

AVALIAÇÃO DO DESGASTE EM POLÍMEROS UTILIZADOS NA MANUFATURA ADITIVA (IMPRESSÃO 3D)

Guilherme Agues Emerick, guilherme_aguese@hotmail.com

Davi Pereira Garcia, davi.garcia@ifes.edu.br

Bruno Corveto Bragança, bruno.bragança@ifes.edu.br

Warlen Alves Monfardini, warlen.monfardini@ifes.edu.br

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Rod. BR 101 norte, km 58, Litorâneo, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.

Resumo: A manufatura aditiva é um processo de fabricação que tem se desenvolvido muito nos últimos anos. Objetos confeccionados por impressão 3D tem ganhado espaço em componentes de engenharia podendo estar sujeitos à condições de desgaste devido ao uso, com isso conhecer as propriedades de resistência ao desgaste de peças fabricadas através do método de modelagem por fusão e deposição (FDM) é importante. O estudo realizado teve como objetivo analisar se os parâmetros de impressão pelo método FDM influenciaram no desgaste abrasivo do polímero acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) utilizando o abrasômetro tipo Pino-Tambor. Variou-se a espessura das camadas impressas, analisando o tempo de impressão, quantificando a porcentagem de vazios (air gaps) no interior e a resistência ao desgaste das mesmas segundo a norma ASTM D5963. Os resultados mostraram que com a variação dos parâmetros de impressão interferiu de maneira significativa na resistência ao desgaste abrasivo.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, impressão 3D, acrilonitrilo-butadieno-estireno, desgaste abrasivo.

1. INTRODUÇÃO

Com o avanço das ciências e das novas tecnologias, torna-se cada vez mais necessário a busca por materiais que possuam propriedades específicas para atender demandas do dia-a-dia. Por décadas, os cientistas e engenheiros estudaram as propriedades e aplicações dos polímeros e, por apresentarem características múltiplas, a utilização dos polímeros naturais e principalmente dos sintéticos desenvolveu-se rapidamente e estão entre os materiais mais utilizados pelo homem, apresentando-se como uma alternativa às demandas do mercado de trabalho, substituindo diversos materiais, como papel, madeira e metais. (BAUMERS, 2016). Devido à constante evolução dos polímeros de alto desempenho e a procura por um melhor desempenho das peças técnicas, diversos metais foram substituídos por eles, como materiais de construção mecânica (KUREK, 2014), visto que oferece muitas vantagens quando comparados aos metais, tais como a redução de peso, a redução de custo total da peça, possibilidade de design e processos de fabricação.

Visando atender essas necessidades, desenvolveram-se diversas tecnologias para fabricação de objetos de forma diferenciada, podendo ser produzidas em formas complexas por meio da manufatura aditiva (MA). Essa tecnologia representa uma alternativa promissora para as técnicas convencionais de fabricação, na avaliação de conceitos, otimização de design, ferramentas rápidas, com vantagens comparativas da fabricação de aditivos quanto ao tempo e custo, utilizando processo de adição camada por camada nas impressoras 3D podem-se gerar objetos tridimensionais (3D), sem que haja perda de material como ocorre na manufatura extrativa convencional. (CUNICO, 2015).

Estas impressoras 3D, antes restritas a grandes empresas devido aos custos, estão se popularizando, devido as tecnologias que se tornaram mais acessíveis. Esse tipo de fabricação é uma tecnologia moderna que substitui os processos convencionais, evitando que a indústria necessite de uma diversidade de equipamentos e processos para obtenção de um produto/peça (TAKAGAKI, 2012; WITTBRODT *et al.*, 2013)).

Para que as produtos impressos para aplicações na área da engenharia, no a qual exige boa resistência ao desgaste, a resistência a certos tipos de desgaste deve ser bem conhecidas. Inúmeras propriedades dos produtos gerados devem ser consideradas para uma correta seleção técnica de parâmetros de fabricação. Entre estes, prevalece o desgaste dependente do atrito, que pode ser considerado uma propriedade fundamental de componentes mecânicos utilizados em uma série de aplicações onde as superfícies de acoplamento são submetidas a deslizamento (LIMOL, 2014).

ZUM GAHR (1987) define o desgaste abrasivo como sendo a remoção de material de uma superfície causada por partículas duras. Segundo EYRE (1978), o desgaste abrasivo é responsável por metade das falhas de peças e componentes nos diversos ramos da indústria em relação ao desgaste.

Na manufatura aditiva um dos principais processos de fabricação se dá utilizando o método de fusão por modelagem por depósito de material fundido, modelagem por fusão e deposição (FDM), que utiliza polímeros para a confecção das peças. Dentre os principais tipos de polímeros utilizado vale destacar o uso do acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), que diversas vezes é o material utilizado em peças que estarão sujeitas a condições de desgaste devido a

abrasão. Sendo assim esse trabalho visou verificar a existência de uma correlação entre a altura de camada depositada com a taxa de desgaste abrasivo a fim de entender como esse parâmetro influenciava na perda de material.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar os parâmetros de impressão nas propriedades mecânicas do acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), visando a melhoria do processo referente a tempo de fabricação, redução de material e custo. Com isso, foram preparados corpos de prova do material ABS, variando as resoluções de impressão pelo processo de manufatura aditiva e determinaram-se as propriedades mecânicas de resistência ao desgaste pelo método Pino-Tambor. Além disso, quantificar a quantidade de ar no interior da estrutura, por meio dos *air gaps*, e relacioná-los com as propriedades obtidas no método Pino-Tambor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi dividido em três partes, de acordo com o objetivo proposto. Na primeira parte, fabricação dos corpos de prova com diferentes parâmetros de fabricação; na segunda etapa, foi realizada uma estimativa da fração de *air gaps*, ou seja, a fração em ar presente no interior da estrutura das peças e, na terceira etapa, realização dos ensaios e avaliação do desgaste abrasivo.

3.1. Fabricação dos Corpos de Prova

Após a revisão bibliográfica e análise das normas que regem o Ensaio de Abrasão pelo Método Pino-Tambor (ASTM D5963), foram desenhados os corpos de prova no software Solid Works, representados na Figura 1.

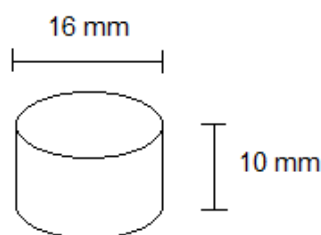


Figura 1 - Dimensões corpo de prova

Após o desenho dos corpos de prova, o arquivo é convertido para o formato da impressora 3D, modelo UP PLUS 2. Os parâmetros são selecionados e dá-se início ao processo de impressão através da manufatura aditiva. Foram produzidos cento e oito corpos de prova, divididos em seis resoluções, a saber: 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35 e 0,40mm.

Finalizados os corpos de prova, realizou-se a análise dimensional dos mesmos, com o intuito de verificar possíveis irregularidades que pudessem comprometer o andamento dos ensaios. No primeiro momento de pesagem, foi possível verificar que as amostras possuem massas diferentes conforme variaram-se as resoluções. Foi realizada uma média das massas em cada resolução para retirar as amostras que apresentavam grandes desvios, porém todas possuíam massas relativamente próximas, o que favoreceu a análise dos resultados.



Figura 2- (a) Impressora 3D e (b) Corpos de prova confeccionados

3.2. Determinação da porcentagem de ar

Realizadas as medidas, quantificou-se a porcentagem de *air gaps*, a fim de verificar se a mesma influencia no desgaste das peças fabricadas.

Segundo os dados do fornecedor, o ABS possui massa específica de $1,03\text{g/cm}^3$. A partir desse valor e conhecendo-se a massa das amostras, calculou-se o valor teórico para o volume. O volume de ar dentro da peça é dado pela diferença entre os valores calculados e os valores reais medidos, segundo a Eq.(1):

$$Var = V_{calc} - V_{med} \quad (1)$$

Onde:

Var: Volume em ar;

Vcalc: Volume calculado;

Vmed: Volume medido.

3.3. Ensaio de desgaste abrasivo

As lixas utilizadas neste trabalho são compostas de óxido de alumina do tipo resina sobre resina da marca Deerfos, modelo XA167. Os ensaios foram realizados com as lixas de granulometrias P120 (diâmetro médio das partículas de $125\text{ }\mu\text{m}$) e P400 (diâmetro médio das partículas de $35\text{ }\mu\text{m}$).

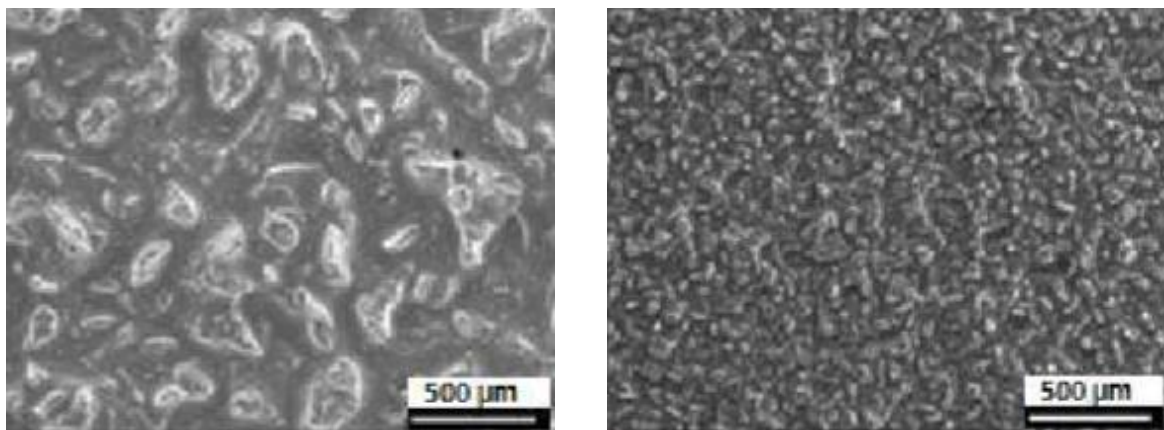


Figura 3- Microscopia eletrônica para lixas P120 e P400

Os ensaios de desgaste abrasivo foram realizados segundo a norma ASTM D 5963. Foi utilizado um protocolo para a realização dos ensaios, com objetivo de atender todas as recomendações relacionadas pela norma e de minimizar a influência de parâmetros do sistema tribológico como lixa, operador e máquina.

Os ensaios foram realizados a uma velocidade de 26 cm/s, com velocidade tangencial do porta amostra de 2,8mm/s, utilizando uma carga de 10 N. O ensaio é finalizado após 40 metros de deslizamento das peças. Segundo Limol (2014), a perda volumétrica é proporcional à distância deslizada independente da carga.

Um termo higrômetro digital da marca Minipa, modelo MT-240, foi utilizado durante os ensaios de desgaste a fim de se assegurar da estabilidade de parâmetros, como temperatura e umidade, estabelecidas na norma relativa ao ensaio.

Primeiramente, as lixas de óxido de alumínio foram recortadas nas medidas do cilindro da máquina de ensaio Figura 5. Fixou-se firmemente a lixa para interferir o mínimo possível no processo abrasivo.



Figura 4- Máquina de ensaios utilizada

Posteriormente, as amostras foram colocadas no cabeçote da máquina e foram deslocadas até o fundo do orifício de tal forma que a superfície da amostra estivesse tangente à borda do orifício.

Ao final de cada ensaio, a limpeza da lixa é realizada a fim de evitar a impregnação de *debris* na lixa, pois podem interferir na repetibilidade dos ensaios.

Segundo a norma ASTM D5963, pelo Método A, a perda em volume é dado pela Eq.(2):

$$\Delta V = \frac{\Delta m_t \times \Delta m_{const}}{\rho_t \times \Delta m_r} \quad (2)$$

Onde:

Δm_t = perda média do material ensaiado;

Δm_{const} = definido como 200mg para o Método A;

ρ_t = densidade o material ensaiado;

Δm_r = perda média da borracha padrão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fração volumétrica de *air gaps* é dada através da diferença entre o volume real e o volume de vazios do corpo de prova. A Tabela 1 correlaciona a fração volumétrica de *air gaps* com a resolução dos corpos de prova.

Tabela 1 – Relação entre resolução dos corpos de prova e a fração volumétrica de *air gaps*.

Resolução (mm)	Fração Volumétrica de <i>air gaps</i> (%)
0,15	25,92 ± 2,54
0,20	28,77 ± 3,12
0,25	28,66 ± 2,85
0,30	28,56 ± 4,29
0,35	28,92 ± 2,10
0,40	26,94 ± 3,54

O desgaste abrasivo foi avaliado em termos da resolução das amostras e de acordo com a granulometria das lixas utilizadas. As Figuras 5 e 6 ilustram os resultados:

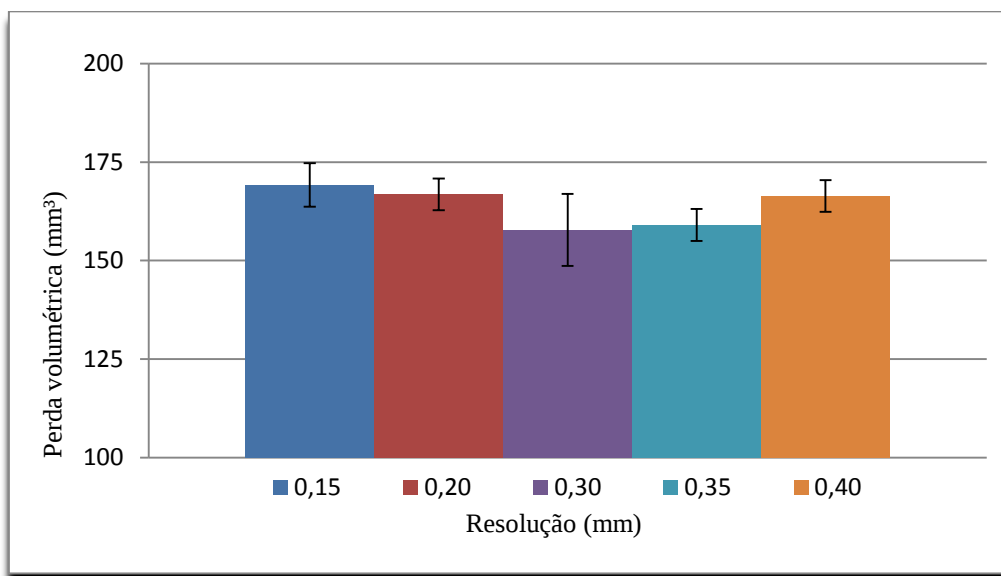


Figura 5 - Perda Volumétrica para Lixa P120

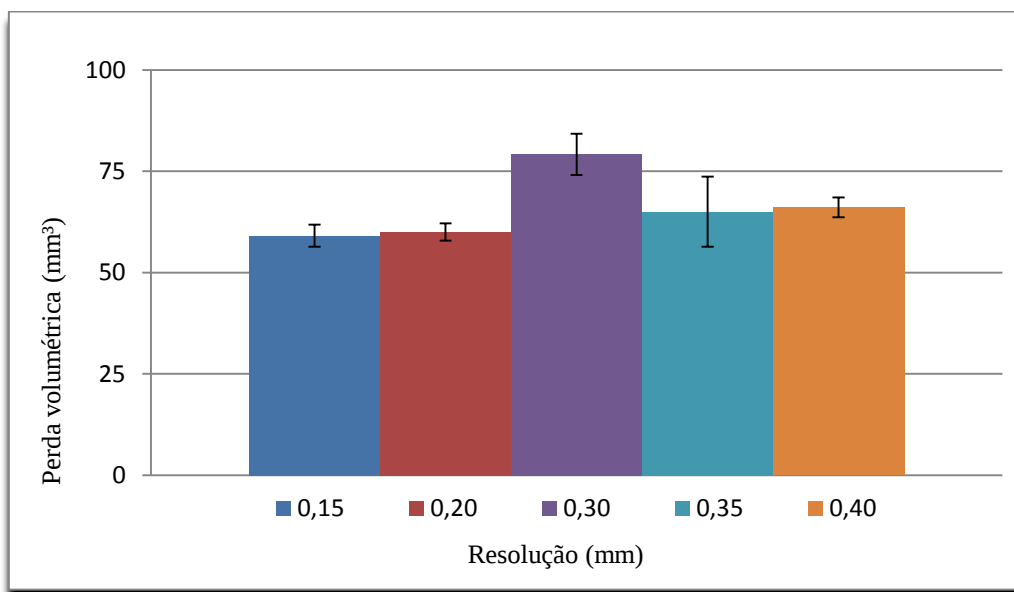


Figura 6 - Perda Volumétrica para Lixa P400

As Figuras 5 e 6 representam de forma quantitativa os valores para perda volumétrica em milímetros cúbicos para as várias resoluções analisadas com os respectivos desvios padrões. A resolução de 0,25mm foi desconsiderada dos resultados, pois resultou em uma grande discrepância em relação às outras resoluções estudadas.

A lixa P120 resultou em maiores valores de perda volumétrica em comparação à Lixa P400. Para a lixa P120, os materiais apresentaram perdas cerca de 3 vezes maiores que para a outra lixa, devido ao fato de possuir maiores alturas de asperidades (125µm) em comparação com a Lixa P400 (35µm).

Para a Lixa P120, o maior valor obtido foi de 169,22 mm³ com 0,15 mm de espessura de camada e o que mais resistiu ao ensaio foi a resolução 0,30mm, com perda de 157,77mm³.

Já para a Lixa P400, o maior valor obtido foi de 79,18 mm³ com 0,30 mm de espessura de camada e o que mais resistiu ao ensaio foi a resolução 0,15mm, com perda de 59,06mm³.

Limol (2014) concluiu que a mudança na granulometria da lixa utilizada fornece diferentes valores para o coeficiente de desgaste bem como a perda volumétrica. Segundo ele, mecanismos diversos, como ondas de Schallamach e sulcos associados a linguetas, atuaram ao mesmo tempo no desgaste abrasivo.

De forma geral, os resultados obtidos no abrasômetro ASTM D5963 nas diversas resoluções de ensaio, não apresentaram uma correlação direta com a porcentagem de ar. Existem poucos trabalhos existentes na literatura

envolvendo desgaste abrasivo de materiais poliméricos e, segundo (Yabuki *et al.*, 2000, Larssen-Basse *et al.*, 1988), eles possuem baixa ou nenhuma relação entre abrasão e propriedades mecânicas dos materiais, tais como tração, dureza e dureza ao risco.

5. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, é possível concluir que entre as resoluções analisadas a que apresenta melhor resistência ao desgaste nessas condições foi a de 0,30 mm com 157,77mm³ de perda de volume de material para a lixa P120. Já para a lixa P400, foi a resolução 0,15mm com perda de 59,06mm³.

Em análise realizada por vários autores, foi constatado que a mudança na granulometria da lixa resulta em diferentes perdas volumétricas. Lixas com maiores alturas médias de asperidades resultam em maiores valores de desgaste.

Para o estudo em questão, foi possível verificar que com a variação da espessura de camada há uma alteração na taxa de desgaste de acordo com a distância deslizada. Porém não foi possível dimensionar qual significativo esse parâmetro influenciou nessa propriedade, sendo necessários novos testes.

No trabalho, não chegou a uma correlação entre a porcentagem de air gaps com as perdas em volume por distância deslizada desse material.

6. REFERÊNCIAS

- Baumers, M., 2016. "The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push". Technological Forecasting and Social Change.
- Carneiro, O. S., Silva, A. F., Gomes, R., "Fused deposition modeling with polypropylene", Materials & Design, v. 83, p. 768-776, 2015.
- Cunico, M. W. M., 2013. "Desenvolvimento de nova tecnologia de manufatura aditiva baseado em formação seletiva de compósito".
- Eyre, T.S., 1978, "The mechanisms of wear", Tribology international. 11: 91-96.
- Gross, B. C. et al., "Evaluation of 3D printing and its potential impact on biotechnology and the chemical sciences", Anal Chem, v. 86, n. 7, p. 3240-53, 2014
- Kurek, A. P., 2014. Modificação da superfície de peças em PVC e blendas PVC/ABS para adesão de camadas metálicas.
- Limol, L. L. , Fagundes, D. A. , Schmitberger, V. V. ; De Macedo, M. C. S. ; Scandian, C., 2014. The Influence of the Normal Load and Grit Size on the Abrasive Wear of Polymeric Materials Used in Mining Industry. In: Second International Brazilian Conference on Tribology - TriboBr-2014, 2014, Foz do Iguaçu. Anais of 2nd international Brazilian conference on tribology - TriboBr - 2014. São Paulo.
- Takagaki, L. K. 2012. Tecnologia de Impressão 3D. Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v.2, n.2, p.2840.
- Wittbrodt, B. T., 2013. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-D printers. Mechatronics, v. 23, n. 6, p. 713-726.
- Zum-Garh, K-H., 1987, "Microstructure and Wear of Materials", Tribology Series, Elsevier, 560 pg.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EVALUATION OF WEAR IN POLYMERS USED IN ADDITIVE MANUFACTURING (3D PRINTING)

Guilherme Agues Emerick, guilherme_aguese@hotmail.com
Davi Pereira Garcia, davi.garcia@ifes.edu.br
Bruno Corveto Bragança, bruno.braganca@ifes.edu.br

¹Instituto Federal do Espírito Santo, Rod. BR 101 norte, km 58, Litorâneo, São Mateus, Espírito Santo, Brasil.

Abstract: *Additive manufacture it's an increasing development manufacture process. 3-D printing objects gained space in engineering applications, being subject to wear while in usage, knowing wear properties of pieces manufactured by 3-D printing by fusion deposition modeling (FDM) it's important. The current study aimed to verify the effect of printing parameters of the FDM influenced in the abrasive wear of the acrylonitrile-butadiene- styrene (ABS) polymer printed pieces using the Pin-on- Drum abrasive test. The influence of thickness of the printed layers was analyzed by the printing time, quantifying the percentage of air gaps inside and the wear resistance of the same according to ASTM D5963. The results showed that with the variation of the printing parameters it interfered in a significant way in the resistance to abrasive wear.*

Keywords: *Additive manufacture, 3D printing, Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, Abrasice wear.*