

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OS EFEITOS DA VARIAÇÃO NOS PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO E DO
PERCENTUAL DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE
COMPONENTES FABRICADOS POR FDM EM POLIAMIDA

por

Rodrigo Bernardes de Moura

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, abril de 2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

CIP - Catalogação na Publicação

Moura, Rodrigo Bernardes de
Os efeitos da variação nos parâmetros de fabricação
e do percentual de umidade nas propriedades mecânicas
de componentes fabricados por FDM em poliamida /
Rodrigo Bernardes de Moura. -- 2022.
19 f.
Orientador: Jakson Manfredini Vassoler.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Manufatura Aditiva. 2. Fused Deposition
Modeling. 3. Poliamida. 4. Resistência Mecânica. I.
Vassoler, Jakson Manfredini, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodrigo Bernardes de Moura

OS EFEITOS DA VARIAÇÃO NOS PARÂMETROS DE FABRICAÇÃO E DO
PERCENTUAL DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE
COMPONENTES FABRICADOS POR FDM EM POLIAMIDA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Jakson Manfredini Vassoler

Comissão de Avaliação:

Prof. Jakson Manfredini Vassoler

Prof. Rogério José Marczak

Prof. Felipe Tempel Stumpf

Porto Alegre, abril de 2022

AGRADECIMENTOS

À AEL Sistemas S.A. pela disponibilização da impressora 3D para a impressão dos corpos de prova desse trabalho;

Ao Rodrigo Barros, técnico do Grupo de Mecânica Aplicada (UFRGS), pelo auxílio para a realização dos ensaios mecânicos e empréstimo de materiais para a execução do trabalho.

MOURA, RODRIGO. Os efeitos da variação nos parâmetros de fabricação e do percentual de umidade nas propriedades mecânicas de componentes fabricados por FDM em poliamida. 2022. 19. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

A manufatura aditiva por FDM (*Fused Deposition Modeling*) progressivamente se mostra como um método de fabricação aplicável em componentes com responsabilidade estrutural. Por outro lado, para permitir avanços mais efetivos nesse contexto, ainda são necessários estudos referentes às propriedades mecânicas frente a variações de parâmetros de fabricação e condições de operação do material, como em ambiente com alta umidade relativa. Com esse objetivo, o estudo avalia os impactos na resistência mecânica da variação da altura de camada e do percentual de saturação em água em componentes fabricados por FDM em duas direções de impressão distintas empregando a poliamida (PA) como material. São propostos oito casos de estudo, utilizando as alturas de camada de 0,15 mm e 0,3 mm e condições de umidade do material seco e saturado, nas direções de impressão horizontal (XY) e vertical (ZX) sobre a mesa de impressão. Com base nos resultados, observa-se que maiores alturas de camada geram percentuais de saturação mais elevados para as duas direções de impressão analisadas, o que, por sua vez, pode modificar o comportamento mecânico do material. Os resultados mostram que para as duas alturas de camada existem reduções relevantes após a saturação em água na resistência à tração especialmente na direção ZX, e no módulo de elasticidade na direção XY. Comparando-se apenas as alturas de camada, observa-se um aumento na resistência à tração com a diminuição da altura de camada para a maioria dos casos de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura Aditiva, *Fused Deposition Modeling*, Poliamida, Resistência Mecânica.

MOURA, RODRIGO. The effects of variation in manufacturing parameters and percentage of moisture on the mechanical properties of components manufactured by FDM with polyamide. 2022. 19. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

Additive manufacturing by FDM (Fused Deposition Modeling) is progressively showing itself as a manufacturing method applicable in components with structural responsibility. On the other hand, to allow more effective advances in this context, studies are still needed regarding the mechanical properties in the face of variations in manufacturing parameters and operating conditions of the material, such as in an environment with high relative humidity. With this objective, the study evaluates the impacts on the mechanical resistance of the variation of layer height and of the saturation percentage in water in components manufactured in two different printing directions using polyamide (PA). Eight case studies are proposed, using layer heights of 0.15 mm and 0.3 mm in dry and saturated conditions of the material, in the horizontal (XY) and vertical (ZX) printing directions on the printing platform. Based on the results, it is observed that higher layer heights generate higher saturation percentages for the two analyzed printing directions, which in turn can modify mechanical behavior. The results show that for the two layer heights there are relevant reductions after saturation in water in the tensile strength especially in the ZX direction, and in the modulus of elasticity in the XY direction. When comparing the layer heights exclusively, an increase in the tensile strength is observed with the decrease in the layer height for most case studies.

KEYWORDS: Additive Manufacturing, Fused Deposition Modeling, Polyamide, Mechanical Resistance.

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos

E	Módulo de elasticidade	MPa
σ_m	Resistência à tração	MPa
α	Percentual de saturação de água	%
F	Força instantânea	N
A_{SE}	Área da seção transversal do corpo de prova na condição seca	mm ²
A_{SA}	Área da seção transversal do corpo de prova na condição saturada	mm ²
ε	Deformação	%
σ	Tensão	MPa
D.P.	Desvio Padrão	-
M_{SE}	Massa do corpo de prova seco	g
M_{SA}	Massa do corpo de prova saturado	g

de impressão é afetada de forma extremamente relevante pelo percentual de umidade presente no material.

- 4) Houve redução significativa do módulo de elasticidade em todos os casos propostos a partir da saturação com água. As maiores reduções foram observadas nos corpos impressos na direção XY, chegando a quedas próximas de 83% para as duas alturas de camada estudadas.
- 5) Avaliando a influência da altura de camada nas propriedades mecânicas, verifica-se que para todos os casos da direção XY (Comparação 5 e 6) houve uma redução da resistência à tração a partir do aumento da altura de camada. Para a direção ZX (Comparação 7 e 8), o aumento da altura de camada gerou uma redução estatisticamente significativa apenas para o caso saturado na resistência à tração e para o caso seco no módulo de elasticidade.
- 6) De forma geral, durante o projeto de uma peça impressa exposta a condições de elevada umidade, deve-se priorizar a fabricação do componente na direção XY e com altura de camada reduzida. Em caso de necessidade de fabricação da peça na direção ZX por questões geométricas do componente, sugere-se fortemente o emprego de alturas de camada menores para diminuir o percentual de saturação do material e elevar a resistência à tração da peça nessa direção.
- 7) Para a direção XY, considerando situações em que o componente projetado não estará exposto a condições rigorosas de umidade, e que se deseje maximizar a resistência à tração da peça, deve ser priorizado o uso de menores alturas de camada, uma vez que se constatou uma redução de 6,1% dessa propriedade a partir desse parâmetro. Por outro lado, em função do tempo de impressão depender linearmente do número total de camadas do componente (REDWOOD et al., 2017), sugere-se a realização de uma avaliação específica da necessidade de um ganho relativamente pequeno de resistência à tração frente ao grande aumento no tempo de fabricação da peça.

Como prosseguimento no contexto do estudo, sugere-se a observação dos efeitos da absorção de umidade com a variação do percentual de preenchimento da peça na resistência mecânica. A caracterização desse comportamento é relevante, uma vez que esse parâmetro se relaciona com a massa de filamento para construção de uma mesma geometria e com o tempo de impressão. Outra importante adição ao presente estudo seria analisar o comportamento mecânico para uma maior quantidade de alturas de camada, de forma a propor curvas de resistência a tração e/ou módulo de elasticidade em função do percentual de umidade absorvido.

