

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, MECÂNICA E TÉRMICA DE BLENDA PLA/PBAT/EPL-40 DESENVOLVIDAS PARA MANUFATURA ADITIVA

André Afonso Serenato

Pablo Antunes da Rosa

Grupo Boticário, Av. Rui Barbosa, 4350, São José dos Pinhais, Paraná

andre.serenato@grupoboticario.com.br, pablo.rosa@grupoboticario.com.br

Leandro Campos Gonçalves

Grupo Boticário, Av. Rui Barbosa, 4350, São José dos Pinhais, Paraná

leandro.goncalves@grupoboticario.com.br

Desirée Cigaran Schuck

Grupo Boticário, Av. Rui Barbosa, 4350, São José dos Pinhais, Paraná

desirees@grupoboticario.com.br

Resumo: Na indústria de cosméticos, higiene e perfumaria, a grande quantidade de produtos associada à alta rotatividade de seu portfólio gera a necessidade de processos rápidos e de baixa complexidade e custo. Uma das soluções para a fabricação de dispositivos e sistemas de apoio ao processo é a utilização de manufatura aditiva. Entretanto, esses dispositivos, quando utilizados por períodos prolongados, podem gerar ambientes propícios para a proliferação de bactérias podendo contaminar o processo produtivo e consequentemente os produtos fabricados. Por isso, esse estudo combinou a utilização de poli(ácido láctico)(PLA), um polímero biodegradável, de fonte renovável e com boas propriedades de processabilidade, à utilização de poli(butileno adipato-co-tereftalato)(PBAT), permitindo uma melhora às suas propriedades mecânicas e ainda com a adição de agente antimicrobiano EPL-40. O projeto produziu filamentos com proporção: 88% PLA, 12% PBAT em duas combinações: com 0,2% (m/m) EPL-40 e sem, e posterior impressão dos corpos de prova para os ensaios. Para a avaliação morfológica foi realizado ensaio em microscópio eletrônico de varredura. Já para a caracterização mecânica foram realizados ensaios de tração e impacto. E na análise térmica foi caracterizada a janela de processamento (picos endo e exotérmicos) em calorímetro de varredura diferencial. Após a análise morfológica constatou-se que os corpos de prova possuíam camadas sem adesão umas às outras e após investigação identificou-se que o diâmetro do filamento apresentava valores entre $(1,53 \pm 0,17)$ mm, abaixo do ideal para impressão $(1,75 \pm 0,05)$ mm. Esse fator influenciou nos resultados da caracterização mecânica: nos ensaios de tração foram destacadas estrias gráficas causadas pelo desprendimento das camadas de impressão, entretanto os resultados encontrados não constatarem diferenças na utilização ou não do aditivo EPL-40, mesmo resultado dos ensaios de impacto. Nas avaliações térmicas, identificou-se que a temperatura de impressão dos corpos de prova (215°C) foi superior a ideal (180°C). Esse trabalho evidenciou a interferência que a variação do diâmetro do filamento exerce sobre a qualidade do processo de manufatura aditiva, afetando propriedades mecânicas do material como módulo elástico e tensão máxima, porém influenciando pouco a resistência ao impacto do material devido a direção de deposição do filamento.

Palavras-chave: PLA, Manufatura Aditiva, PBAT, antimicrobiano.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria de cosméticos, higiene e perfumaria, a grande quantidade de produtos associada à alta rotatividade de seu portfólio gera a necessidade de processos rápidos e de baixa complexidade e custo. Uma das soluções para a fabricação de dispositivos e sistemas de apoio ao processo é a utilização de manufatura aditiva. Entretanto, esses dispositivos, quando utilizados por períodos prolongados, podem gerar ambientes propícios para a proliferação de bactérias podendo contaminar o processo produtivo e consequentemente os produtos fabricados.

Os polímeros biodegradáveis podem ser uma solução técnica e econômica ao problema do grande descarte de plásticos no planeta. Devido ao descarte incorreto, a poluição dos oceanos torna-se um risco ao ambiente marinho. Estima-se que a mortalidade da vida marinha seja de 100 mil animais marinhos e de 1 a 2 milhões de aves marinhas por ano segundo Garlotta (2001).

A utilização da manufatura aditiva é um dos processos atualmente promissores, apresentando alta flexibilidade de geometrias das peças a serem reproduzidas com ótimas propriedades mecânicas, Paganin e Barbosa (2020) realizaram ensaio de tração em amostras impressas compostas por ABS, as curvas obtidas estão apresentadas na Fig. 1.

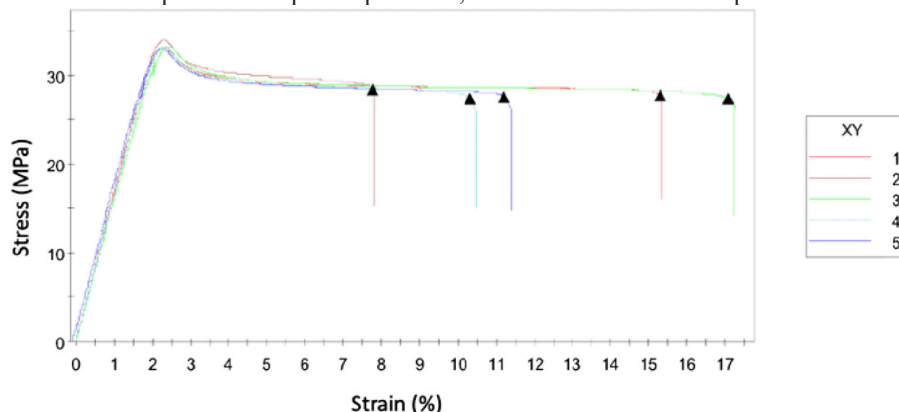


Figura 1. Curvas de tração de amostras de ABS impressas.
 (Paganin e Barbosa, 2020)

As curvas de tração demonstram na Fig. 1 que as amostras apresentaram uma ótima adesão entre as camadas, não apresentando ranhuras ao longo da curva. Wang *et. al.* (2020), por sua vez imprimiu amostras com PLA/PBAT através de uma impressora da marca prusa, as quais ao serem solicitadas no ensaio de tração apresentaram ranhuras em suas curvas de tração, conforme apresentado na Fig. 2.

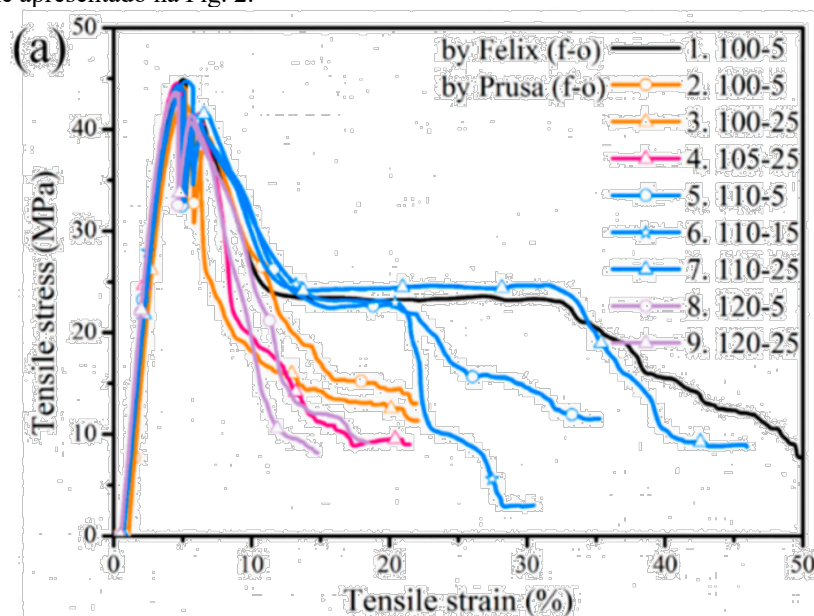


Figura 2. Gráfico de tração de corpos de prova de PLA/PBAT
 (Wang *et. al.*, 2020)

Segundo os autores, as amostras impressas pela Prusa com fluxo de 100% e 105% apresentaram falhas abruptas sem apresentar extensas regiões de escoamento quando tracionado devido à falta de alimentação, além de apresentaram tensões máximas menores. Amostras impressas com PLA obtendo uma ótima adesão entre as camadas foram obtidas pelos autores Wang e Gardner (2018) conforme apresentado na Fig. 3

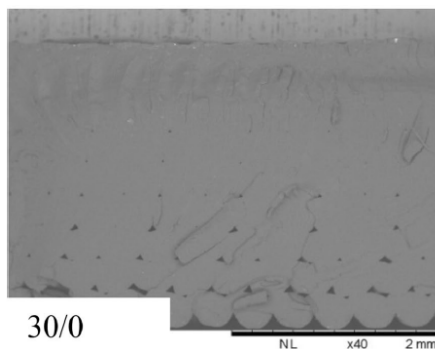


Figura 3. Foto da análise MEV de um corpo de prova de PLA impresso - Zoom 40x (Wang e Gardner, 2018).

A impressão obtida por Wang e Gardner (2018) apresenta alta adesão entre os filamentos, ainda que possua alguns vazios entre as camadas mais superficiais, porém as camadas mais próximas à cama de aquecimento possuem uma adesão perfeita demonstrando assim que a impressora utilizada alimentou de forma adequada durante a extrusão.

Esse estudo combinou a utilização de poli(ácido láctico)(PLA), um polímero biodegradável, de fonte renovável e com boas propriedades de processabilidade, a utilização de poli(butileno adipato-co-tereftalato)(PBAT) permitindo uma melhora às suas propriedades mecânicas e ainda com a adição de agente antimicrobiano EPL-40. Por isso, o objetivo desse estudo de forma a caracterizar propriedades mecânicas e térmicas da blenda 88% PLA/ 12%PBAT com 0,2% (m/m) de agente antimicrobiano EPL-40.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Preparação das amostras

Inicialmente o PLA e a blenda PLA/PBAT (Ecovio®) em pellets foram secos em uma estufa a 50 °C por 24 horas com uma forma protegida em um filme de alumínio, em seguida as amostras foram submetido ao processo de extrusão através de uma extrusora Filmaq 3D a 38 rpm em uma temperatura de 180 °C para produção dos filamentos, seguindo a formulação da blenda com 0,2% de antimicrobiano (m/m) e blenda 88% PLA/ 12% PBAT, através de uma balança com resolução 0,0001 g, a fim de medir o peso para a quantidade de agente microbiano da blenda, estabelecendo assim a relação de 0,2% em peso de antimicrobiano para o peso total da formulação. Com os filamentos realizados pela extrusora, amostras foram colhidas para o ensaio de Calorimetria Diferencial Exploratória afim de determinar os parâmetros de processamento dos materiais com base nos resultados, sendo esses parâmetros necessários para produção de corpos de prova na impressora 3D. Os corpos de prova foram realizados via impressão 3D na impressora marca Prusa, com temperatura de 215 °C no bocal e 45 °C na cama, fluxo de filamento em 100% e diâmetro de filamento setado em 1,75 mm.

2.2. Ensaios Mecânicos

A caracterização do material via ensaio de impacto seguiu a norma ASTM D6110-18 em uma máquina de ensaios Zwick/Roell RKP450 com martelo de 450 J. Onde as amostras foram confeccionadas nas medidas de comprimento 63,5 mm, largura de 12,7 mm e espessura de 10,4 mm. O entalhe em V foi efetuado conforme estabelecido na norma. O ensaio realizado contou com no mínimo 5 corpos de prova para cada amostra.

As amostras para o ensaio de tração foram confeccionadas na direção de 45° e segundo as dimensões da norma ASTM D638-14 para o tipo I, o ensaio foi realizado em máquina universal de ensaios da marca Shimadzu modelo AG-1 de 10 kN a uma velocidade de deformação de 50 mm/min. O ensaio realizado contou com o mínimo de 5 corpos de prova para cada amostra.

2.3. Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

As amostras analisadas via Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC - *Differential Scanning Calorimetry*) utilizaram um equipamento DSC-60 da marca Shimadzu, em atmosfera de nitrogênio, com uma corrida inicial de 30 °C até 185 °C e mantido por 3 minutos, em seguida um resfriamento a 10 °C/min até 30 °C e por fim a última corrida até 250 °C a uma taxa de 10 °C/min. Os materiais de estudo permaneceram em cadinhos de alumínio não hermético e inseridos no equipamento para a realização das corridas descritas.

2.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras ficaram submersas em nitrogênio líquido durante 30 minutos, e em seguida um corte foi realizado para analisar a superfície na qual necessitou a deposição de uma camada de ouro por cima, para então ser feita a análise em um canhão de emissão de campo (FEG) da marca Tescan modelo Vega3, instalado no C-LABMU-UEPG. A tensão de aceleração foi de 10 kV e o modo de utilização será a obtenção de imagens por elétrons secundários. A análise por espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDS) será feita no mesmo equipamento do FEG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Ensaio de impacto

Os valores obtidos no ensaio de impacto Charpy está apresentado na Tab. 1.

Tabela 1. Resultados ensaio de impacto charpy (Do autor, 2022)

Amostra	Resultado [kJ/m ²]	Desvio Padrão [kJ/m ²]
Sem EPL	7,3	± 2,1
Com EPL	7,45	± 0,6

Conforme apresentado na Tab.1, as amostras apresentaram um valor alto de energia por área quando comparados ao estudo de Zhang *et al.* (2009), que apresentou valores próximos a 9 kJ/m² para o ensaio Charpy utilizando a norma ISO 179-2003 em uma blenda 80% PLA/ 20% PBAT. Entretanto, para uma blenda de 90% PLA e 10% PBAT Zhang *et al.* (2009) encontraram valores inferiores aos registrados no presente estudo, cerca de 5 kJ/m².

Já Freitas (2014) obteve resultados de $(6,8 \pm 1,5)$ kJ/m² com uma blenda de Ecovio 45 % PLA/ 55% PBAT seguindo a norma ASTM D 6110-08 (2010), obtendo resultados comparáveis ao da Tab. 3.

Conforme apresentado na Fig. 4, o corpo de prova não sofreu uma fratura frágil e absorveu grande parte da energia de forma a demonstrar que a estrutura do corpo de prova possui influência por um aumento na energia absorvida do impacto. A incorporação de EPL a blenda não influenciou nos resultados de impacto obtidos.



Figura 4. Corpo de prova ensaiado no método Charpy martelo 450 J.
(Do autor, 2022)

Apesar das amostras apresentarem baixa adesão entre as camadas, elas apresentaram um alto valor de energia de absorção de impacto quando comparado à bibliografia.

3.2. Ensaio de tração

A Fig. 5 apresenta os gráficos de tração realizados nas amostras impressas. Para ambas as amostras a variação de diâmetro teve efeito impactante no resultado, tendo no início da curva de tração apresentado o rompimento de ligações secundárias devido a má adesão entre as camadas de impressão (evidenciado posteriormente na análise microscópica – Seção 3.4).

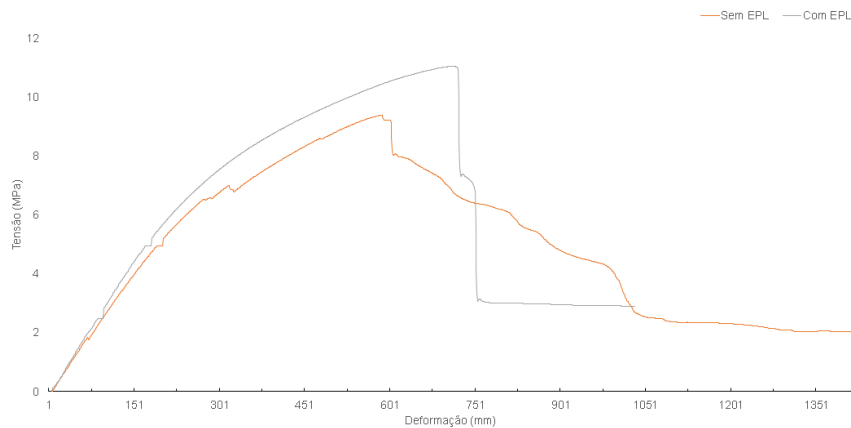


Figura 5. Gráficos de tração dos corpos de prova das blendas com EPL e sem EPL.
(Do autor, 2022)

Paganin e Barbosa (2020) apresentaram curvas de tração apresentadas na Fig.2 de amostras impressas compostas por ABS, essas curvas por sua vez não apresentam ranhuras evidenciando uma ótima adesão entre as camadas, diferentemente dos autores Wang *et al.* (2020) que ao imprimir amostras em uma impressora da marca prusa com PLA/PBAT, apresentaram gráficos com ranhuras evidenciadas na fig.2. Segundo Wang *et al.* (2020) as ranhuras são provenientes da baixa adesão entre as camadas impressas provenientes da falta de alimentação da impressora. Quanto aos resultados do ensaio de tração, os mesmos estão apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Resultados ensaio de tração corpos de prova com EPL e sem EPL (Do autor, 2022)

Amostra	Módulo Elástico (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
Sem EPL	412,3	$\pm 109,5$	8,1	$\pm 1,7$
Com EPL	413,1	$\pm 116,2$	8,9	$\pm 3,2$

Para Wang *et al.* (2020) os resultados mostraram módulos elásticos de (2456 ± 143) MPa e tensão máxima de 43.2 ± 0.8 MPa. Apesar dos autores utilizarem filamentos de diâmetro $(1,75 \pm 0,05)$ mm, mais precisos dando maior qualidade na impressão, foram evidenciadas falhas na impressão.

Em outro trabalho, Lyu *et al.* (2020) estudaram uma blenda de 70% PLA/ 30% PBAT impressos na transversal conforme norma ASTM D638-14 a uma velocidade de 5 mm/min. com corpos de prova tipo IV, e os resultados apresentaram uma tensão máxima de 17 MPa. Os corpos de prova impressos na transversal apresentam o menor valor de tensão máxima quando comparados a longitudinais ou 45°.

Quando comparados os resultados obtidos (Tab. 2.) com os resultados da literatura os valores foram bem abaixo dos citados pelos demais autores. Tal explicação deve-se ao fato dos filamentos utilizados possuírem baixa qualidade em questão da sua alta variabilidade de diâmetro, apresentando assim uma falta de alimentação nas amostras preparadas (evidenciado na Seção 3.4).

3.3. Análise por Calorimetria Diferencial Exploratória

As análises de DSC consistiram em duas corridas avaliando o histórico térmico que o processo de impressão 3D deixou na amostra. Os resultados obtidos da análise de DSC estão apresentados na Fig. 6, apresentando por sua vez, picos endotérmicos e exotérmicos na blenda de PLA/PBAT.

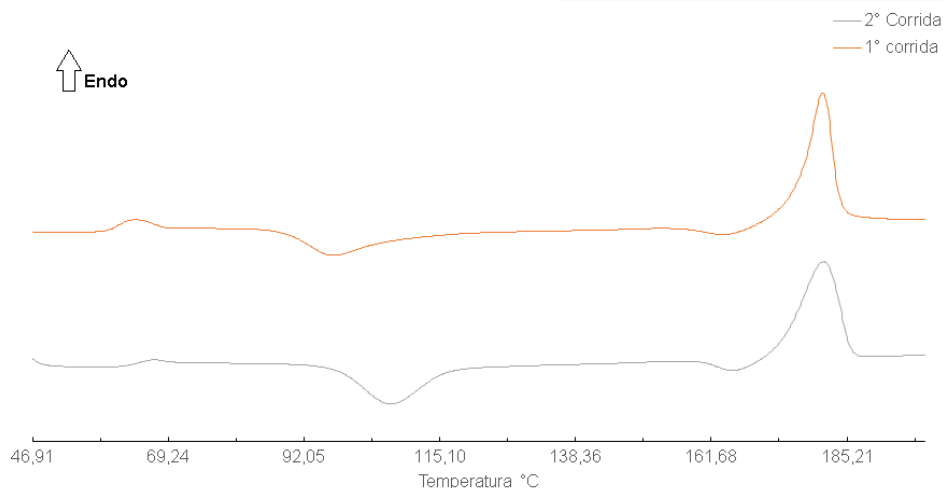


Figura 6. Resultados análise calorimetria diferencial exploratória da amostra sem EPL.
 (Do autor, 2022)

Através da análise da Fig. 6 houve a detecção de um primeiro pico endotérmico na primeira corrida a 63,83 °C, característico da temperatura de transição vítrea do PLA, em seguida a 96,97 °C registrou-se um pico exotérmico característico de uma cristalização a frio do PLA e por fim a temperatura de amolecimento registrada a 180,93 °C.

Na segunda corrida o primeiro pico foi a 64,7 °C, um pico de cristalização a frio foi a 103,59 °C e a temperatura de amolecimento do PLA foi registrada a 177,37 °C. Os resultados obtidos são comparáveis com os resultados dos autores Xiao *et al.* (2009) e Palsikowski *et al.* (2017), os quais obtiveram resultados comparáveis aos apresentados na Fig. 6. Ambos apresentaram um pico endotérmico a 60 °C característico da temperatura de transição vítrea do PLA e um pico exotérmico próximo a 100 °C. Segundo Palsikowski *et al.* (2017) esse fenômeno do pico exotérmico está relacionado ao momento em que as moléculas do polímero adquirem mobilidade suficiente para rearranjar a estrutura cristalina.

Além disso, a temperatura de amolecimento do PBAT está próxima a 100 °C, porém é sobreposto ao efeito de cristalização a frio do PLA, não sendo detectado na análise de DSC. Por fim, o último pico analisado é relacionado a temperatura de amolecimento do PLA a 180 °C.

3.4. Análise por Microscopia Eletrônica De Varredura

As amostras impressas para a análise, não sofreram fratura frágil e por conta disso um corte teve de ser realizado na amostra, comprometendo análise morfológica entre o PLA e o PBAT, no entanto um outro resultado importante foi obtido na análise conforme apresentado na Fig. 7.

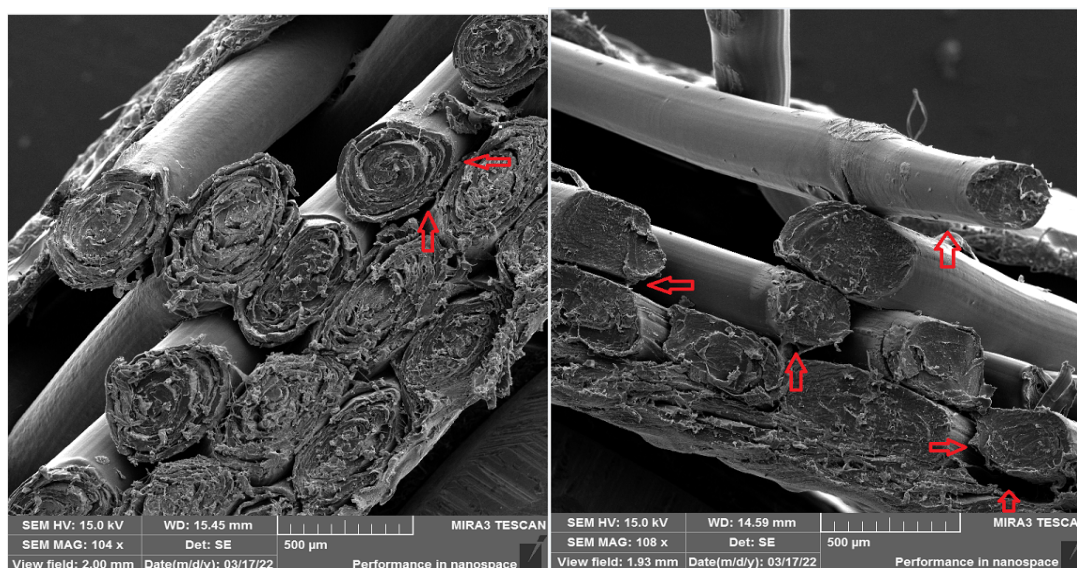


Figura 7. Análise FEG das blendas 88% PLA/12% PBAT sem EPL (esquerda) com EPL (direita).
 (Do autor, 2022)

Ambas as amostras apresentaram falta de adesão entre as camadas impressas, o que comprometeu as propriedades mecânicas do material. A Fig. 3 apresenta uma impressão obtida por Wang e Gardner (2018), onde é possível visualizar a superfície de fratura de um corpo de prova impresso de PLA, fratura a qual apresenta a alta adesão entre as camadas impressas do corpo de prova.

A provável causa da falta de alimentação das amostras impressas está relacionada a variação de diâmetro do filamento extrudado, um diâmetro menor de filamento pode comprometer a adesão entre as camadas devido a falta de material. Segundo Park *et al.* (2021), o fluxo do filamento no barril é igual ao fluxo extrudado pelo bocal da impressora, que é igual ao fluxo de material impresso, representado matematicamente pela Eq. (1).

$$Af \cdot Vf = Ad \cdot Vd \quad (1)$$

Onde o fluxo é determinado pela área e velocidade, então a área de entrada de material (Af) e a velocidade de migração do filamento (Vf) é igual a área de filamento depositado (Ad) e velocidade de material para impressão (Vb). Sendo assim, a Fig. 8 apresenta as variáveis necessárias para o cálculo.

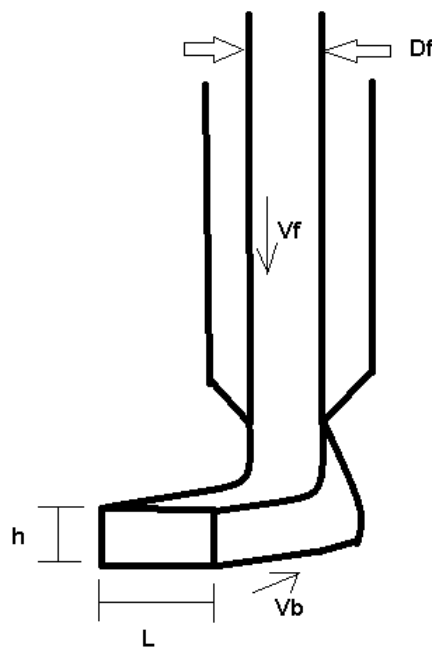


Figura 8. Representação das dimensões utilizadas no cálculo a partir do fluxo de material pela impressão (Park *et al.*, 2021)

Na Fig. 8 Df representa o diâmetro do filamento utilizado, Vf velocidade de migração do filamento na extrusora, h altura da camada depositada, L largura da camada depositada e Vb velocidade de impressão.

O equipamento utilizado para impressão apresenta o valor ideal de Df é de 1,75 mm onde o parâmetro utilizado na impressora para melhor impressão é esse, h é a altura utilizada como parâmetro na impressora e equivale a 0,3 mm, L é também utilizado como parâmetro e possui valor de 0,3 mm, por fim Vb possui uma velocidade mínima e máxima, sendo a mínima 30 mm/s.

A área transversal do filamento (Af) pode ser determinada através da Eq. (2).

$$Af = \pi \frac{Df^2}{4} \quad (2)$$

Já a área do filamento depositado pode ser calculada através da Eq. (3).

$$Ad = L \cdot h \quad (3)$$

Através da substituição das variáveis na Eq. (1) é possível calcular o valor da velocidade de migração do filamento, como mostra a Eq. (4).

$$Vf = \frac{4 \cdot h \cdot L \cdot Vb}{\pi \cdot Df^2} \quad (4)$$

Considerando o diâmetro do filamento $Df = 1,75$ mm, conforme anteriormente citado, chega-se à velocidade de migração do filamento (Vf) de 1,5 mm/s. Como os parâmetros de altura (h) e largura (L) são parametrizados no início da impressão, tem-se que a área ideal de impressão é de 0,12 mm², obtido através da Eq. (5).

$$Ad = \frac{\pi \cdot Df^2 \cdot Vf}{4 \cdot Vb} \quad (5)$$

Entretanto, através de avaliação dimensional do filamento utilizado para a impressão obteve-se o diâmetro médio de 1,53 mm com variações que puderam chegar à grandeza de $\pm 0,17$ mm. Dessa forma, fez-se necessário novo cálculo da área impressa. Os resultados, considerando o valor ideal e os resultados obtidos com o filamento utilizado são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3. Área impressa calculada através da Eq. (5) (Do autor, 2022)

	Diâmetro [mm]	Resultado [mm ²]	Percentual de redução de área [%]
Diâmetro ideal	1,75	0,12	-
Diâmetro máximo	1,7	0,11	8,3
Diâmetro médio	1,53	0,09	25
Diâmetro mínimo	1,36	0,07	41,7

Os resultados da Tab. 3 demonstram que na média a área reduzida é de 25% quando comparada à área ideal, podendo uma camada não encostar na outra após sua deposição e que, devido à variação dimensional, pode chegar a 41,7%, evidenciando assim a influência que o diâmetro do filamento exerce sobre a deposição das camadas.

Já nas análises de (EDS) foram detectados picos de zinco na amostra com EPL identificando assim o íon responsável pela propriedade antimicrobiana do EPL-40. A Fig. 9 apresenta os resultados graficamente, seguidos pela Tab. 4 com os percentuais de cada elemento químico identificados no ensaio.

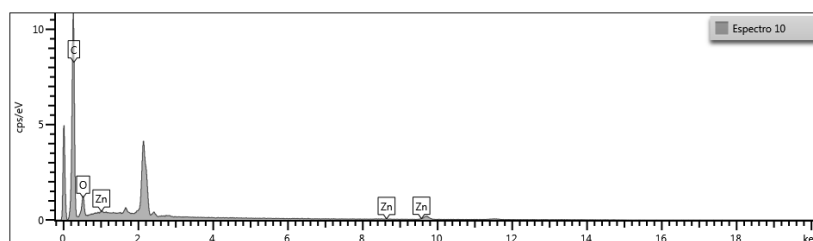


Figura 9. Análise de EDS em amostra de blenda PLA 80% / PLA/PBAT 20% e 0,02 EPL. (Do autor, 2022)

Tabela 4. Percentuais de elementos químicos na blenda PLA 80% / PLA/PBAT 20% e 0,02 EPL (Do autor, 2022)

Elemento Químico	Percentual [%]
Carbono (C)	78,91
Oxigênio (O)	20,48
Zinco (Zn)	0,61
Total	100

Segundo Abdullah *et al.* (2020) o zinco e óxido de zinco possuem propriedades antimicrobianas, possuindo dois tipos de mecanismos antimicrobianos, o primeiro deles reporta para nanopartículas de zinco, que atacam a camada dupla de fosfolípidios de caráter eletronegativo com íons eletropositivos, tornando a célula permeável a metais eletropositivos. Já o segundo mecanismo reportado para óxido de zinco são espécies reativas a oxigênio, a qual causa um estresse oxidativo na célula causando distorções no DNA/RNA.

4. CONCLUSÃO

A blenda de PLA/PBAT apresentou falhas devido a falta de alimentação por conta da variação de diâmetro do filamento impresso. Apesar disso, o material não apresentou diferença de módulo elástico sem ou com EPL ($412,3 \pm$

109,5) MPa e $(413,1 \pm 116,2)$ MPa, respectivamente, mas apresentou um módulo elástico e tensão máxima muito abaixo da literatura.

O ensaio de impacto apresentou resultados consideráveis, porém não foi identificada interferência do aditivo antimicrobiano na energia de impacto, para a blenda sem e com EPL ($7,3 \pm 2,1$) kJ/m² e $(7,45 \pm 0,6)$ kJ/m² respectivamente.

Os resultados obtidos da calorimetria diferencial exploratória são comparáveis com a literatura, demonstrando que a blenda possui ponto de amolecimento perto de 180 °C possibilitando seu processamento a 215 °C.

Já a morfologia do material não foi completamente identificada na análise por microscopia eletrônica de varredura devido ao corte realizado na amostra, perdendo a fratura frágil para a caracterização. Entretanto foi possível identificar a presença do aditivo EPL nas amostras além das evidências da falha de adesão entre as camadas da impressão.

Na análise de EDS confirmou-se a presença de zinco e óxido de zinco na composição do antimicrobiano, que pela literatura apresenta os mecanismos para atuação contra microrganismos.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Grupo Boticário pela oportunidade e ao Complexo de Laboratório Multiusuário (C-LABMU) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) pela parceria no desenvolvimento dos ensaios.

6. REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Turdimuhammad; QURBAN, Rayyan O.; BOLARINWA, Sherifdeen O.; MIRZA, Ahmed A.; PASOVIC, Mirza; MEMIC, Adnan. 3D Printing of Metal/Metal Oxide Incorporated Thermoplastic Nanocomposites With Antimicrobial Properties. *Frontiers In Bioengineering And Biotechnology*, [S.L.], v. 8, n. -, p. 1-8, 15 set. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fbioe.2020.568186>.
- FREITAS, A. L. P. L. Avaliação da morfologia e das propriedades mecânicas, térmicas e de biodegradação de compostos de PLA/PBAT contendo argila montmorilonita e/ou extensores de cadeia. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário da Fei, São Bernardo do Campo, 2014.
- GARLOTTA, Donald. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal Of Polymers And The Environment*, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 63-84, 2001. *Springer Science and Business Media LLC*. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1020200822435>.
- LYU, Yang; CHEN, Yanlu; LIN, Zhengwei; ZHANG, Jianming; SHI, Xinyan. Manipulating phase structure of biodegradable PLA/PBAT system: effects on dynamic rheological responses and 3d printing. *Composites Science And Technology*, [S.L.], v. 200, p. 108399, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108399>.
- PAGANIN, L. C.; BARBOSA, G. F.. A comparative experimental study of additive manufacturing feasibility faced to injection molding process for polymeric parts. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, [S.L.], v. 109, n. 9-12, p. 2663-2677, ago. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-020-05849-y>.
- PALSIKOWSKI, Paula Alessandra; KUCHNIER, Caroline N.; PINHEIRO, Ivanei F.; MORALES, Ana Rita. Biodegradation in Soil of PLA/PBAT Blends Compatibilized with Chain Extender. *Journal Of Polymers And The Environment*, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 330-341, 7 fev. 2017. *Springer Science and Business Media LLC*. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-017-0951-3>.
- PARK, Seong Je; LEE, Jieun; CHOI, Jae Won; YANG, Jeong Ho; LEE, Jun Hak; LEE, Jisun; SON, Yong; HA, Cheol Woo; LEE, Nak-Kyu; KIM, Sang Hoon. Additive manufacturing of the core template for the fabrication of an artificial blood vessel: the relationship between the extruded deposition diameter and the filament/nozzle transition ratio. *Materials Science And Engineering: C*, [S.L.], v. 118, p. 111406, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2020.111406>.
- WANG, Lu; GARDNER, Douglas J.. Contribution of printing parameters to the interfacial strength of polylactic acid (PLA) in material extrusion additive manufacturing. *Progress In Additive Manufacturing*, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 165-171, 19 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40964-018-0041-7>.
- WANG, Sisi; D'HOOGE, Dagmar R.; DAELEMANS, Lode; XIA, Hesheng; CLERCK, Karen de; CARDON, Ludwig. The Transferability and Design of Commercial Printer Settings in PLA/PBAT Fused Filament Fabrication. *Polymers*, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 2573, 2 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12112573>.
- XIAO, Hanwen; LU, Wei; YEH, Jen-Taut. Crystallization behavior of fully biodegradable poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blends. *Journal Of Applied Polymer Science*, [S.L.], v. 112, n. 6, p. 3754-3763, 15 jun. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.29800>.
- ZHANG, Naiwen; WANG, Qinfeng; REN, Jie; WANG, Liang. Preparation and properties of biodegradable poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blend with glycidyl methacrylate as reactive processing agent. *Journal Of Materials Science*, [S.L.], v. 44, n. 1, p. 250-256, jan. 2009. *Springer Science and Business Media LLC*. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-008-3049-4>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão do IEL/PR e do Grupo Boticário.