⁴, Sacha Dupin Gade⁵, Igor Soares Brasil⁶

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Açailândia, Brasil
(azevedobeatriz@acad.ifma.edu.br)

^{2,3,4,5,6} Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Açailândia, Brasil

Resumo: Este estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma extrusora de filamentos para impressão 3D utilizando materiais recicláveis. No contexto ambiental atual, a utilização de materiais recicláveis nos processos de impressão 3D promove a adoção de uma economia circular, na qual os materiais são reutilizados e reintegrados à cadeia de produção. Com este trabalho, almeja-se obter um protótipo de extrusora capaz de alcançar eficientemente os objetivos propostos.

Palavras-chave: Protótipo; Materiais recicláveis; Extrusora; Impressão 3D;

INTRODUÇÃO

Os métodos e processos de impressão 3D estão cada vez mais presentes em diversos setores, possibilitando a fabricação de peças e produtos de forma ágil e personalizada. No entanto, a utilização extensiva de materiais virgens na fabricação de filamentos para impressão 3D tem levado a preocupações ambientais e econômicas. Neste conjunto de circunstâncias, a reciclagem de plásticos e outros materiais para a produção de filamentos torna-se uma alternativa sustentável e viável.

Uma extrusora é uma máquina amplamente utilizada na indústria para transformar materiais de diversos tipos em produtos acabados. Essa máquina atua submetendo o material a altas temperaturas e pressão, promovendo sua fusão e modelagem por meio de uma matriz, que define o formato final do produto. De acordo com Cilerplas (2024), dependendo da aplicação, as extrusoras podem ser classificadas em dois tipos principais:

- Rosca simples: Utilizada principalmente para materiais homogêneos e processos mais simples, como a fabricação de filamentos para impressão 3D;
- Rosca dupla: Ideal para materiais com maior necessidade de mistura, como compostos poliméricos contendo aditivos ou cargas.

A escolha da máquina adequada e os ajustes nos parâmetros de operação são fundamentais para

alcançar alta qualidade e eficiência no processo de extrusão.

A construção do protótipo de extrusora é de substancial relevância para a compreensão em estudos de conformação mecânica, sendo específica em estudos de processos de extrusão, além de futuramente ser usada e aprimorada em atividades no laboratório de robótica do IFMA-Campus Açailândia, visando a diminuição dos impactos ambientais causados pelo despojamento de materiais descartados após a utilização na impressora 3D, bem como para a disseminação de práticas sustentáveis na indústria de manufatura aditiva.

Diante disso, este estudo sugere a construção de um protótipo de extrusora de filamento para impressão 3D que usa matéria-prima reciclada. O objetivo é desenvolver um equipamento eficiente e acessível capaz de transformar resíduos plásticos em filamentos de qualidade para uso em impressoras 3D, reduzindo significativamente os custos e diminuindo a dependência de recursos naturais. Esse equipamento será desenvolvido através da análise de diferentes processos de reciclagem e conformação mecânica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais usados para esse projeto foram baseados nos materiais usados no estudo “MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D”, desenvolvido no “Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA” e nos materiais

usados no vídeo do Youtube “EXTRUSORA DE FILAMENTO” do canal “MARMAO78”.

Realizamos a montagem mecânica do protótipo em várias etapas, para assegurar o alinhamento, a estabilidade e eficiência do sistema de extrusão.

Tabela 1. Materiais utilizados

Material	Dimensionamento	Quantidade
Bico de redução	1,75 mm	1
Botão de emergência	-	1
Broca	1,75 mm	1
Chave inversora de rotação	-	1
Chapa de MDF	1 m ²	1
Controlador de Temperatura NOVUS N1030-PR-24V	-	1
Fio de resistência elétrica de 0,55Ω (Ohm)	2,3mm x 1000mm	1
Fonte chaveada 12V 30A	-	1
Led vermelho 5mm	-	1
Motor 12V (motor de janela de automóvel)	-	1
Plug tampão ¾ de polegada		1
PMW 12-40V 10A	-	1
Ponta de extrusão	1,75 mm	1
Regulador de voltagem 12V/3V	-	1
Relé 5V 40A	-	1
Sensor tipo K	-	1
Tubo de ferro	50 cm	1

Ventoinhas cooler	120mm x 120mm x 38mm	1
Tomada padrão de três pinos (127V/220V), com fusível de 10A	-	1

dade e eficiência do sistema de extrusão.

- Estruturação da Base e Suportes

Para a construção da base, primeiramente foram realizados cortes e posteriormente a junção do MDF em pedaços de 15 cm x 75 cm e 15 cm x 15 cm, por meio de cantoneiras e parafusos, formando uma base sólida. As placas menores de 15 cm x 15 cm, previamente furadas no centro, foram posicionadas perpendicularmente à base para servir como suporte vertical para o sistema de extrusão, garantindo alinhamento e estabilidade.

Na parte traseira do protótipo, as placas de 15 cm x 18 cm foram fixadas nas placas maiores para suportar o painel de instrumentos. Esse painel concentra os botões de controle e os dispositivos de segurança, facilitando o acesso do operador durante a operação.



Figura 1. Estrutura de MDF para a extrusora

- Instalação do Tubo de Ferro e Flange

No centro do tubo de ferro foi feito um corte retangular vertical de 7 cm para permitir a alimentação do material reciclado. Após essa etapa o tubo foi inserido nos furos centrais das placas de 15 cm x 15 cm, e fixado em um flange de PVC, que foi preso à estrutura de MDF. Essa conexão garantiu que o tubo permanecesse estável durante o processo de extrusão, além de facilitar sua montagem e desmontagem para manutenção.

- Preparo da Ponta de Extrusão

A ponta de extrusão foi fabricada a partir de um plug tampão e um bico de extrusão de impressora 3D com o seu furo reaberto para 1,75mm. Logo em seguida foi confeccionada a rosca interna no tampão, compatível com as especificações do bico de extrusão, permitindo que o bico fosse rosqueado firmemente, criando uma conexão estável e minimizando a possibilidade de vazamentos durante o processo de extrusão.

- Integração do Motor e Rosca Extrusora

A rosca extrusora foi conectada ao motor 12V por meio de um acoplamento (6 mm x 12 mm). O motor foi fixado na estrutura com parafusos, e seu alinhamento com a rosca foi ajustado para minimizar vibrações e garantir a eficiência na movimentação do plástico.

- Fabricação e instalação do funil de alimentação

Para a alimentação do material plástico dentro do tubo de extrusão, foi projetado um funil de alimentação. Ele foi impresso em uma impressora 3D pertencente ao laboratório de robótica do campus Açaílândia, utilizando material PLA. A peça possui um furo redondo horizontal na base para a inserção do tubo de extrusão, se conectando diretamente ao corte feito no mesmo para a entrada do material plástico no tubo. Além disso, a peça é oca por dentro, possibilitando a entrada de água de resfriamento, por meio de pequenos furos laterais de 10mm de diâmetro. O funil foi fixado diretamente à estrutura da extrusora.



Figura 2. Funil de alimentação com sistema de resfriamento.

A montagem elétrica e eletrônica do protótipo foi executada a fim de possibilitar o perfeito funcionamento da extrusora de modo seguro e controle dos sistemas de aquecimento, ventilação e movimentação do motor. A montagem foi dividida em três sub etapas: a instalação de dispositivos de segurança, a conexão dos sistemas de ventilação e motor e a implementação do circuito de controle do aquecedor.

Em razão do uso de tensões e correntes elevadas em determinadas partes do sistema, a segurança foi uma prioridade durante a montagem elétrica e eletrônica do protótipo a fim de diminuir os riscos de mau funcionamento, sobrecargas ou superaquecimentos, foram introduzidos dois dispositivos principais de proteção e controle:

O primeiro dispositivo implementado foi uma tomada padrão de três pinos (127V/220V), com fusível de 10A, responsável por proteger o sistema contra sobrecargas elétricas, interrompendo

automaticamente a alimentação caso ocorram irregularidades. O segundo dispositivo de segurança foi um botão de emergência, também alimentado por 220V, instalado entre a tomada de entrada e o restante do circuito. Este botão permite desligar todo o sistema de forma instantânea em situações de falha ou superaquecimento, garantindo uma resposta rápida e segura. O botão foi posicionado em cima do painel de controle, permitindo que seja acionado prontamente quando necessário.

O motor foi ajustado para operar com controle dinâmico de velocidade, utilizando um circuito PWM (*Pulse Width Modulation*), permitindo o ajuste da intensidade da corrente elétrica enviada ao motor e possibilitando um controle mais flexível sobre o fluxo de plástico extrudado, assim contribuindo para uma produção precisa de filamento. Os ajustes do motor envolveram a integração de um potenciômetro em série com o PWM, oferecendo ajustes dinâmicos e manuais de velocidade de acordo com as necessidades. Além disso, o motor foi conectado a um botão liga/desliga de 12V e uma chave inversora de tensão, permitindo alterar a direção de rotação da rosca.

O sistema de ventilação foi projetado para resfriar componentes como o motor, o tubo de ferro e a fonte de alimentação, evitando que eles superaqueçam durante o funcionamento da máquina. Três ventoinhas de 12V foram ligadas em paralelo à fonte de alimentação e controladas separadamente por botões liga/desliga, possibilitando o controle independente sobre cada um.

A alimentação elétrica é fornecida por uma fonte de 12V e 30A, dividida em duas saídas de 15A. Uma das saídas foi destinada ao motor e às ventoinhas, garantindo a operação simultânea desses componentes sem sobrecarregar o sistema. A alimentação do aquecedor foi fornecida por uma das saídas da fonte de 12V 30A enquanto o controlador de temperatura foi alimentado pela fonte da concessionária de energia (220V), assegurando o funcionamento estável do circuito de controle térmico.

Para o aquecimento do tubo de ferro, foi confeccionado um sistema de aquecedor utilizando um arame de 1m de comprimento e 2,3mm de diâmetro. Este arame foi moldado no formato de uma mola helicoidal, permitindo a distribuição uniforme do calor e evitando curtos-circuitos ao garantir que as espiras não entrem em contato direto entre si e nem com o tubo de alimentação. Uma vez submetido a corrente elétrica, o arame aquece devido à sua resistência ôhmica.

Para garantir que o tubo de ferro alcançasse e mantivesse uma temperatura adequada para a extrusão do filamento sem causar degradação no funil de

alimentação ou no material extrudado, foi desenvolvido um sistema de controle de temperatura.



Figura 3. Mola helicoidal para o aquecimento.

A primeira etapa consistiu na instalação do aquecedor na ponta do tubo de ferro. Posteriormente, foi fixado o sensor de temperatura tipo K na superfície externa do tubo, conectado ao controlador de temperatura, para possibilitar o monitoramento contínuo das condições térmicas.

Para o funcionamento do aquecedor, foi projetado um circuito específico. O controlador de temperatura, alimentado por 220V, direto da rede da concessionária, recebe os sinais do sensor tipo K para monitorar a temperatura registrada na ponta do tubo, e envia comandos a um relé de 5V, que fecha o circuito, permitindo que o aquecedor seja alimentado pela fonte de 12V. O relé precisa de uma tensão estável de 5V para funcionar, então foi incorporado ao circuito um regulador de tensão, que é responsável por reduzir a voltagem de 12V para 5V, com o suporte de um resistor de 560 ohms.

Para proporcionar um controle visual do funcionamento do circuito, foi adicionado um LED de segurança. Esse componente permitiu verificar visualmente, o estado do aquecedor, acendendo quando estavam em operação e apagando quando o circuito era desativado. Assim assegurando um controle preciso da temperatura durante o processo de extrusão, prevenindo falhas e superaquecimentos

- Testes Operacionais e Ajustes

Durante os testes operacionais, o motor foi acionado em diferentes velocidades, com ajustes realizados pelo potenciômetro conectado ao PWM. Estes testes permitiram avaliar o fluxo do material na rosca extrusora e verificar a integração adequada entre os sistemas elétrico e mecânico, assegurando a eficiência do protótipo, inclusive o sentido de rotação. O aquecedor foi testado quanto ao número de espiras, tensão, resistência e amperagem a fim de otimizar o tempo de aquecimento e economia de energia. Quanto ao controlador de temperatura foi configurado para atingir 190°C, mantendo a estabilidade térmica, e foi feito também a calibrações do termopar. Foi realizada a extrusão de filamento de PLA oriundo dos suportes de impressão e peças defeituosas dos projetos de pesquisas realizados pelo grupo AÇAIMOV, introduzido no funil em pequenas porções. O

filamento apresentou diâmetro médio de 1,6 mm. Para ajustar, a velocidade do motor foi reduzida, estabilizando o fluxo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo foi desenvolvido seguindo as etapas descritas em materiais e métodos. A base do projeto foi montada a partir de chapas de MDF reaproveitados de portas de guarda-roupas em desuso e alguns elementos mecânicos, usamos um sistema de monitoramento de temperatura para permitir alguns ajustes.

O projeto foi capaz de produzir ligamentos com um diâmetro de aproximadamente 1,75mm conforme o furo feito atendendo um certo padrão.

Os ligamentos indicaram boa consistência estrutural, demonstrando flexibilidade e resistência compatíveis com as das fibras comerciais. O sistema de monitoramento de temperatura foi decisivo para manter a estabilidade térmica, consumindo, em média, 190°C durante o processo de extrusão. O protótipo transformou resquícios plásticos em filamentos reutilizáveis, reduzindo o despojo indevido de aproximadamente 100% do material.

As análises do material extrudado demonstraram que a máquina atingiu o objetivo proposto, embora não tenha sido possível o processo de desenvolvimento ser isento de falhas ou descontinuidades do filamento extrudado podendo acarretar possíveis falhas ou sub extrusões nas peças impressas com este tipo de filamento.

Estudos anteriores, demonstram que a extrusão desses elementos pode conter desafios relacionados a propriedades com a resistência mecânica e térmica, tornando-o quebradiço ou se ele possa absorver umidade ou ressecamento devido à porosidade e/ou rugosidade, além de riscos com certa profundidade no sentido de extrusão devido ao tempo excessivo de aquecimento; saliência em alto relevo na superfície do filamento; descontinuidade na superfície ou mesmo superfície opaca com granulação grosseira na matriz do material.

Esses obstáculos foram amenizados por meio do controle de temperatura e ajuste na programação visual quanto ao formato e consistência do filamento.

CONCLUSÃO

Neste estudo, realizamos uma análise completa sobre a criação de um protótipo de extrusão de filamentos para impressão 3D com materiais reciclados. O estudo abordou conceitos fundamentais relacionados ao reaproveitamento de polímeros, ao processo de extrusão e ao uso de tecnologias de manufatura aditiva, enfatizando os benefícios econômicos e ecológicos dessa prática.

O desenvolvimento do projeto destacou a possibilidade de converter resíduos plásticos em ligamentos de qualidade para impressão 3D, ajudando a reduzir custos e a promover avanços sustentáveis na fabricação aditiva. Ao longo do processo de desenvolvimento foram identificados os principais empecilhos relacionados ao controle de temperatura, falhas de impressão 3D, velocidade de extrusão e qualidade do ligante produzido, que foram minimizadas graças aos sistemas de gestão e controle dos componentes da máquina.

Como resultado, o protótipo desenvolvido constitui uma alternativa eficiente e acessível para produzir filamentos a partir de materiais reciclados, aumentando o potencial da economia circular e ajudando a reduzir o impacto ambiental criado pelo descarte inadequado de plástico utilizado na fabricação aditiva.

- Sugestões para trabalhos futuros

O artigo fornece uma base sólida para futuras melhorias, abrindo caminho para diversas possibilidades de desenvolvimento, entre elas: a automação do sistema de controle, automação e rebobinamento do filamento, controle da rugosidade final do filamento, melhorias no controle de resfriamento do material extrudado e incentivar a utilização de tecnologias baseadas em materiais reciclados, promovendo não só a sustentabilidade ambiental, mas também o progresso contínuo nas áreas da fabricação aditiva e da engenharia de materiais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Açailândia, pelo suporte na execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Afinal, como funciona uma impressora 3D FDM? Disponível em: <https://3dlab.com.br/afinal-como-funciona-uma-impressora-3d-fdm/>. Acesso em: 28 jul. 2024.

ARTIS. Tecnologias de prototipagem: estereolitografia SLA. Brasília: Clínica de Odontologia Integrada Artis, 2006. Disponível em: <https://www.artis.com.br/>. Acesso em: 27 ago. 2024.

BRITTI BACALHAU, J.; CUNHA, T.; AFONSO, C. N. M. *Effect of Ni content on the Hardenability of a Bainitic Steel for Plastics Processing*. COBEM 2017 (24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering), Curitiba, 2006. Acesso em: 16 ago. 2024.

CAVALIERE, Irene. Reciclagem de polímeros. Fiocruz, 2021. Disponível em:

<https://www.invivo.fiocruz.br/saude/reciclagem-de-polimeros/>. Acesso em: 04 abr. 2024.

CHUA, C.K.; LEONG, K.F.; LIM, C.S. *Rapid Prototyping: Principles and Applications in Manufacturing*. Singapura: World Scientific, 2010. Disponível em:<http://dx.doi.org/10.1142/6665>. Acesso em: 27 ago. 2024.

CILERPLAS. Rosca para extrusora: conheça os principais tipos e suas aplicações - MPI Technology. Disponível em: <https://www.cilerplas.com.br/blog/categorias/artigos/rosca-para-extrusora-conheca-os-principais-tipos-e-suas-aplicacoes>. Acesso em: 02 ago. 2024

CIPULLO, G. Extrusão: entenda este processo industrial - Korp ERP. Disponível em: <https://www.korp.com.br/extrusao-entenda-este-processo-industrial/>. Acesso em: 03 ago. 2024.

CLEITON, U. et al. MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D MINI DIDACTIC EXTRUDER OF POLYMERS USED IN 3D PRINTERS. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1478/1/MINI%20EXTRUSORA%20DID%c3%81TICA%20DE%20POL%c3%8dMEROS%20UTILIZADOS%20EM%20IMPRESSORAS%203D.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

COLPANI, J. Uma história de sucesso - descubra como surgiu a impressora 3D. Disponível em: <https://printwayy.com/blog/uma-historia-de-sucesso-descubra-como-surgiu-a-impressora-3d>. Acesso em: 29 jul. 2024.

Impressora 3D SLA: entenda tudo sobre essa tecnologia. Disponível em: <https://3dlab.com.br/impressora-3d-sla/>. Acesso em: 28 jul. 2024.

MARMAO78. Extrusora de Filamento Vídeo 1. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sxiyiaSphPg&list=PLTUznmjy-tEyrnn-ojqAHSEQk8YkwaY4c>. Acesso em: 14 nov. 2024.

O que é impressora 3D? Saiba tudo sobre ela e tire as suas dúvidas!. Filamentos 3D Brasil. Disponível em: <https://www.filamentos3dbrasil.com.br/filamento-impressora-3d-saiba-tudo-sobre-ele/>. Acesso em: 28 jul. 2024

Visão geral da sinterização a laser seletivo. 3D Systems, cs. Disponível em: <https://br.3dsystems.com/selective-laser-sintering>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurelio. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química nova, v. 28, p. 65-72, 2005.
<https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/>. Acesso em: 13 jun. 2024