

## MANUFATURA ADITIVA: UMA REVISÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D DE MATERIAL ASA NA PROPRIEDADE MECÂNICA DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Caio Stelter Fenzke

Halyson da Costa Silva

Nelson Ciancaglio Netto

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: caio.fenzke@acad.ufsm.br, halyson.silva@acad.ufsm.br, nelson.ciancaglio@acad.ufsm.br, alexandre.buenos@ufsm.br.

**Resumo:** A manufatura aditiva ou impressão 3D é um processo que vem ganhando espaço no mercado desde o final do século XX. Seu procedimento de fabricação consiste na deposição de material em camadas, com a finalidade de produzir desde peças funcionais simples àquelas com geometrias mais complexas. No entanto, existe uma carência de informações relacionadas com as propriedades mecânicas das peças impressas. Com isso, o objetivo deste estudo é realizar uma revisão sobre a influência dos parâmetros de impressão 3D na resistência à flexão de corpos de prova (CPs) impressos em material Acrilonitrila Estireno Acrilato (ASA). Para isso, foi realizada pesquisa de trabalhos relacionados com os parâmetros de impressão e sua influência na resistência à flexão. Os resultados mostram que a propriedade mecânica de resistência à flexão é fortemente influenciada pela variação nos parâmetros de impressão 3D, tais como composição do material impresso, porcentagem de preenchimento, espessura de camada e orientação de impressão em CPs produzidos em material ASA.

**Palavras chave:** Fabricação mecânica. Acrilonitrila Estireno Acrilato. Flexão. Polímeros. Resistência mecânica.

### 1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (*Additive Manufacturing – AM*), também conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação que consiste na extrusão de algum tipo de material aquecido ao ponto de permitir a extrusão deste, podendo o mesmo ser um material metálico ou não metálico. Para realização da AM, a peça é modelada em um software de desenho assistido por computador (*Computer Aided Design – CAD*) e logo após é enviado para um software de impressão 3D, sendo que este realiza o fatiamento e a conversão do desenho digital (pós-processamento) para um código que pode ser interpretado pela impressora 3D. Essa, por meio de um bico extrusor, extruda o material em uma mesa de impressão, modelando a peça em camadas até adquirir o formato desejado.

Desde o final do século XX, a AM vem ganhando espaço no mercado, seja em aplicações na área de engenharia ou médica, bem como em outras áreas. Isso se deve ao fato de o grau de liberdade obtido por esse método na produção ser o fator de maior atratividade, uma vez que

corpos de geometria complexa podem facilmente ser impressos por meio dessa técnica.

No entanto, existem uma carência de informações com relação a resistência mecânica das peças impressas, pois ao realizar a impressão são selecionados parâmetros de impressão que influenciam nas propriedades mecânicas das peças impressas.

O objetivo deste trabalho é verificar quais parâmetros de impressão influenciam na resistência à flexão de CPs fabricados em material ASA utilizando a AM.

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

Nessa seção foram verificados os parâmetros de impressão 3D que mais influenciam nas propriedades mecânicas, mais especificamente na resistência à flexão, de peças impressas em material ASA.

#### 2.1. Composição do material impresso

O estudo de Datta, Guha e Sarkhel (2015) foi baseado na análise da relação entre a adição de ionômeros de sódio ao polímero ASA e a alteração nas propriedades mecânicas de resistência à flexão do material.

Foram feitas sete combinações de ASA com ionômero de sódio para serem testadas, seguindo a nomenclatura exposta na Tabela 1.

Tabela 1. Nomenclatura dos CPs em função da porcentagem de ionômero de sódio.

Nomenclatura CPs	Na ionômero (%)	ASA (%)
A100	0	100
N10	10	90
N20	20	80
N30	30	70
N40	40	60
N50	50	50
N100	100	0

Fonte: adaptado de Datta, Guha e Sarkhel (2015).

O teste de flexão foi realizado seguindo o padrão ASTM D790, e os CPs foram cortados de um molde de compressão pré-condicionado nas dimensões 2mm x 60mm x 12,7mm. Foram mantidos uma velocidade de ensaio de 0,85mm/min e um espaçamento de vão de 32mm.

Os resultados mostram que a resistência à flexão e o módulo de flexão diminuem com o aumento na proporção de ionômero de sódio, exceto no polímero N100, onde a resistência à flexão aumenta em relação ao N50 (Tabela 2).

Tabela 2. CPs e os resultados do teste de flexão.

CPs	Módulo de flexão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
N10	1597,3 ± 89,7	31 ± 4,9
N20	1292,6 ± 83,6	23,9 ± 3,8
N30	1147,3 ± 96,5	20,3 ± 2,4
N40	910,8 ± 53,3	18,2 ± 4,3
N50	675,4 ± 67,4	14,3 ± 1,1
N100	316,6 ± 29,6	16 ± 0,6

Fonte: adaptado de Datta, Guha e Sarkhel (2015).

Já Huang, Luo e Gao (2019) buscaram evidenciar o quanto um CP submetido à flexão sofreria influência do copolímero tribloco (TRI), adicionalmente utilizado em diferentes porcentagens no ASA.

Para iniciar, os autores utilizaram diferentes matrizes como base para a impressão 3D, sendo elas diferenciadas quanto à quantidade de TRI misturado à base.

Os resultados mostram que os CPs que possuem mais porcentagem de TRI foram significativamente mais resistentes à flexão que os que possuem menor quantidade do TRI. Isso pode ser atribuído ao alongamento do CP durante o ensaio, gerando um aumento na tenacidade à fratura e, conseqüentemente, uma maior resistência à flexão.

## 2.2. Orientação de impressão

Cahyadi (2019) focou nos impactos do ângulo de orientação da deposição. Os materiais foram impressos utilizando o método de Modelagem por Fusão e Deposição (*Fused Deposition Modelling – FDM*) e as peças foram modeladas por meio do software de modelagem 3D SolidWorks.

Todos os CPs foram feitos com o material ASA, utilizando a impressora XYZ Printing Da-Vinci 1.0. O diâmetro do filamento e do bocal usado foram 1,7mm e 0,4mm, respectivamente. A mesa de impressão foi aquecida a 105°C e a extrusora a 260°C.

Os CPs foram impressos em ângulos de 0°, 45° e 90° conforme Figura 1. A fim de tornar mais claro o efeito da orientação, o preenchimento foi ajustado para 100%, a espessura da camada foi de 0,2mm e a velocidade de impressão foi ajustada para 50mm/s.

Durante a manufatura dos CPs, a temperatura ambiente foi mantida em aproximadamente 20°C e a umidade relativa entre 40% e 50%.

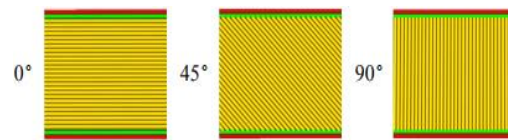


Figura 1. Orientação das fibras.

Fonte: adaptado de Cahyadi (2019).

Os testes foram conduzidos de acordo com o padrão ASTM D790 para flexão e utilizando uma máquina de testes universal MTS Insight 5. Um dispositivo de flexão de 3 pontos foi utilizado para posicionar os CPs em um vão de 51mm entre os suportes do dispositivo de ensaio de flexão em 3 pontos. O resultados para os testes de flexão pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo dos testes de flexão para CPs.

Orientação das fibras	Limite de resistência à flexão (MPa)	Módulo de flexão (GPa)	Tensão de escoamento (MPa)
90°	48,71 ± 2,16	1,34 ± 0,03	39,11 ± 0,85
45°	51,18 ± 2,20	1,39 ± 0,08	39,79 ± 1,58
0°	61,96 ± 1,71	1,70 ± 0,08	51,38 ± 2,09

Fonte: adaptado de Cahyadi (2019).

Os resultados mostram que a orientação de impressão tem efeito significativo nas propriedades de flexão do material ASA. O ângulo de impressão de 0° apresentou maior limite de resistência à flexão do que os ângulos de 45° e 90°.

Kumar *et al.* (2020) também estudaram a influência da orientação de impressão na resistência à flexão de CPs impressos em material ASA. Para isso, os CPs foram impressos na orientação de X-90, Y-90 e Z-90 utilizando uma impressora 3D da marca Stratasys, modelo F370 com tecnologia FDM. Os CPs foram produzidos conforme norma ASTM D790. A temperatura da extrusora e da mesa foram mantidas em 220°C e na faixa de 60-90°C, respectivamente. A Figura 2 e Tabela 4 mostram a

influência da orientação de impressão na resistência à flexão.

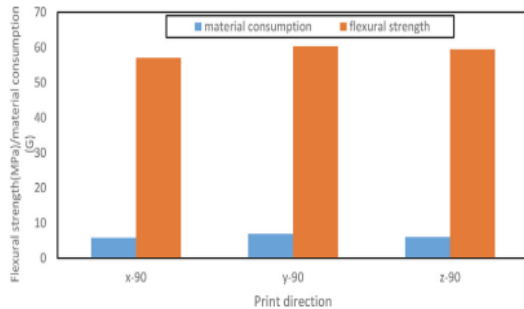


Figura 2. Resistência à flexão X orientação de impressão.  
Fonte: Kumar *et al.* (2020).

Na Figura 4 nota-se que os CPs impressos na orientação Z-90 e X-90 apresentaram menor resistência à flexão quando comparado à orientação Y-90.

Tabela 4. Resistência a flexão e parâmetros de impressão.

CPs	Orientação de impressão	Preenchimento (%)	Espessura de camada (mm)	Resistência à flexão (MPa)
1	X-90	50	0,127	59,3
2	X-90	100	0,178	55,6
3	X-90	25	0,254	57,1
4	Z-90	50	0,178	56,2
5	Z-90	100	0,254	59,5
6	Z-90	25	0,127	40,8
7	Y-90	50	0,254	60,4
8	Y-90	100	0,127	65,2
9	Y-90	25	0,178	65,7

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

### 2.3. Preenchimento

Kumar *et al.* (2020) buscaram compreender a influência do preenchimento na resistência à flexão dos CPs impressos em material ASA. Os autores observaram que o aumento no preenchimento gera um aumento na resistência à flexão dos CPs conforme mostra a Figura 3.

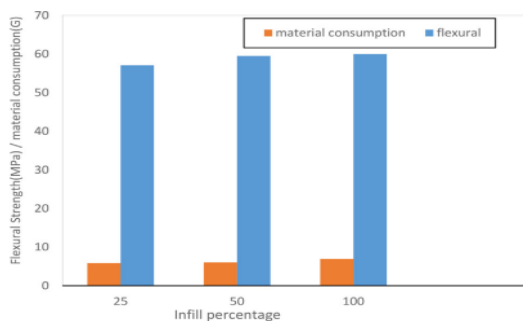


Figura 3. Resistência à flexão X preenchimento.  
Fonte: Kumar *et al.* (2020).

### 2.4. Espessura de Camada

Hameed *et al.* (2022) estudaram a influência da espessura de camada na resistência à flexão dos CPs impressos em material ASA. Para isso, os CPs foram impressos com espessura de 0,08mm, 0,12mm e 0,16mm utilizando uma impressora 3D Creality Ender-3 com tecnologia FDM. A norma ASTM D790 foi utilizada na produção dos CPs com dimensões de 130mm de comprimento, 12,7mm de largura e 3mm de espessura. Esses foram ensaiados por flexão em 3 pontos utilizando uma máquina universal Instron 8801. Os resultados mostram que o aumento na espessura de camada gera um redução na resistência à flexão dos CPs.

### 3. CONCLUSÃO

Conclui-se que a variação de diferentes parâmetros de impressão, tais como a orientação de impressão, a porcentagem de preenchimento, a espessura de camada e a composição de base do ASA com introdução de aditivos influenciam diretamente na resistência à flexão. A adição de TRI gerou aumento na resistência à flexão, mas a adição de ionômeros de sódio reduziu a resistência. Quanto ao ângulo, foi observado que 0° gera maior resistência à flexão do que 45° e 90°. Além disso, foi observado um aumento da resistência à flexão com o aumento da porcentagem de preenchimento e a diminuição da espessura de camada.

### 4. REFERÊNCIAS

- CAHYADI, W. Mechanical Properties of 3D Printed Acrylonitrile Styrene Acrylate. 2019. Dissertation. (Master of Science in Mechanical Engineering), South Dakota State University, South Dakota, USA, 2019.
- DATTA, P.; GUHA, C.; SARKHEL, G. Study of Mechanical, Thermal, Morphological of Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA)/Na<sup>+</sup> Poly(ethylene-co-methacrylic acid) Ionomer Blend. *Polymer Engineering and Science*, v. 55, p. 7, 2015, p. 1571-1579.
- 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.
- HUANG, Jie; LUO, Yingwu; GAO, Xiang. Morphology and Mechanical Properties of Acrylonitrile-StyreneAcrylate Toughened Plastics With Block Copolymer Chain Structure. *Polymer Engineering and Science*, v. 59, p. 2, 2019, p. 389-395.
- 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 *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.