

AVALIAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS DE CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO EM PROPRIEDADES DE AMOSTRAS DE POLI(ÁCIDO LÁCTICO) FABRICADAS POR MANUFATURA ADITIVA

Lucas Henrique da Silva Baruzo

Universidade Norte do Paraná - Rod. Celso Garcia Cid, s/n - Burle Marx, Londrina - PR, 86047-500
lucasbaruzo@unopar.edu.br

André William Tonatto

Universidade Norte do Paraná - Rod. Celso Garcia Cid, s/n - Burle Marx, Londrina - PR, 86047-500
andrewtonatto@gmail.com

Tiago Dutra Galvão

Universidade Estadual de Londrina - Rod. Celso Garcia Cid, Pr 445 km 380, Londrina - PR, 86047-500
tdgalvao@hotmail.com

Resumo. A utilização do poli(ácido láctico)(PLA) vem em constante ascensão na manufatura aditiva por extrusão de material, em consequência de sua elevada processabilidade. Enquanto que pesquisas recentes têm objetivado análises voltadas à aspectos dimensionais, parâmetros de processamento e avaliações de impressoras 3D, limitadas são as pesquisas que visam entender a influência de aspectos como a coloração e/ou condições de armazenamento dos filamentos poliméricos, em propriedades tais como a densidade, grau de cristalinidade, temperatura de transição vítrea, temperatura de fusão, entre outras. O escopo deste trabalho foi investigar as influências de condições de armazenamento na densidade, desvios dimensionais e umidade de amostras de filamentos de PLA e peças impressas por extrusão de material. Os experimentos foram realizados com cinco distintas condições de armazenamento: imerso em água, exposto ao ambiente e embalados em invólucro com diferentes materiais adsorvedores (sílica-gel branca, sílica-gel laranja e sílica-gel azul). Observou-se uma tendência de redução dos desvios dimensionais e densidade das amostras (filamentos e peças impressas) provenientes do armazenamento com adsorvedores, sendo registrado uma diferença de absorção de umidade de até aproximadamente 37 vezes, quando comparadas amostras armazenadas com e sem a presença de adsorvedores, sugerindo-se a utilização de materiais adsorvedores na conservação dos filamentos.

Palavras chave: Poli(ácido láctico). Extrusão de material. Condições de armazenamento.

1. INTRODUÇÃO

Com a constante busca por novas tecnologias de fabricação que possibilitem a customização de produtos e redução do tempo de produção, a manufatura aditiva surge de maneira a complementar as tradicionais técnicas de fabricação, que possuem a remoção de material (manufatura subtrativa) e a conformação plástica, como princípio de operação. (Ferreira *et al.*, 2016; Volpato *et al.*, 2017).

Entre as diferentes técnicas de manufatura aditiva, destaca-se a extrusão de materiais, onde peças são obtidas por adição de polímeros termoplásticos fundidos, depositados camada a camada por meio de um bico extrusor, sobre uma plataforma aquecida (Tonatto *et al.*, 2017; Reis *et al.*, 2017).

A extrusão de material possibilita a fabricação de protótipos e modelos 3D obtidos em *softwares* de modelagem 3D, em um curto tempo de fabricação, proporcionando assim, facilidade em análises dimensionais e verificação do funcionamento de componentes a serem fabricados (Albuquerque e Garcia Arce, 2014). Em consequência, esta técnica de fabricação tem sido aplicada em áreas como: construção civil (Porto e Santos, 2016), medicina (Matosinhos *et al.*, 2017; Arce e Foggatto, 2017) e indústria automobilística (Ferreira *et al.*, 2016).

A técnica de fabricação também oportuniza a utilização de materiais poliméricos como: acrilonitrila butadieno estireno (ABS), politereftalato de etileno glicol (PETG), poliamida (PA), elastômero termoplástico (TPE), policarbonato (PC) e o poli(Ácido Láctico), sendo o ABS e PLA mais comumente utilizados no processo de fabricação (Besko *et al.*, 2017; Brambilla e Brandalise, 2013).

O ABS é qualificado como um copolímero de elevada flexibilidade e leveza, tendo, o uso dificultado por ser tóxico e por apresentar riscos à saúde humana durante o processo de impressão (Cantrell *et al.*, 2016). Já o PLA caracteriza-se como um biopolímero semicristalino, hidrolisável, biocompatível e biodegradável, não tóxico e com propriedades térmicas compatíveis com o processo de impressão 3D, tais como, temperatura de transição vítrea (T_g) que varia de 50 a 80°C e uma temperatura de fusão (T_f) entre 130 a 180 °C, (Brambilla e Brandalise, 2013; Sato e Venâncio, 2011).

Filamentos de PLA são comercializados em uma grande variedade de cores, o que segundo Wittbrodt e Pearce (2015), acarreta variações na resistência a tração e grau de cristalinidade em função da utilização de diferentes pigmentações. Em experimentos realizados pelos autores, foram constatadas variações na resistência a tração e grau de cristalinidade do filamento. Entre as variações, o valor de maior resistência a tração foi com o filamento natural (sem adição de corantes), onde obteve-se $57,16 \pm 0,35$ MPa ao grau de cristalinidade de $0,93 \pm 0,06$ %. Em contrapartida a menor resistência a tração foi com o filamento de pigmentação verde, sendo a resistência a tração de $50,84 \pm 0,23$ MPa em um grau de cristalinidade $4,79 \pm 0,10$ %. Os filamentos de pigmentação preta, verde e azul obtiveram as resistências a tração de $52,81 \pm 1,18$ MPa, $50,84 \pm 0,23$ MPa e $54,11 \pm 0,30$ MPa e graus de cristalinidade de $2,62 \pm 0,09$ %, $4,79 \pm 0,10$ % e $4,85 \pm 0,15$ %, respectivamente.

Análogo a coloração do filamento, condições de armazenamento tais como umidade e temperatura, também podem modificar propriedades físico-químicas da matéria-prima (filamento) e do produto final (peça impressa). Segundo Rocca-Smith *et al.* (2017), a degradação das microestruturas do PLA advém da exposição a 100% de umidade junto a uma temperatura de 50 °C.

Porfyrus *et al.* (2018) por sua vez, explica que a degradação do filamento polimérico ocorre em virtude da penetração da água na matriz polimérica, sendo as cadeias poliméricas quebradas, convertidas em oligômeros e, por fim, transformadas em monômeros. Os experimentos realizados por Hossain *et al.* (2014), com corpo de prova de ensaios de tração expostos à umidade ambiente, elucidam que o processo de degradação afeta diretamente a resistência a tração de fibras de PLA, sendo encontrados valores entre 200 e 230 MPa para amostras armazenadas em umidade relativa de 0%, enquanto para umidade relativa de 98%, foram vistos resultados entre 170 e 190 MPa, aproximadamente.

Estudos de Yew *et al.* (2005), relatam que quando exposto a altas condições de umidade e temperatura, ocorrem ganhos de massa através da absorção de água. Lam *et al.* (2002) apresenta em seus resultados que uma amostra impressa de PLA com massa inicial 0,309 g, absorve aproximadamente 72% da umidade após submerso na água por 10 minutos. Após secagem a 100 °C o autor submeteu a mesma amostra, com o novo peso inicial de 0,310g, por mais 10 minutos sob a água, resultando na absorção de aproximadamente 60% da umidade de exposição da amostra. Segundo Hu *et al.* (2010), esses ganhos de massa causam falhas microestruturais, tais como poros, microfissuras e delaminação de amostras impressas de PLA.

Logo, em virtude da elevada absorção de umidade por parte do PLA, filamentos, amostras impressas ou até mesmo fibras de PLA podem apresentar diminuição de resistência a tração, aumento de massa e aumento da velocidade de degradação do polímero. (Henton *et al.*, 2005; Porfyrus *et al.*, 2018).

Dessa forma, Gómez *et al.* (2014), sugere o uso de materiais adsorvedores, como dióxido de silício (SiO₂) ou sílica gel (polímero inorgânico, amorfo, com alta porosidade), que em virtude de seu caráter altamente adsorvedor, tem seu uso oportunizado em aplicações destinadas a remoção de umidade (Lazaar *et al.*, 2017; Mohammed *et al.*, 2018).

Recentes pesquisas objetivam análises voltadas à aspectos dimensionais (Cantrell *et al.*, 2016), parâmetros de processamento (Cordeiro *et al.*, 2014; Anitha *et al.*, 2001), estratégias de construção (Stark, 2016), aspectos dos filamentos utilizados na impressão (Costa, 2015; Henton *et al.*, 2005) e avaliações de impressoras 3D (Santana, 2015; Baião e KiyoshiUmezu; Besko *et al.*, 2012; Pereira e Rosário, 2014), por estes terem efeitos no densidade, volume, resistência a tração e compressão de peças finais.

Em contrapartida, verifica-se que a influência de aspectos como a coloração e/ou condições de armazenamento (temperatura e umidade) de filamentos poliméricos, em propriedades como: massa específica, grau de cristalinidade, temperatura de transição vítrea, temperatura de fusão, temperatura de degradação, são pouco exploradas na manufatura aditiva (Wittbrodt e Pearce, 2015; Zaldivar *et al.*, 2018).

Em virtude dos fatos mencionados, nota-se a necessidade de estudos direcionados ao entendimento das influências das condições de armazenamento do filamento de PLA, analisando a densidade e umidade expondo-os em diferentes variáveis, tais como materiais adsorvedores, condições de umidade ambiente e extrema, conferindo também possíveis modificações dimensionais da peça impressa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa utilizou uma impressora XYZ PRINTING®, modelo 3D da Vinci 1.0 Pro, que opera com filamentos de 1,75 mm de diâmetro, bico extrusor de 0,4 mm de diâmetro, temperatura máxima de extrusão 240 °C e velocidade de impressão máxima de 120 mm/s. De acordo com o fabricante, o equipamento possui precisão no eixo X e Y de 0,0125 mm e no eixo z de 0,0004 mm, com resolução de camada de 0,02 a 0,4 mm.

O filamento adotado para impressão foi o PLA de coloração azul (CLIEVER®), que de acordo com o fabricante, deve ser processado com uma temperatura de extrusão de 180 °C e temperatura de plataforma de impressão de 60 °C.

Para adsorção de umidade, empregou-se a sílica-gel (SAGUARIGI®), nas cores azul, laranja e branca, possuindo estas, capacidade de adsorção de 90% da umidade relativa, granulometria de 1 a 3 mm e volume de poros de 0,4 ml/g.

O trabalho avaliou a influência das condições de armazenamento na densidade, dimensões e umidade de amostras de filamento de PLA e peças impressas por extrusão e deposição de material.

Para avaliação das influências de condições de armazenamento das amostras do filamento e peças impressas, os experimentos foram divididos em quatro etapas, sendo na primeira realizada a caracterização da matéria-prima

(filamento), por meio da obtenção da umidade, densidade e diâmetro médio de quatro filamentos (no invólucro original, conforme fornecido pelo fabricante). Na segunda etapa, amostras foram impressas, realizando-se uma análise dimensional das peças produzidas com os respectivos filamentos (em condições originais de armazenamento). Enquanto que a terceira etapa contemplou a análise da influência de diferenciadas condições de armazenamento na umidade, densidade e diâmetro médio dos filamentos, sendo adotadas de cinco maneiras distintas de conservação dos filamentos: imerso em água, exposto ao ambiente e embalados no invólucro do fabricante com diferentes materiais adsorvedores (sílica-gel branca, sílica-gel laranja e sílica-gel azul). Por último, a quarta etapa utilizou dos filamentos armazenados na terceira etapa para a impressão de amostras, que tiveram suas dimensões aferidas e então comparadas aos modelos inicialmente impressos na segunda etapa.

A análise de umidade foi realizada conforme o método aplicado por Pereira e Morales (2014), que consiste na medição do teor de umidade por meio do quociente da massa final (obtida após exposição por 90 minutos a 100 °C ao forno mufla) pela massa inicial.

A medição da densidade foi realizada seguindo o Princípio de Arquimedes (Montanheiro, 1990), proveniente do produto entre a massa e o volume. A análise consistiu na realização da medição da massa de cinco frações do filamento seguida da medição, em uma proveta graduada, da variação do nível de água com a adição da fração avaliada, determinando assim, após média das cinco densidades, a densidade final de cada filamento avaliado.

As análises dimensionais foram realizadas conforme mencionado na primeira e terceira etapa consistindo em medições do diâmetro a cada 10 mm no intervalo de 100 mm de cada filamento antes e depois de serem expostos as cinco condições distintas de armazenamento

Em relação a análise dimensional dos filamentos (diâmetro) e peças impressas (comprimento, altura e espessura), contou-se com um micrometro digital (DIGIMESS®), com precisão de 0,01 mm. Enquanto que para a determinação da umidade e da densidade, utilizou-se de um forno Mufla (QUIMIS®) e uma balança semi-analítica (BEL®), com legibilidade de 0,001 g.

Para a análise dimensional da segunda e quarta etapa do trabalho, foram impressas duas amostras (antes e depois do armazenamento do filamento) para cada filamento armazenado, seguindo o modelo de *Benchmark*, como demonstrado na Fig. 1 com uma espessura de referência igual a 2,5 mm, conforme utilizado por Cordeiro *et al.*, 2014, para análises dimensionais de amostras fabricadas por meio da extrusão e deposição de materiais. Foram repetidas 10 medições (comprimento (X) e largura (Y)) de cada uma das 18 áreas com diferentes formas geométricas (círculo, elipse, quadrado e retângulo), contempladas no modelo.

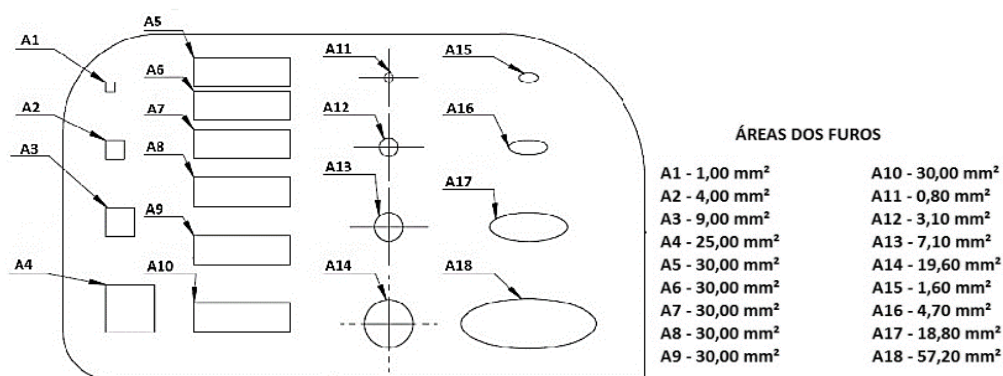


Figura 1. Modelo de *Benchmark* (Cordeiro *et al.*, 2014)

As amostras foram impressas seguindo os parâmetros de processamento estabelecidos pelo *software* XYZware Pro, para utilização de filamentos de PLA. Entre os parâmetros fixados estão: temperatura do bico extrusor (190 °C), temperatura da plataforma de construção (45 °C), velocidade de impressão (30 mm/s) e altura de camada (0,3 mm).

Após a análise dimensional dos filamentos, os mesmos foram armazenados em um ambiente com temperatura média de 25 °C e umidade relativa média de 58%, sendo os filamentos 1, 2, 3, 4 e 5 armazenados no interior do invólucro do fabricante junto a 15 gramas (massa originalmente adotado pelo fabricante do filamento), conforme descrito na tab. 1:

Tabela 1. Exposição das amostras de PLA (própria autoria).

Amostra	Forma de Exposição
S1	Invólucro contendo 1000 g de PLA a 15 gramas de Sílica-Gel Laranja
S2	Invólucro contendo 1000 g de PLA a 15 gramas de Sílica-Gel Azul
S3	Invólucro contendo 1000 g de PLA a 15 gramas de Sílica-Gel Branca
S4	Invólucro contendo aproximadamente 100 gramas de PLA a 100% de umidade
S5	Invólucro contendo 1000 g de PLA a temperatura e umidade ambiente

A amostra S4 consistiu no fracionamento de uma quantidade da amostra S1 antes de exposto a sílica-gel e imersão do mesmo à água em um recipiente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pela análise de umidade exibiram a ocorrência de absorção da umidade do ambiente por parte do filamento de PLA nas amostras S1, S2, S3, S4 e S5, conforme descrito na Tab. 2. As baixas variações de umidade dos filamentos expostos às sílicas acontecem, segundo Trabelsi *et al.* (2009), em virtude destes materiais serem eletricamente neutros e capazes de adsorverem aproximadamente 40% do seu peso de umidade, tornando-as assim uma opção para evitar-se a degradação do PLA. As amostras sem sílica-gel revelaram elevada absorção de umidade, chegando-se a uma diferença de 1,840 % (variação entre antes e depois das condições de armazenamento), para a amostra S4, exposta a 100% de umidade relativa.

Tabela 2. Umidade dos Filamentos (própria autoria).

Amostras	Antes da exposição	Depois da exposição	Variação
S1	0,426%	0,444%	+ 0,018%
S2	0,453%	0,499%	+ 0,045%
S3	1,020%	1,124%	+ 0,104%
S4	0,426%	2,266%	+ 1,840%
S5	0,641%	1,310%	+ 0,669%

Variações no diâmetro dos filamentos (antes e depois de serem expostos às condições de armazenamento) podem ser visualizados na Fig. 2, sendo constatadas reduções no diâmetro das amostras S1, S2 e S5 ($1,743 \pm 0,009$ mm para $1,734 \pm 0,019$ mm, $1,745 \pm 0,010$ mm para $1,735 \pm 0,010$ mm e $1,742 \pm 0,015$ mm para $1,735 \pm 0,011$ mm, respectivamente). Já os filamentos S3 e S4 apresentaram um aumento de diâmetro: $1,750 \pm 0,016$ mm para $1,754 \pm 0,013$ mm e $1,743 \pm 0,009$ mm para $1,745 \pm 0,013$ mm, na devida ordem. Entre os possíveis motivos de tais alterações, está a reação a hidrólise, observada por Porfyrus *et al.* (2018), no qual através da penetração da umidade na matriz polimérica, conforme Tab. 1, desencadeou o processo de degradação dos filamentos, causando as alterações de diâmetro.

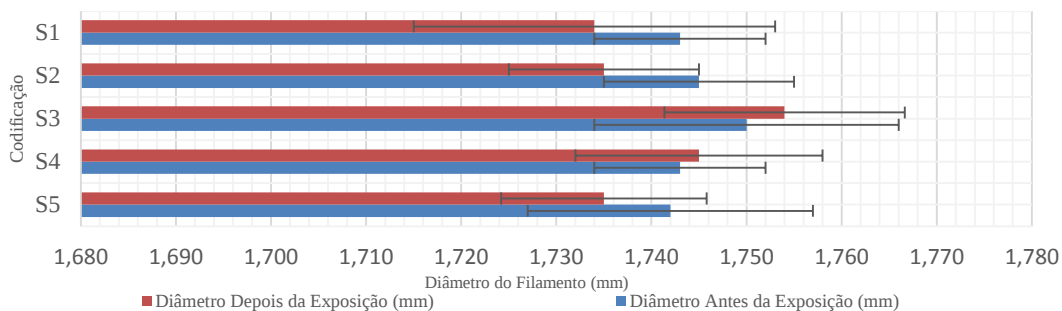


Figura 2. Diâmetros dos Filamentos (própria autoria).

Do mesmo modo que o diâmetro, a reação a hidrólise por parte do PLA causou também alterações na densidade do filamento, conforme Fig. 3. Resultados evidenciaram uma elevada diferença entre a amostra S4 com as demais amostras, no qual obteve-se os seguintes valores: S1, S3 e S5 apresentaram aumento de $1,296 \pm 0,087$ g/cm³ para $1,348 \pm 0,484$ g/cm³, $1,159 \pm 0,159$ g/cm³ para $1,346 \pm 0,120$ g/cm³ e $1,311 \pm 0,365$ g/cm³ para $1,361 \pm 0,096$ g/cm³ respectivamente. As amostras S2 e S4 apresentaram os respectivos decréscimos das densidades: $1,344 \pm 0,155$ g/cm³ para $1,226 \pm 0,054$ g/cm³ e $1,296 \pm 0,087$ g/cm³ para $0,923 \pm 0,293$ g/cm³.

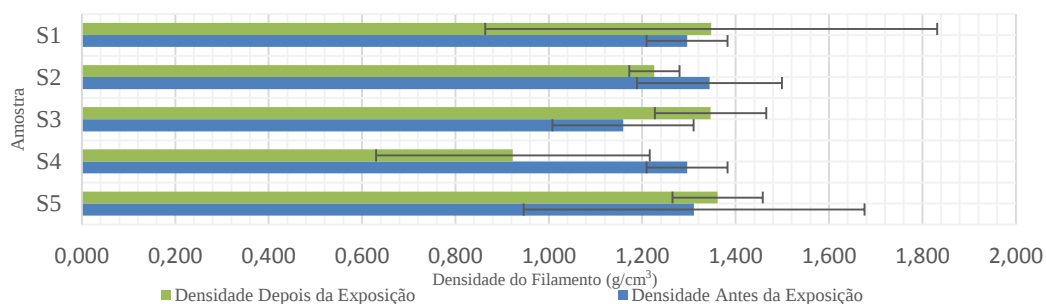


Figura 3. Densidade dos Filamentos (própria autoria).

Por meio da Figura 4, constata-se a modificação da coloração da sílica-gel laranja e azul, que conforme orientações do fabricante (SAGUARAGI®), são indicativos da adsorção de umidade relativa do ambiente exposto, juntas aos respectivos filamentos.

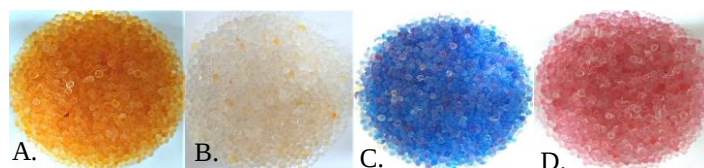


Figura 4. A. Sílica-Gel Laranja Antes da Exposição à Umidade, B. Sílica-Gel Laranja Após a Exposição à Umidade, C. Sílica-Gel Azul Antes da Exposição à Umidade D. Sílica-Gel Azul Após a Exposição à Umidade (própria autoria).

As peças obtidas com filamentos sob diferentes condições de armazenamento exibiram variações nas áreas medidas, como pode-se observar na Tab. 3, sendo verificado simultaneamente alterações no comprimento e altura destas provocadas pelo aumento da largura e distância entre filamentos depositados. Entre os possíveis motivos estão o aumento da largura do filamento depositado. Entre os possíveis motivos dessas alterações dimensionais estão: a influência da umidade (conforme analisado na Tab. 2) e a redução da viscosidade do polímero, provido da alteração de cristalinidade através da hidrólise, suscitando oscilações na passagem do filamento pelo bico de extrusão (Peres, 2016).

Tabela 3. Áreas dos Furos Antes e Depois da Exposição à Umidade do Modelo de *Benchmark* (própria autoria).

Forma Geométrica	S1 - Antes / Depois de Exposto (mm ²)	S2 - Antes / Depois de Exposto (mm ²)	S3 - Antes / Depois de Exposto (mm ²)	S5 - Antes / Depois de Exposto (mm ²)
A1	0,823 ± 0,002 / 0,733 ± 0,001	0,686 ± 0,002 / 0,471 ± 0,001	0,541 ± 0,002 / 0,649 ± 0,001	0,599 ± 0,001 / 0,766 ± 0,002
A2	03,732 ± 0,001 / 3,586 ± 0,001	3,673 ± 0,001 / 3,24 ± 0,001	3,510 ± 0,001 / 3,643 ± 0,018	3,532 ± 0,001 / 3,640 ± 0,003
A3	8,571 ± 0,001 / 8,278 ± 0,001	8,166 ± 0,013 / 7,92 ± 0,001	8,214 ± 0,001 / 8,440 ± 0,001	8,124 ± 0,001 / 8,554 ± 0,004
A4	24,225 ± 0,001 / 23,819 ± 0,001	24,132 ± 0,001 / 23,24 ± 0,001	23,618 ± 0,001 / 24,202 ± 0,002	24,010 ± 0,001 / 23,954 ± 0,009
A5	29,562 ± 0,002 / 28,453 ± 0,001	29,962 ± 0,003 / 28,213 ± 0,001	29,793 ± 0,001 / 28,525 ± 0,004	28,882 ± 0,002 / 28,283 ± 0,005
A6	28,588 ± 0,001 / 28,236 ± 0,001	35,989 ± 0,150 / 28,876 ± 0,001	29,617 ± 0,001 / 27,799 ± 0,003	28,412 ± 0,001 / 28,546 ± 0,005
A7	28,261 ± 0,001 / 28,030 ± 0,001	26,180 ± 0,066 / 27,985 ± 0,001	28,915 ± 0,001 / 27,602 ± 0,001	27,437 ± 0,001 / 28,133 ± 0,002
A8	28,328 ± 0,001 / 28,349 ± 0,001	26,871 ± 0,797 / 28,112 ± 0,001	28,925 ± 0,002 / 28,217 ± 0,010	28,563 ± 0,001 / 29,027 ± 0,006
A9	24,751 ± 0,075 / 28,817 ± 0,001	29,043 ± 0,003 / 28,658 ± 0,001	29,157 ± 0,001 / 29,452 ± 0,003	29,186 ± 0,001 / 29,342 ± 0,005
A10	28,183 ± 0,001 / 27,342 ± 0,001	28,247 ± 0,001 / 26,408 ± 0,001	28,246 ± 0,001 / 27,966 ± 0,001	27,668 ± 0,001 / 28,252 ± 0,010
A11	0,478 ± 0,010 / 0,469 ± 0,001	0,371 ± 0,002 / 0,427 ± 0,001	0,398 ± 0,001 / 0,39 ± 0,001	0,458 ± 0,003 / 0,289 ± 0,003
A12	2,138 ± 0,017 / 2,235 ± 0,007	1,867 ± 0,016 / 1,981 ± 0,002	1,968 ± 0,004 / 2,084 ± 0,004	2,556 ± 0,015 / 1,863 ± 0,007
A13	5,532 ± 0,033 / 4,905 ± 0,012	4,634 ± 0,220 / 5,220 ± 0,005	4,371 ± 0,030 / 4,653 ± 0,001	5,228 ± 0,027 / 5,983 ± 0,006
A14	16,346 ± 0,044 / 17,099 ± 0,005	17,29 ± 0,003 / 17,386 ± 0,001	16,742 ± 0,061 / 16,096 ± 0,008	17,915 ± 0,008 / 16,938 ± 0,005
A15	1,252 ± 0,011 / 1,117 ± 0,001	1,279 ± 0,018 / 1,146 ± 0,005	1,065 ± 0,003 / 1,077 ± 0,005	1,469 ± 0,001 / 1,198 ± 0,007
A16	3,775 ± 0,024 / 3,676 ± 0,006	3,867 ± 0,051 / 3,887 ± 0,023	3,902 ± 0,006 / 4,323 ± 0,003	3,790 ± 0,019 / 4,597 ± 0,001
A17	15,555 ± 0,005 / 15,767 ± 0,002	15,864 ± 0,012 / 15,601 ± 0,013	15,937 ± 0,004 / 16,477 ± 0,006	14,939 ± 0,005 / 17,484 ± 0,003
A18	51,785 ± 0,015 / 52,473 ± 0,002	52,024 ± 0,007 / 51,941 ± 0,006	51,820 ± 0,003 / 51,382 ± 0,004	52,745 ± 0,001 / 51,947 ± 0,003

4. CONCLUSÃO

A aplicação do PLA em diferentes condições de armazenamento resultou em distorções dimensionais nos filamentos e modelos impressos, assim como uma tendência de aumento da densidade. Verificou-se também que para a matéria-prima mantida juntamente com materiais adsorvedores (sílicas-gel) ocorreram menores variações dimensionais nos filamentos e amostras fabricadas, sugerindo-se a necessidade do uso desses materiais para auxílio da conservação e não degradação dos filamentos poliméricos. Aponta-se também a redução da umidade ambiente, que pode ser obtida por meio da estocagem em uma estufa de filamentos.

Em virtude dos resultados obtidos, nota-se a necessidade de experimentos envolvendo outros materiais adsorvedores/absorvedores e a influência da temperatura do ambiente e um maior tempo de armazenamento dos filamentos, sendo aconselhado um estudo voltado as influências das condições de armazenamento na temperatura de transição vítrea, temperatura de fusão, grau de cristalinidade e temperatura de degradação, por meio de análises de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) e Termogravimétrica (TGA).

5. REFERÊNCIAS

- Albuquerque, A.J.; Garcia J.H., 2014. "Optimización y Caracterización de Piezas de PLA Fabricadas Mediante Técnicas Aditivas". *Universidad Calor III de Madrid*. Madrid, Spain.
- Anitha, R.; Arunachalam, S.; Radhakrishnan, P., 2001. "Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling". *Journal of Materials Processing Technology* 118 (2001) 385-388.
- Arce, R.P.; Foggatto, J.A., 2017. "Modeling of Orthoses By Additive Manufacturing Technology". *9th Brazilian Congress of Manufacturing Engineering - COBEF*. Joinville, Brazil.
- Baião, F.J.; Kiyoshi Umez, C., 2012. "3D Printed Features and Technologies". *Universidade São Francisco*. Itatiba, Brazil.
- Besko *et al.*, M.; Bilyk, C.; Sieben, P.G., 2017. "Technical and harmful aspects of the main filaments used in 3D". *Faculdade OPET - Gestão, Tecnologia e Inovação Vol.01*. Curitiba, Brazil.
- Brambilla, V.C.; Brandalise, R.N.; Zattera, A.J., 2013. "Coupling Agents And Their Influence On Morphological And Mechanical Properties Of Composite Pla / Burity". *Universidade de Caxias do Sul*. Caxias do Sul, Brazil.
- Cantrell, J.; Rohde, S.; Damiani, D.; Gurnani, R.; DiSandro, L.; Anton, J.; Young, A.; Jarez, A.; Steinbach, D.; Kroese, C.; Ifju, P., 2016. "Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D-Printed ABS and Polycarbonate Parts", *Advancement of Optical Methods in Experimental Mechanics*, Volume 3 pp 89-105
- Cordeiro, M.J.; Pires, I.F., Rodrigues, J.M., 2014. "Analysis and optimization of procedural parameters and functional systems of a 3D printer, which is based on the technique of Deposition of Fused Plastic (FDM)". *Instituto Superior Técnico*. Lisboa, Portugal.
- Costa, G. M.; Costa, D. A., 2015 "Diameter control in the production of filaments for 3D printers". *Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Geras*. Brazil
- Ferreira, G.C.; Krüger, T.R.; Santos, C.B., 2016. "Using 3d Printing In Manufacturing For Process Optimization: A Case Study In Automobile Industries". *FAE Centro Universitário*. Brazil.
- Gómez, J.M.; Golán, J.; Rodriguez, A.; Walker, G.M., 2014. "Dye adsorption onto mesoporous materials: pH influence, kinetics and equilibrium in buffered and saline media". *Journal of Environmental Management* 146 (2014) 355e361.
- Henton, D.E.; Gruber, P.; Lunt, J.; Randall, J., 2005. "Polylactic Acid Technology". *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. p. 528-569.
- Hossain, K.M.; Parsons, A.J.; Rudd, C.D.; Ahmed, I.; Thielemans, W., 2014. "Mechanical, crystallisation and moisture absorption properties of melt drawn polylactic acid fibres". *European Polymer Journal* 53 (2014) 270-281.
- Hu, R.; Sun, M.; Lim, J., 2010. "Moisture absorption, tensile strength and microstructure evolution of short jute fiber/poly lactide composite in hygrothermal environment". *Materials and Design* 31 (2010) 3167-3173.
- Lam, C.X.; Mo, X.M.; Teoh, S.H.; Hutmacher, D.W., 2002. "Scaffold development using 3D printing with a starch-based polymer". *Materials Science and Engineering C* 20 (2002) 49-56.
- Lazzar, K.; Hajjaji W.; Pullar, R.C.; Labrincha, J.A.; Rocha, F.; Jamoussi, F., 2017. "Production of silica gel from Tunisian sands and its adsorptive properties". *Journal of African Earth Sciences* 130 (2017) 238-251.
- Matozinhos, I.P.; Madureira, A.A.; Silva, G.F.; Madeira, C.M.; Oliveira, I.F.; Corrêa, C.R., 2017. "3D Printing: Innovations In The Field Of Medicine". *Revista Interdisciplinar Ciências Médicas - MG*. Belo Horizonte, Brazil.
- Mohammed, R.H.; Mesalhy, O.; Elsayed, M.L.; Hou, S.; Su, M.; Chow, L.C., 2018. "Physical properties and adsorption kinetics of silica-gel/water for adsorption chillers". *Applied Thermal Engineering* 137 (2018) 368-376.
- Montanheiro, M.N., 1990; "Determination Of Solids Density And Liquids By The Arquimedes Principle". *Universidade Metodista de Piracicaba*. Piracicaba, Brazil.
- Peres, R.V., 2016; "Characterization and processing of poly (lactical acid) 70/30 for 3d printing". *Instituto Militar de Engenharia*. Rio de Janeiro, Brazil.
- Pereira, F.D.; Rosário, J.M., 2014. "Development of a Head for Extrusion of Cast Filament Applied to Additive Manufacturing". *Universidade Estadual de Campinas*. Campinas, Brazil.
- Pereira, R.B.; Morales, A.R., 2014. "Study of mechanical and thermal behavior of PLA modified with nucleating additive and impact modifier" Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282014000200010> Acesso em: 07 Dez 2018.
- Porfyrus, A.; Vasilakos, S.; Zotiadis, C.; Papaspyrides, C.; Moser, K.; Van der Schueren, L.; Buyle, G.; Pavlidou, S.; Vouyiouka, S., 2018. "Accelerated ageing and hydrolytic stabilization of poly(lactic acid) (PLA) under humidity and temperature conditioning". *10.1016/j.polymertesting.2018.04.018*.
- Porto, T.M.; Santos, J., 2016. "Study Of The Advances Of 3d Printing Technology And Its Application In Construction". *Universidade Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, Brazil.
- Reis, R. Mikos, W.L.; Foggatto, J.A., 2017. "Development Of A 3d Printing Manufacturing Monitoring System Utilizing Machine Vision". *9th Brazilian Congress of Manufacturing Engineering - COBEF*. Joinville, Brazil.
- Rocca-Smith, J.R.; Chau N.; Champion, D.; Brachais, H.; Marcuzzo, E.; Sensidoni, A.; Piasente, F.; Karbowiak, T.; Debeaufort, F., 2017. "Effect of the state of water and relative humidity on ageing of PLA films". *10.1016/j.foodchem.2017.02.113*.

- Santana, L.; Ahrens, C.H., 2015. "Evaluation Of A 3d Printer Based On Open Source Design In Parts Manufacturing In PLA". *Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis, Brazil.
- Sato, J.A.; Venâncio, E.C., 2011. "Manufacture and Characterization of Nanostructured Polymeric Systems Obtained Through the Use of the Electrophysing Technique". *Universidade Federal do ABC*. Santo André, Brazil.
- Stark, M.S., 2016. "Improving and Understanding Inter-filament Bonding in 3D-printed Polymers". *University of Tennessee Honors Program*. Knoxville, United States.
- Tonatto, A.W.; Netto, A.C.; Ahrens, C.H.; Zirber, C.F.; Barra, G.M, 2017. "Evaluation Of Polymeric Compounds Electrical Conductors Manufactured By Extrusion Of Material", *9th Brazilian Congress of Manufacturing Engineering - COBEF*. Joinville, Brazil.
- Trabelsi, W.; Benzina, M.; Bouaziz, S., 2009. "Physico-chemical characterisation of the Douiret sand (Southern Tunisia): Valorisation for the production of Silica Gel". *Physics procedia 2 (2009) 1461–1467*.
- Volpato, N.; Munhoz, A.L.; Costa, C.A.; Ahrens, C.H.; Carvalho, J., Santos, J.R.; Silva, J.C.; Foggiatto, J.A.; Lima, S.M., 2017. "Prototipagem Rápida: Tecnologia e Aplicações". Quinta Edição, São Paulo, Blücher
- Wittbrodt, B.; Pearce, J.M., 2015 "The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components". *Additive Manufacturing 8 (2015) 110–116*.
- Yew, G.H.; Yusof, M.; Ishak, M.; Ishiaku, U.S., 2005. "Water absorption and enzymatic degradation of poly(lactic acid)/rice starch composites". *Polymer Degradation and Stability 90 (2005) 488–500*.
- Zadivar, R.J.; Mclouth, T.D.; Ferrelli, G.I. Patel, D.N.; Hopkins A.R.; Witkin D., 2018. "Title: Effect of Initial Filament Moisture Content on the Microstructure and Mechanical Performance of ULTEM® 9085 3D Printed Parts". *10.1016/j.addma.2018.10.022*.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EVALUATION OF THE INFLUENCES OF STORAGE CONDITIONS ON PROPERTIES OF POLY(LACTIC ACID) SAMPLES MANUFACTURED BY ADDITIVE MANUFACTURING

Abstract. The use of Poly(lactic acid) steadily increases in the additive manufacture by extrusion of material, as a consequence of its high processability. While recent researches have focused on dimensional aspects, processing parameters and evaluations of 3D printers, limited are the researches that aimed at understanding the influence of aspects such as the coloration and / or storage conditions of polymeric filaments, in properties such as the density, degree of crystallinity, glass transition temperature, melting temperature, among others. The scope of this work was to investigate the influences of storage conditions on density, dimensional deviations and humidity of PLA filaments samples and printed parts by material extrusion. The experiments were carried out with five different storage conditions: immersed in water, exposed to the environment and packed in a wraparound with different adsorber materials (white silica gel, orange silica gel and blue silica gel). A tendency of reduction of the dimensional deviations and density of the samples (filaments and printed samples) was observed from the storage with adsorbers, being measured a moisture absorption variation of approximately 37 times, when compared samples with and without the presence of adsorbers, suggesting the use of adsorbent materials during the filaments storage.

Keywords: Poly(lactic acid). Material extrusion. Storage conditions.

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.