

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PEÇAS  
POLIMÉRICAS PRODUZIDAS POR IMPRESSÃO 3D SUBMETIDAS  
AO ENSAIO DE TRAÇÃO**

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

<sup>1</sup> Graduando em Licenciatura em Física, Bolsista do PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, [yasmim.f@aluno.ifsp.edu.br](mailto:yasmim.f@aluno.ifsp.edu.br)

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

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

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP

27 e 28 de novembro de 2019 - Sorocaba-SP, Brasil

**RESUMO:** A impressão 3D é uma tecnologia em expansão que vem ganhando espaço no meio industrial, devido a versatilidade de formas geométricas que podem ser obtidas, e uso de diversos tipos de materiais. Sendo capaz de proporcionar soluções para diversas demandas, inclusive as que necessitam de controle das propriedades mecânicas do produto final. No intuito de obter uma relação entre o tipo de material polimérico e a textura da peça impressa em 3D, este trabalho testou o ABS, PETG e PLA, e três diferentes padrões de preenchimento, o concêntrico, entrecruzados 0°/90° e -45°/45°, por meio da técnica de Moldagem de Deposição Fundida (FDM). Com auxílio de ferramentas estatísticas, foram avaliados o alongamento, a resistência máxima e a tensão de ruptura de corpos de prova submetidos ao ensaio mecânico de tração. As análises revelaram que o tipo de polímero e a textura afetam o alongamento dos corpos de prova. A resistência máxima e a tensão ruptura são afetadas pelo material da peça, enquanto a interação entre material e textura afetam somente a resistência máxima. A escolha do polímero, aliada a texturas específicas favorecem o controle do comportamento mecânico de peças impressas em 3D.

**PALAVRAS-CHAVE:** ABS; PETG; PLA; Textura; Propriedades Mecânicas.

**STUDY OF POLYMERIC PARTS MECHANICAL BEHAVIOR PRODUCED BY 3D PRINT  
SUBMITTED TO TENSILE TEST**

**ABSTRACT:** 3D printing is an expanding technology that has been gaining ground in the industrial environment, due to the versatility of geometric shapes that can be obtained, and the use of various types of materials, being able to provide solutions for various demands, including those that need control mechanical properties of the final product. In order to obtain a relationship between the type of polymeric material and the texture of the 3D printed part, this work tested the ABS, PETG and PLA, and three different fill patterns, being concentric, intersected 0°/90° and -45°/45° by means of the Fused Deposition Modeling (FDM). With the aid of statistical tools, the elongation, the maximum strength and the tensile strength of specimens submitted to the mechanical tensile test were evaluated. The analyses revealed that the polymer type and texture affect the elongation of the specimens. Maximum strength and breaking stress are affected by the workpiece material, while the interaction between material and texture affect only the maximum strength. The choice of polymer, combined with specific textures, favours the control of the mechanical behaviour of 3D printed parts.

**KEYWORDS:** ABS; PETG; PLA; Texture; Mechanical Properties.

## INTRODUÇÃO

A tecnologia 3D representa um conjunto de processos de manufatura aditiva baseada na fabricação de peças por deposição de camadas, com uso de máquina de prototipagem rápida ou impressora 3D. Um modelo sólido de peça é criado em um software CAD (*Computer Aided Design*) tridimensional, e é cortado em camadas bidimensionais, gerando um arquivo no formato STL (*Standard Tessellation Language*). A partir do projeto, a máquina adiciona camada por camada do material dando forma ao objeto (RAULINO, 2011).

A prototipagem rápida é uma tecnologia muito ampla, desde o surgimento de sua técnica pioneira, a Estereolitografia. Com base nesta técnica surgiram outras, possibilitando a aplicação de diferentes materiais e geometrias complexas (PORTO, 2016). A técnica *Fused Deposition Modeling* (FDM) ganhou interesse ao público por sua simplicidade de maquinário e como principal característica o efeito anisotrópico das peças (DAWOND, TAHA, EBEID, 2016; LOVO, FORTULAN, 2016).

A investigação do comportamento mecânico de peças impressas em 3D poderia resultar em escolhas adequadas de materiais a serem utilizados, e ainda serem associados com diferentes modos de deposição para controle da anisotropia (RANKOUHI *et al*, 2016). Pesquisas apontam que os materiais mais utilizados na indústria 3D são o PETG devido a flexibilidade, o ABS pela resistência ao impacto e o PLA pela facilidade na impressão (ESMAEILIAN, BEHDAD, WANG, 2016).

Neste contexto, este trabalho propõe o estudo do comportamento mecânico de corpos de prova impressos em 3D submetidas ao ensaio de tração. Alongamento, resistência máxima e tensão de ruptura foram avaliadas com uso da Análise de Variância (ANOVA).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a impressão dos corpos de prova foi utilizada uma impressora 3D da marca Anet, modelo A8, com uma velocidade de impressão de 40 mm/s, altura da camada de 0,2 mm, espessura da parede de 0,8 mm e preenchimento de 100%.

Foram aplicados três diferentes materiais poliméricos nos experimentos, sendo o ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno), PETG (Polietileno Tereftalato modificado com Glicol) e PLA (Poli Ácido Láctico), empregando três tipos de padrões de preenchimento  $-45^{\circ}/45^{\circ}$ ,  $0^{\circ}/90^{\circ}$  e Concêntrico, respectivamente Textura 1, Textura 2 e Textura 3, conforme ilustrado na Figura 1.

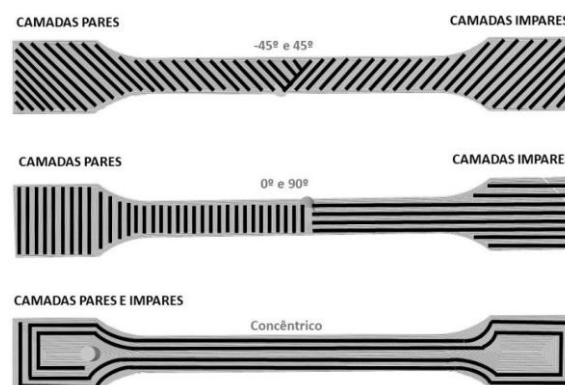


FIGURA 1. Padrões de preenchimento empregados na produção dos corpos de prova.

Na realização dos ensaios de tração foi utilizada uma máquina de força Starrett FMS 5000, modelo FLC-5000E, com capacidade máxima de 5 kN, seguindo a norma ISO 527-1/2:2012, específica para a realização de testes de tração padronizados em materiais poliméricos. A Análise de Variância foi aplicada aos resultados, visando identificar o efeito das variáveis nos dados obtidos nos testes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta três gráficos tensão-deformação, representativos dos ensaios de tração, para amostras impressas em ABS, PETG e PLA, aplicando a Textura 1 ( $-45^{\circ}/45^{\circ}$ ). De acordo com as

análises, o PLA apresentou maior resistência a tração, seguido pelo PETG e ABS. Também foi possível observar que o PETG apresentou um alongamento maior, indicando ser o material mais dúctil dentre os materiais estudados. Com o auxílio da Análise de Variância (ANOVA), foi verificado que a textura e o material afetam o alongamento das peças ( $P < 0,05$ ). Por outro lado, a interação material-textura não revelou efeito estatisticamente significativo ( $P = 0,75$ ). Com relação a resistência máxima, o material polimérico empregado e a interação material-textura apresentaram efeito estatisticamente significativo ( $P < 0,05$ ). A tensão de ruptura foi afetada apenas pelo tipo de material dos corpos de prova ( $P \approx 0,00$ ).

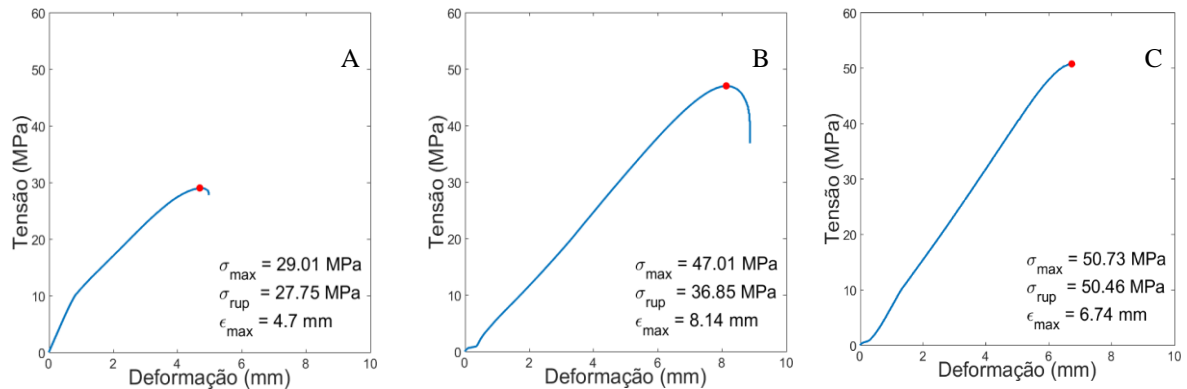


FIGURA 2. Gráficos tensão-deformação para a Textura 1 dos materiais ABS (a), PETG (b) e PLA (c).

Pelos resultados obtidos foi observado que o material influencia diretamente a resistência mecânica da peça, assim como a textura dos corpos de prova em interação com o tipo de material polimérico. Este fenômeno pode estar ligado às forças intermoleculares específicas dos materiais, relacionadas com o ângulo de deposição, facilitando ou dificultando o descolamento das camadas de deposição, afetando a resistência a tração, resultando em um efeito anisotrópico das peças, como demonstrado por Lovo e Fortulan (2016).

## CONCLUSÕES

Neste trabalho, o material polimérico foi o principal responsável pela variação da resistência mecânica das peças. A interação textura-material também afetou a resistência máxima dos corpos de prova. Uma escolha adequada entre material da peça e tipo de textura, via controle das camadas de deposição, é fator a ser considerado na fabricação de peças por impressão 3D.

## REFERÊNCIAS

- DAWOUD, M.; TAHA, I.; EBEID, S.J. Mechanical behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques. **Journal of Manufacturing Processes**, v.21, p.39-45, 2016.
- ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v.39, p.79-100, 2016.
- LOVO, J.F.P.; FORTULAN, C.A. Estudo de propriedades mecânicas e anisotropia em peças fabricadas por manufatura aditiva tipo FDM. 1 Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica EESC/USP-SiPGEM 2016, 2016.
- PORTO, T.M.S. Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil. Trabalho Final de Graduação. UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- RANKOUHI, B.; *et al.* Failure analysis and mechanical characterization of 3D printed ABS with respect to layer thickness and orientation. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 16, n.3, p.467-481, 2016.
- RAULINO, B.R. Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição). 2017.