

## INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA ESTRATÉGIA DE PREENCHIMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS POLIMÉRICAS PRODUZIDAS POR MANUFATURA ADITIVA

CAROLINA F. MACHADO<sup>1</sup>, CLEITON L. F. DE ASSIS<sup>2</sup>, GUILHERME R. MECELIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Bacharelado em Engenharia Elétrica, Bolsista do PIBIFSP, IFSP, Campus Votuporanga, [c.machado@ifsp.aluno.edu.br](mailto:c.machado@ifsp.aluno.edu.br)

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP, Campus Votuporanga, [fazolocla@ifsp.edu.br](mailto:fazolocla@ifsp.edu.br)

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP, Campus Votuporanga, [guilherme.mecelis@ifsp.edu.br](mailto:guilherme.mecelis@ifsp.edu.br)

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7

**RESUMO:** Diante a grande demanda de fabricação de peças, a impressão 3D ou Manufatura Aditiva é uma ciência que conquistou espaço dentro das indústrias devido as diversas formas geométricas incomuns que podem ser atingidas, e a variedade de materiais que podem ser utilizados. Sendo assim, tendo em vista a capacidade de soluções que essa tecnologia possui e a necessidade de adquirir uma relação entre textura e polímero de uma peça em 3D, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência estratégica de preenchimento de uma peça em sua resistência mecânica, por meio de impressões de corpos de prova. Foi realizado testes com o ABS, PETG e PLA, com três diferentes padrões de preenchimento, e posteriormente o ensaio de tração. Com o auxílio da ferramenta estatística ANOVA (Análise de Variância), foram avaliadas a resistência máxima e a tensão de ruptura das peças e portanto, as análises indicaram que o tipo de material em combinação com a textura acabam afetando a resistência do corpo de prova. Além disso, a escolha do polímero associado com a forma de preenchimento ajudam a controlar o comportamento dos corpos de prova, ou seja, mesmas características mecânicas podem ser adquiridas usando materiais e texturas diferentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** ABS; Manufatura Aditiva; PETG; PLA; Preenchimento.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE FILLING STRATEGY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMERIC PARTS PRODUCED BY ADDITIONAL MANUFACTURE

**ABSTRACT:** In view of the great demand for parts manufacturing, 3D printing or Additive Manufacturing is a science that has conquered space within industries due to the many unusual geometric shapes that can be achieved, and the variety of materials that can be used. Therefore, considering the capacity of solutions that this technology has and the need to acquire a relationship between texture and polymer of a 3D part, the objective of this work was to evaluate the strategic influence of filling a part on its mechanical strength, through specimen prints. Tests were performed with ABS, PETG and PLA, with three different filling patterns, and then the tensile test. With the aid of the statistical tool ANOVA (Analysis of Variance), the maximum strength and the rupture stress of the pieces were evaluated and, therefore, the analyzes indicated that the type of material in combination with the texture ends up affecting the strength of the specimen. In addition, the choice of polymer associated with the filling form helps to control the behavior of the specimens, that is, the same mechanical characteristics can be acquired using different materials and textures.

**KEYWORDS:** ABS; Additive Manufacturing; PETG; PLA; Fill.

## INTRODUÇÃO

A impressão 3D, manufatura aditiva ou prototipagem rápida é uma tecnologia que adota como principal característica a criação de elementos tridimensionais, ou seja, um objeto é fabricado virtualmente através de um software e depois construído através da deposição de camada por camada até que seu corpo esteja concluído. (SAHASRABUDHE, BANDYOPADHYAY, 2018).

Na prática, a tecnologia 3D tem se expandido muito atualmente e fez-se presente em diversas áreas do conhecimento, pois possui um grande potencial de aplicação e permite um aumento na eficácia de fabricação dos produtos. (PORTO, 2016). É previsto que até 2020 metade de toda a produção por impressão 3D será voltada ao comércio. (NGO et al., 2018). Sendo assim, o estudo das características mecânicas da peça pronta tem grande importância devido à essas diversas aplicações.

O uso de diferentes estratégias de preenchimento em peças impressas em 3D, pelo método de FDM (Fused Deposition Modeling), tem demonstrado que essa estratégia influencia na resistência mecânica da peça, e que essa influência pode ser anisotrópica. (LOVO; FORTULAN, 2016). Outro ponto a se observar é que a escolha da melhor estratégia também depende do percentual de preenchimento do modelo, visto que diferentes estratégias resultam em características mecânicas diferentes quando variado esse preenchimento. (AKHOUNDI; BEHRAVESH, 2019)

Sabendo-se a necessidade de compreender-se as aplicações e as propriedades mecânicas de um modelo impresso em 3D, esse trabalho procura investigar e aprimorar esses conhecimentos pois ainda existem lacunas de pesquisas nesse tema.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a impressão, foi utilizada uma impressora 3D da marca Creality modelo Ender 3, com as seguintes características: técnica FDM com área de impressão de 200 x 220 x 245 mm, peso líquido de 8kg, velocidade máxima de impressão há 180 mm/s, espessura da camada de 0,1 à 0,4 mm, diâmetro do pico com 0,4 mm, diâmetro de filamento do material de 1,75 mm e precisão de posicionamento de 0,05 mm no eixo XY e de 0,004 mm no eixo Z.

Todos os corpos de prova foram impressos com velocidade de impressão de 30mm/s, altura da camada de 0,2 mm, espessura da parede de 0,8 mm e preenchimento de 100%. Foram utilizados três diferentes padrões de preenchimento conforme ilustrado na Figura 1, sendo eles o Concêntrico, Linear e Zig-Zag (Wiggle), e também três tipos de materiais: PETG, PLA e ABS, os quais são comuns na fabricação de peças por FDM. (SHIMANO, 2019)

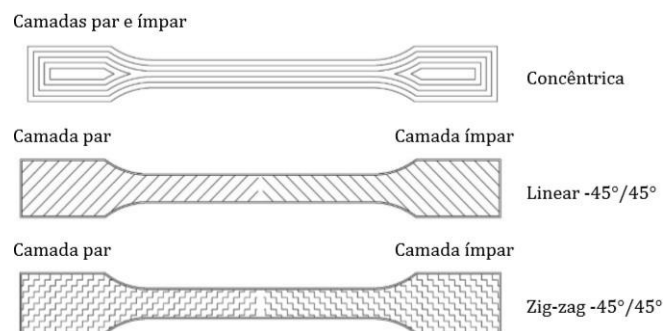


FIGURA 1. Mapas de teor de água das camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade.

Os ensaios de tração foram realizados através de uma máquina de ensaios universais da marca EMIC, modelo DL-30000, com uma capacidade máxima de 300kN. Nesse caso, a norma utilizada para a realização de testes é a ISO 527-1/2:2012, específica para a realização de testes de tração padronizados em materiais poliméricos. Vale ressaltar, que o estudo da Análise de Variância foi empregado aos resultados obtidos e proporcionou descobertas relevantes para este trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos na Figura 2 representam em síntese os dados adquiridos pelo ensaio de tração dos corpos de prova. Então, a partir destes dados e baseando-se no formato das curvas, pode-se dizer que de forma geral o ABS se mostrou o material mais dúctil entre os analisados, da mesma forma, é possível observar que o PLA apresentou mais resistente.

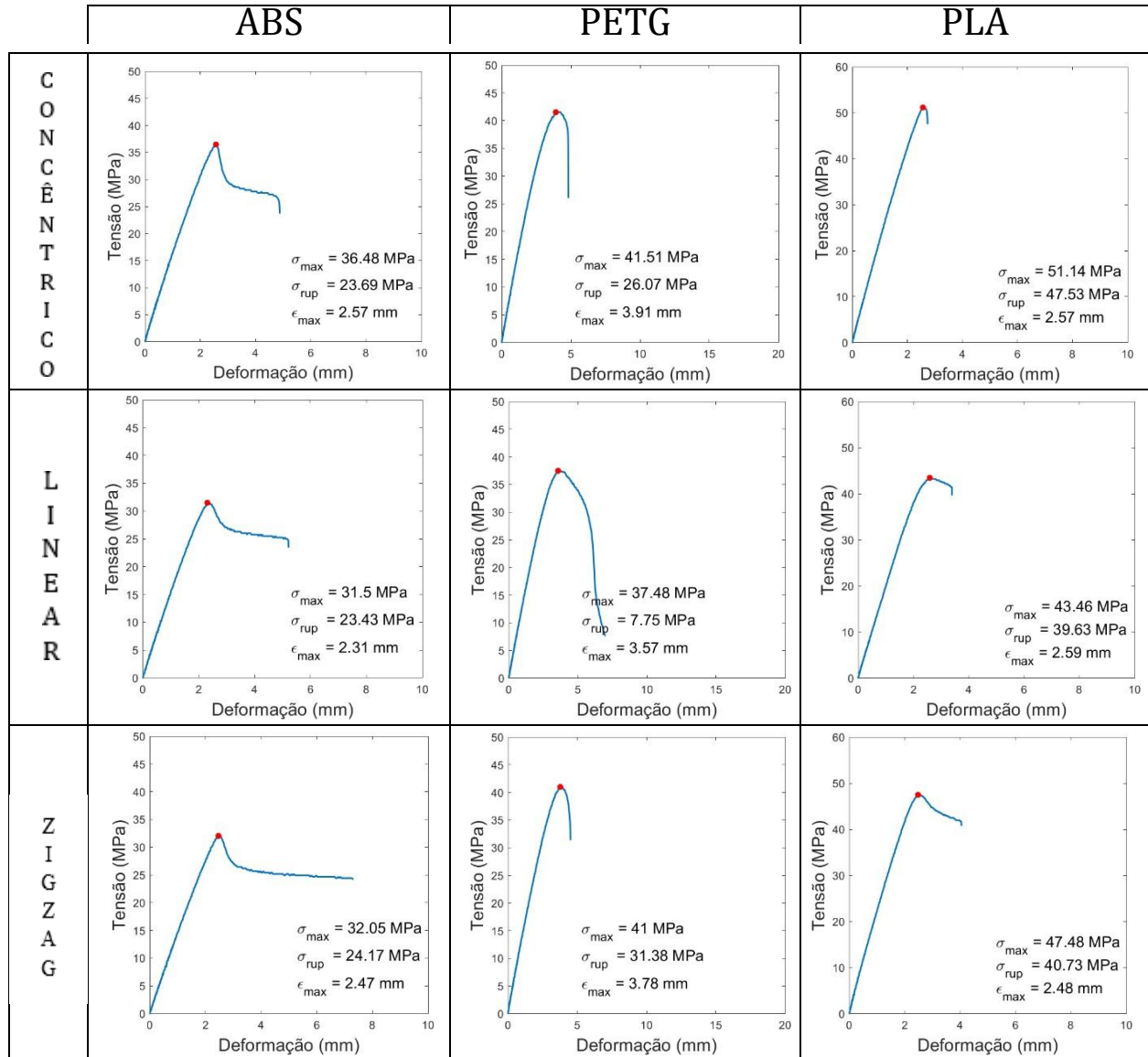


FIGURA 2. Gráficos tensão-deformação para textura concêntrica dos materiais usados no ensaio.

A Tabela 1 apresenta as informações adquiridas a partir da Análise de Variância (ANOVA), na qual se foi avaliada a influência das variáveis de material e tipo de textura de preenchimento no comportamento da Tensão Máxima dos corpos de prova. Sendo assim, foi verificado que o material, a textura e a interação material-textura causam um efeito estatisticamente relevante ( $P < 0,05$ ), ou seja, afetam a resistência final dos corpos de prova. Comparando o fator de frequência F da tabela, pode ser admitido que a variável material influencia a resistência mecânica da peça com maior relevância do que as outras ponderações.

TABELA 1. Análise de Variância para  $\sigma_{max}$

FONTE	GL	SQ	QM	F	P
MATERIAL	2	1399,42	699,711	591,5	0,0001
TEXTURA	2	176,05	88,027	74,41	0,0001
MATERIAL*TEXTURA	4	63,62	15,904	13,44	0,0001
ERRO	27	31,94	1,183		
TOTAL	35	1671,03			

A partir da imagem à esquerda da Figura 3, ao comparar as curvas PETG e PLA nota-se que adotando o PETG com a textura concêntrica é possível atingir uma resistência muito próxima quando se adota o PLA com preenchimento na forma linear. O uso de diferentes estratégias de preenchimento em corpos de prova pode propiciar a obtenção de resistências semelhantes em materiais diferentes. Vale apontar também que tem sido demonstrado por outros estudos que as texturas causam interferências na resistência mecânica da peça, e que essa interferência pode proporcionar um efeito anisotrópico, como certificado por Lovo e Fortulan (2016).

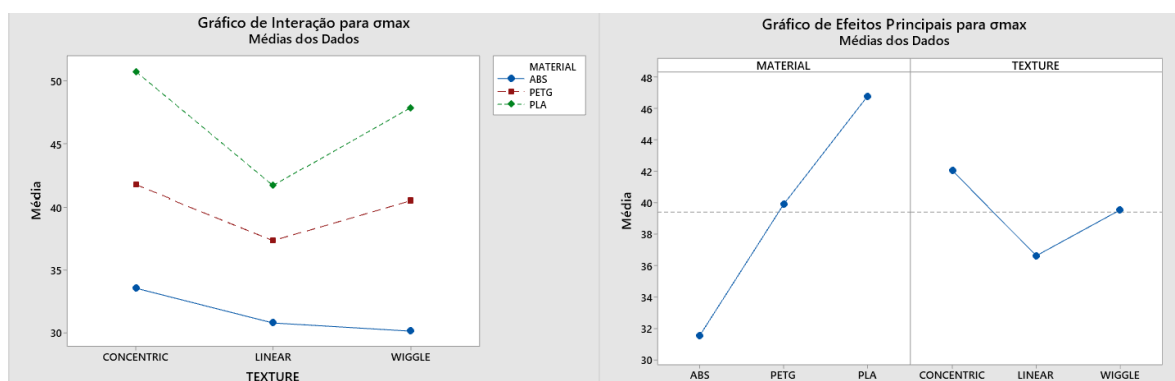


FIGURA 3. Gráfico de Interação (à esquerda) e de efeitos principais (à direita) para  $\sigma_{max}$ .

Analisando agora os gráficos à direita da Figura 3, é possível afirmar que estatisticamente o PLA se mostrou o material mais resistente mecanicamente, e também que o preenchimento concêntrico resulta numa resistência maior em comparação aos outros dois preenchimentos.

A Figura 4 apresenta a análise de resíduos e o histograma dos valores obtidos. Pode-se notar pela análise de probabilidade que os valores possuem um comportamento aproximadamente linear, o que indica que, em tese, poderia ser obtida uma relação matemática para correlacionar as variáveis estudadas à resistência final da peça. Esse possível equacionamento pode ser buscado em pesquisas futuras. O histograma mostra uma distribuição normal, confirmando o esperado e reforçando a qualidade dos dados obtidos.

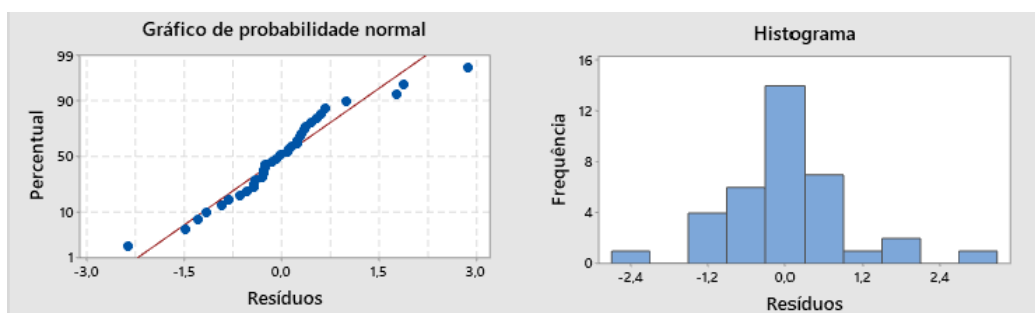


FIGURA 4. Avaliação do modelo pela análise de resíduos.

## **CONCLUSÕES**

A partir da avaliação das variáveis material e preenchimento durante a impressão 3D, foi confirmado que o material é o parâmetro que mais interfere na resistência mecânica de uma peça impressa em 3D, e que tanto o preenchimento quanto a interação material-textura mostram uma influência estatisticamente relevante no valor de resistência. É possível estimar a resistência ao controlar os parâmetros de impressão de preenchimento, e assim atingir resistências maiores possibilitando a substituição entre estes polímeros.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao IFSP Campus Votuporanga pelo apoio financeiro à formação acadêmica profissional, ao CNPq pelos recursos concedidos durante o desenvolvimento desse trabalho e a empresa 3DX que é parceira deste projeto de pesquisa e doou os polímeros para a realização deste trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

AKHOUNDI, B.; BEHRAVESH, A. H. Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products. *Experimental Mechanics*, 2019.

LOVO, J.; FORTULAN, C. A. Estudo de propriedades mecânicas e anisotropia em peças fabricadas por manufatura aditiva tipo FDM. 1º Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Mecânica EESC/USP–SiPGEM 2016, 2016.

NGO, T. D. et al. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, v. 143, n. December 2017, p. 172–196, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>>.

PORTO, T. M. S. Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil. Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2016.

SAHASRABUDHE, H.; BANDVOPADHYAY, A. *Laser-Based Additive Manufacturing Processes* (Second Edition). Disponível em : < <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/three-dimensional-printing> >, 2018.