

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PEÇAS DE PLA E PLA-HT IMPRESSAS EM 3D

GABRIEL BONI MAGOSSE¹, KELVIN DOS S. TIENE², CLEITON L. F. DE ASSIS³

¹ Graduando em Bacharelado em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBITI, CNPq, IFSP, Câmpus Votuporanga, gabriel.magosse@aluno.ifsp.edu.br.

² Graduando em Bacharelado em Engenharia Elétrica, Bolsista FAPESP, IFSP, Câmpus Votuporanga, kelvin.tiene@aluno.ifsp.edu.br.

³ Docente, Área Engenharia Mecânica, IFSP, Câmpus Votuporanga, fazolocla@ifsp.edu.br.
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7 Polímeros, Aplicações

RESUMO: A Fabricação por Filamento Fundido está entre uma das técnicas de impressão 3D de polímeros mais utilizadas, e consiste na deposição de material fundido em camadas. Um dos materiais amplamente usados é o PLA, um biopolímero biodegradável obtido a partir de raízes de mandioca e amido de milho. Buscando ampliar as qualidades do PLA surgem variações do material, como PLA-HT, obtido a partir de um tratamento térmico no filamento virgem, que se propõe a ser mais resistente à altas temperaturas. O presente trabalho tem como objetivo investigar as diferenças na resistência mecânica do PLA e PLA-HT. De modo geral, o tratamento térmico feito no PLA-HT aumentou sua resistência à tração, melhorando sua performance, principalmente em temperaturas de impressão elevadas.

PALAVRAS-CHAVE: resistência à tração; polímeros; manufatura aditiva;

MECHANICAL BEHAVIOR OF 3D PRINTED PLA AND PLA-HT PARTS

ABSTRACT: Fused Filament Fabrication is among the most widely used 3D printing techniques for polymers and involves the deposition of molten material in layers. One of the materials widely used is PLA, a biodegradable biopolymer obtained from cassava roots and corn starch. Seeking to enhance the qualities of PLA, variations of the material have emerged, such as PLA-HT, which is obtained through thermal treatment of the virgin filament and is proposed to be more resistant to high temperatures. This study aims to investigate the differences in the mechanical strength of PLA and PLA-HT. Overall, the thermal treatment applied to PLA-HT increased its tensile strength, improving its performance, especially at higher temperatures.

KEYWORDS: tensile strength; polymers; additive manufacturing;

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, também conhecida por impressão 3D, consiste na fabricação de peças complexas a partir da adição de camada por camada do material (Jandyal *et al.*, 2022). Esse processo é considerado uma ferramenta inovadora por ser extremamente flexível, podendo ser usados diversos tipos de materiais, entre eles polímeros, metais e cerâmicas (Vahabi *et al.*, 2021).

A Fabricação por Filamento Fundido (FFF) é uma das técnicas mais amplamente utilizadas na impressão 3D de polímeros por sua eficiência e baixo custo, além de ser a tecnologia de impressão mais desenvolvida até o momento. (Rajam *et al.*, 2022; Choe *et al.*, 2022). Ela consiste na fusão e deposição em camadas de um material polimérico (Popović *et al.*, 2023).

O Políácido Láctico (PLA) é um polímero termoplástico frequentemente usado na FFF devido, até certo ponto, à sua baixa temperaturas de fusão, facilitando o processo de extrusão (Hanon *et al.*,

2021). O PLA apresenta um caráter ecológico, pois pode ser obtido a partir de raízes de mandioca e amido de milho (Inkinen *et al.*, 2011).

Um dos problemas na utilização do PLA em certas aplicações, é sua baixa capacidade de suportar calor (Krizsma *et al.*, 2021). Pensando nisso, surgiu uma variação do PLA, chamada PLA de alta temperatura ou PLA-HT, tornando-se um material interessante para aplicações na arquitetura e na produção de próteses, por exemplo (Ficzere *et al.*, 2022; Hanon *et al.*, 2020; Grassi *et al.*, 2019; Tavakoli *et al.*, 2023). Estudos demonstram um aumento da resistência à tração de peças em PLA-HT, porém sem demonstrar o efeito da temperatura de impressão (Hanon *et al.*, 2021). Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo contribuir com o estudo da comparação da resistência à tração de peças impressas em PLA base e PLA-HT.

MATERIAL E MÉTODOS

O método de impressão adotado foi a Fabricação por Filamento Fundido (FFF). Os corpos de prova foram impressos utilizando a impressora mostrada na Figura 1 da marca Kywood3D, modelo Tycoon Max, com eixo linear e uma área útil de impressão de 300 mm x 300 mm x 230 mm. O equipamento possui uma velocidade máxima de impressão de 100 mm/s e de deslocamento de 150 mm/s. A temperatura máxima do bico de extrusão é de 260 °C. A mesa de impressão é de alumínio aquecida, com tampo de vidro temperado (até 110 °C). Foram analisadas 8 temperaturas de extrusão, de 190 a 260°C, com 5 corpos de prova impressos para cada temperatura, em cada um dos materiais estudados. Os corpos de prova foram impressos com padrão de preenchimento concêntrico, altura da camada de 0,2 mm e preenchimento de 100%, à uma velocidade de 30 mm/s. O diâmetro do bico de extrusão usado é de 4 mm e a temperatura da mesa de 60°C. O software de fatiamento utilizado foi o Ultimaker Cura® de código aberto.

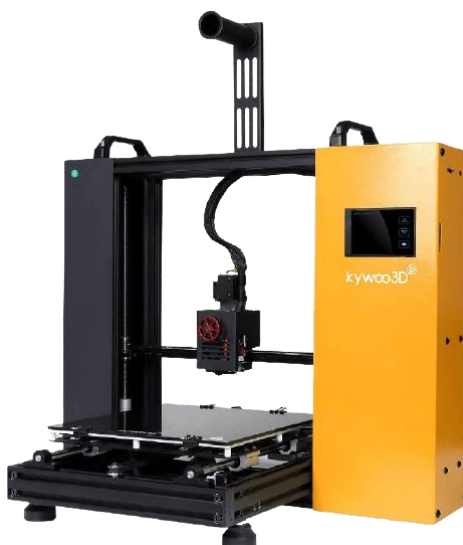


FIGURA 1 - Impressora 3D adotada na impressão dos corpos de prova.

Foram realizados os ensaios de tração nas amostras de PLA Base e PLA-HT para avaliar a deformação, tensão máxima e tensão de ruptura, utilizando a máquina de ensaios de tração da marca EMIC, modelo DL-30000, com capacidade máxima de 300 kN, como a mostrada na Figura 2. A norma técnica utilizada foi a ISO 527-1/2:2012. A velocidade de deformação adotada foi de 10 mm/min, com 5 amostras ensaiadas para cada condição para fins de repetibilidade e cálculo das médias, considerando um intervalo de confiança de 95%;



FIGURA 2 - Máquina de ensaios de tração adotada no experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de tração foram construídos gráficos de intervalos do efeito dos fatores de controle material e temperatura de impressão na resistência das peças, todos com um intervalo de confiança de 95%. Os desvios padrão individuais foram usados para calcular os intervalos. O gráfico da Figura 3 apresenta os resultados da deformação das peças quando submetidas ao esforço do ensaio de tração. A análise das médias apresentadas no gráfico indica que a deformação do PLA-HT é maior que a das peças de PLA Base, principalmente a partir da temperatura de impressão de 230°C. Além disso, os desvios estatísticos das médias revelam melhor repetibilidade dos ensaios a partir dessa mesma temperatura. Esse efeito pode ser explicado pela redução de vazios entre as camadas de material depositado, consequência do aumento da fluidez do material com o aumento da temperatura.

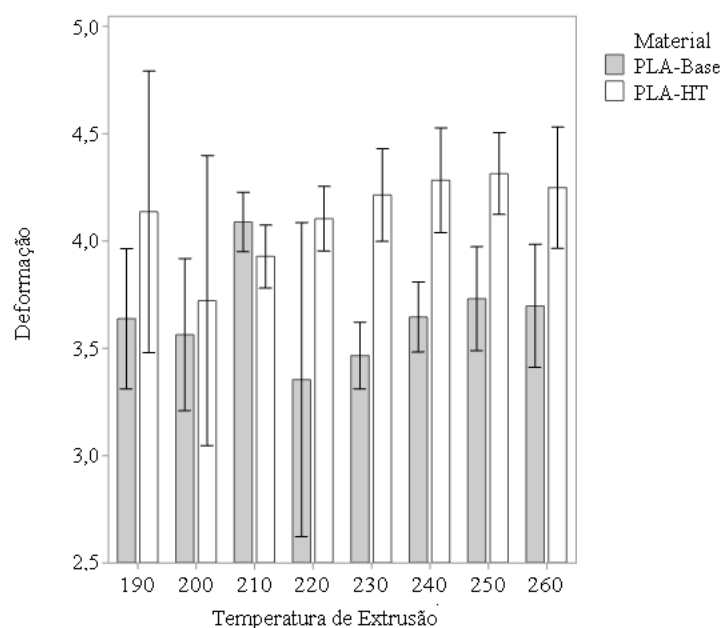


FIGURA 3 – Gráfico de intervalos para deformação.

O gráfico da Figura 4 apresenta os resultados obtidos para a tensão de ruptura dos corpos de prova. De acordo com a análise gráfica, os materiais apresentam comportamento semelhante até a temperatura de impressão de 240 °C. Acima dessa temperatura, o PLA-HT tendeu a manter a resistência a ruptura, enquanto o PLA Base passou a apresentar uma menor tensão, comparativamente. Esse efeito pode também ser explicado pelo aumento da fluidez do material, o qual reduziu os vazios entre as camadas depositadas, melhorando a repetibilidade e consequente redução dos desvios estatísticos.

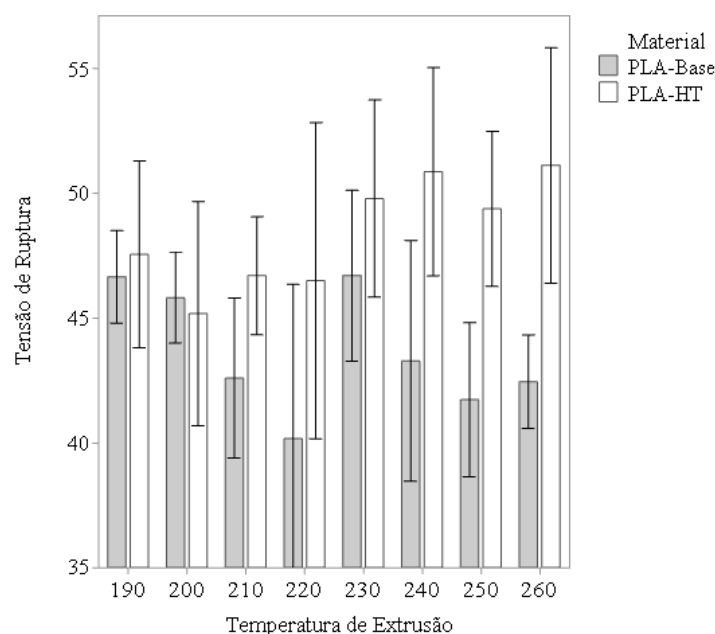


FIGURA 4 – Gráfico de intervalos para tensão de ruptura.

O gráfico da Figura 5 apresenta a tensão máxima dos corpos de prova nas diferentes temperaturas de extrusão. A análise indica um comportamento semelhante ao da tensão de ruptura, ou seja, nas temperaturas de impressão mais baixas, os materiais apresentaram tensão máxima muito próximas, mas com o aumento da temperatura, mais precisamente na temperatura de 230°, fica evidente uma maior tensão máxima no PLA-HT em relação ao PLA Base.

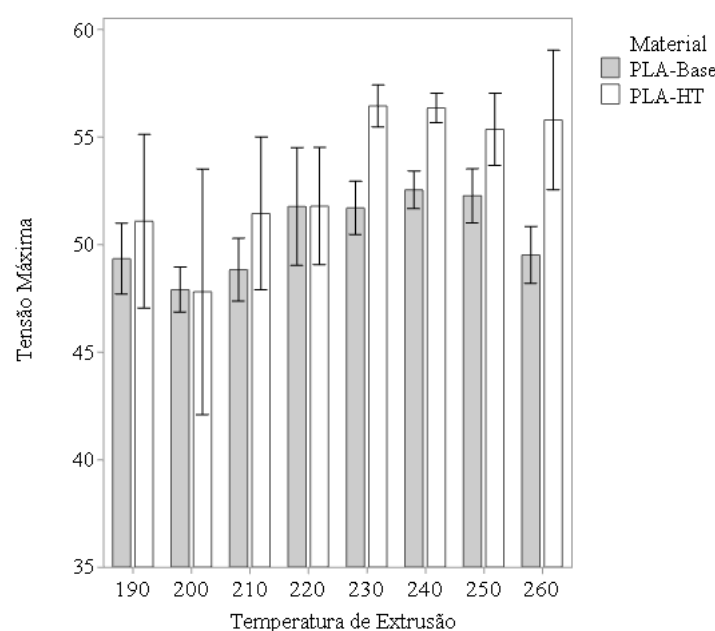


FIGURA 5 – Gráfico de intervalos para tensão máxima.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na pesquisa é possível ter um panorama da resistência mecânica dos materiais PLA e PLA-HT, impressos pelo processo de fabricação por filamento fundido, mais especificamente a impressão 3D.

A análise dos resultados mostrou que o tratamento térmico das peças HT tem efeito direto nas propriedades do material, no caso dessa pesquisa as analisadas foram deformação, tensão de ruptura e tensão máxima. Em geral as peças impressas em PLA-HT apresentaram maior resistência ao efeito do aumento da temperatura de impressão. A junção desses fatores revela, portanto, que o PLA-HT apresenta um melhor comportamento mecânico comparado ao PLA base em temperaturas de impressão mais elevadas.

Com isso, o PLA-HT se mostra uma opção para aplicações que necessitem controle da resistência mecânica e maior estabilidade térmica.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

G. B. M., K. S. T. e C. L. F. A. contribuíram com a curadoria, análise dos dados e procederam com a metodologia e experimentos. G. B. M. atuou na redação do trabalho. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e estão de acordo com a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas 3DX Filamentos Ltda e Topink3D Impressoras e Suprimentos Ltda pelo apoio a pesquisa e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

CHOE, Shinhyeong et al. Biodegradation of 3D-Printed Biodegradable/Non-biodegradable Plastic Blends. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 4, n. 7, p. 5077-5090, 2022.

FICZERE, Peter; BORBAS, Lajos. The impact of active cooling in case of 3D printed heat-proof PLA. **Materials Today: Proceedings**, v. 62, p. 2506-2508, 2022.

GRASSI, Giulia; SPAGNOLO, Sonia Lupica; PAOLETTI, Ingrid. Fabrication and durability testing of a 3D printed façade for desert climates. **Additive Manufacturing**, v. 28, p. 439-444, 2019.

HANON, Muammel M.; MARCZIS, Robert; ZSIDAI, László. Impact of 3D-printing structure on the tribological properties of polymers. **Industrial Lubrication and Tribology**, v. 72, n. 6, p. 811-818, 2020.

HANON, Muammel M.; MARCZIS, Róbert; ZSIDAI, László. Influence of the 3D printing process settings on tensile strength of PLA and HT-PLA. **Periodica Polytechnica Mechanical Engineering**, v. 65, n. 1, p. 38-46, 2021.

INKINEN, Saara et al. From lactic acid to poly (lactic acid)(PLA): characterization and analysis of PLA and its precursors. **Biomacromolecules**, v. 12, n. 3, p. 523-532, 2011.

JANDYAL, Anketa et al. 3D printing—A review of processes, materials and applications in industry 4.0. **Sustainable Operations and Computers**, v. 3, p. 33-42, 2022.

KRIZSMA, Sz et al. In-situ monitoring of deformation in rapid prototyped injection molds. **Additive Manufacturing**, v. 42, p. 102001, 2021.

POPOVIĆ, Mihajlo et al. Printing parameter optimization of PLA material concerning geometrical accuracy and tensile properties relative to FDM process productivity. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 37, n. 2, p. 697-706, 2023.

RAJAN, Kumaresan et al. Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 120, n. 3-4, p. 1531-1570, 2022.

TAVAKOLI, Mohamadreza et al. Incorporation of graphene oxide as a coupling agent in a 3D printed polylactic acid/hardystonite nanocomposite scaffold for bone tissue regeneration applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, p. 126510, 2023.

VAHABI, Henri et al. Flame retardant polymer materials: An update and the future for 3D printing developments. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 144, p. 100604, 2021.