



INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO NA RUGOSIDADE DE MODELOS ORTODÔNTICOS DE ABS FABRICADOS VIA MANUFATURA ADITIVA

INFLUENCE OF PRODUCTION PARAMETERS ON THE ROUGHNESS OF ORTHODONTIC ABS MODELS MANUFACTURED VIA ADDITIVE MANUFACTURING

INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN EN LA RUGOSIDAD DE LOS MODELOS DE ORTODONCIA EN ABS FABRICADOS MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

Ernesto Lourenço Júnior¹, Rubelmar Maia de Azevedo Cruz Neto², Rannier Marques Mendonça³, Antonio do Nascimento Silva Alves⁴, & Jaime Casanova^{5*}

¹³⁴⁵ Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP-UFAM). ² Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas. ³ Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Engenharia de Materiais. ⁴ Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Engenharia Mecânica.

^{1*} elourencojr@ufam.edu.br ² rcruzneto@uea.edu.br ³ ranniermm@ufam.edu.br ⁴ antonioalves@ufam.edu.br ⁵ jaimecasanova@ufam.edu.br

ARTIGO INFO

Recebido: 05.07.2023

Aprovado: 11.09.2023

Disponibilizado: 30.10.2023

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura aditiva; Rugosidade; Odontologia;

KEYWORDS: Additive manufacturing; Roughness; Dentistry;

PALABRAS CLAVE: Fabricación aditiva; Aspereza; Odontología;

*Autor Correspondente: Casanova, J.

RESUMO

A manufatura aditiva (MA) apresenta forte impacto na área odontológica oferecendo vantagens na produtividade, custo e customização de diversos produtos. Entre as técnicas de MA, a Fused Deposition Modeling (FDM) tem grande aplicação na produção de moldes ortodônticos (MO) quando comparada às técnicas tradicionais. Entretanto, a rugosidade dos MO produzidos por FDM são maiores quando comparados às peças obtidas por moldagem com alginato. Dessa forma, a avaliação da influência dos parâmetros de fabricação via FDM sobre a rugosidade é de grande importância. Para isso, a metodologia de delineamento de experimentos foi utilizada com o objetivo de verificar quais fatores exercem efeito significativo na rugosidade de MO. Entre os resultados obtidos, a altura da camada (AC) é o fator de maior influência na rugosidade do elemento incisivo. Para os elementos canino e molar, o diâmetro do bico extrusor (DBE) é o fator de maior influência na rugosidade com interação entre o DBE e a AC. Assim, ao se objetivar o melhor controle da rugosidade em MO produzidos via MA, deve-se controlar parâmetros como altura da camada, diâmetro do bico extrusor e porcentagem de preenchimento.

ABSTRACT

Additive manufacturing (AM) has a strong impact in the dental field, offering advantages in productivity, cost, and customization of various products. Among the AM techniques, fused deposition modeling (FDM) has great application in the production of orthodontic molds (OM)

compared to traditional techniques. However, the roughness of OM (orthodontic molds) produced by FDM is higher when compared to the pieces obtained through alginate molding. Therefore, evaluating the influence of FDM manufacturing parameters on roughness is of great importance. For this purpose, the experimental design methodology was used with the aim of determining which factors have a significant effect on OM roughness. Among the results obtained, layer height (LH) is the most influential factor in the roughness of the incisor element. For the canine and molar elements, the extruder nozzle diameter (END) is the most influential factor in roughness with an interaction between END and LH. Therefore, to aim for better roughness control in OM produced via AM, parameters such as layer height, extruder nozzle diameter, and filling percentage should be controlled.

RESUMEN

La fabricación aditiva (FA) tiene un fuerte impacto en el campo odontológico, ofreciendo ventajas en productividad, costo y personalización de diversos productos. Entre las técnicas de FA, el modelado por deposición fundida (MDF) tiene una gran aplicación en la producción de moldes ortodônticos (MO) en comparación con las técnicas tradicionales. Sin embargo, la rugosidad de los MO producidos mediante MDF es mayor en comparación con las piezas obtenidas a través de la moldura de alginato. Por lo tanto, es de gran importancia evaluar la influencia de los parámetros de fabricación a través de MDF en la rugosidad. Con este fin, se utilizó la metodología de diseño experimental con el objetivo de determinar qué factores tienen un efecto significativo en la rugosidad de los MO. Entre los resultados obtenidos, la altura de capa (AC) es el factor más influyente en la rugosidad del elemento incisivo. Para los elementos canino y molar, el diámetro de la boquilla extrusora (DBE) es el factor más influyente en la rugosidad con una interacción entre DBE y AC. Por lo tanto, para lograr un mejor control de la rugosidad en MO producidos mediante FA, se deben controlar parámetros como la altura de capa, el diámetro de la boquilla extrusora y el porcentaje de llenado.



INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (MA) é um processo que permite a conversão de modelos digitais em modelos físicos por meio de um processo de impressão ou de deposição camada por camada. Vários segmentos industriais como defesa, aeroespacial, arte, medicina e design, estão adotando a manufatura aditiva para customização e produção rápida de produtos (Gibson et al., 2015; Volpato, 2017). Amorim (2022), Ferriotti et al. (2021), Cavaignac et al. (2020) e Abreu & Souza (2019) reforçam o potencial e a oportunidade dessa tecnologia ser devidamente aproveitada, principalmente nas novas formas de projetar produtos que acompanham esse desenvolvimento, visto que as possibilidades são muito vastas para serem logradas somente na determinação do processo de fabricação. Atualmente, existe várias aplicações no campo da odontologia em que é possível a fabricação de modelos personalizados (Amir et al., 2016; Vasconcelos et al., 2018).

A manufatura aditiva tem sido adotada na odontologia em um ritmo crescente e a construção de modelos odontológicos é uma das principais aplicações dessa tecnologia utilizada na produção de próteses, ortodontia, implantodontia e cirurgia oral e maxilofacial, entre outras (Jaber et al., 2020; Yoo et al. 2021; Javaid & Hallem, 2019).

Um pré-requisito essencial dos modelos dentais é criar uma réplica precisa dos dentes e dos tecidos circundantes para servir aos propósitos pretendidos. Tais modelos auxiliarão no diagnóstico e na restauração para avaliação, planejamento de tratamento e fabricação de vários aparelhos dentários e próteses. Atualmente, réplicas de gesso derramados em moldes convencionais (por exemplo, silicones de alginatos, polissulfuros, éteres) são considerados o padrão “ouro” para a construção dentária (Hyung et al., 2016; Jumyung et al., 2017).

A precisão dos modelos resultantes depende de vários fatores que podem introduzir erros. Isso inclui a aquisição de dados e o processamento de imagem dos tecidos orais duros e moles, e a miríade de parâmetros envolvidos nos processos de manufatura e pós-processamento. Entretanto, os modelos obtidos através da polimerização em cuba e jato de material são propensos às alterações dimensionais durante a fase de polimerização e podem apresentar imperfeições superficiais devido à técnica de estratificação utilizada na construção. Os modelos também exibem alterações dimensionais no pós-processamento à medida que envelhecem (Liu & Shin, 2019; Mohsen, 2017; Barone et al., 2019).

Melo e Peruchi (2021) apontam que um dos maiores desafios enfrentados durante o processo de manufatura aditiva é garantir que as especificações dimensionais estabelecidas durante a elaboração do projeto sejam reproduzidas com um menor nível de variação possível. Para verificar essa acurácia dimensional, os autores analisaram os efeitos de seis parâmetros operacionais – *raster*, altura da camada, densidade de preenchimento, ângulo de varredura, orientação e velocidade de impressão. O estudo experimental foi realizado a partir de um arranjo fatorial fracionado e por meio da metodologia de superfície de resposta (RSM) com o objetivo de identificar os parâmetros de entrada operacionais mais significantes para as variáveis de resposta variação no comprimento, espessura e



profundidade, e assim obter informações importantes a respeito da complexa dependência dessas propriedades de qualidade e do processo com relação aos parâmetros operacionais de entrada. Seguindo as questões dimensionais, mas abordando condições de produtividade e custo, o objetivo desse trabalho foi identificar qual fator ou fatores são mais influentes na rugosidade, na massa e no tempo de produção de modelos ortodônticos em acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) via *Fused Deposition Modeling* FDM.

METODOLOGIA

Para produção das amostras via manufatura aditiva foi utilizado um modelo Typodontes™ que tem grande aplicação para estudantes e profissionais de odontologia na realização de práticas pré-clínicas e no desenvolvimento dos conhecimentos teóricos de anatomia.

Na reprodução do modelo (Figura 1) foi utilizado um scanner intraoral da marca iTero™, obtendo-se uma cópia exata do modelo com possibilidade de reproduzir inúmeras vezes com a mesma qualidade. Para maximizar a produção das diversas amostras, foi adotado o quadrante superior direito do modelo ortodôntico por oferecer os detalhes anatômicos que consigam representar toda as geometrias do modelo completo.

Figura 1. Modelo ortodôntico utilizado nos experimentos.



Foi utilizada a técnica de manufatura aditiva via *Fused Deposition Modeling* (FDM), para a produção das amostras. O filamento utilizado para o estudo foi o acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) com diâmetro de 1,75mm na cor branca. O equipamento utilizado foi o Sethi – Modelo S3™ que apresenta uma área útil de trabalho de 270 x 270 x 320 mm. A resolução ajustável em todos os eixos (X, Y e Z) é de 50 a 300 microns. A velocidade de alimentação do filamento foi de 150 mm/s e de deslocamento do bico extrusor foi de 300 mm/s. Foi utilizado a temperatura de 110°C na mesa do equipamento.

O delineamento experimental foi realizado com três fatores em dois níveis, com duas réplicas e um ponto central. Os fatores avaliados foram: diâmetro do bico extrusor; altura da camada depositada; e preenchimento da amostra (Tabela 1). A influência dos fatores utilizados no delineamento foi analisada para as variáveis respostas: tempo de produção; massa de cada amostra; e rugosidade. Todas as análises estatísticas foram executadas com o software Minitab™.



Tabela 1. Parâmetros e níveis adotados durante a produção das amostras.

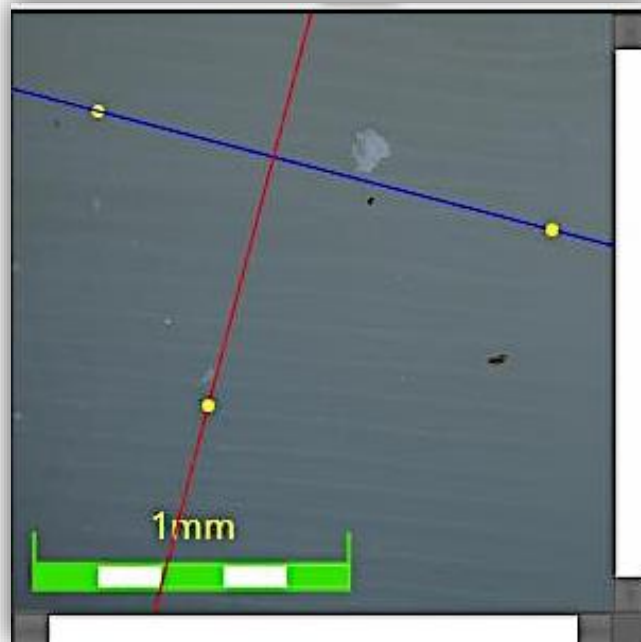
Fator	Nível (mínimo)	Nível (máximo)
Diâmetro do Bico Extrusor (mm)	0,2	0,6
Altura da Camada (mm)	0,1	0,4
Preenchimento da Amostra (%)	40	80

A quantificação do tempo de produção de cada amostra foi mensurada pelo próprio equipamento de FDM e engloba apenas o tempo de deposição das camadas. Não foi mensurado o tempo de aquecimento da mesa, ajuste do bico extrusor e qualquer outro parâmetro de processamento.

A quantificação da massa de cada amostra foi realizada após a produção dos modelos ortodônticos. As medidas foram realizadas por uma balança analítica da marca Shimadzu™ com precisão de 0,1 mg.

A quantificação da rugosidade foi realizada no laboratório da indústria Arotec, utilizando microscópio digital Olympus, modelo DSX 1000™ com lente objetiva de 10X. A medição da rugosidade seguiu o parâmetro de amplitude (pico e vale) de acordo com a norma ISO 4287:1997 e foi medida a rugosidade média (Rc), observa-se na Figura 2 a imagem do microscópio durante as medidas da rugosidade das amostras.

Figura 2. Imagem do microscópio durante as medidas da rugosidade das amostras.



Para análise da rugosidade foram selecionados três elementos dentários distintos com diferentes formas anatômicas, volume e geometria. Foram selecionados os elementos incisivo, canino e o primeiro molar. A medida da rugosidade nos elementos incisivo e canino foi realizada na linha central do elemento, no sentido do longo eixo da coroa e entre a cervical e bordo incisal. Para o primeiro molar, a medida linear de rugosidade foi realizada no longo eixo da coroa e entre a cervical e bordo incisal da cúspide mesial.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados que foram utilizados no delineamento de experimentos são descritos na Tabela 2. A partir desses dados foi desenvolvido o delineamento e foram gerados modelos de regressão que apresentam boa aderência (Tabela 3).

O modelo gerado para identificar a influência dos fatores estudados no tempo de produção de cada amostra tem valor de R^2 , R^2 ajustado e R^2 predito igual a 100%. Para o modelo gerado que identifica os fatores mais influentes para massa de cada amostra, o valor de R^2 igual a 99,92%, R^2 ajustado igual a 99,84% e R^2 predito igual a 99,61%.

Para o modelo gerado que identifica os fatores mais influentes para a rugosidade no elemento incisivo, o valor de R^2 é igual a 99,67%, R^2 ajustado é igual a 99,31% e R^2 predito é igual a 98,35%. No modelo de rugosidade do elemento canino, o valor de R^2 é igual a 98,89%, R^2 ajustado é igual a 97,65% e R^2 predito é igual a 94,40%. No modelo de rugosidade do elemento molar, o valor de R^2 é igual a 97,11%, R^2 ajustado é igual a 93,85% e R^2 predito é igual a 85,35%.

Tabela 2. Resultados dos experimentos utilizados no delineamento de experimentos.

Ordem	Diâmetro do Bico Extrusor (mm)	Altura da Camada (mm)	Preenchimento da Amostra (%)	Tempo (min.)	Massa (g)	Rugosidade Rc (µm)		
						I*	C*	M*
01	0,4	0,25	60	72	16,893	2,088	1,648	1,643
02	0,4	0,25	60	72	16,889	2,163	1,498	1,435
03	0,6	0,10	40	106	12,627	3,342	1,789	2,276
04	0,6	0,40	40	28	11,894	3,579	0,883	1,283
05	0,6	0,10	80	149	20,545	2,649	1,600	1,775
06	0,6	0,10	40	106	12,557	3,672	1,598	2,587
07	0,6	0,40	80	38	18,388	3,091	0,672	0,676
08	0,6	0,40	40	28	11,894	3,663	0,899	1,528
09	0,6	0,40	80	38	18,424	3,291	0,867	0,841
10	0,6	0,10	80	149	20,895	2,352	1,852	1,556
11	0,2	0,40	80	97	16,562	3,484	2,807	2,904
12	0,2	0,40	40	67	10,859	7,779	1,400	1,723
13	0,2	0,10	80	370	21,286	2,243	1,950	1,688
14	0,2	0,40	80	97	16,442	3,547	2,600	2,702
15	0,2	0,10	80	370	21,886	2,257	1,850	1,698
16	0,2	0,40	40	67	10,798	7,998	1,400	1,825
17	0,2	0,10	40	255	12,632	2,243	1,950	1,687
18	0,2	0,10	40	255	12,567	2,425	1,988	1,697

Nota: I*-Elemento dentário incisivo; C*-Elemento dentário canino; M*- Elemento dentário molar.

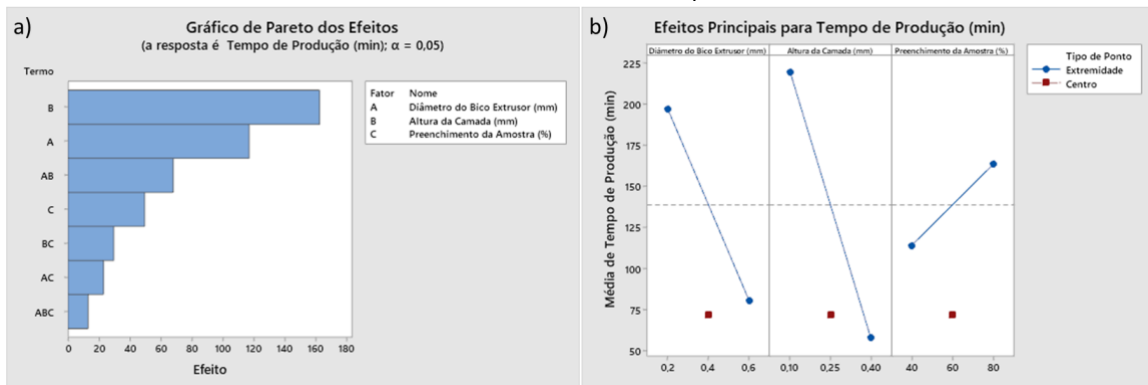
Tabela 3. Resultados do delineamento de experimentos.

Resposta	S	R^2	R^2 Ajustado	R^2 Predito
Tempo de Produção	0	100,0 %	100,0 %	100,0 %
Massa de Cada Amostra	0,155	99,92 %	99,84 %	99,61 %
Rugosidade do Incisivo	0,143	99,67 %	99,31 %	98,35 %
Rugosidade do Canino	0,087	98,89 %	97,65 %	94,40 %
Rugosidade do Molar	0,142	97,11 %	93,85 %	85,35 %



Observa-se na Figura 3 que o fator altura da camada (AC) é o fator mais influente no tempo de produção das amostras. O diâmetro do bico extrusor (DBE) e o preenchimento da amostra (PA) também apresentam influência. Na medida que se aumenta os valores utilizados para esses parâmetros, reduz-se o tempo de produção. Ainda se observa que o ponto central oferece um indício que o melhor modelo que explicará o fenômeno estudado não é linear. Analisando a influência dos fatores abordados no tempo de produção, nota-se que a interação mais expressiva entre os fatores é do diâmetro do bico extrusor (DBE) e altura da camada (AC). Essa interação é seguida pela relação entre AC e PA, DBE e PA e existe interação entre todos os fatores analisados.

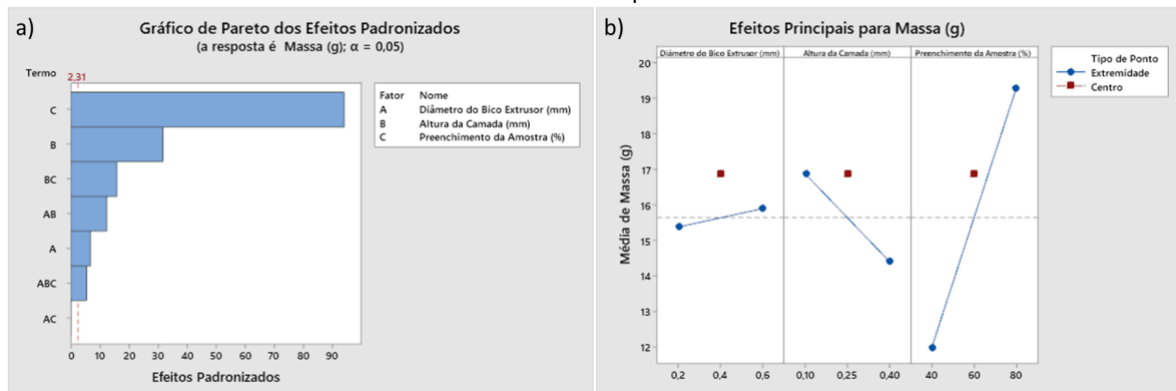
Figura 3. a) Relação dos efeitos padronizados dos fatores no tempo de produção de cada amostra. b) Influência de cada fator individualmente e do ponto central.



Nota: a) A linha do valor crítico não é exibida no gráfico de efeitos porque o erro padrão para efeitos é 0.

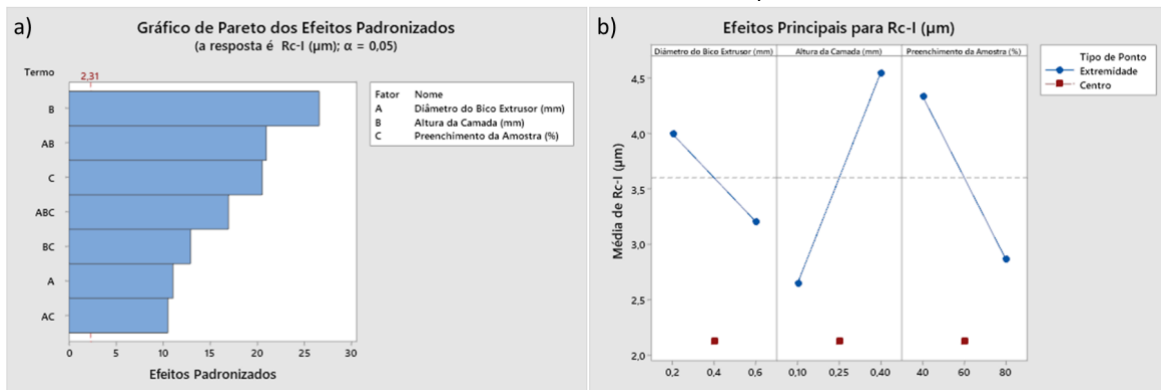
Nota-se na Figura 4 que o fator porcentagem de preenchimento da amostra (PA) tem influência sobre a quantidade de massa utilizada para fabricar modelos ortodônticos. A redução dos valores utilizados para esse parâmetro irá reduzir a quantidade de massa necessária para produzir uma amostra. Entretanto, os fatores diâmetro do bico extrusor (DBE) e altura da camada (AC) tem menor influência quando comparado ao preenchimento. Ainda se observa que o ponto central oferece um indício que o melhor modelo que explicará o fenômeno estudado não é linear. Também foi identificado que a interação entre os fatores AC e PA tem maior representatividade e é seguida da interação entre os DBE e AC. Ainda se destaca a interação, com menor intensidade, entre os três fatores analisados.

Figura 4. a) Relação dos efeitos padronizados dos fatores na massa de cada amostra. b) Influência de cada fator individualmente e do ponto central.



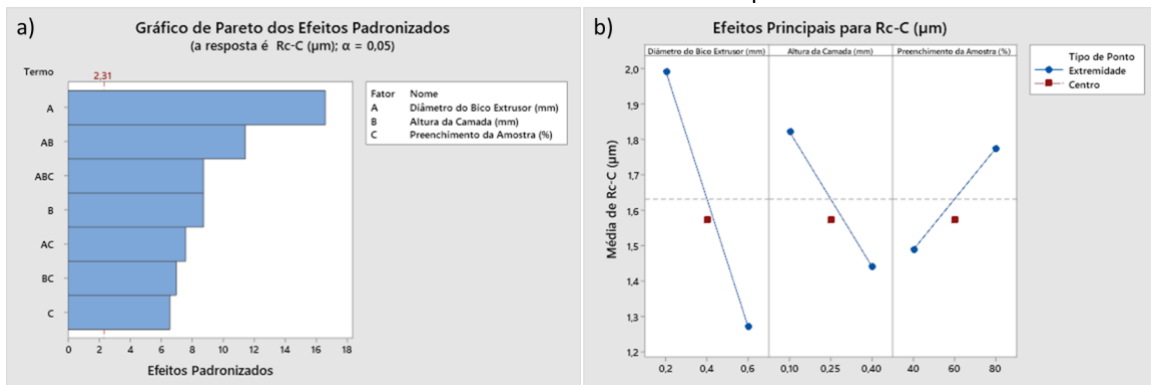
O fator altura da camada (AC) apresenta maior influência na rugosidade do elemento incisivo (RC-I), Figura 5. Ao se reduzir os valores utilizados nesse parâmetro, reduz-se a rugosidade média no elemento incisivo. O preenchimento da amostra (PA) e o diâmetro do bico extrusor (DBE) também oferecem influência significativa na rugosidade. Todavia, ao se aumentar os valores utilizados, há uma redução da rugosidade média. Assim como as respostas analisadas anteriormente (tempo de produção e massa), ressalta-se ainda que o ponto central oferece um indício que o melhor modelo que explicará o fenômeno estudado não é linear. Ainda é identificado a interação dois a dois entre os fatores estudados e a interação entre os três fatores na rugosidade do elemento incisivo.

Figura 5. a) Relação dos efeitos padronizados dos fatores na rugosidade do elemento incisivo (Rc-I). b) Influência de cada fator individualmente e do ponto central.



Observa-se na Figura 6, que o fator diâmetro do bico extrusor (DBE) tem maior influência sobre a rugosidade média do elemento canino (Rc-C). Ao se aumentar o diâmetro médio do bico extrusor, há uma redução na rugosidade média. Ainda é identificado que os fatores altura da camada (AC) e preenchimento da amostra (PA) geram influência. A altura da camada tem um efeito similar ao encontrado no fator DBE e o fator preenchimento é inversamente proporcional ao DBE. Ressalta-se ainda que o ponto central oferece um indício que o melhor modelo que explicará o fenômeno estudado não é linear. Ainda analisando a influência dos fatores abordados na rugosidade média do elemento canino, todos os parâmetros analisados têm interação para a resposta estudada.

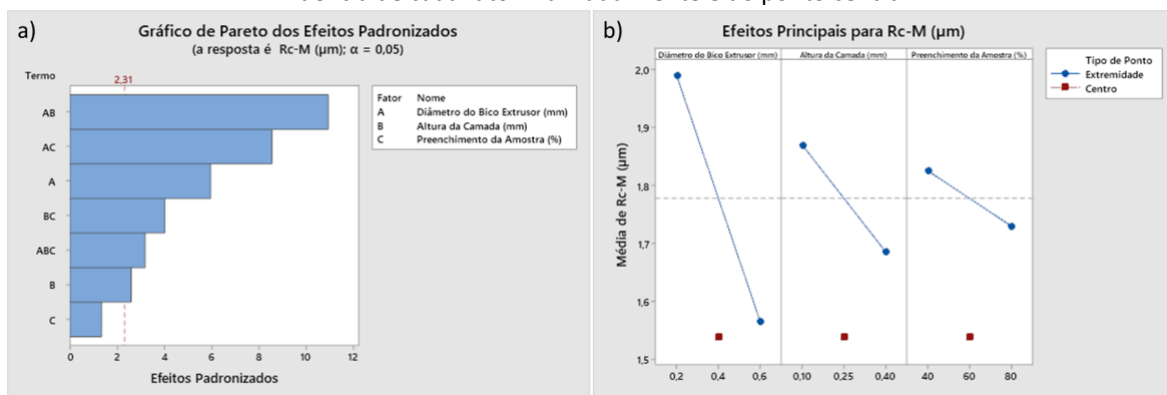
Figura 6. a) Relação dos efeitos padronizados dos fatores na rugosidade do elemento canino (Rc-C). b) Influência de cada fator individualmente e no ponto central.



Citação (APA): Lourenço, E., Jr., Cruz, R. M. de A., Neto., Mendonça, R. M., Alves, A. do N. S., & Casanova, J. (2023). Influência dos parâmetros de produção na rugosidade de modelos ortodônticos de ABS fabricados via manufatura aditiva *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(4), 131-139.

Nota-se na Figura 7 que o fator diâmetro do bico extrusor (DBE) tem maior influência na rugosidade média do elemento molar (Rc-M). Também é identificado que o fator altura da camada (AC) tem influência na rugosidade média do elemento molar. O fator porcentagem de preenchimento da amostra (PA) não apresenta influência individualmente sobre a rugosidade média. O aumento dos parâmetros ligados tanto ao diâmetro do bico extrusor (DBE) quanto à altura da camada (AC) reduzirão a rugosidade média. Ainda se observa que o ponto central oferece um indício que o melhor modelo que explicará o fenômeno estudado não é linear. Assim como identificado para a rugosidade do elemento canino, todos os fatores analisados apresentam interação dois a dois e os três fatores em conjunto para a rugosidade média do elemento molar (Rc-M).

Figura 7. a) Relação dos efeitos padronizados dos fatores na rugosidade do elemento molar (Rc-M). b) Influência de cada fator individualmente e do ponto central.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O tempo de produção de modelos ortodônticos é influenciado pelos fatores diâmetro do bico extrusor, altura da camada e preenchimento da amostra. Ainda existe forte interação entre os três fatores estudados;
- Os três fatores apresentam influência individualmente sobre a massa de cada modelo ortodôntico. Existe interação entre os fatores altura da camada e preenchimento da amostra; e entre os fatores diâmetro do bico extrusor e altura da camada. Ainda foi identificado que os três fatores apresentam interação na quantidade de massa de cada modelo ortodôntico;
- A rugosidade média de modelos ortodônticos é influenciada pelos fatores diâmetro do bico extrusor, altura da camada e preenchimento da amostra;
- Dependendo da geometria da região do modelo ortodôntico, os fatores mais influentes alternam. Para regiões como geometrias similares ao elemento incisivo, o fator mais influente é a altura da camada. Para regiões com geometrias similares aos elementos canino e molar, o fator mais influente é o diâmetro do bico extrusor. Para as regiões analisadas ainda existe forte influência entre os três fatores estudados.

REFERÊNCIAS

Abreu, V. H. S., de., & Souza, G. M. de. (2019). Uma revisão bibliométrica sobre a impressão 3d em concreto. *Journal of Production Engineering*, 5(5), 50-62. Recuperado de <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/27748>



Citação (APA): Lourenço, E., Jr., Cruz, R. M. de A., Neto., Mendonça, R. M., Alves, A. do N. S., & Casanova, J. (2023). Influência dos parâmetros de produção na rugosidade de modelos ortodônticos de ABS fabricados via manufatura aditiva *Brazilian Journal of Production Engineering*, 9(4), 131-139.

- Amorim, R. B. (2022). *Utilização da manufatura aditiva no desenvolvimento de um produto para redução de riscos ocupacionais na indústria automotiva*. Projeto de Fim de Curso (Curso de Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia. Recuperado de <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35384>
- Barone, S., Neri, P., Paoli, A., Razionale, A. V., & Tamburrino, F. (2019). Development of a DLP 3D printer for orthodontic applications. *Procedia Manufacturing*, 38, 1017-1025. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.187>
- Cavaignac, A. L. de O., Silva, L. H. V., Sousa Júnior, R., Silva, E. M. L., & Lima, R. J. C. (2020). FMEA, CFD e FEA para otimização do desenvolvimento de produtos com prototipagem 3d em peça mecânica automotiva aftermarket -Parte A: FMEA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(5), 74-97. Recuperado de <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/30396/21275>
- Feriotti, M. A., Marcelino, D. de M., Pohlmann, M. N., Martino, J., Neto., & Rosa, J. L. (2021). Aplicações da manufatura aditiva e impressão 3d na fabricação de moldes para injeção de termoplásticos. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 7(3), 199-218. Recuperado em <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/34567/23979>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Second Edition. Springer. P. 487. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- Hyung-In, Y. & Han, J. (2016). Prosthetic rehabilitation with an implant-supported fixed prosthesis using computer-aided design and computer-aided manufacturing dental technology for a patient with a mandibulectomy: a clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 115, 133-136. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26518985/>
- Javaid, M. & Haleem, A. (2019). Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, 9(3), 179-185. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2019.04.004>
- Um, J., Rauch, M., Hascoët U., & Stroud, I. (2017). STEP-NC compliant process planning of additive manufacturing and remanufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 88(5-8), 1215-1230. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-8791-1>
- Jaber, T., Hajeer, Y. M., Khattab, T. Z., & Mahaini, L. (2021). Evaluation of the fused deposition modeling and the digital processing techniques in terms of dimensional accuracy of printing dental models used for the fabrication of clear aligners. *Clinical and Experimental Dental Research*, 7, 591-600. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33258297/>
- Liu, S. & Shin, Y. C. (2019). Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review. *Materials Design*, 164. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.107552>
- Melo, N. N. de. & Peruchi, S. R. (2021). Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) Aplicada ao Processo de Manufatura Aditiva por Deposição Fundida (FDM) para Análise de Acurácia Dimensional, *In Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. Recuperado de <https://proceedings.science/sbpo/sbpo-2021/papers/metodologia-de-superficie-de-resposta-rsm-aplicada-ao-processo-de-manufatura-adi?lang=en>
- Mohsen, A. (2017). The rise of 3D printing: the advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688. Recuperado de <https://ideas.repec.org/a/eee/bushor/v60y2017i5p677-688.html>
- Vasconcelos, B. E., Farias, R. S., Matos, J. D. M., de, Lima, J. F. M., Castro, D. S. M., de, & Zogheib, L. V. (2018). A tecnologia 3D e suas aplicações na Odontologia moderna: uma revisão sistemática de literatura. *Full Dentistry Science*, 10, 37. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/porta/resource/pt/biblio-995409>
- Volpato, N. – organização. (2017). *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. Blucher. São Paulo. 400 p. ISBN 978-85-212-1150-1.
- Yoo, S., Kim, S., Heo, S., Koak, J., & Kim, J. (2021). Dimensional Accuracy of Dental Models for Three-Unit Prostheses Fabricated by Various 3D Printing Technologies. *Materials*, 14(1550), 1-13. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8004951/>

