

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ALTURA DE CAMADA NA RUGOSIDADE EM SUPERFÍCIE INCLINADA DE PEÇAS DE ABS PRODUZIDAS POR IMPRESSÃO 3D

LEONARDO P. DE SOUSA¹, JOSÉ R. CAMILO², KELVIN DOS S. TIENE³, CLEITON L. F. DE ASSIS⁴

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, leonardo.paiva@aluno.ifsp.edu.br

² Docente do IFSP, Câmpus Votuporanga, jrcamilo@ifsp.edu.br

³ Graduando em Engenharia Elétrica, IFSP, Câmpus Votuporanga, kelvin.t@ifsp.edu.br

⁴ Docente do IFSP, Câmpus Votuporanga, fazolocla@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7 Polímeros, Aplicações.

RESUMO: O ABS é um termoplástico que se liquefaz quando aquecido e endurece quando resfriado, sendo assim, muito utilizado na tecnologia de Modelagem de Deposição Fundida. Os parâmetros utilizados na fabricação de produtos usando a manufatura aditiva, tais como a altura de camada e a cor do filamento, influenciam na aparência superficial do ABS. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da altura de camada e da cor do filamento na integridade superficial, em superfície inclinada à 45° com a base, de corpos de prova produzidos por Manufatura Aditiva. As peças, produzidas com diferentes cores e alturas de camada, foram medidas para obtenção das rugosidades Ra, Rq e Rz. Os resultados mostraram que, em comparação com a altura de camada de 0,1 mm, Ra foi aproximadamente 74 %, 139 % e 187 % maiores, para as alturas de 0,2, 0,3 e 0,4 mm, respectivamente, Rq foi 71 %, 135 % e 188 % maiores e Rz foi 51 %, 105 % e 155 % maiores, para as respectivas alturas de camada. A cor do filamento não causou mudança significativa na rugosidade lateral. A escolha correta do parâmetro de impressão altura de camada e a cor do filamento, pode contribuir para a otimização de processos e redução de custos produtivos, dispensando a necessidade de pós-processamentos para a obtenção do acabamento desejado na fabricação das peças.

PALAVRAS-CHAVE: ABS; integridade superficial lateral; impressão 3D; altura de camada.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LAYER HEIGHT ON ROUGHNESS ON THE INCLINED SURFACE OF ABS PARTS PRODUCED BY 3D PRINTING

ABSTRACT: ABS is a thermoplastic that liquefies when heated and solidifies when cooled, making it widely used in Fused Deposition Modeling technology. The parameters used in the manufacturing of products using additive manufacturing, such as layer height and filament color, influence the surface appearance of ABS. The objective of this study was to evaluate the influence of layer height and filament color on the surface integrity of a 45° inclined surface with the base of test specimens produced by Additive Manufacturing. The parts, produced with different colors and layer heights, were measured to obtain the roughness values Ra, Rq, and Rz. The results showed that, compared to the 0.1 mm layer height, Ra was approximately 74 %, 139 %, and 187 % higher for the 0.2, 0.3, and 0.4 mm heights, respectively. Rq was 71 %, 135 %, and 188 % higher, and Rz was 51 %, 105 %, and 155 % higher for the respective layer heights. The filament color did not cause significant changes in side roughness. The correct choice of printing parameters, such as layer height and filament color, can contribute to process optimization and cost reduction, eliminating the need for post-processing to achieve the desired finish in the manufacturing of parts.

KEYWORDS: ABS; lateral surface integrity; 3D printing; layer height.

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva é uma técnica de impressão 3D, utilizada para fabricar variadas estruturas e geometrias complexas a partir de modelos tridimensionais (Ngo *et al.*, 2019).

O ABS é um termoplástico que se liquefaz quando aquecido e endurece quando resfriado, sendo assim, muito utilizado na tecnologia de Modelagem de Deposição Fundida (Selvamani *et al.*, 2019).

Os parâmetros utilizados na fabricação de produtos usando a manufatura aditiva tais como a altura de camada e a cor do filamento utilizado influenciam no comportamento mecânico do ABS (Kaur *et al.*, 2021).

Os pigmentos são complexos químicos divididos em partículas microscópicas que apresentam coloração particular e tem como objetivo atingir ou/e colorir um produto/material estipulado. De modo geral, as propriedades de migração, poder tintorial, resistência térmica, entre outros são dependentes das características aplicadas pelos pigmentos (Neuplast, 2020).

A altura de camada interfere diretamente na rugosidade superficial de peças impressas em 3D usando o material Ácido Polilático (PLA) (Bintara *et al.*, 2021).

A influência da cor do filamento de ABS na integridade superficial foi analisada na face lateral das peças e apresentaram a relação entre as rugosidades Ra, Rq e Rz (Sousa *et al.*, 2023).

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da altura de camada e da cor do filamento na integridade superficial, em superfície inclinada à 45° com relação à base, de peças produzidas por Manufatura Aditiva. A produção de peças coloridas com superfície inclinada, aparência adequada e sem a necessidade de pós-processamento, possibilita maior produtividade e redução do custo de fabricação.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos corpos de prova foi utilizada uma impressora 3D da marca GTMax3D, modelo H5, com as seguintes características: área de impressão de 300 x 300 x 500 mm (comprimento x largura x altura), velocidade máxima de impressão de 180 mm/s, espessura da camada de 0,05 à 0,4 mm no eixo XY e de 0,004 mm no eixo Z, diâmetro do bico extrusor com 0,5 mm, com temperatura máxima de 295 °C, diâmetro de filamento do material de 1,75 mm e aquecimento da mesa de até 135 °C.

Foram produzidas cinco amostras para cada filamento de ABS, nas cores: natural, nude, cinza, preto e vermelho (as cores foram nomeadas conforme as nomenclaturas utilizadas pelo fabricante dos filamentos), com alturas de camada de 0,10 mm, 0,20 mm, 0,30 mm e 0,40 mm, totalizando 100 peças. Os parâmetros utilizados nas impressões estão indicados na Tabela 1.

TABELA 1. Parâmetros de impressão utilizados.

Temperatura da mesa	Temperatura de extrusão	Velocidade de impressão	Diâmetro do bico extrusor
120 °C	230 °C	30 mm/s	0,5 mm

Todas as amostras possuem a forma piramidal com base de 25 mm de comprimento e 25 mm de largura, possuindo 12,5 mm de altura, com inclinação lateral de 45°, e ambas com padrão de preenchimento concêntrico e densidade de preenchimento de 100%. Todas as amostras foram impressas com os filamentos de ABS de um mesmo fabricante.

Para a avaliação da integridade superficial das faces inclinadas das amostras, foi utilizado um medidor de rugosidade superficial da marca Mitutoyo, modelo SJ-210 e com resolução de 0,002 µm.

As medições das rugosidades Ra, Rq e Rz foram realizadas nas quatro laterais de cada corpo de prova, sendo a primeira lateral considerada para medição foi a vista de frente à impressora 3D e as demais laterais adotando o sentido horário ao redor de cada peça. Foram realizadas no total quatrocentas medições e o registro de mil e duzentas rugosidades.

Dentre as peças produzidas, na Figura 1 foi mostrado uma peça de cada cor abordada no trabalho. O traço na segunda peça indica a região e a primeira face para medição da rugosidade.



FIGURA 1. Corpos de prova produzidos nas cores natural, nude, cinza, preto e vermelho, da esquerda para a direita.

Para auxiliar na medição das rugosidades das faces inclinadas das amostras e para que as mesmas ficassem alinhadas com a base do rugosímetro, foi impresso um dispositivo, ilustrado na Figura 2 (a), onde na sua extremidade foram encaixadas as peças para medição, indicado na Figura 2 (b) e a colocação do rugosímetro, ilustrado na Figura 2 (c) para a padronização das medições. Na análise estatística foi considerado o intervalo de confiança de 95%.



(a) Dispositivo



(b) Dispositivo com uma amostra



(c) Dispositivo com o rugosímetro

FIGURA 2. Dispositivo impresso para o auxílio da padronização das medições de rugosidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da rugosidade Ra, a qual considera o cálculo da média para o perfil lateral e o respectivo desvio-padrão, para cada cor e altura de camada, são apresentados no Gráfico 1.

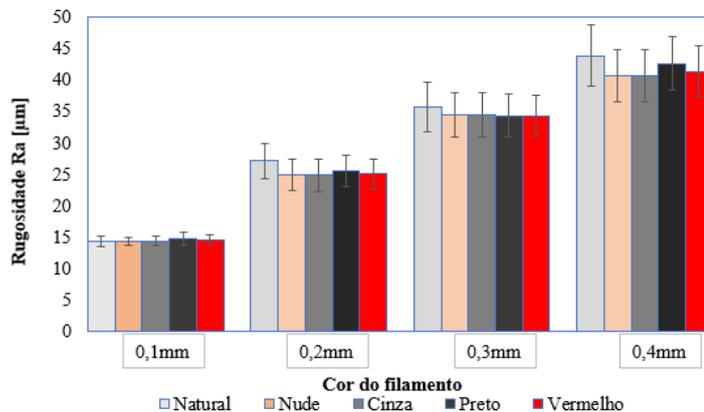


GRÁFICO 1. Resultados obtidos na rugosidade Ra para as diferentes alturas de camada.

Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor de rugosidade média foi observado na cor natural (14,29 µm), enquanto o maior valor foi registrado na cor preta (14,66 µm), resultando em uma diferença de aproximadamente 2,6 %. Para peças com altura de camada de 0,2 mm, o menor valor de rugosidade média ocorreu na cor cinza (24,88 µm) e o maior valor na cor natural (27,10 µm), com uma diferença de aproximadamente 9,0 %. Nas peças com altura de camada de 0,3 mm, o menor valor foi registrado na cor vermelha (34,32 µm) e o maior novamente na cor natural (35,73 µm),

apresentando uma diferença de cerca de 4,1%. Já nas peças com altura de camada de 0,4 mm, o menor valor de rugosidade foi observado na cor cinza (40,69 μm), enquanto o maior foi na cor natural (43,88 μm), com uma diferença de aproximadamente 7,8 %. As médias de rugosidade, considerando todas as cores, foram: 14,41 μm para a altura de camada de 0,1 mm, 25,06 μm para 0,2 mm, 34,42 μm para 0,3 mm e 41,42 μm para 0,4 mm. Portanto, comparando com a rugosidade média da altura de camada de 0,1 mm, o valor da rugosidade para a altura de 0,2 mm foi 1,74 vezes maior, para 0,3 mm foi 2,39 vezes maior e para 0,4 mm foi 2,87 vezes maior.

Os resultados da rugosidade R_q , a qual considera o cálculo da média para o perfil lateral e o respectivo desvio-padrão, para cada cor e altura de camada, são apresentados no Gráfico 2.

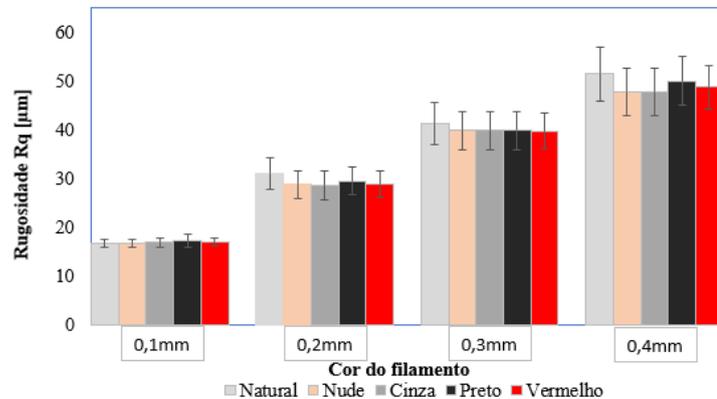


GRÁFICO 2. Resultados obtidos na rugosidade R_q para as diferentes alturas de camada.

Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor de rugosidade média foi observado na cor natural (16,72 μm), enquanto o maior valor foi registrado na cor preta (17,23 μm), resultando em uma diferença de aproximadamente 3,1 %. Para peças com altura de camada de 0,2 mm, o menor valor de rugosidade média ocorreu na cor cinza (28,66 μm) e o maior na cor natural (31,06 μm), com uma diferença de aproximadamente 8,4 %. Nas peças com altura de camada de 0,3 mm, o menor valor foi registrado na cor vermelha (39,74 μm) e o maior na cor natural (41,28 μm), apresentando uma diferença de cerca de 3,9 %. Já nas peças com altura de camada de 0,4 mm, o menor valor de rugosidade foi observado na cor nude (47,80 μm), enquanto o maior foi na cor natural (51,47 μm), com uma diferença de aproximadamente 7,7 %. As médias de rugosidade, considerando todas as cores, foram: 16,92 μm para a altura de camada de 0,1 mm, 28,94 μm para 0,2 mm, 39,86 μm para 0,3 mm e 48,78 μm para 0,4 mm. Portanto, comparando com a rugosidade média da altura de camada de 0,1 mm, o valor da rugosidade para a altura de 0,2 mm foi 1,71 vezes maior, para 0,3 mm foi 2,35 vezes maior, e para 0,4 mm foi 2,88 vezes maior.

Os resultados da rugosidade R_z , a qual considera o cálculo da média para o perfil lateral e o respectivo desvio-padrão, para cada cor e altura de camada, são apresentados no Gráfico 3.

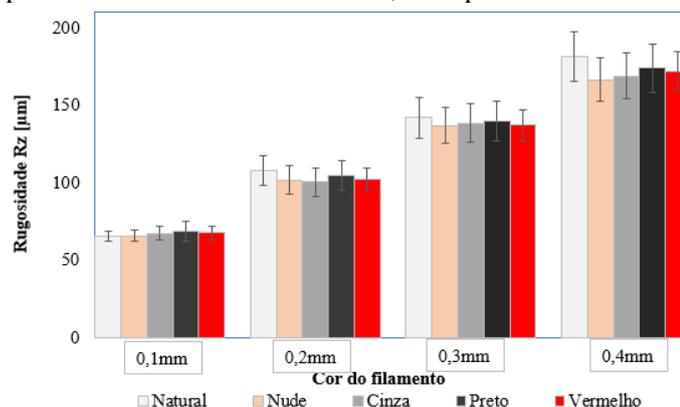


GRÁFICO 3. Resultados obtidos na rugosidade R_z para as diferentes alturas de camada.

Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor de rugosidade média foi observado na cor natural (65,66 μm), enquanto o maior valor foi registrado na cor preta (68,70 μm),

resultando em uma diferença de aproximadamente 4,6 %. Para peças com altura de camada de 0,2 mm, o menor valor de rugosidade média ocorreu na cor cinza (100,57 μm) e o maior na cor natural (108,15 μm), com uma diferença de aproximadamente 7,5 %. Nas peças com altura de camada de 0,3 mm, o menor valor foi registrado na cor nude (136,92 μm) e o maior na cor natural (141,92 μm), apresentando uma diferença de cerca de 3,7 %. Já nas peças com altura de camada de 0,4 mm, o menor valor de rugosidade foi observado na cor nude (166,64 μm), enquanto o maior foi na cor natural (181,31 μm), com uma diferença de aproximadamente 8,8 %. As médias de rugosidade, considerando todas as cores, foram: 67,42 μm para a altura de camada de 0,1 mm, 101,99 μm para 0,2 mm, 138,35 μm para 0,3 mm e 172,04 μm para 0,4 mm. Portanto, comparando com a rugosidade média da altura de camada de 0,1 mm, o valor da rugosidade para a altura de 0,2 mm foi 1,51 vezes maior, para 0,3 mm foi 2,05 vezes maior, e para 0,4 mm foi 2,55 vezes maior.

Os resultados encontrados para a razão entre os parâmetros Rq e Ra, para cada altura de camada, são mostrados no Gráfico 4.

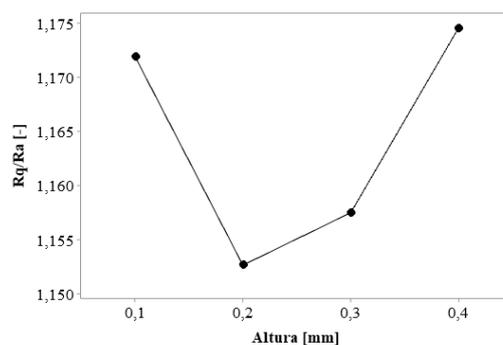


GRÁFICO 4. Relação Rq/Ra para as diferentes alturas de camada.

A razão entre Rq e Ra, na altura de camada de 0,1 mm, foi de aproximadamente 1,17 vezes, ou seja, Rq foi 17 % maior do que Ra. Para as alturas de camadas de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, Rq foi maior do que Ra em aproximadamente 15 %, 15,8 % e 17,5 %, respectivamente. Sousa *et al.* (2023), ao estudar a integridade superficial na lateral de peças à 90° com a base, obtiveram que Rq foi maior que Ra em cerca de 20 %, 18 %, 17,5 % e 18 %, nas alturas de camadas de 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, respectivamente. Nas laterais das peças, inclinadas em 45° com a base, pode-se observar que, nas alturas de 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, a relação Rq/Ra foi um pouco menor comparada com os valores encontrados por Sousa *et al.* (2023). No entanto, os valores de Ra, Rq e Rz encontrados nas superfícies inclinadas à 45° com a base foram maiores para todas as alturas de camadas quando comparados com a superfície da peça à 90° com a base, abordadas por Sousa *et al.* (2023).

A análise estatística de variância, considerando a confiabilidade de 95 %, indicou que a cor do filamento não interferiu na variação significativa da rugosidade lateral inclinada das amostras para uma mesma altura de camada. O mesmo não aconteceu considerando a variável altura de camada, sendo que o acréscimo dos valores da altura de camada ocasionou no aumento significativo dos valores médios das rugosidades Ra, Rq e Rz.

CONCLUSÕES

O trabalho possibilitou analisar as alturas de camada e a cor do filamento de ABS na integridade superficial lateral das peças inclinadas à 45° com relação à base da mesma, produzidas por manufatura aditiva. Verificou-se a variação proporcional do parâmetro de impressão altura de camada com a rugosidade lateral inclinada das amostras produzidas, sendo que a variação da altura de camada na impressão das peças em 2, 3 e 4 vezes, com relação à altura de camada 0,1 mm, ocasionou em rugosidades laterais próximas de 1,74, 2,39 e 2,87 vezes dos valores de Ra, para as alturas de camada de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, respectivamente. Para os valores de Rq as proporções foram de 1,71, 2,35 e 2,88, para as alturas de camada de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, respectivamente. Para os valores de Rz

as proporções foram de 1,51, 2,05 e 2,55, para as alturas de camada de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, respectivamente.

A cor do filamento não interferiu na variação significativa da rugosidade lateral inclinada das amostras para uma mesma altura de camada.

A escolha correta da altura de camada pode contribuir para a produção de peças com superfície inclinada à 45° com relação à base, com controle de acabamento, geração de superfícies funcionais, otimização de processos e redução de custos produtivos, dispensando a necessidade de pós-processamentos para a obtenção do acabamento desejado na fabricação das peças.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

L.P.S, J.R.C e C.L.F.A contribuíram com a curadoria e análise dos dados. L.P.S, J.R.C e K.S.T procederam com a metodologia e experimentos. L.P.S e J.R.C atuaram na redação do trabalho. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSP pela bolsa de iniciação científica e a empresa GTMax3D, que doou os materiais para impressão das amostras.

REFERÊNCIAS

BINTARA, Redyarsa Dharma; LUBIS, Didin Zakariya; PRADANA, Yanuar Rohmat Aji. The effect of layer height on the surface roughness in 3D Printed Polylactic Acid (PLA) using FDM 3D printing. In: **IOP conference series: materials science and engineering**. IOP Publishing, 2021. p. 012096.

KAUR, G.; SINGARI, R. M.; KUMAR, H. A review off used filamento fabrication (FF): process parameters and their impact on the tribological behavior of polimers (ABS). **Material Today: Proceedings**, 2021.

NEUPLAST. **Pigmentos para plásticos**: como funciona o processo de pigmentação? [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.neuplast.com.br/blog/pigmentos-para-plasticos-como-funciona-o-processo-de-pigmentacao/>. Acesso em: 1 set. 2024.

NGO, Tuan D. *et al.* Additivemanufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, v. 143, p. 172-196, 2019.

SELVAMANI, S. K. *et al.* 3D printing: overview of ABS evolvement. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2019.

SOUSA, L. P.; CAMILO, J. R.; TIENE, K. S.; ASSIS, C. L. F. Estudo da influência da altura de camada e do corante na rugosidade lateral de peças de ABS produzidas por manufatura aditiva. In: **14º CONGRESSO DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFSP**, Capivari, 2023, Anais ... Capivari: CONICT, 2023.