

MANUFATURA ADITIVA: UMA REVISÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D DE MATERIAL ASA NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Bruno Moterani Meri

Guilherme Anthony Weis Jovino

Álvaro Augusto Lago Silva

Alexandre Aparecido Buenos

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Avenida Roraima 1000, Campus sede, CEP 97105-900, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

e-mails: bruno.moterani@acad.ufsm.br, guilherme.jovino@acad.ufsm.br, alvaro-silva.as@acad.ufsm.br, alexandre.buenos@ufsm.br

Resumo: A manufatura aditiva (AM), também conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação que tem ganhado cada vez mais espaço nos mais diversos setores da indústria. No entanto, existe uma carência de informações que mostram a influência dos parâmetros de impressão 3D na resistência mecânica das peças impressas. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sobre a influência dos parâmetros de impressão na resistência à tração de peças impressas em acrilonitrila estireno acrilato (ASA). Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica contendo pesquisas acerca do assunto. Os resultados mostram que a resistência à tração aumenta com o aumento no preenchimento e espessura de camada. Já a orientação de impressão em 0° apresentou maior resistência à tração. Conclui-se que a orientação de impressão, o preenchimento e a espessura de camada influenciam na resistência à tração de materiais impressos em material ASA.

Palavras chave: Manufatura Aditiva. Acrilonitrila Estireno Acrilato. Modelagem por Fusão e Deposição. Ensaio de Tração.

1. INTRODUÇÃO

Um método que atualmente é utilizado no processo de fabricação é o da Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing* – AM), a Impressão 3D, que se refere às mesmas tecnologias utilizadas na prototipagem rápida (*rapid prototyping* – RP). AM de polímeros pode utilizar como técnica Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modeling* - FDM), que é uma técnica que produz um objeto tridimensional através da deposição de sucessivas camadas uma a uma para construir a peça completa. Para isso, é necessário desenvolver o modelo digital de uma peça através do software de desenho assistido por computador (*Computer Aided Design* – CAD). Esse arquivo é enviado para um software de impressão 3D que realiza o pós-processamento da peça gerando um código que é interpretado pela impressora 3D.

Neste âmbito, as aplicações da AM estão ganhando espaço na fabricação de produtos de uso final na área de aeronaves, implantes dentários e médicos, automóveis e também na indústria de alimentos e moda. No entanto, o objeto final obtido pode sofrer variações nas propriedades mecânicas do modelo de acordo com os parâmetros de impressão adotados e equipamento utilizado.

Desta maneira, este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de estudos feitos sobre o quanto a

variação dos parâmetros adotados no processo de impressão 3D, pode influenciar na resistência à tração de corpos de prova impressos em Acrilonitrila Estireno Acrilato (ASA).

2. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Assim como outros processos de usinagem ou de fabricação, a resistência de uma amostra impressa em FDM também depende de vários fatores. Isso inclui os parâmetros de entrada da impressora, que são relevantes para a condução adequada do processo de impressão 3D. A maioria desses parâmetros correlacionam-se; alguns têm maior impacto e influenciam mais diretamente no conceito final do produto em comparação a outros. Dentre todos os parâmetros de impressão, foi observado que três deles são extremamente importantes no processo de seleção, sendo eles: preenchimento, orientação de impressão e espessura de camada.

2.1. Preenchimento

Johnson e French (2018) estudaram os efeitos da variação do preenchimento em diferentes polímeros em relação à resistência à tração. Os corpos de prova (CPs)

foram impressos com filamento de 1,75 mm de diâmetro para o material ASA. As amostras foram impressas com porcentagens de preenchimento que variam de 15% a 100% para testar as propriedades de tração. Os resultados mostram que os CPs com preenchimento de 100% foram os que apresentaram maior resistência à tração como já esperado. No entanto, os autores mostram que nem sempre é necessário realizar a impressão com 100% de preenchimento, pois isso consome maior quantidade de material e tempo de impressão. O ideal é selecionar um preenchimento que atenda às necessidades de impressão de cada peça em termos de resistência mecânica.

Hameer *et al* (2022) estudaram o efeito da variação de preenchimento dos CPs impressos em ASA e, conseqüentemente, sua influência sobre a resistência à tração. Os autores produziram CPs com preenchimento de 30%, 70% e 100% utilizando impressora 3D Creality Ender-3 configurada com alguns parâmetros de impressão fixos, tais como velocidade de impressão de 60 mm/s, número de perímetros de 4, temperatura da mesa de impressão de 90°C e 40% de resfriamento de impressão. Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina universal Instron 8801 com velocidade de ensaio de 5 mm/min. Os resultados mostram um aumento significativo da resistência à tração em função do aumento no percentual de preenchimento.

Kumar *et al* (2020) também estudaram a influência do preenchimento na resistência à tração dos corpos de prova (CPs). Em seus estudos eles produziram os CPS utilizando um filamento de material ASA com 1,75 mm de diâmetro. O equipamento utilizado foi uma impressora Stratasys F370 com tecnologia FDM. A temperatura da extrusora e da plataforma de construção foram mantidas em 220°C e 60-90°C, respectivamente. A velocidade de impressão da impressora foi de 160 mm/s. Os preenchimentos foram definidos como 25%, 50% e 100% para os CPs.

De acordo com os padrões ASTM, os CPs de teste foram projetados usando o software de modelagem digital chamado de Creo Parametric, versão 4.0 e fatiadas usando o software de fatiamento padrão GRABCAD usado em conjunto com a impressora Stratasys. Os CPs são mostrados na Fig. 1, sendo que as dimensões foram definidas conforme a norma ASTM D 638 com comprimento de 165 mm, largura de 19 mm e espessura de 5 mm para teste de resistência à tração.

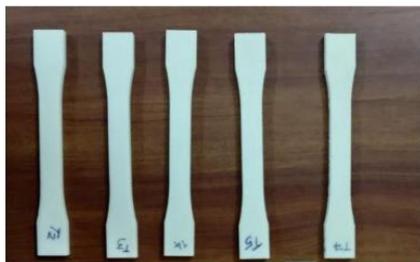


Figura 1: CPs impressos em FDM para teste de tração.
Fonte: Kumar et al. (2020).

O teste de tração foi realizado em uma máquina de teste universal conforme a norma ASTM D 638.

A direção de impressão ou orientação, porcentagem de preenchimento e espessura de camada foram combinadas gerando 9 CPs. Esses foram ensaiados e a resistência à tração obtida conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Resistência a tração com diferentes parâmetros de impressão.

CP's	Direção de impressão	Porcentagem de preenchimento	Espessura de camada (mm)	Resistência a tração (MPa)
1	X-90	50	0,127	30,2
2	X-90	100	0,178	34,1
3	X-90	25	0,254	37,4
4	Z-90	50	0,178	33,3
5	Z-90	100	0,254	52,2
6	Z-90	25	0,127	31,2
7	Y-90	50	0,254	43,2
8	Y-90	100	0,127	32,4
9	Y-90	25	0,178	34,7

Fonte: adaptado de Kulmar *et al.* (2020).

Quando a porcentagem de preenchimento é mantida em 100%, o consumo de material aumenta, resultando em aumento da resistência. A relação resistência/peso é relativamente expressiva, como resultado, a resistência à tração diminui com a diminuição da porcentagem de preenchimento, conforme observado na Tabela 1.

2.2. Orientação de impressão

Cahyadi (2019) analisou a influência da orientação de impressão em relação à resistência à tração dos CPs impressos em ASA. Para isso, ele produziu CPs com orientações de 0°, 45° e 90° usando uma impressora XYZ Printing Da-Vinci 1.0 com Interpretador de firmware baseado em repetidor. A placa de construção foi aquecida a 105°C e a extrusora foi ajustada para 260°C.

Para distinguir claramente o efeito da orientação das fibras de impressão, o preenchimento foi definido para 100% e a altura da camada foi de 0,2 mm, enquanto a velocidade de impressão foi de 50 mm/s.

A orientação do ângulo de impressão das fibras está representada na Figura 2.

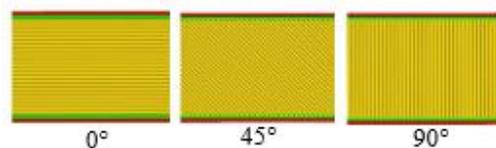


Figura 2: Orientação dos ângulos das fibras dos CPs.
Fonte: adaptado de Cahyadi (2019).

O teste de tração foi realizado de acordo com o método de teste padrão para tração utilizando a norma ASTM D-638 com CPs do tipo IV e uma máquina de teste universal MTS Insight 5. A velocidade do teste foi determinada a partir do tipo de CP. Para plástico não rígido, que não foi moldado por injeção, tipo IV deve ser usado no teste, e a

velocidade do teste seria de 5 mm/min. Pode-se observar o CP que foi submetido ao teste de tração na Figura 3.

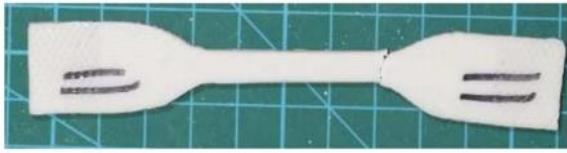


Figura 3: CP após ensaio de tração.
Fonte: Cahyadi (2019).

A Tabela 2 mostra um resumo dos resultados de todos os testes de tração para os CPs.

Tabela 2: Resultados do teste de resistência à tração.

Orientação das fibras	Tensão de falha (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tensão de Escoamento (MPa)
90°	35.78 ± 0.718	1.77 ± 0.124	32.74 ± 0.926
45°	35.57 ± 0.810	1.74 ± 0.023	32.92 ± 0.950
0°	42.31 ± 1.584	1.85 ± 0.055	39.77 ± 2.092

Fonte: adaptado de Cahyadi (2019).

Os dados mostram que a direção 0° exibe a mais alta resistência à tração, módulo de elasticidade e tensão de escoamento. Já as direções de 45° e 90° têm propriedades semelhantes. Isso mostra que a orientação de impressão teve um efeito significativo nas propriedades de tração do ASA. Para orientação de 0°, a tensão de falha ou ruptura média foi de 42,31 MPa, e o módulo de elasticidade foi de 1,85 GPa e a tensão de escoamento de 39,77 MPa.

Kumar *et al* (2020) também estudaram o efeito da direção ou orientação de impressão sobre a resistência à tração para um CP de material ASA. Eles prepararam CPs impressos nas direções de impressão X-90, Y-90 e Z-90. De acordo com os dados apresentados, o CP possui a maior resistência a tração, de 52,2 MPa, na direção de impressão de Z-90, com 100% de preenchimento e espessura de camada de 0,254 mm, e a menor resistência à tração, de 30,2 MPa, na direção de impressão de X-90, com 50% de preenchimento e espessura de camada de 0,127 mm. No entanto, não é possível analisar a influência da direção de impressão em função da resistência, pois os parâmetros de impressão de preenchimento e espessura de camada variaram também.

2.3. Preenchimento

Kumar *et al* (2020) também estudaram a influência da espessura de camada na resistência à tração dos CPs, sendo estes impressos com espessuras de 0,127 mm, 0,178 mm e 0,254 mm. Os equipamentos utilizados na preparação dos CPs e testes foram os mesmos descritos anteriormente na seção 2.1. Os resultados podem ser vistos na Tabela 1. Nota-se um aumento da resistência à tração com o aumento da espessura de camada, sendo que a maior resistência, 52,2 MPa, foi encontrada para o CP com espessura de

camada de 0,254 mm, preenchimento de 100% e direção de impressão de Z-90. Isso mostra que a espessura de camada tem influência significativa nas propriedades mecânicas das peças impressas, mais especificamente na resistência à tração.

Hameer *et al.* (2022) também estudaram o efeito da variação de espessura de camada dos CPs impressos em ASA e, conseqüentemente, sua influência sobre a resistência à tração. Os autores produziram CPs com espessura de camada de 0,08 mm, 0,12 mm e 0,16 mm. Os resultados mostram que a espessura de camada influencia significativamente nessa propriedade mecânica.

3. CONCLUSÃO

Observando os resultados das pesquisas realizadas por outros autores é notável que os parâmetros de impressão influenciam de maneira expressiva nas propriedades mecânicas do material ASA.

Conclui-se que os parâmetros de impressão de preenchimento e espessura de camada são os que apresentam maior influência sobre a resistência à tração de CPs impressos em ASA. Quanto maior o percentual de preenchimento e, conseqüentemente, a adição de material ao CP, maior será a resistência à tração do mesmo. Além disso, um aumento na espessura da camada gerou uma maior resistência à tração. A orientação de impressão mostrou resultados semelhantes quanto o CP é impresso na orientação 45° e 90°, porém quando impresso na orientação de 0°, maior foi a resistência à tração dos CP. Isso pode ser explicado pela redução do número de interfaces de adesão do material impresso após fundido uma camada sobre a outra.

Ao final, pode-se concluir que os parâmetros de impressão de preenchimento, orientação de impressão e espessura de camada influenciam na resistência à tração de CPs impressos em material ASA.

4. REFERÊNCIAS

- CAHYADI, William. Mechanical Properties of 3D Printed Acrylonitrile Styrene Acrylate. 2019. Dissertation. (Master of Science in Mechanical Engineering), South Dakota State University, South Dakota, United States of America, 2019. Disponível em: <https://openprairie.sdstate.edu/etd/3187>
- HAMEED, Abdul Zubar et al. 3D Printing Parameter Optimization Using Taguchi Approach to Examine Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) Mechanical Properties. *Polymers*, v. 14, p. 16, 2022, p. 3256-3280.
- JOHNSON, Gabriel A.; FRENCH, Jesse J. Evaluation of Infill Effect on Mechanical Properties of Consumer 3D Printing Materials. *Advances in Technology Innovation*, vol. 3, no. 4, 2018, p. 179 –184.
- KUMAR, S. Raam, S. Sridhar, R. Venkatraman et al., Polymer additive manufacturing of ASA structure: Influence of printing parameters on mechanical properties. *Materials Today: Proceedings*, v. 39, p. 4, 2021, p. 1316-1319. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.500>