

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Estudos

Sobre

as

Propriedades, Processamento e
Produção de Materiais

Sergio Bitencourt Araújo Barros
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2020

CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Estudos

Sobre

as

Propriedades, Processamento e
Produção de Materiais

Sergio Bitencourt Araújo Barros
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS
2020

2020 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2020 Os autores
Copyright da Edição © 2020 Editora Artemis
Edição de Arte: Bruna Bejarano
Diagramação: Helber Pagani de Souza
Revisão: Os autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*.
Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Editora Chefe:

Prof^ª Dr^ª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora Executiva:

Viviane Carvalho Mocellin

Organizador:

Sergio Bitencourt Araújo Barros

Bibliotecário:

Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial:

Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia

Prof.^ª Dr.^ª Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba

Prof.^ª Dr.^ª Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof.^ª Dr.^ª Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.^ª Dr.^ª Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.^ª Dr.^ª Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Prof.^ª Dr.^ª Elvira Laura Hernández Carballido, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Prof.^ª Dr.^ª Emilas Darlene Carmen Lebus, Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof.^ª Dr.^ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco

Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof.^ª Dr.^ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas

Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, University of Miami and Miami Dade College, USA

Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros

Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

C569 Ciência e tecnologia [recurso eletrônico] : estudos sobre as propriedades, processamento e produção de materiais / Organizador Sergio Bitencourt Araújo Barros. – Curitiba, PR: Artemis, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-18-7

DOI 10.37572/EdArt_187261020

1. Materiais – Ciência e tecnologia. 2. Química verde. 3. Sustentabilidade. I. Barros, Sergio Bitencourt Araújo.

CDD 577.14

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

A coletânea intitulada **“Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais”** contempla resultados de pesquisas na área de química da matéria condensada, envolvendo conceitos de Química Verde, sustentabilidade e tecnologia.

A obra é iniciada com capítulos que versam sobre desenvolvimento de materiais sustentáveis e suas aplicações, como o uso de rejeitos de frutos aplicados como inibidores de corrosão de aço carbono, desenvolvimento de fotocatalizadores eficientes na purificação de sistemas aquosos contaminados por corante, assim como uma minuciosa revisão sobre a ampla gama de microorganismos existentes no meio ambiente capaz de biodegradar uma grande variedade de polímeros. Nos capítulos seguintes são tratadas a otimização de sistemas e materiais que são normalmente usados em impressão 3D de objetos e na fabricação de dispositivos eletrônicos; a preparação de material cerâmico com grande potencial em aplicações odontológicas; o aproveitamento de finos de resíduos de minério de manganês pelo processo de pelotização e, finalmente, a utilização de resíduos de minério de manganês para obtenção de compósitos com matriz metálica de alumínio.

O livro tem como foco apresentar aos leitores diferentes aspectos de pesquisas e aplicações da química da matéria condensada e de suas áreas correlatas no desenvolvimento de materiais e tecnologias que incentivem a sustentabilidade e tecnologias.

As pesquisas que integram a obra são de grande valia para o meio acadêmico, fornecendo subsídios teóricos para futuras investigações científicas, podendo ser usados desde o ensino dos temas abordados, para o desenvolvimento de projetos de trabalhos de conclusão de curso e pesquisas, para a atualização do estado da arte na área de degradação de polímeros, tratamento de efluentes, dentre outros.

Aos autores da obra, quero parabenizar pela qualidade dos artigos e agradecer por disponibilizá-los aos leitores por meio da Editora Artemis. Aos leitores, convido a apreciarem e examinarem a obra **“Ciência e Tecnologia: Estudos sobre as Propriedades, Processamento e Produção de Materiais”**.

Enfim, desejo-lhes uma excelente leitura!

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

ESTUDO DO SINERGISMO DO PÓ DA CASCA DE CACAU E MAMONA COMO INIBIDORES DE CORROSÃO PARA O AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO

Lhaira Souza Barreto
Thássia Félix de Almeida
André de Mendonça Santos
Fernando Cotting
Franco Dani Rico Amado
Vera Rosa Capelossi

DOI 10.37572/EdArt_1872610201

CAPÍTULO 213

AUMENTO DA ATIVIDADE FOTOCATALÍTICA INDUZIDA POR FILMES HETEROESTRUTURADOS DE TiO₂/Pt/SnO₂

Elias de Souza Monteiro Filho
Glaucio de Oliveira Testoni
Rafael Aparecido Ciola Amoresi
Glaucio Meireles Mascarenhas Morandi Lustosa
João Paulo de Campos da Costa
Marcelo Vianna Nogueira
Miguel Ruiz
Maria Aparecida Zaghete Bertochi
Elson Longo da Silva
Leinig Antonio Perazolli

DOI 10.37572/EdArt_1872610202

CAPÍTULO 331

MICROORGANISMOS NA BIODEGRADAÇÃO DE POLÍMEROS EM MEIO AQUOSO

Lhaira Souza Barreto
Erika Emanuele Gomes da Silva
Josiane Dantas Viana Barbosa
Sara Horácio de Oliveira Maciel
Yêda Medeiros Bastos de Almeida Glória
Maria Vinhas

DOI 10.37572/EdArt_1872610203

CAPÍTULO 449

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TÉRMICA DO PLA PROCESSADO POR MANUFATURA ADITIVA

Felipe Lopes Fonseca da Silva
Nirlei Santos de Lima
Luciana Sgarbi Rossino
Marcos Dorigão Manfrinato

DOI 10.37572/EdArt_1872610204

CAPÍTULO 5	62
ESTUDO DE SUPERFÍCIE E MORFOLÓGICO DE FILMES FINOS BASEADOS NO POLÍMERO SEMICONDUTOR CONJUGADO PBTTT-C14	
José Enrique Eirez Izquierdo	
Marco Roberto Cavallari	
Marcelo Goncalves Honnicke	
Fernando Josepetti Fonseca	
DOI 10.37572/EdArt_1872610205	
CAPÍTULO 6	75
ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E MORFOLÓGICAS DE DOIS SISTEMAS CERÂMICOS SINTERIZADOS DE 3Y-TZP	
Fabiola Stahlke Prado	
Cláudio Machado Junior	
Renato Panegaci dos Santos	
Alejandra Hortencia Miranda González	
DOI 10.37572/EdArt_1872610206	
CAPÍTULO 7	84
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS PARA OBTENÇÃO DE PELOTAS	
Milton Teles Neto	
Margarida Márcia Fernandes Lima	
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz	
Rosa Malena Fernandes Lima	
DOI 10.37572/EdArt_1872610207	
CAPÍTULO 8	98
SINTERIZAÇÃO AO NATURAL DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO REFORÇADOS COM 5%p, 10%p e 15%p DE RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS	
Margarida Márcia Fernandes Lima	
Vítor Martins Incalado	
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz	
Rosa Malena Fernandes Lima	
DOI 10.37572/EdArt_1872610208	
SOBRE O ORGANIZADOR	118
ÍNDICE REMISSIVO	119

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E TÉRMICA DO PLA PROCESSADO POR MANUFATURA ADITIVA

Data de submissão: 02/08/2020

Data de aceite: 15/10/2020

Felipe Lopes Fonseca da Silva

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba
Sorocaba/SP
<https://orcid.org/0000-0002-3678-8528>

Nirlei Santos de Lima

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba
Sorocaba/SP
<https://orcid.org/0000-0002-7049-0397>

Luciana Sgarbi Rossino

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba
Universidade Federal de São Carlos – Campus
Sorocaba
Sorocaba/SP
<https://orcid.org/0000-0003-2755-8349>

Marcos Dorigão Manfrinato

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba
Sorocaba/SP
<https://orcid.org/0000-0001-9076-3113>

RESUMO: A Indústria 4.0 vem ganhando destaque nos últimos anos com a implementação de seus pilares tecnológicos dentro das indústrias. Um desses pilares é a Manufatura Aditiva, uma tecnologia que tem como objetivo a criação rápida de peças com formas complexas a partir de um desenho CAD (Computer Aided

Design). O Poli (ácido lático) - PLA, é um dos materiais mais usados na fabricação de aditivos técnicos FDM (Modelagem por fusão e deposição), pelo seu baixo custo do material e fácil processamento. O objetivo deste trabalho é verificar a influência do grau de preenchimento nas propriedades físicas e mecânicas do PLA impresso por FDM. Os corpos de prova foram desenhados no software 3D, e o material impresso variando os parâmetros (perímetro e preenchimento) no software de fatiamento. Após, o material impresso foi caracterizado pela técnica de análise térmica realizada por calorímetro diferencial de varredura – DSC e as propriedades mecânicas foram determinadas por ensaio de tração e flexão a três pontos. Foi possível identificar que a resistência mecânica foi superior para corpos de prova que apresentam perímetro e maiores preenchimento das camadas impressas, e deformação plástica superior no corpo de prova com menor preenchimento. A análise térmica comprovou que os filamentos de PLA colorido (amarelo e marrom) necessita de maior fluxo de calor, temperatura de 220°C para que o polímero tenha viscosidade suficiente para passar pelo bico de extrusão sem entupimento devido ao pigmento utilizado para dar a cor ao PLA.

PALAVRAS-CHAVE: DSC, PLA, Manufatura Aditiva, Ensaio de Tração, Ensaio de Flexão a 3 Pontos.

STUDY OF THE MECHANICAL AND THERMAL CHARACTERIZATION OF PLA PROCESSED BY ADDITIVE MANUFACTURING

ABSTRACT: Industry 4.0 has been gaining prominence in recent years with the implementation of its technological pillars within the industries. One of these pillars is Additive Manufacturing, a technology that aims to quickly create parts with complex shapes from a CAD (Computer Aided Design) design. Poli (lactic acid) - PLA, is one of the most used materials in the manufacture of technical additives FDM (Modeling by melting and deposition), due to its low material cost and easy processing. The objective of this work is to verify the influence of the degree of filling in the physical and mechanical properties of the PLA printed by FDM. The specimens were designed in the 3D software, and the printed material varying the parameters (perimeter and filling) in the slicing software. Afterwards, the printed material was characterized by the thermal analysis technique carried out by differential scanning calorimeter - DSC and the mechanical properties were determined by a three-point flexural and tensile test. It was possible to identify that the mechanical resistance was higher for specimens that have a perimeter and greater filling of the printed layers, and higher plastic deformation in the specimen with less filling. The thermal analysis proved that the colored PLA filaments (yellow and brown) need a higher heat flow, temperature of 220 ° C so that the polymer has enough viscosity to pass through the extrusion nozzle without clogging due to the pigment used to give the color to the PLA.

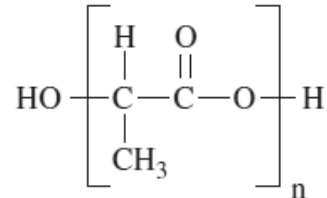
KEYWORDS: DSC, PLA, Additive Manufacturing, Tensile Test, 3 Point Bending Test

1. INTRODUÇÃO

Buscando soluções tecnológicas desde a primeira revolução industrial, implementaram em 2011 o conceito denominado “Indústria 4.0”, e a partir disso, diversas empresas com o apoio do governo começaram a desenvolver tecnologia de forma estratégica, para assim, o país desenvolvedor se tornar uma grande potência industrial. Importante ressaltar também que desde então, o interesse acadêmico/científico, empresarial e político vem aumentando nos últimos anos⁽¹⁾. Um dos pilares da Indústria 4.0 é a Manufatura Aditiva (Impressão 3D), conhecida também como Prototipagem Rápida e Fabricação Rápida, que consiste em uma tecnologia de produção de peças tridimensionais, a partir de um desenho CAD (Computer Aided Design). Entre as diversas técnicas utilizadas, se destacam as técnicas de SLS (Sinterização Seletiva a Laser) que produz peças poliméricas e metálicas através da sinterização do laser no pó; SLM (Fusão Seletiva a Laser) e DMLS (Sinterização Direta de Metal a Laser) que se assemelham com a técnica SLS, porém, focando principalmente na fabricação de peças metálicas; FDM (Modelagem por Fusão e Deposição), técnica considerada a mais utilizada dentro da Manufatura Aditiva devido ao seu baixo custo de produção, tanto do equipamento como da matéria-prima, que normalmente são filamentos de materiais poliméricos ^(2,3).

Os primeiros materiais utilizados pela técnica de FDM foram os polímeros, que devido ao seu baixo ponto de fusão se tornam acessíveis à utilização de quase todas as categorias nessa técnica. O Poli (Ácido Lático) – PLA, é um poliéster alifático que possui origem pela polimerização do ácido lático fermentado, sendo assim, um poliéster sintetizado quimicamente (4, 5). Estrutura do PLA apresentada na Figura 1.

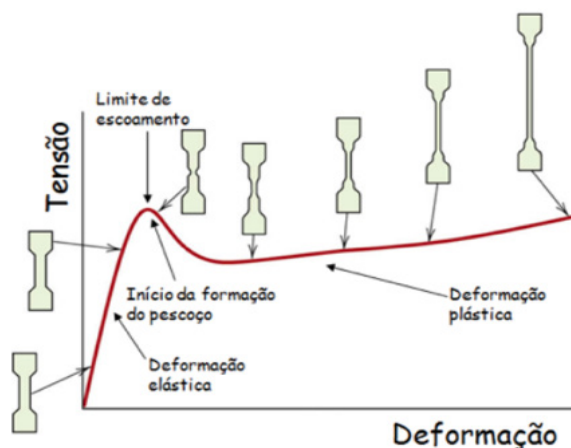
Figura 1 – Estrutura Molecular do Poli (Ácido Lático) (BARTOLOMEI, 2016) [6].



O PLA possui excelentes propriedades físicas e mecânicas, tendo elevado módulo elástico, rigidez, comportamento termoplástico, biocompatibilidade, etc. Sua temperatura de transição vítrea é de 55°C e de fusão é de 175°C, necessitando ser processado em aproximadamente 190°C (6). Em condições extremas como alta temperatura e elevada umidade, o material irá degradar-se rapidamente. Já em condições normais o material se mantém estável durante anos (7, 8, 9).

Para validar a resistência mecânica do material, existem diversos ensaios, dentre eles: tração, flexão, compressão, cisalhamento, entre outros. O ensaio de tração e flexão estão entre os principais ensaios mecânicos, que através de um gráfico tensão-deformação, obtém-se os dados como módulo de elasticidade; tensão e deformação no escoamento; limite de resistência; tensão e deformação na ruptura, e tenacidade são analisados. Na Figura 2, é possível ver alguns parâmetros obtidos nas curvas do ensaio de tração para materiais polímeros termoplásticos (10).

Figura 2 - Curva tensão-deformação para polímero submetido ao ensaio de tração [10].



2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

O material utilizado nesta pesquisa foi o Poli (Ácido Lático) – PLA. Para elaboração dos corpos de prova através da manufatura aditiva foram utilizados filamentos de PLA com diâmetro de 1,75mm.

2.2 MANUFATURA ADITIVA – FDM

A Figura 4 apresenta todas as etapas para a fabricação de um objeto pela técnica FDM.

Para o presente trabalho foram criados os corpos de prova de tração e flexão no software 3D “SolidWorks”, Figura 3(a), obedecendo às dimensões estabelecidas nas normas (ASTM D638-03 e ASTM D790-16), conforme apresentado nas Figura 4(a) e Figura 4(b) ^(11, 12). Após criar o desenho 3D, criou-se o arquivo com extensão em “STL” para que seja fatiado pelo software de fatiamento “Slic3r”, Figura 3(b), sendo que cada fatiamento corresponde ao preenchido produzido pelo bico da impressora 3D (Figura 3(c) e os parâmetros inseridos no software de fatiamento estão apresentados na Tabela 1. Após a determinação do fatiamento do objeto 3D, ocorre a geração de um arquivo em “.GCODE” para a movimentação da impressora 3D realizar o preenchimento de cada fatia e produzir o produto camada por camada, Figura 3(d).

Figura 3 – Representação esquemática do princípio básico de Manufatura Aditiva - FDM.

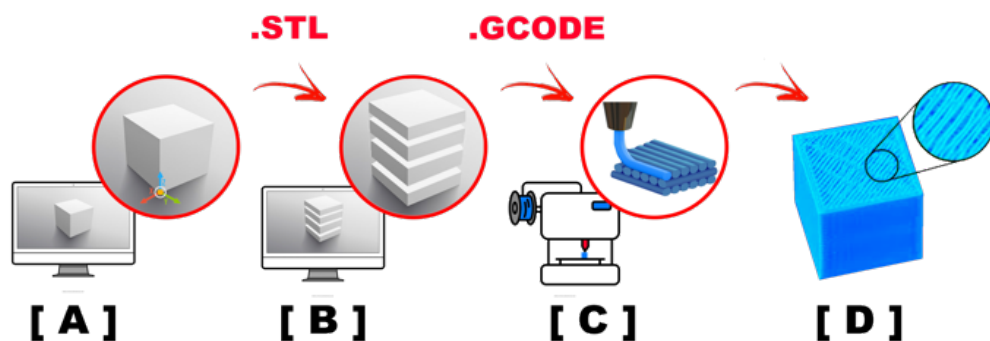
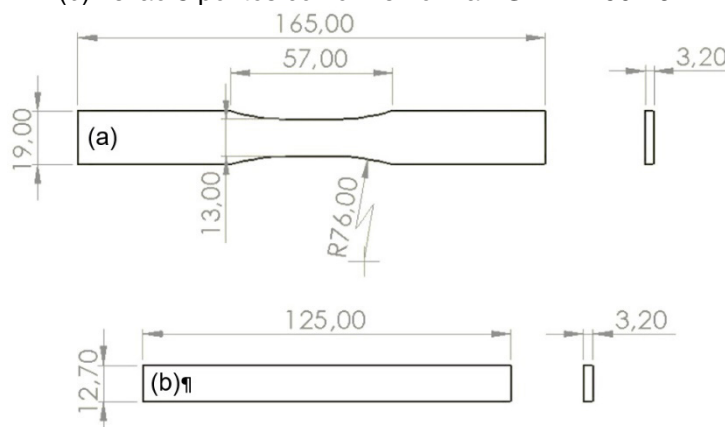


Figura 4 – Dimensão dos corpos de prova (mm), (a) tração conforme norma ASTM D638-03; (b) flexão 3 pontos conforme norma ASTM D790-16.



A determinação dos parâmetros de extrusão do filamento de PLA, Tabela 1, é importante para que o fluxo de material seja constante no bico de extrusão da impressora 3D e o aquecimento da mesa onde ocorre a impressão é feita para não ocorrer o empenamento das amostras e devido ao resfriamento das camadas impressas, dessa forma, manter a mesa aquecida diminui a velocidade de resfriamento e tem-se uma melhor adesão do objeto que está sendo impresso para evitar o empenamento do objeto.

Tabela 1 – Parâmetros utilizados para a impressão do material Poli (Ácido Lático) – PLA.

Material	PLA
Temperatura Bico (°C)	210
Temperatura Mesa (°C)	80
Velocidade de impressão (mm/s)	20

Neste trabalho manteve-se os parâmetros da Tabela 1 e o diâmetro do bico de impressão de 0,4mm constante e variou-se os parâmetros de preenchimento e perímetro. A Figura 5 ilustra o perímetro e o preenchimento de uma peça impressa.

Figura 5 – Aspecto visual da superfície impressa em 3D de uma peça com 25% de preenchimento e 3 camadas de perímetro [13].



Para a impressão dos corpos de prova foi utilizada uma impressora 3D da marca Voolt3D modelo Gi3, pertencente ao Laboratório de Tecnologia e Engenharia de Superfície da FATEC de Sorocaba. A Tabela 2 apresenta os parâmetros de impressão com e sem perímetro e preenchimento dos corpos de prova para avaliar a relação de resistência mecânica em tração em relação ao perímetro

Tabela 2 – Parâmetros de impressão com a utilização ou não do perímetro e o respectivo preenchimento.

Preenchimento (%)	30	70	100	30	70	100
Perímetro (camadas)	3			0		
Quantidade de Corpos de Prova	2			2		

Para verificar a influência do preenchimento, foram impressos corpos de prova de tração e flexão com os parâmetros de impressão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros para imprimir os corpos de prova para a caracterização mecânica do material.

Caracterização Mecânica – Ensaio de Tração				
Preenchimento (%)	25	50	75	100
Perímetro	3			
Corpos de Prova	3			

Caracterização Mecânica – Ensaio de Flexão				
Preenchimento (%)	25	50	75	100
Perímetro	3			
Corpos de Prova	3			

2.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

Os ensaios mecânicos de tração e flexão de 3 pontos foram realizados em tréplica em uma máquina universal da marca EMIC modelo DL 3000 com capacidade de 300kN e extensômetro, na FATEC Sorocaba. No ensaio de tração, foi utilizada uma velocidade de deformação de 4mm/min, já no ensaio de flexão foi utilizada uma velocidade de deformação de 2mm/min. Ambos os ensaios tiveram como principal objetivo os valores de módulo elástico(E), tensão máxima(σ_{max}) e tensão de escoamento(σ_{esc}).

2.4 ANÁLISE FRACTOGRÁFICA

Para visualizar a superfície de fratura dos corpos de prova de tração e flexão, foi utilizado um estereoscópio da marca Wireless Microscope modelo Magnification 500x. Com o auxílio do estereoscópio foi analisado o ângulo de dobramento e fratura dos corpos de prova de flexão.

Para uma melhor análise da superfície de fratura dos corpos de prova de tração, foram realizadas imagens com o auxílio do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) / EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva), da UNESP Campus de Sorocaba, da marca JEOL, modelo JSM-6010LA. Para esta análise, a metalização dos corpos de prova realizados com ouro e paládio.

2.5 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA

A análise térmica do PLA foi realizada em 3 cores de PLA (marrom, amarelo e natural sem pigmento) utilizando um equipamento de DSC - Calorímetro Diferencial de Varredura da marca Netzch Proven Excellence, modelo DSC204, realizado na empresa Schaeffler Brasil Sorocaba. A análise possuiu range de 90/20 (K/min) / 210, Atmosfera controlada de O₂: 20,0 (ml/min) e N₂ 20,0 (ml/min) e Corrente de 800 mA.

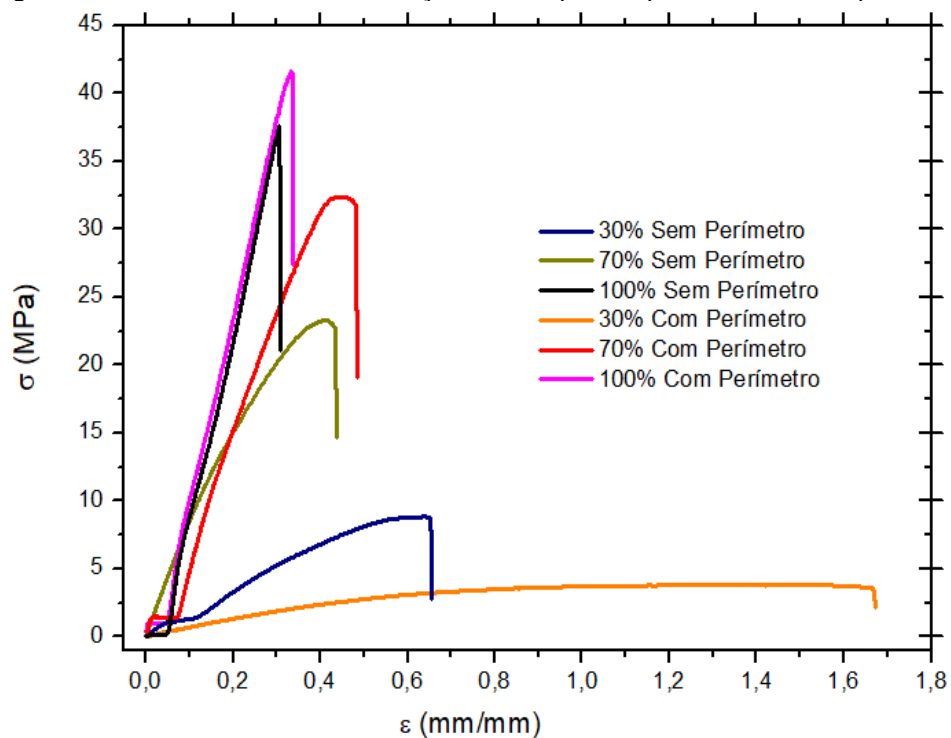
3 . RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do ensaio de tração foram analisados primeiramente variando o perímetro e posteriormente o preenchimento.

3.1 PERÍMETRO - ENSAIO DE TRAÇÃO

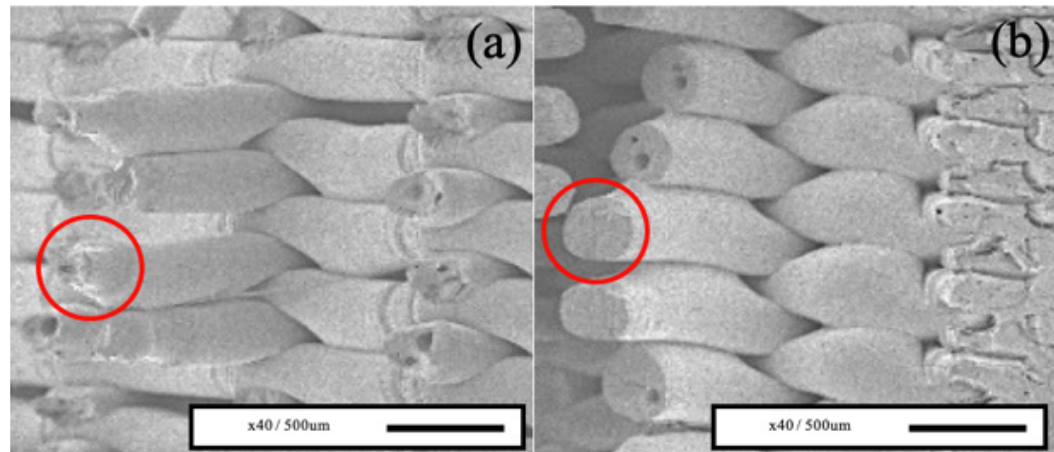
A Figura 6 ilustra o gráfico dos ensaios de tração dos corpos de prova com e sem perímetro e variando o preenchimento interno de 30%, 70% e 100%. Os corpos de prova com perímetro foram os que apresentaram maiores resistências a tração, com exceção da condição com 30% de preenchimento, que apresentou maior deformação e menor tensão. O perímetro elimina a concentração de tensão na superfície do corpo de prova de tração, pois o preenchimento feito em camadas alternadas com inclinação de 45° e camada posterior é feita em um ângulo de 135° em relação ao plano de preenchimento do plano anterior. Dessa forma, o perímetro confere ao corpo de prova bom acabamento superficial e melhor resistência a tração.

Figura 6 – Gráfico Tensão x Deformação dos corpos de prova com e sem perímetro.



A análise da superfície de fratura do corpo de prova sem perímetro está apresentada na Figura 7(a) e observa-se que a tensão exercida pelo ensaio de tração foi direcionada ao preenchimento, formando assim uma fratura dúctil no preenchimento. Já no corpo de prova com perímetro, Figura 7(b), foi possível identificar que o perímetro serviu como suporte, diminuindo a concentração de tensão na extremidade do corpo de prova, gerando assim uma fratura frágil no preenchimento, ocorrendo o cisalhamento perpendicular no sentido do carregamento de tração, não ocorrendo deformação no preenchimento.

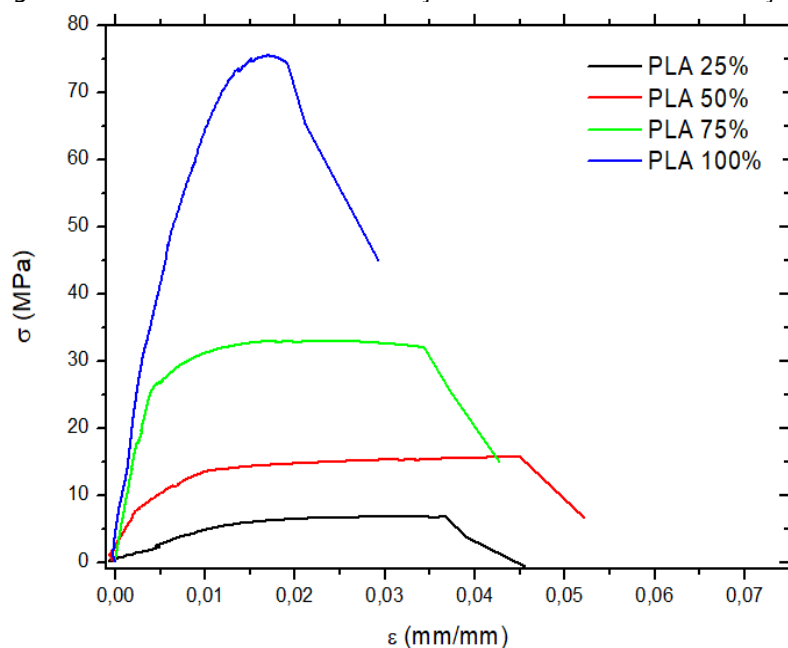
Figura 7 – Superfície de Fratura do corpo de prova de tração (a) sem perímetro; (b) com perímetro.



3.2 PREENCHIMENTO - ENSAIO DE TRAÇÃO

Como foram ensaiados corpos de prova variando o preenchimento, o melhor resultado em tração (tensão máxima) ocorreu para o preenchimento de 100%, conforme ilustra a Figura 8. O desenvolvimento de produtos impressos por manufatura aditiva que serão funcionais devem ser produzidos com 100% para suportarem maiores tensões trativas. O preenchimento de 100% também apresentou maior módulo elástico, 13,595 MPa.

Figura 8 – Gráfico Tensão x Deformação do PLA no Ensaio de Tração.



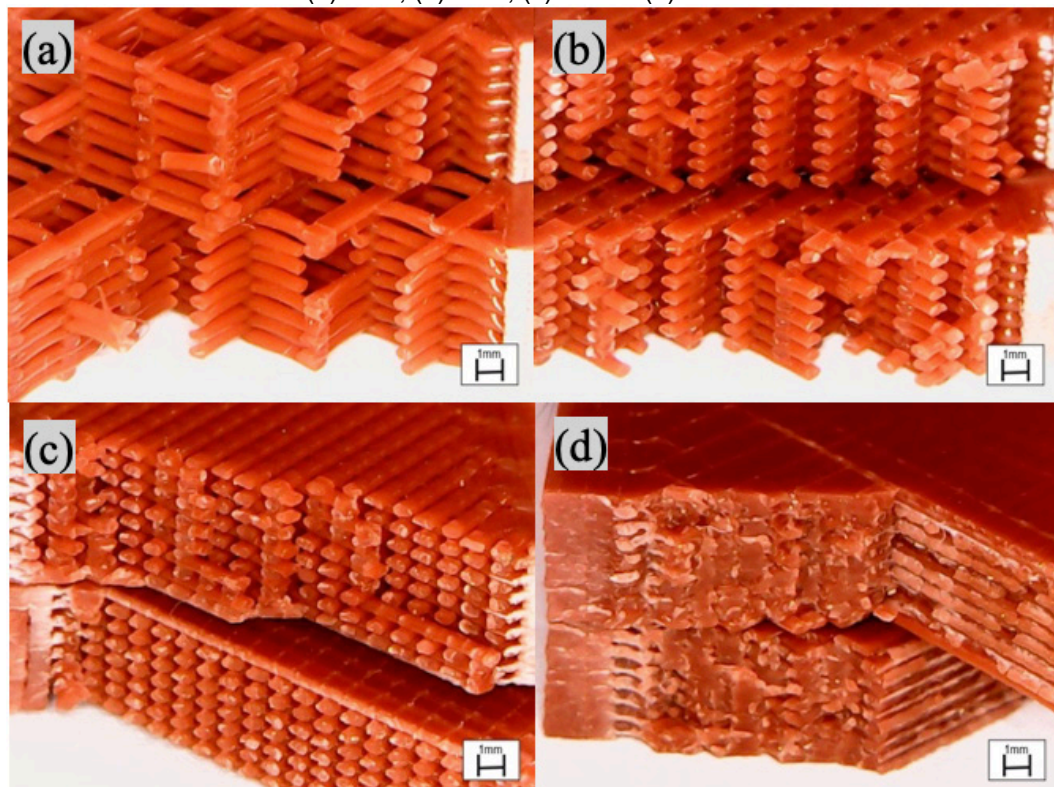
As propriedades obtidas nos ensaios de tração estão apresentadas na Tabela 3. Como já observado na Figura 8 a melhor condição de propriedades mecânicas de tração ocorre para o preenchimento de 100% e com perímetro. Esse aumento nas propriedades de tração ocorre com o aumento do preenchimento, decorrência da união das camadas, que em maior quantidade o material se torna o mais coeso e com uma menor quantidade de poros, propiciando uma maior resistência à tração ao material.

Tabela 3 - Tensão máxima (σ_{max}), módulo elástico (E) e tensão de escoamento (σ_{esc}) para diferentes preenchimentos no ensaio de tração.

Preenchimento	25%	50%	75%	100%
σ_{max} (MPa)	4,273	9,753	20,440	46,759
±DP	1,020	1,054	1,685	1,194
σ_{esc} (MPa)	4,203	8,590	18,540	39,090
±DP	0,951	0,955	1,955	1,308
E (GPa)	2,654	5,280	3,375	13,595
±DP	0,767	0,813	1,123	1,406

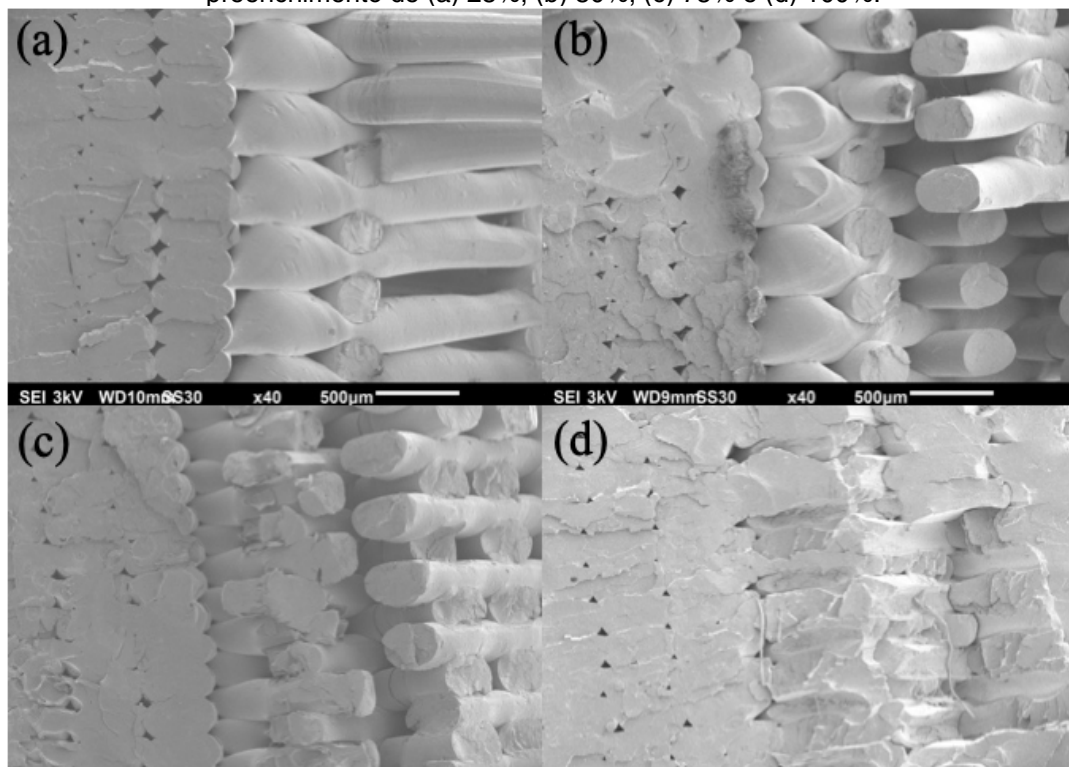
A superfície de fratura do corpo de prova ensaiado em tração está apresentada na Figura 9. É possível identificar a união das camadas, quanto maior o preenchimento, maior a união entre os fios extrudados em cada camada. Observa-se que a fratura ocorre de maneira frágil entre os fios do preenchimento e no perímetro ocorre a deformação até a fratura, como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Superfície de fratura dos corpos de prova de tração com perímetro e preenchimento, (a) 25%, (b) 50%, (c) 75% e (d) 100%.



As superfícies de fraturadas dos corpos de prova de tração foram analisadas com auxílio do MEV, como ilustra a Figura 10. Observa-se que as linhas extrudadas têm maior tendência de se unirem quando estão em maior quantidade, ou seja, maior preenchimento, pois as camadas laterais auxiliam empurrando, favorecendo a união das camadas. Verificou-se que mesmo com 100% de preenchimento existem poros ocasionados de uma união incompleta das camadas, os quais podem agir como pontos de concentração de tensão.

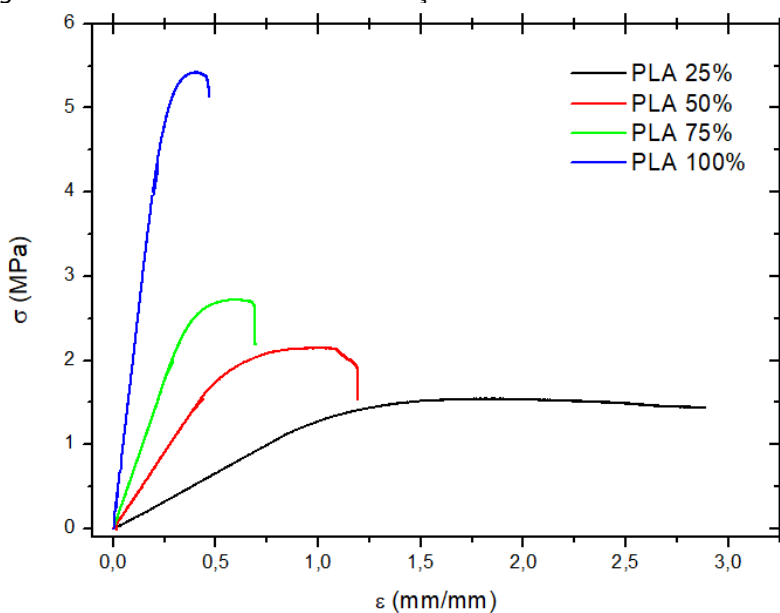
Figura 10 – Superfície de fraturas dos corpos de prova de tração, com auxílio do MEV para o preenchimento de (a) 25%, (b) 50%, (c) 75% e (d) 100%.



3.3 ENSAIO DE FLEXÃO DE 3 PONTOS

No ensaio de flexão de 3 pontos, o preenchimento de 100% apresentou maior tensão máxima, enquanto o preenchimento de 25% apresentou maior deformação plástica, como mostrado na Figura 11. Pode-se com base nos resultados de flexão de 3 pontos que objetos impressos 3D que forem submetidos a maior solicitação mecânica em de flexão devem ser impressos com 100% de preenchimento para suportarem maiores tensões flexíveis.

Figura 11 – Gráfico Tensão x Deformação do PLA no Ensaio de Flexão.



A Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas obtidas a partir dos ensaios de flexão de 3 pontos. Pode-se observar que a resistência a flexão aumenta com o

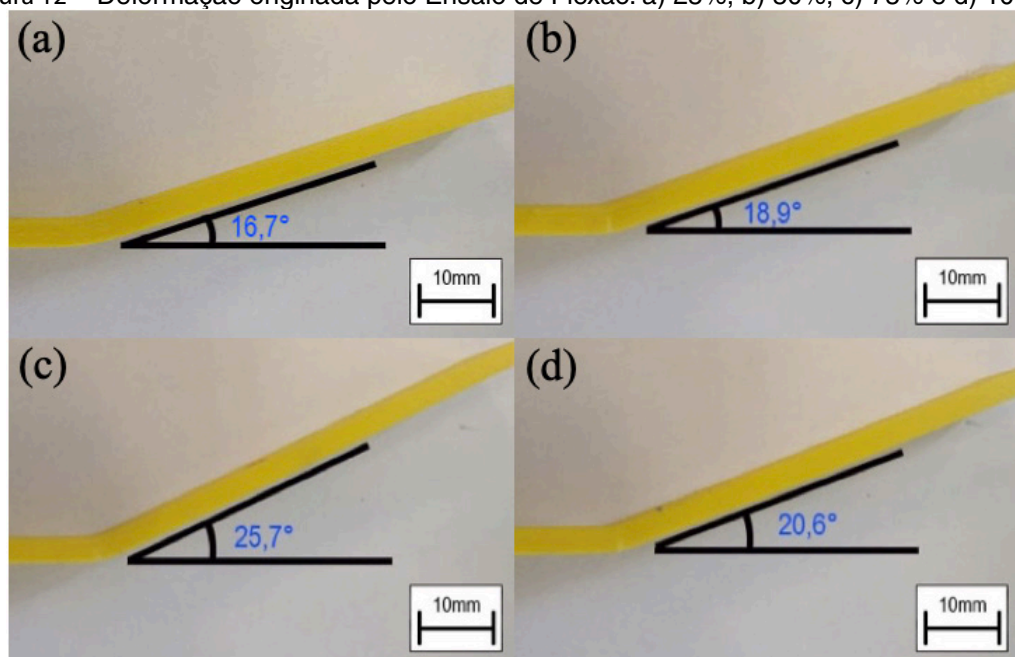
aumento do preenchimento.

Tabela 4 - Tensão máxima (σ_{max}), módulo elástico (E) e tensão de escoamento (σ_{esc}) para diferentes preenchimentos no ensaio de flexão.

Preenchimento	25%	50%	75%	100%
σ_{max} (MPa)	3,801	5,283	6,688	13,338
$\pm DP$	0,0428	0,0788	0,277	0,225
σ_{esc} (MPa)	0,975	1,354	1,715	3,420
$\pm DP$	0,0114	0,0200	0,0711	0,0580
E (GPa)	3,120	4,348	5,546	12,486
$\pm DP$	0,0142	0,0127	0,166	0,193

O corpo de prova de flexão em 3 pontos com 25% de preenchimento apresentou menor resistência, mas obteve maior regime plástico, a qual não fraturou ao final do ensaio devido a menor a união das camadas, obtendo assim, uma maior plasticidade. A Figura 12 apresenta o corpo de prova de flexão em 3 pontos após o ensaio e observa-se que o ângulo de inclinação é o menor e aumenta conforme o aumento do preenchimento.

Figura 12 – Deformação originada pelo Ensaio de Flexão. a) 25%, b) 50%, c) 75% e d) 100%.



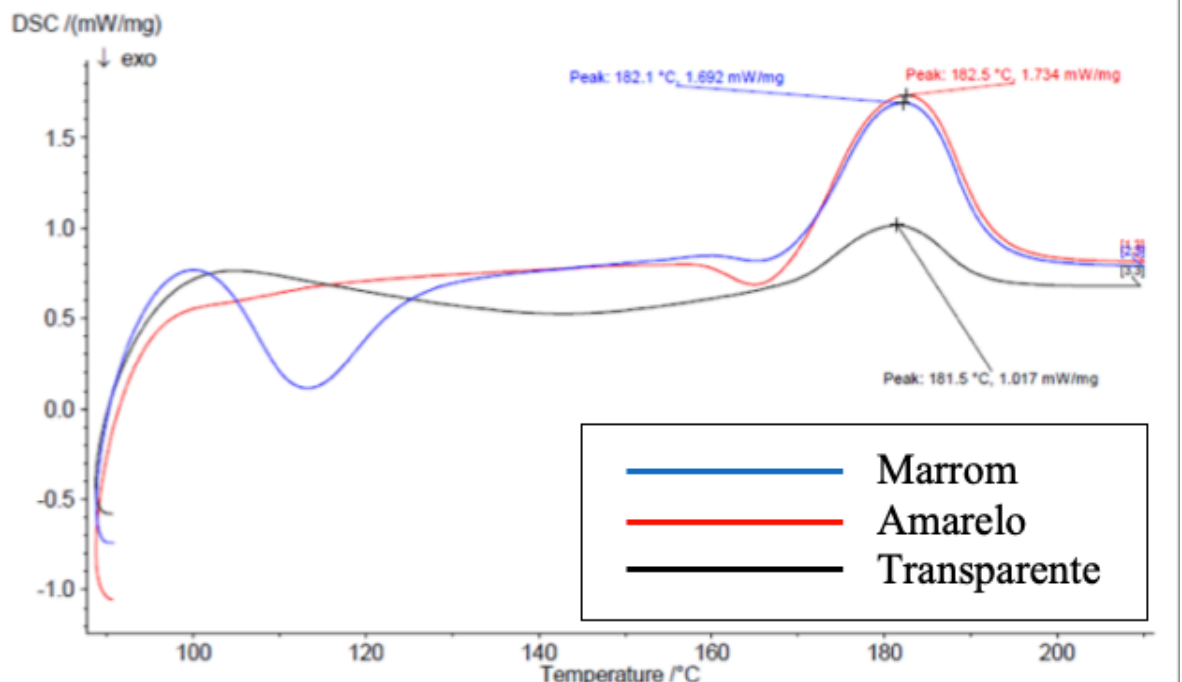
3.4 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA - DSC

Durante a impressão dos corpos de prova houve grande dificuldade em processar os filamentos coloridos (amarelo e marrom com corantes) se comparamos com o filamento natural (transparente). A Figura 13 apresenta a caracterização térmica nos filamentos com pigmento (utilizados no trabalho) e sem pigmento (natural).

Os filamentos com adição de pigmento (marrom e amarelo) foram os que mais oscilaram no fluxo de calor conforme a temperatura do ensaio aumentava. Todos

os filamentos apresentaram pico de fusão aproximadamente 5°C a mais do que foi observado na literatura, podendo haver imperfeições no material, com o corante utilizado para dar as cores. Esse pico faz com que o filamento não seja completamente viscoso no conjunto de extrusão e dessa forma, ocorra o entupimento do bico. Para evitar o entupimento do bico o sistema de extrusão foi calibrado para temperatura de 220°C bem acima da temperatura indicada pela Figura 13.

Figura 14 – Técnica DSC do material PLA com e sem pigmento.



4. CONCLUSÕES

Foi possível analisar através do ensaio de tração e das imagens obtidas pelo MEV que a utilização do perímetro não é importante apenas no acabamento dos objetos impressos em 3D mas também na resistência mecânica, devido a proteção superficial que o perímetro fornece, diminuindo o valor da tensão atuante nos pontos superficiais, devido a diminuição dos concentradores de tensão provocados pelos filamentos de preenchimento do objeto.

Com a utilização de perímetro em todos os corpos de prova observou-se a influência do preenchimento na resistência à tração e flexão 3 pontos. Quanto maior o preenchimento do objeto impresso em 3D, maior é sua resistência mecânica à tração e flexão a 3 pontos. Quanto menor o preenchimento maior é a deformação plástica que o objeto suporta. Portanto, a escolha do preenchimento irá depender da aplicação do objeto impresso em 3D, por exemplo se for produzir um suporte para pendurar planta será necessário fazer o preenchimento em 100% para se ter uma maior resistência mecânica. Mas se for produzir um objeto em 3D que precise deformar como uma bola deve-se produzir com um preenchimento pequeno, menor

que 25%.

A análise térmica dos filamentos de PLA foi importante para definir a temperatura de melhor extrusão do filamento evitando o entupimento do bico de extrusão. Filamentos coloridos possuem impurezas (pigmentos para dar a cor), dificultando seu processamento, necessitando utilizar temperatura de 220°C sendo que a literatura indica a impressão 3D a 200°C.

REFERÊNCIAS

- ¹ LIMA, A. G., PINTO, G. S. Indústria 4.0: Um Novo Paradigma para a Indústria. Interface Tecnológica, v. 16, n. 2, p. 299-311, 21 dez. 2019.
- ² BINELI, A. R. R., PERES, A. P. G., JARDINI, A. L., FILHO, R. M. Direct Metal Laser Sintering (DMLS): Technology for Design and Construction of Microreactors. 6th Brazilian Conference on Manufacturing Engineering, 2011. 6 ed. Caxias do Sul: ABCM, 2011.
- ³ FERNANDES, R. P. Avaliação da Exatidão Geométrica de Processo de Manufatura Aditiva. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecatrônica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.
- ⁴ PRADELLA, J. G. C. Biopolímeros e Intermediários Químicos. São Paulo: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Relatório Técnico nº 84 396-205. p. 119, 2006.
- ⁵ CAVALCANTI, S. N. Desenvolvimento de Bionanocompósitos de Poli (Ácido Lático) / Argila Organofílica. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.
- ⁶ BARTOLOMEI, S. S. Estudo de Nanocompósitos Formados por PLA e Nanopartículas de Celulose. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- ⁷ LIU, H., SONG, W., CHEN, F., GUO, L. ZHANG, J. Interaction of microstructure and interfacial adhesion on impact performance of polylactide (PLA) ternary blends. Macromolecules, Baton Rouge, v. 44, n. 6, p. 1513 – 1522, 2011.
- ⁸ LIM, L. AURAS, R., RUBINO, M. Processing technologies for poly (lactic acid). Progress In Polymer Science, Guelph, v. 33, n. 8, p. 820 – 852, 2008.
- ⁹ HENTON, D. E. et al. Polylactic acid technology. In: Mohanty AK, Misra M, Drzal LT, editors. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005.
- ¹⁰ CANEVAROLO, S. V. Jr. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros / 1. ed. São Paulo: Artiliber Editora, 2002.
- ¹¹ ASTM D638-03 – “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”, 2003.
- ¹² ASTM D790-16 – “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”, 2016.
- ¹³ SILVA, F. L. F. CARNEIRO, J. C., LIMA, N. S., ROSSINO, L. S., MANFRINATO, M. D. Avaliação dos Parâmetros de Impressão 3D do PLA no Ensaio de Tração. Boletim Técnico da FATEC-SP, v. 48. p. 30. 2019.

SOBRE O ORGANIZADOR

SERGIO BITENCOURT ARAÚJO BARROS - Doutor em Química pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre e Licenciado em Química pela Universidade Federal do Piauí. Foi professor do quadro efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, no período de 2009 a 2011, onde atuou no ensino técnico e superior. Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros. Possui experiência em ensino e pesquisa na área de Química e Ciências, com ênfase em Físico Química Inorgânica, atuando principalmente nos seguintes temas: Ensino de Química e Ciências, Síntese de polímeros e preparação de nanofilmes, Polímeros naturais, Síntese de nanopartículas e metalofalocianinas, Método Sol-Gel para elaboração/preparação de materiais carbono cerâmicos e compósitos cerâmicos microporosos, Síntese e Caracterização de novos materiais e Desenvolvimento de sensores eletroquímicos. <http://lattes.cnpq.br/4639320486261004>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço carbono 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10

Análise Fractográfica 54

Aproveitamento de resíduos de minérios 84, 85, 99

Azul de metileno 13, 14, 17, 19, 27

B

Barreira de Schottky 24

Biodegradação 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47

C

Caracterização 1, 6, 37, 43, 53, 59, 75, 80, 83, 85, 88, 89

Caracterização mecânica 49, 53, 54

Caracterização térmica 54, 59

Casca da mamona 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10

Casca do cacau 4, 5, 6, 7, 8, 10

Cerâmicas 76, 77, 79, 80, 81, 82

Compósitos de matriz metálica de alumínio 99

Curvas de polarização 4, 9

D

Degradação enzimática 34, 36, 39, 40

E

Elétron-buraco 25

Eletrônica orgânica 62, 63, 65

F

Filme fino 66, 67, 71

G

Gestão de resíduos 32

I

Impedância 1, 4, 6, 7, 8, 10

Impressão 3D 50, 61

Inibidores de corrosão 1, 2, 3, 6, 10

M

Método dos precursores poliméricos 75, 77, 82

Modelagem por Fusão e Deposição 49, 50

O

Odontológico 78

P

Pelotização 84, 85, 86, 96

Poli (Ácido Lático) 49, 51, 52, 53, 61

Polímeros biodegradáveis 37, 43, 45

Polímeros semicondutores 62, 64

Poly(2,5-bis(3-tetradecyl-thiophen-2-yl)thieno[3,2-b]thiophene) (PBTTT-C14) 62

Propriedades mecânicas 2, 32, 33, 39, 40, 41, 49, 56, 58, 77, 82

S

Semicondutor 15, 16, 24, 62, 64, 66, 69, 71, 72

Sinterização 21, 23, 50, 75, 77, 79, 81, 82, 83, 85, 98, 99, 100, 101, 105, 106, 107, 113, 114, 115, 116

T

Transistores 62, 65



**EDITORIA
ARTEMIS
2020**