

OBTENÇÃO DE FILAMENTOS CONTÍNUOS EM FIBRA DE CARBONO/TERMOPLÁSTICOS PARA IMPRESSÃO 3D

Herbert Henri Araujo¹ (IC), Antonio Carlos Ancelotti Junior (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Palavras-chave: Manufatura aditiva, pultrusão, reforço contínuo, FFF/FDM.

Introdução

Este trabalho visa a adaptação de uma extrusora e o desenvolvimento de uma linha de produção para a obtenção de filamentos de termoplásticos reforçados com fibra contínua de carbono, focados em aplicações na impressão 3D. A manufatura aditiva, especialmente a técnica FDM/FFF, tem ganhado destaque devido à flexibilidade e à eficiência em produzir peças finais. No entanto, há uma crescente demanda por materiais com alta resistência mecânica e leveza, característica que pode ser potencializada ao utilizar fibras de reforço contínuo, como fibra de carbono. O estudo explora o desenvolvimento e adaptação de um hot-end específico para essa aplicação, bem como a realização de ensaios e caracterização dos materiais e peças impressas.

Metodologia

A metodologia adotada foi dividida em várias etapas para garantir o desenvolvimento e a adaptação dos equipamentos necessários à obtenção dos filamentos contínuos de fibra de carbono reforçados com termoplásticos.

Inicialmente, uma **extrusora de pellets** foi adaptada para possibilitar a produção de filamentos por meio do processo de pultrusão. Esse processo envolve a **impregnação das fibras de carbono** com resinas termoplásticas e posterior co-extrusão com materiais como PLA e ABS. O método de co-extrusão foi selecionado devido à sua capacidade de garantir que a fibra de carbono fique uniformemente distribuída ao longo do filamento.

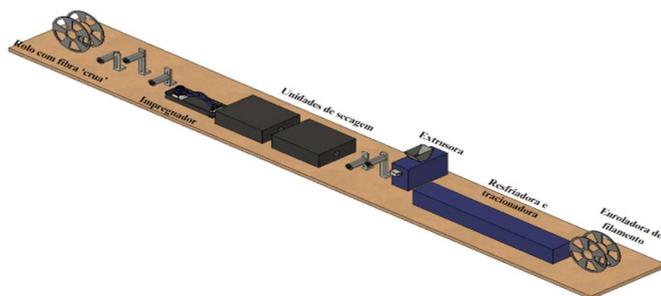


Figura 1 - Projeto da linha de produção.

Para melhorar a aderência entre a fibra de carbono e a matriz polimérica, foi utilizada uma **solução aquosa de PVA (álcool polivinílico)** na fase de impregnação. Um **dispositivo de impregnação senoidal** foi projetado, inspirado em estudos anteriores (Bucher, 2020; Miaris, 2012), para facilitar a passagem da fibra por um sistema fechado, evitando a exposição ao ar e reduzindo o risco de contaminação. Esse dispositivo permitiu a impregnação uniforme da fibra com a solução de PVA.

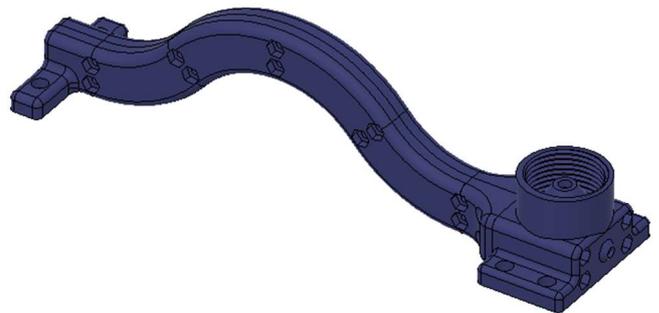


Figura 2 - Dispositivo de impregnação senoidal.

Adicionalmente, foi realizada a **caracterização térmica do PLA** por meio de análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC), para determinar as temperaturas de transição vítrea, fusão e cristalinidade.

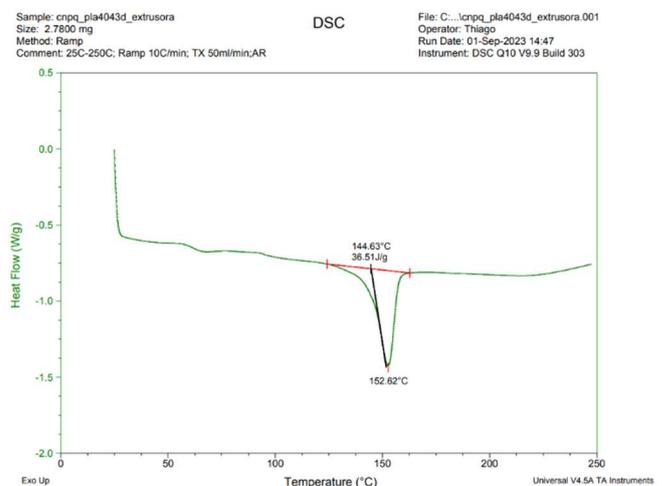


Figura 3 - Análise de calorimetria exploratória (DSC), do PLA.

Esses dados foram fundamentais para ajustar a temperatura do bico extrusor e garantir que o processo de co-extrusão não comprometesse as propriedades do termoplástico durante a fusão.

Após a impregnação, a fibra passava por uma **câmara de secagem** equipada com resistências cerâmicas, responsáveis por evaporar o solvente da solução de PVA, resultando em uma fibra seca e pronta para a co-extrusão. A secagem foi feita em duas zonas de calor controladas para otimizar o processo e garantir a melhor adesão possível entre a fibra e o polímero.



Figura 4 - Unidades de secagem

A etapa seguinte envolveu o desenvolvimento de um **bico de co-extrusão modular**, projetado para permitir a junção da fibra impregnada com o termoplástico durante a co-extrusão. O design modular facilitou a adaptação do diâmetro do filamento conforme necessário, trocando-se apenas as peças de entrada e saída do bico.

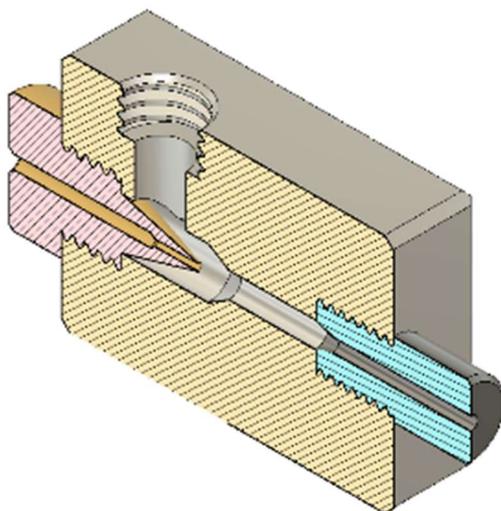


Figura 5 - Análise de seção do bico de co-extrusão.



Figura 6 - Bico de co-extrusão (desmontado).

Por fim, um **sistema de automação** foi implementado para controlar a temperatura da extrusora e das câmaras de secagem, bem como a velocidade do motor da tracionadora, responsável por manter a tensão adequada na fibra durante todo o processo de produção. Esse controle foi fundamental para garantir a consistência do filamento produzido.

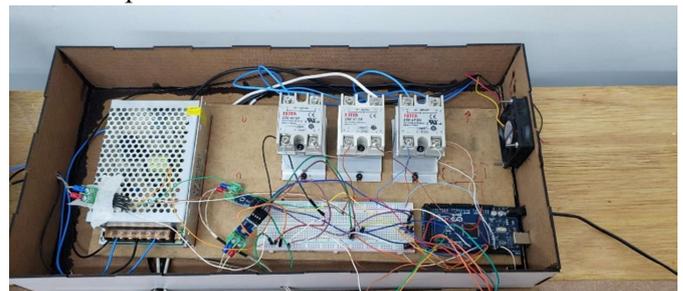


Figura 7 - Sistema de controle de temperatura.

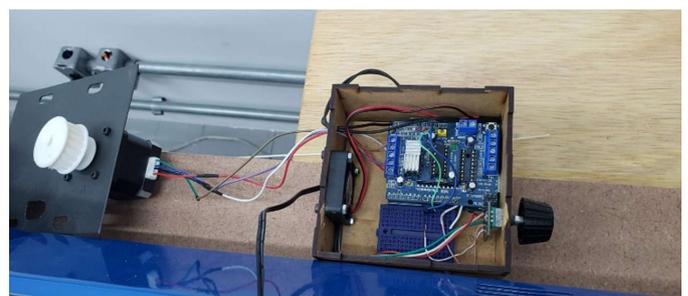


Figura 8 - Sistema de controle da tracionadora.

Resultados e discussão

Durante o desenvolvimento do projeto, diversos desafios técnicos impactaram diretamente os resultados esperados. Um dos maiores obstáculos foi a **complexidade do processo de impregnação da fibra de carbono**, que demandava um controle preciso das variáveis de temperatura e tensão da fibra durante a impregnação e a co-extrusão. A dificuldade em garantir uma impregnação uniforme e a necessidade de desenvolver um sistema de desizing (que não foi feito) para remover resíduos da fibra resultaram em atrasos no cronograma planejado.

Além disso, a **fase de adaptação dos equipamentos** exigiu ajustes constantes no dispositivo de impregnação e no sistema de automação, consumindo um tempo maior que o previsto. Problemas como o **dobramento das fibras** durante a secagem e a inadequação de alguns componentes para suportar a temperatura necessária para a fusão do PLA levaram à necessidade de reformulações no design da linha de produção.

Apesar das dificuldades técnicas, o projeto gerou **aprendizado significativo sobre os parâmetros necessários** para a obtenção de filamentos reforçados com fibras contínuas, além de estabelecer um sistema de produção que pode ser utilizado como base para estudos futuros. No entanto, os **ensaios mecânicos** que avaliariam a resistência e a aderência das camadas dos filamentos não puderam ser realizados devido ao tempo limitado e à necessidade de ajustes adicionais nos equipamentos.

Conclusões

Embora os resultados experimentais não tenham sido plenamente alcançados, o projeto proporcionou uma compreensão profunda dos processos e desafios relacionados à produção de filamentos termoplásticos reforçados por fibra contínua para uso na manufatura aditiva. Fatores como a adaptação dos dispositivos e a implementação de um sistema de controle demonstraram ser mais complexos do que o inicialmente previsto, afetando o andamento do projeto. O conhecimento adquirido poderá servir como base para o aprimoramento de futuros projetos de pesquisa nessa área, e para evitar que os mesmos obstáculos sejam encontrados novamente.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo financiamento e apoio à

pesquisa, e à Universidade Federal de Itajubá pela infraestrutura e orientação. Agradeço também ao Prof. Antonio Carlos Ancelotti Junior por sua orientação ao longo do projeto.

Referências

BUCHER, C., M. *Continuous fiber reinforced filament and compatible upgrade print head for desktop FFF*. Master Thesis - University of Applied Sciences Vienna, 2020.

HEIDARI-RARANI, M. et al. *Mechanical characterization of FDM 3D printing of continuous carbon fiber reinforced PLA composites*. Compos. Part B Eng., 2019.

MIARIS, A. *Experimental and Simulative Analysis of the Impregnation Mechanics of Endless Fiber Rovings*. University of Applied Sciences Vienna, 2012.