ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ALTURA DE CAMADA NA RUGOSIDADE LATERAL DE PEÇAS DE ABS COM INCLINAÇÃO DE 60º PRODUZIDAS POR IMPRESSÃO 3D

[1] Graduando em Bacharelado em Engenharia elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Votuporanga, emailautor@ifsp.edu.br.

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

RESUMO: O ABS é um material amplamente utilizado na Manufatura Aditiva por sua boa processabilidade, resistência química e baixo custo. Parâmetros de impressão utilizados na fabricação das peças podem afetar diretamente o acabamento superficial do ABS. Este estudo teve como propósito analisar o impacto da espessura da camada e da cor do filamento na qualidade superficial de amostras fabricadas por Manufatura Aditiva, especificamente em superfícies inclinadas a 60° em relação à base. As peças, confeccionadas com diferentes espessuras de camada e cores de filamento, foram avaliadas quanto às rugosidades Ra, Rq e Rz. Os dados obtidos revelaram que, em comparação com uma espessura de camada de 0,1 mm, o valor de Ra aumentou aproximadamente 72%, 143% e 208% para espessuras de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, respectivamente. Da mesma forma, Rq apresentou incrementos de 67%, 135% e 199%, enquanto Rz aumentou 47%, 94% e 141% para as mesmas variações de espessura. Já a cor do filamento não exerceu influência relevante na rugosidade lateral. A seleção adequada da espessura de camada e da cor do filamento pode otimizar processos e reduzir custos de produção, eliminando a necessidade de tratamentos posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: ABS; rugosidade superficial; altura de camada; impressão 3D; cor do material.

STUDY OF THE INFLUENCE OF LAYER HEIGHT ON LATERAL SIDE ROUGHNESS OF ABS PARTS WITH A 60° TILT PRODUCED BY 3D PRINTING

ABSTRACT: ABS is a material widely used in Additive Manufacturing due to its good processability, chemical resistance, and low cost. Printing parameters used in the manufacturing of parts can directly affect the surface finish of ABS. This study aimed to analyze the impact of layer thickness and filament color on the surface quality of samples manufactured by Additive Manufacturing, specifically on surfaces inclined at 60° to the base. The parts, manufactured with different layer thicknesses and filament colors, were evaluated for roughness (Ra, Rq, and Rz). The data obtained revealed that, compared to a layer thickness of 0.1 mm, the Ra value increased by approximately 72%, 143%, and 208% for thicknesses of 0.2 mm, 0.3 mm, and 0.4 mm, respectively. Similarly, Rq increased by 67%, 135%, and 199%, while Rz increased by 47%, 94%, and 141% for the same thickness variations. Filament color did not significantly influence lateral roughness. Properly selecting layer thickness and filament color can optimize processes and reduce production costs, eliminating the need for post-treatment.

KEYWORDS: ABS; surface roughness; layer height; 3D printing; material color.

INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva é um processo em que peças tridimensionais são construídas camada por camada a partir de modelos digitais, permitindo liberdade geométrica e redução de desperdícios (Bandyopadhyay *et al*., 2022).

Na técnica de Modelagem por Deposição Fundida (FDM), utilizam-se principalmente termoplásticos como ABS, PLA e Nylon, cada um com propriedades específicas, sendo o ABS valorizado por sua resistência térmica (Mallikarjuna *et al*., 2023).

O ABS é amplamente usado na manufatura aditiva devido à sua processabilidade, estabilidade dimensional, resistência química e baixo custo (Oliveira *et al*., 2016; Harris *et al*., 2019).

O polímero ABS apresenta estabilidade térmica elevada, iniciando sua degradação acima de 310 °C, além de baixa toxicidade e boa biocompatibilidade (Lima, 2018).

Na impressão 3D, o processo de parametrização ainda dispõe algumas restrições, como por exemplo, a temperatura da extrusora, temperatura da mesa de impressão, velocidade de impressão, altura de camada, entre outros, provocam alterações nos resultados da impressão (Carneiro *et al*., 2019).

A altura de camada na impressão 3D influencia diretamente a rugosidade: camadas mais finas geram melhor acabamento, enquanto camadas mais espessas reduzem o tempo de fabricação, mas aumentam a irregularidade. Por isso, é necessário equilibrar qualidade superficial e produtividade conforme o uso da peça (Lourenço Júnior *et al*., 2023).

O objetivo do estudo foi buscar analisar a influência da altura de camada e da cor do filamento ABS na rugosidade de peças inclinadas à 60º em relação à base, visando otimizar parâmetros de impressão e reduzir etapas de pós-processamento, com benefícios econômicos e produtivos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos corpos de prova foi utilizada uma impressora 3D da marca GTMax3D, modelo H5, com as seguintes especificações: 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 a 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, vermelho e azul (os nomes das cores foram usados de acordo com a nomenclatura do próprio fabricante), com alturas de camada de 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, totalizando 120 peças. Os critérios utilizados nas impressões estão indicados na Tabela 1.

TABELA 1. Critérios de impressão utilizados.

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

Cada peça apresenta geometria de pirâmide, com base quadrada de 20 mm de lado e altura de 17,32 mm, formando um ângulo de 60° nas faces inclinadas, com padrão de preenchimento concêntrico e densidade de preenchimento de 100%. Todas as peças amostrais foram impressas com os filamentos de ABS de um mesmo fabricante. O estudo do acabamento considerando o ângulo de 60º faz parte de uma pesquisa maior, envolvendo diferentes inclinações, a ser publicada futuramente.

A análise da integridade superficial das faces inclinadas das amostras foi realizada utilizando um rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ-210, com resolução de 0,002 µm. Na medição das rugosidades foi utilizado cut-off de 0,8 mm, raio da ponta de 5 µm, extensão de avaliação de 4 mm e norma ISO 4288:1997.

As rugosidades Ra (empregada para determinação de textura e estética superficial), Rq (empregada para controle de qualidade em usinagem e revestimentos) e Rz (auxilia no controle de qualidade, usinagem e processos de fabricação) foram medidas nas quatro faces laterais de cada corpo de prova. A primeira lateral analisada correspondeu à face voltada para a frente da impressora 3D, e as demais foram medidas seguindo o sentido horário em torno da peça. Ao todo, foram efetuadas 480 medições, resultando no registro de 1.440 valores de rugosidade.

Na Figura 1, apresenta-se um exemplar de cada cor utilizada no estudo. O traço indica a região e a primeira face destinada à medição de rugosidade.

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

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 gabarito, ilustrado na Figura 2 (a), onde na sua extremidade foram encaixadas as peças para medição, indicado na Figura 2 (b) e o posicionamento do rugosímetro, ilustrado na Figura 2 (c) para a padronização das medições. Na análise estatística foi considerado o intervalo de confiança de 95%.

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

(a) Gabarito

(b) Gabarito com uma peça amostral

(c) Gabarito com o rugosímetro

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

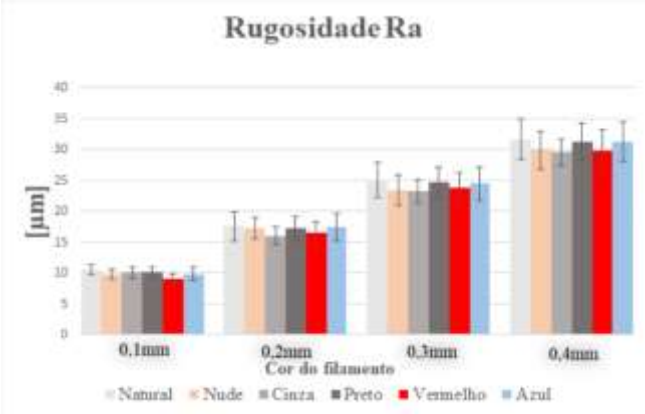

GRÁFICO 1. Resultados obtidos na rugosidade Ra para as diferentes alturas de camada.

Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor de rugosidade média foi observado na cor vermelha (9,084 µm), enquanto o maior valor foi registrado na cor natural (10,516 µm), resultando em uma diferença de aproximadamente 13,6%. Para peças com altura de camada de 0,2

mm, o menor valor de rugosidade média ocorreu na cor cinza (16,075 µm) e o maior valor na cor natural (17,572 µm), com uma diferença de aproximadamente 8,5%. Nas peças com altura de camada de 0,3 mm, o menor valor foi registrado na cor cinza (23,207 µm) e o maior novamente na cor natural (25,086 µm), apresentando uma diferença de cerca de 7,5%. Nas peças com altura de camada de 0,4 mm, o menor valor de rugosidade foi observado novamente na cor cinza (29,563 µm) e o maior na cor natural (31,696 µm), com uma diferença de aproximadamente 6,7%. As médias de rugosidade, considerando todas as cores, foram: 9,926 µm para a altura de camada de 0,1 mm, 17,033 µm para 0,2 mm, 24,138 µm para 0,3 mm e 30,602 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 1,72 vezes maior, para 0,3 mm foi 2,43 vezes maior e para 0,4 mm foi 3,08 vezes maior.

Os resultados da rugosidade Rq, 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.

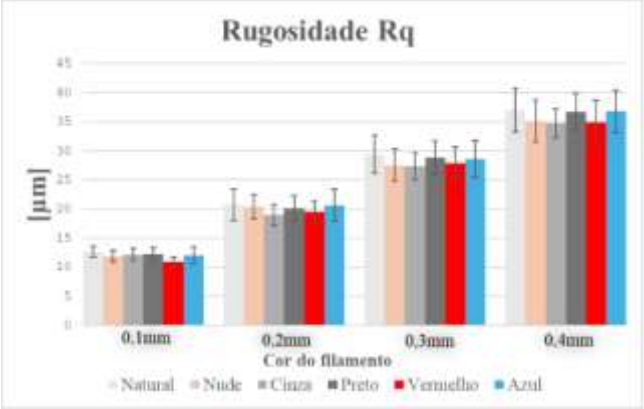

GRÁFICO 2. Resultados obtidos na rugosidade Rq para as diferentes alturas de camada.

Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor de rugosidade média foi observado na cor vermelha (10,917 µm), enquanto o maior valor foi registrado na cor natural (12,701 µm), resultando em uma diferença de aproximadamente 14,05 %. Para peças com altura de camada de 0,2 mm, o menor valor de rugosidade média ocorreu na cor cinza (19,011 µm) e o maior na cor natural (20,764 µm), com uma diferença de aproximadamente 8,44 %. Nas peças com altura de camada de 0,3 mm, o menor valor foi registrado na cor cinza (27,346 µm) e o maior na cor natural (29,400 µm), apresentando uma diferença de cerca de 6,99 %. Nas peças com altura de camada de 0,4 mm, o menor valor de rugosidade foi observado na cor cinza (34,723 µm), enquanto o maior foi na cor natural (37,026 µm), com uma diferença de aproximadamente 6,22 %. As médias de rugosidade, considerando todas as cores, foram: 12,019 µm para a altura de camada de 0,1 mm, 20,084 µm para 0,2 mm, 28,288 µm para 0,3 mm e 35,886 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 1,67 vezes maior, para 0,3 mm foi 2,35 vezes maior, e para 0,4 mm foi 2,99 vezes maior.

Os resultados da rugosidade Rz, 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.

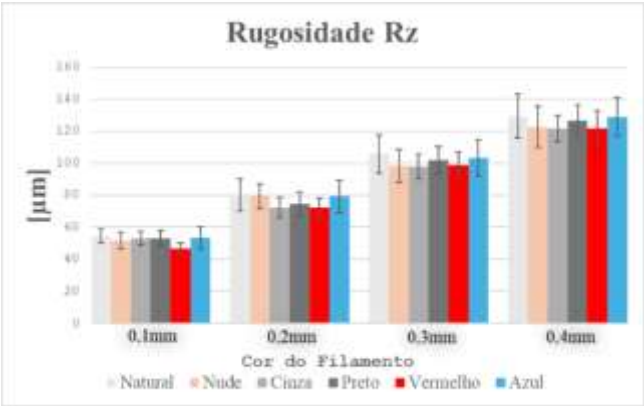

GRÁFICO 3. Resultados obtidos na rugosidade Rz para as diferentes alturas de camada.

Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor de rugosidade média foi observado na cor vermelha (46,552 µm), enquanto o maior valor foi registrado na cor natural (54,439 µm), resultando em uma diferença de aproximadamente 14,49 %. Para peças com altura de camada de 0,2 mm, o menor valor de rugosidade média ocorreu na cor vermelha (71,998 µm) e o maior na cor natural (79,906 µm), com uma diferença de aproximadamente 9,90 %. Nas peças com altura de camada de 0,3 mm, o menor valor foi registrado na cor cinza (97,972 µm) e o maior na cor natural (105,826 µm), apresentando uma diferença de cerca de 7,42 %. Nas peças com altura de camada de 0,4 mm, o menor valor de rugosidade foi observado na cor cinza (121,487 µm), enquanto o maior foi na cor natural (129,397 µm), com uma diferença de aproximadamente 6,11 %. As médias de rugosidade, considerando todas as cores, foram: 51,971 µm para a altura de camada de 0,1 mm, 76,177 µm para 0,2 mm, 100,945 µm para 0,3 mm e 125,119 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 1,47 vezes maior, para 0,3 mm foi 1,94 vezes maior, e para 0,4 mm foi 2,41 vezes maior.

Os resultados encontrados para a razão entre os parâmetros Rq e Ra, para cada altura de camada, são mostrados no Gráfico 4. Em regiões com picos e vales com maiores dimensões ocorre interferência na relação entre Rq e Ra, nas diferentes alturas de camadas.

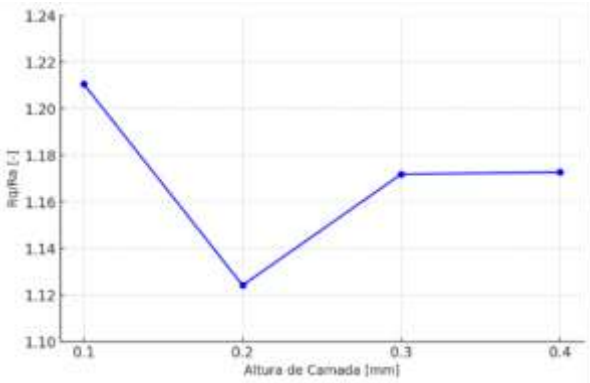

GRÁFICO 4. Relação Rq/Ra para as diferentes alturas de camada.

A razão entre Rq e Ra, na altura de camada de 0,1 mm, foi de aproximadamente 1,21 vezes, ou seja, Rq foi 21 % 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 17,9 %, 17,2 % e 17,3 %, respectivamente.

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. Este fato é decorrente principalmente do acréscimo da média aritmética dos valores absolutos das variações da superfície e elevação dos valores entre picos e vales, com relação ao aumento da altura de camada empregada na fabricação das peças.

CONCLUSÕES

O trabalho possibilitou analisar as alturas de camada e a cor do filamento de ABS na integridade superficial lateral das peças inclinadas à 60° 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 1,72, 2,43 e 3,08 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 1,67, 2,35 e 2,99, 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 1,47, 1,94 e 2,41, 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 60° 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

Autor 1, Autor 2 e Autor 5 contribuíram com a curadoria e análise dos dados. Autor 1, Autor 2, Autor 3 e Autor 4 procederam com a metodologia e experimentos. Autor 1 e Autor 2 atuaram na redação do trabalho. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

A empresa GTMax3D, doadora dos materiais utilizados para impressão dos corpos de prova, e, ao IFSP, pela bolsa de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

BANDYOPADHYAY, A.; TRAXEL, K. D.; LANG, M.; JUHASZ, M.; ELIAZ, N.; BOSE, S. Alloy design via additive manufacturing: Advantages, challenges, applications and perspectives. **Materials Today**, v. 52, p. 207–224, 2022. DOI: 10.1016/j.mattod.2021.11.026. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369702121004314?via%3Dihub Acesso em: 13 jun. 2025.

CARNEIRO, L. R. R. et al. Influência da temperatura da mesa de impressão 3D na dureza e dimensões geométricas de amostras em ABS. In: XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica. CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA. Anais [...], Ilhéus, Bahia, 2019.

HARRIS, M.; POTGIETER, J.; RAY, S.; ARCHER, R.; ARIF, K. M. Preparation and characterization of thermally stable ABS/HDPE blend for fused filament fabrication. **Materials**, Basel, v. 12, n. 24, p. 1–20, 2019. DOI: 10.3390/ma12244167. Disponível em: https://www.mdpi.com/1996-1944/12/24/4167 .Acesso em: 14 jun. 2025.

LIMA, M. de L. **Avaliação das propriedades físicas, químicas e compatibilidade biológica dos polímeros acrilonitrila-butadieno-estireno e ácido poliláctico**. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/29723 Acesso em: 13 jun. 2025.

LOURENÇO JÚNIOR, Ernesto; CRUZ NETO, Rubelmar Maia de Azevedo; MENDONÇA, Rannier Marques; ALVES, Antonio do Nascimento Silva; CASANOVA, Jaime. Influência dos parâmetros de produção na rugosidade de modelos ortodônticos de ABS fabricados via manufatura aditiva. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 9, n. 4, 2023. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/41688. Acesso em: 21 set. 2025.

MALLIKARJUNA, B.; BHARGAV, P.; HIREMATH, S.; JAYACHRISTIYAN, K. G.; JAYANTH, N. A review on the melt extrusion-based fused deposition modeling (FDM): background, materials, process parameters and military applications. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, 2023. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s12008-023-01354-0 Acesso em: 13 jun. 2025.

OLIVERA, S.; MURALIDHARA, H. B.; VENKATESH, K.; GOPALAKRISHNA, K. VIVEK, C. S. Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review. **Journal of Materials Science**, v. 51, n. 1, p. 1–23, 2016. DOI: 10.1007/s10853-015-9668-7. Disponível em: https://sci-hub.se/10.1007/s10853-015-9668-7. Acesso em: 14 jun. 2025.