



*João Dallamuta
(Organizador)*

*Estudos
Transdisciplinares
nas Engenharias 3*

Atena
Editora

Ano 2019

João Dallamuta
(Organizador)

Estudos Transdisciplinares nas Engenharias

3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
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, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos transdisciplinares nas engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizador João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Transdisciplinares nas Engenharias; v. 3) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-682-9 DOI 10.22533/at.ed.829190710 1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Transdisciplinaridade. I. Dallamuta, João. II. Série. CDD 620
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Se o Senhor Leonardo di Ser Piero da Vinci, por uma hipótese, fosse realizar concurso público para lecionar em uma universidade brasileira, teria enorme dificuldade para se adequar às regras do certame. Ele era cientista, matemático, inventor, engenheiro, médico anatomista, escultor, desenhista, arquiteto, artista plástico pintor poeta e músico. Dificilmente iria conseguir comprovar títulos ou se adequar as exigências.

Em termos mais modernos da Vinci teria conhecimentos transdisciplinares, um conceito para conhecimento de forma plural. Disciplinas e carreiras são divisões artificiais para facilitar a organização de cursos, currículos, regulamentações profissionais e facilitar a prática do ensino. Em tempos onde isto não existia, como na Grécia antiga ou na renascença havia o conhecimento plural na qual Leonardo da Vinci talvez seja o maior expoente.

Não se sugere que todo conhecimento transdisciplinar prove de um gênio, tão pouco que a organização por áreas do conhecimento não tenha seu valor. Apenas que a boa engenharia, em função da sua crescente complexidade trás necessidades de conhecimentos e competências transdisciplinares.

Neste livro são apresentados artigos abordando problemas de fornecimento de energia, água potável, urbanismo, gestão de varejo, técnicas de projeto e fabricação, uma combinação de áreas e temas que possuem um ponto em comum; são aplicações de ciência e tecnologia que buscam soluções efetivas para problemas técnicos, como deve ser em tese a boa engenharia.

Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DEMANDA ENERGÉTICA E PROPOSTAS DE SOLUÇÕES NO ESTADO DE RORAIMA	
Laura Vieira Maia de Sousa	
Talyta Viana Cabral	
Josiane do Socorro Aguiar de Souza de Oliveira Campos	
Luciano Gonçalves Noleto	
Maria Vitória Duarte Ferrari	
Túlio Costa de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.8291907101	
CAPÍTULO 2	15
ANÁLISE DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA SANTA CASA DE AREALVA: SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO E AR CONDICIONADO	
José Rodrigo de Oliveira	
Matheus Henrique Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.8291907102	
CAPÍTULO 3	25
TRATAMENTO DA ÁGUA DE DRENAGEM PLUVIAL: UM MAL NECESSÁRIO?	
Carlos Augusto Furtado de Oliveira Novaes	
DOI 10.22533/at.ed.8291907103	
CAPÍTULO 4	36
DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS DA CIDADE DE CARAÚBAS/RN	
Larisa Janyele Cunha Miranda	
Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva	
Rokátia Lorrany Nogueira Marinho	
Guilherme Lopes da Rocha	
Clélio Rodrigo Paiva Rafael	
DOI 10.22533/at.ed.8291907104	
CAPÍTULO 5	46
CALIBRAÇÃO DO FATOR DE ATRITO EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
Alessandro de Araújo Bezerra	
Renata Shirley de Andrade Araújo	
Marco Aurélio Holanda de Castro	
DOI 10.22533/at.ed.8291907105	
CAPÍTULO 6	55
AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE ALTERNATIVAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, SOB ASPECTOS DE RESILIÊNCIA A INUNDAÇÕES E REQUALIFICAÇÃO AMBIENTAL	
Bruna Peres Battemarco	
Lilian Marie Tenório Yamamoto	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.8291907106	
CAPÍTULO 7	67
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO EM ALGUNS	

TEATROS NA CIDADE DO RECIFE/PE

Carlos Fernando Gomes do Nascimento
Eduardo José Melo Lins
Eliana Cristina Barreto Monteiro
Amanda de Moraes Alves Figueira
Cynthia Jordão de Oliveira Santos
Débora Cristina Pereira Valões
Edenia Nascimento Barros
George da Mota Passos Neto
Gilmar Ilário da Silva
Lucas Rodrigues Cavalcanti
Marcionillo de Carvalho Pedrosa Junior
Maria Angélica Veiga da Silva
Mariana Santos de Siqueira Bentzen
Paula Gabriele Vieira Pedrosa

DOI 10.22533/at.ed.8291907107

CAPÍTULO 8 80

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE COMPARATIVA DE PÓS NANOMÉTRICOS OBTIDOS POR MOAGEM DE ALTA ENERGIA COM E SEM LIXÍVIA ÁCIDA PARA APLICAÇÃO EM FOTOCATÁLISE

Lucca Monteiro Silva Semensato
Luis Fernando Baldo Estorari
Maisa Helena Mancini
Veridiana Magalhães Costa Moreira
Ana Gabriela Storion
Eliria Maria de Jesus Agnolon Pallone
Tânia Regina Giraldi
Sylma Carvalho Maestrelli

DOI 10.22533/at.ed.8291907108

CAPÍTULO 9 93

CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS A UM CLUSTER COMERCIAL PLANEJADO DE VAREJO DE AUTOMÓVEIS

Marco Aurélio Sanches Fittipaldi
Denis Donaire

DOI 10.22533/at.ed.8291907109

CAPÍTULO 10 106

IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MESA DE VARREDURA XY E APRIMORAMENTO DO SISTEMA FOCAL DE UM APARELHO DE LITOGRAFIA

Raul de Queiroz Mendes
Arlindo Neto Montagnoli

DOI 10.22533/at.ed.82919071010

CAPÍTULO 11 120

ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO FIXO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO

Arthur Hendricks Mendes de Oliveira
Helder Alves Pereira

DOI 10.22533/at.ed.82919071011

CAPÍTULO 12 128

ANÁLISE DO IMPACTO DO CASCATEAMENTO DE FILTROS ÓPTICOS CONSIDERANDO

DIFERENTES ARQUITETURAS DE REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS

Eloisa Bento Sarmiento

Helder Alves Pereira

DOI 10.22533/at.ed.82919071012

CAPÍTULO 13 **138**

MODELAGEM DO EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO NA SOLUBILIDADE DE ÁCIDOS GRAXOS EM SOLVENTES ORGÂNICOS

Bruno Rossetti de Souza

Vanessa Vilela Lemos

Jessica Cristina Silva Resende

Karolina Soares Costa

Marlus Pinheiro Rolemberg

Rodrigo Corrêa Basso

DOI 10.22533/at.ed.82919071013

CAPÍTULO 14 **149**

AVALIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE TiO₂ OBTIDAS POR MOAGEM DE ALTA ENERGIA COM E SEM LIXIVIAÇÃO

Lucca Monteiro Silva Semensato

Vanessa Vilela Lemos

Gabriel de Paiva

Luis Fernando Baldo Estorari

Maisa Helena Mancini

Ana Gabriela Storion

Eliria Maria de Jesus Agnolon Pallone

Tânia Regina Giraldi

Sylma Carvalho Maestrelli

DOI 10.22533/at.ed.82919071014

CAPÍTULO 15 **161**

ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO PRÉ-AQUECIMENTO DO ÓLEO E DA TEMPERATURA DE TRANSESTERIFICAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO BIODIESEL

Gerd Brantes Angelkorte

Ivenio Moreira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.82919071015

CAPÍTULO 16 **170**

ASPECTOS BOTÂNICOS DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Sebastião Gomes Silva

Jorddy Neves da Cruz

Pablo Luis Baia Figueiredo

Wanessa Almeida da Costa

Mozaniel Santana de Oliveira

Rafael Henrique Holanda Pinto

Renan Campos e Silva

Fernanda Wariss Figueiredo Bezerra

Raul Nunes de Carvalho Junior

Eloisa Helena de Aguiar Andrade

DOI 10.22533/at.ed.82919071016

CAPÍTULO 17 **182**

ESTUDO DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DE IMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ÁCIDO POLILÁTICO (PLA) OBTIDAS POR INTERMÉDIO DE

ENSAIO DE TRAÇÃO

Camila Colombari Bomfim
Antônio Carlos Marangoni
Rafael Junqueira Marangoni

DOI 10.22533/at.ed.82919071017

CAPÍTULO 18 194

ESTUDO DO ASPECTO GEOMÉTRICO DOS CORDÕES DE SOLDA COMO ORIENTAÇÃO
OPERACIONAL PARA O USO NA SOLDAGEM MAG ROBOTIZADA

Everaldo Vitor
Paulo Eduardo Alves Fernandes

DOI 10.22533/at.ed.82919071018

SOBRE O ORGANIZADOR..... 206

ÍNDICE REMISSIVO 207

ESTUDO DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DE IMPRESSÃO 3D POR EXTRUSÃO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO ÁCIDO POLILÁTICO (PLA) OBTIDAS POR INTERMÉDIO DE ENSAIO DE TRAÇÃO

Camila Colombari Bomfim

Faculdade Anhanguera, Polo Franca
Franca – São Paulo

Antônio Carlos Marangoni

Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade
Frutal
Frutal – Minas Gerais

Rafael Junqueira Marangoni

Universidade de São Paulo, Campus São Carlos
São Carlos – São Paulo

RESUMO: Devido à sucessiva implementação das tecnologias que cingem as impressoras 3D, tal ferramenta tem deixado de ser utilizada apenas como um meio de prototipagem rápida, fazendo-se uma importante forma de manufatura. Quando um objeto construído por uma impressora 3D torna-se um elemento de utilização imediata em um equipamento, é necessário conhecer as propriedades mecânicas finais do material quando submetido ao processo de prototipagem rápida, pois o conhecimento das propriedades mecânicas de um material é fundamental para estabelecer quais são os limites de resistência à qual aquele objeto pode ser submetido. Tais impressoras utilizam, em sua maioria, polímeros como material de impressão por extrusão, ou seja, o material fundido é depositado, filamento após filamento, até que o objeto seja construído. Nesse

sentido, o projeto analisa, por intermédio de análises estatísticas dos resultados de ensaios mecânicos de tração, realizados segundo as normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), quais são as propriedades mecânicas do polímero Ácido Polilático (PLA), quando são alterados o diâmetro do filamento de impressão e a composição da estrutura interna do corpo de prova, mantendo-se a densidade constante à noventa por cento.

PALAVRAS-CHAVE: ácido polilático, ensaio de tração, propriedades mecânicas, prototipagem rápida.

STUDY OF THE EFFECTS OF THE VARIABLES OF 3D PRINTING BY EXTRUSION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYLACTIC ACID (PLA) OBTAINED BY TRATION TEST

ABSTRACT: Due to the successive implementation of technologies that surround 3D printers, this tool has stopped being used only as a mean of rapid prototyping, and has becoming an important form of manufacturing. When an object constructed by a 3D printer becomes an element of immediate use in an equipment, it is necessary to know the final mechanical properties of the material when submitted to the process, because the

knowledge of the mechanical properties of a material is fundamental to establish the limits of resistance that an object can be submitted. Most printers use polymers as extrusion-printing material, what means that the molten material is deposited, filament after filament, until the object is constructed. Due to the exposed, the project analyzes the mechanical properties of the Polylactic Acid (PLA) polymer by means of statistical analyzes of the results of mechanical tensile tests carried out according to the standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM), when the diameter of the printing filament and the composition of the internal structure of the specimen are changed, and the density remaining constant at ninety percent.

KEYWORDS: mechanical properties, polylactic acid, rapid prototyping, traction test.

1 | INTRODUÇÃO

Para elaborar um projeto, é primordial a análise das propriedades mecânicas do material a ser utilizado. A seleção do material correto leva em consideração o aspecto econômico e as condições de trabalho ao qual o projeto será submetido, uma vez que são essas condições que impõem quais propriedades mecânicas o material deve possuir, para que a deformação não seja excessiva e não ocorra fratura (CALLISTER JÚNIOR; RETHWISCH, 2012).

De acordo com Donald R. Askeland e Pradeep P. Phulé (2008), as propriedades mecânicas dependem da composição interna da peça e de sua composição química, e são determinadas, segundo Cassu e Felisbert (2005) a partir de uma solicitação constante e monitorada feita no material, como o ensaio mecânico de tração.

O ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga de uniaxial crescente em um corpo de prova normatizado. O ensaio é destrutivo, uma vez que uma de suas funções é determinar qual é a propriedade limite daquele material naquelas condições, ou seja, qual é a máxima solicitação permitida. É realizado em larga escala nas indústrias, por oferecer dados quantitativos das características do material (GARCIA e SPIM, 2012).

A máquina de ensaios mede variação do comprimento do objeto em função da carga aplicada, e após isso, obtém uma curva de tensão *versus* deformação, que fornece dados referentes ao limite de resistência à tração, limite de escoamento, módulo de elasticidade, módulo de resiliência, módulo de tenacidade e coeficiente de encruamento (GARCIA e SPIM, 2012). Um exemplo do diagrama tensão-deformação é ilustrado na figura 01:

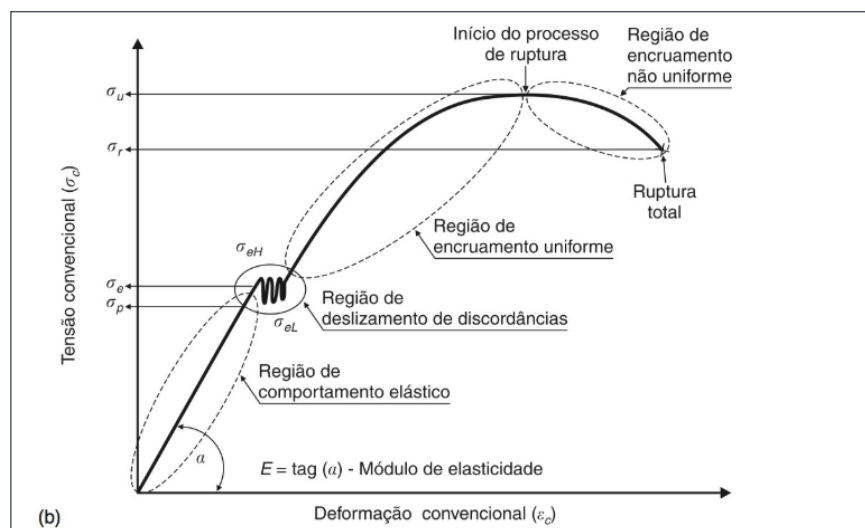


Figura 01: Esboço de curva obtida no ensaio de tração de material dúctil.

Fonte: GARCIA; SPIM, 2012.

Segundo Cassu e Felisbert (2005), o ensaio mecânico de tração apenas pode ser realizado em materiais sólidos, como polímeros.

Os polímeros são materiais que incluem as borrachas e os plásticos. Baseados nos elementos carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, no geral, possuem baixa densidade e condutividade elétrica, são inertes quimicamente, extremamente dúcteis e flexíveis, ou seja, podem ser moldados nas mais complexas formas (CALLISTER, Jr., 2008).

James M. Gere e Barry J. Goodno (2010, p.16) explicitam que, atualmente, mesmo com sua baixa resistência à elevadas temperaturas, muitos polímeros, com diversas propriedades mecânicas distintas, têm sido utilizados em projetos estruturais devido ao seu baixo peso específico e à sua alta resistência à corrosão.

Entre os polímeros mais estudados durante os últimos dez anos, encontra-se o polímero sintético *Polylactic Acid* (PLA), ou Ácido Polilático, por ser biodegradável e possuir propriedades próximas aos polímeros derivados de petróleo. É produzido por meio de síntese química do ácido lático por meio de fermentação bacteriana do amido ou de glicose extraída do milho (WANG et al., 2008).

O PLA, atualmente, é um dos materiais mais comumente utilizados em impressoras 3D por extrusão. Nesse modelo, o material se funde dentro de uma cabeça de impressão e é empurrado através de um pequeno orifício, construindo um pequeno cordão, que é depositado sobre uma plataforma, camada por camada, até que a peça seja completamente construída (TAKAGAKI, 2012). Esse processo é ilustrado na figura 02.

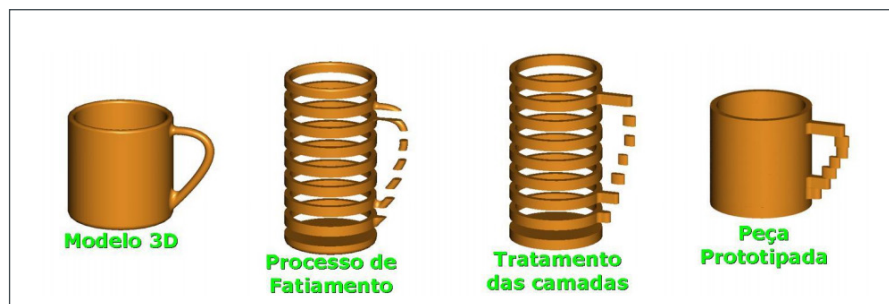


Figura 02: Princípio de manufatura por camada.

Fonte: VOLPATO, 2007.

De acordo com o SINDPLAST (Sindicato da Indústria de material Plástico, 2011), o processo mais comum de transformação do plástico é a extrusão. A impressão 3D permite a construção de objetos personalizados, e por isso, teve seu uso ampliado ao longo dos últimos anos já como fabricação de itens para uso imediato, permitindo a personalização dos produtos de acordo com a preferência do indivíduo; possível complexidade de estruturas internas quando comparadas à peças fundidas ou moldadas; sustentabilidade, devido à redução da quantidade de material desperdiçado durante outros processos de fabricação, à consequente economia de capital, e também à possibilidade de utilizar polímeros biodegradáveis na sua produção (HAUSMAN e HORNE, 2014).

Aliado às vantagens de utilização das impressoras 3D, tem-se o crescente aumento da urbanização, em escala global, ocasionando a multiplicação da geração de resíduos. Tal geração de lixo representa uma fração significativa dos impactos ambientais conhecidos. A evolução do descarte de materiais plásticos não-biodegradáveis no Brasil e no mundo destaca-se dentro dessa situação (CARR, 2007).

Em contrapartida, mercado mundial de polímeros biodegradáveis cresceu de 18.400 toneladas em 2006 para 24.350 toneladas em 2007. A produção estimada para o ano de 2012 foi de 54.000 toneladas (PELICANO et al., 2009). Dentre os polímeros biodegradáveis conhecidos, encontra-se o PLA, que é utilizado principalmente na confecção de embalagens, o que representa 70% de sua aplicação. O restante encontra-se em eletrônicos, aparelhos e utilidades domésticas (PRADELLA, 2006).

2 | OBJETIVO

Analisar comparativamente os resultados obtidos nos ensaios mecânicos de tração em corpos de prova dimensionados de acordo com a ASTM D638-08 e construídos por extrusão em impressora 3D, quando são alteradas as seguintes variáveis físicas: composição da estrutura interna e espessura dos filamentos de impressão; e, dessa maneira, determinar a influência dos parâmetros de impressão sobre as propriedades mecânicas do objeto impresso.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O corpo de prova foi prototipado em PLA na cor branca, sendo desenhado e dimensionado utilizando o *software SolidWorks*® (2014), conforme figura 03, de acordo com a norma ASTM D638-08, que padroniza os testes para propriedades de tração e compressão dos plásticos.

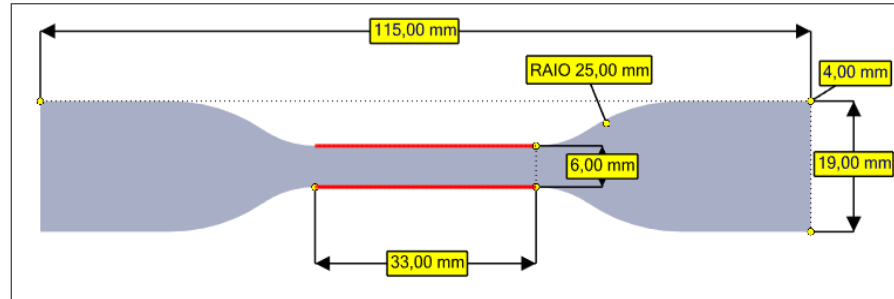


Figura 03: Corpo de prova de acordo com a norma ASTM 638-08.

Fonte: os autores.

As variáveis analisadas são: espessura do filamento de impressão e composição interna. Tais variáveis são determinadas por meio do *software* de impressão 3D *Axon 3.0*®. A interface do *software* onde pode-se determinar os parâmetros de impressão encontra-se na figura 04.

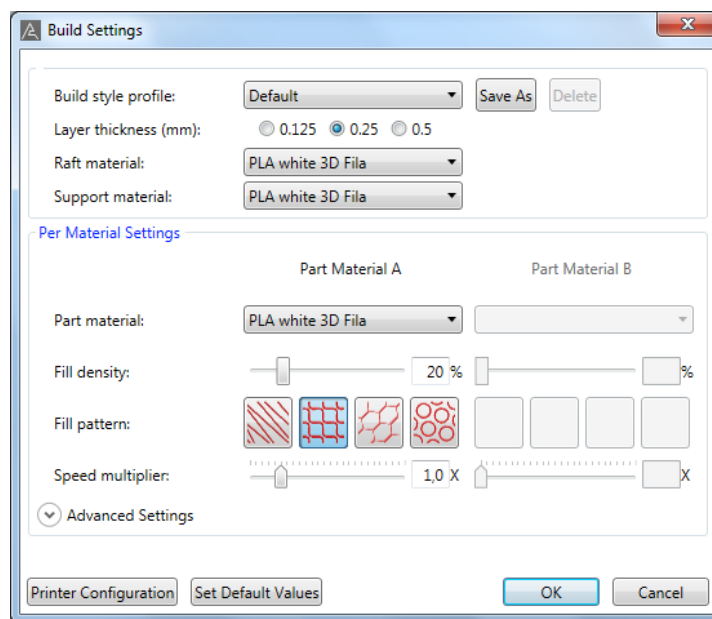


Figura 04: Interface do software Axon 3.0®.

Fonte: os autores.

Durante a construção, foi mantida fixa a densidade à 90%. São três espessuras de filamento possíveis, sendo essas 0,125 mm, 0,250 mm e 0,500 mm; e quatro disposições geométricas da estrutura interna, sendo essas “linear”, “treliça”, “hexagonal” e “cilíndrica”. Portanto, tem-se as seguintes combinações de impressão, expressas no quadro 01 abaixo:

	0,125mm	0,250mm	0,500mm	Linear	Treliça	Hexagonal	Cilíndrica
01	█			█			
02	█				█		
03	█					█	
04	█						█
05		█		█			
06		█			█		
07		█				█	
08		█					█
09			█	█			
10			█		█		
11			█			█	
12			█				█

Quadro 01: Variáveis de construção de corpos de prova por impressão 3D por extrusão.

Foram prototipados dez corpos de prova para cada parâmetro de comparação analisado no projeto, os quais foram descritos no quadro 01, totalizando 120 corpos de prova, em conformidade com norma a ASTM D638-08. O software *Axon 3.0*[®] converte o arquivo do *Solidworks*[®] para o formato BFB, lido pela impressora 3D. Na figura 05, pode-se observar a entrada do desenho dos cinco corpos de prova que foram impressos em conjunto, desenhados de acordo com as medidas expostas na figura 03.

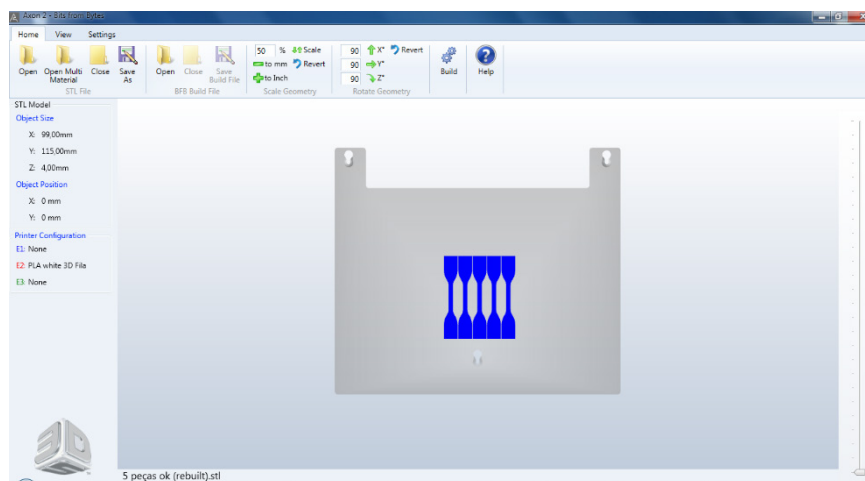


Figura 05: Interface do Software *Axon 3.0*[®] antes da conversão.

Fonte: os autores.

Após a seleção dos parâmetros de impressão no software, conforme exposto na figura 04, tem-se como resultado o arquivo de impressão, conforme figura 06, já com o número de camadas de impressão delimitado pelo processo de fatiamento conforme explicitado na figura 02.

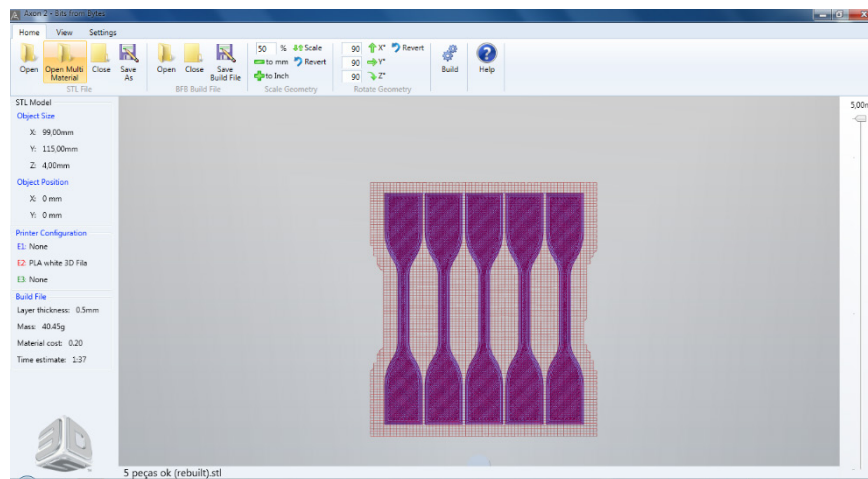


Figura 06: Interface do Software Axon 3.0® após conversão para BFB.

Fonte: os autores.

A construção foi feita em impressora 3D, modelo *BFB Touch – Dual head-smoke*, conforme figura 07.



Figura 07: Impressora 3D modelo *BFB Touch – Dual head-smoke*

Fonte: os autores

Após a construção dos corpos de prova em ambiente sem ventilação e termicamente controlado, foram realizados ensaios de tração utilizando a máquina universal de ensaio EMIC modelo DL10000, conforme ilustrado nas figuras 08 e 09. A figura 10, em sequência, ilustra a amostragem de corpos de prova do tipo 01 (0,125 mm e estrutura interna linear) após a realização do ensaio.

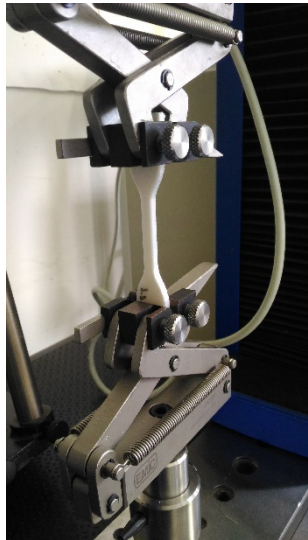


Figura 08: corpo de prova durante realização do ensaio.

Fonte: os autores.



Figura 09: corpo de prova com detalhe no rompimento.

Fonte: os autores.



Figura 10: Corpos de prova do tipo 01 rompidos após ensaio de tração.

Fonte: os autores.

Para cada ensaio realizado, a máquina de tração emite um relatório com os dados obtidos, sendo eles: tensão máxima, tensão de ruptura e deformação de ruptura, conforme figura 11.

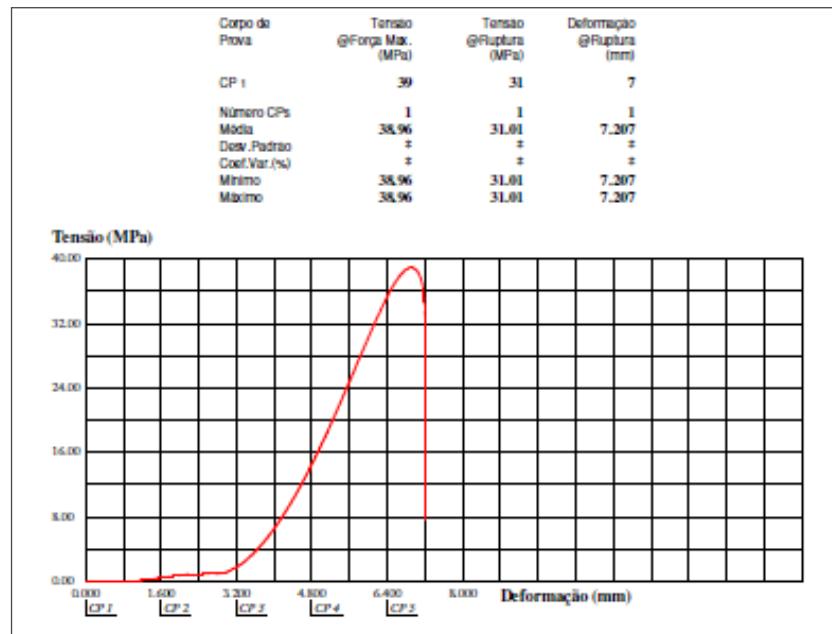


Figura 11: Exemplo de relatório de ensaio de tração.

Fonte: os autores.

Após a realização dos ensaios, os dados foram analisados estatisticamente, no intuito de determinar a correlação entre as propriedades mecânicas do polímero quando alterado os parâmetros de impressão.

4 | RESULTADOS

Após análise estatística dos dados obtidos nos 120 ensaios de tração, obtém-se os seguintes resultados para cada tipo de corpo de prova.

ESPESSURA 0,125 mm	Linear	Treliça	Hexagonal	Cilíndrica
Área (mm ²)	27,0	27,0	27,0	27,0
Força máxima (N)	773,1	756,9	656,8	773,1
Deformação (mm)	5,2	5,8	5,3	5,2
Deformação específica (%)	7,5	8,3	7,6	7,5
Tensão máxima (MPa)	28,5	27,8	24,2	31,1
Módulo de elasticidade (MPa)	746,6	811,0	720,3	753,0

Quadro 02: resultados após análise estatística para o corpo de prova tipo 01, 02, 03 e 04.

ESPESSURA 0,250 mm	Linear	Treliça	Hexagonal	Cilíndrica
Área (mm ²)	27,0	27,0	27,0	27,0
Força máxima (N)	770,9	658,7	707,7	748,9
Deformação (mm)	5,5	5,0	5,1	6,3
Deformação específica (%)	7,8	7,2	7,4	8,9
Tensão máxima (MPa)	28,4	24,3	26,1	27,6
Módulo de elasticidade (MPa)	781,4	675,0	639,1	704,6

Quadro 03: resultados após análise estatística para o corpo de prova tipo 05, 06, 07 e 08.

ESPESSURA 0,500 mm	Linear	Treliça	Hexagonal	Cilíndrica
Área (mm ²)	27,0	27,0	27,0	27,0
Força máxima (N)	628,9	562,7	558,6	600,4
Deformação (mm)	4,7	7,2	6,1	4,6
Deformação específica (%)	6,7	10,3	8,8	6,6
Tensão máxima (MPa)	23,2	20,8	20,6	24,4
Módulo de elasticidade (MPa)	655,5	415,4	456,4	686,9

Quadro 04: resultados após análise estatística para o corpo de prova tipo 09, 10, 11 e 12.

Durante a realização dos ensaios, os corpos de prova não foram rompidos abruptamente. Como corpos de prova são constituídos por filamentos de PLA que foram depositados ordenadamente durante o seu processo de construção, o comportamento assemelha-se ao de fibras submetidas ao ensaio de tração. O rompimento não simultâneo dos filamentos fica evidente em alguns corpos de prova, conforme detalhe ilustrado na figura 12 abaixo.

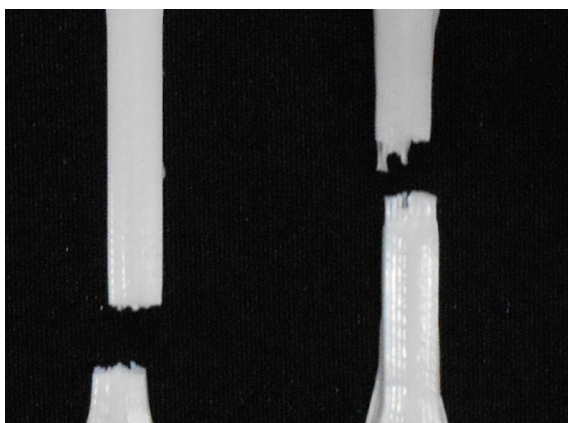


Figura 12: Rompimento não simultâneo dos filamentos.

Fonte: os autores

Conforme a espessura do filamento aumenta, a seção transversal de cada filamento constituinte do corpo de prova também aumenta, sendo necessária uma maior tensão para provocar o rompimento das mesmas e, conseqüentemente, o corpo de prova atinge uma tensão máxima mais elevada quando comparada aos de filamentos de espessura inferior.

Analisando a estrutura interna de preenchimento, observa-se que os corpos de prova das configurações 04, 08 e 12 suportam tensões menores quando comparados com outros tipos de preenchimento interno. Isso deve-se ao fato da existência reduzida de fibras posicionadas na direção de realização do ensaio de tração, fazendo com que seja necessária uma tensão menor para o rompimento.

Quando se mantém a espessura do filamento constante e analisa-se a variação causada pela treliça interna de composição do corpo de prova, a estrutura cilíndrica é a que possui menor massa final de impressão. Para produções em larga escala, a economia de material implica também na redução de custos. Portanto, quando a

aplicação não exige uma resistência à tração elevada, as configurações cilíndricas são mais adequadas devido à contenção de gastos.

5 | CONCLUSÕES

Diante dos resultados determinados, pode-se concluir que a tensão máxima e a resistência à fratura aumentam à medida que a espessura do filamento de impressão aumenta. Em média, os corpos de prova preenchidos de forma cilíndrica suportam tensões menores quando comparados a outros tipos de preenchimento. Esse mesmo tipo também é o que possui massa final de impressão menor quando mantemos a variável “espessura do filamento” constante e avaliamos apenas a estrutura interna, portanto, são mais econômicos para produção em larga escala.

O objetivo do trabalho foi atingido, visto que os resultados obtidos nos ensaios mecânicos de tração em corpos de prova dimensionados de acordo com a ASTM D638-14 e construídos por extrusão em impressora 3D quando alteram-se as variáveis físicas “estrutura do filamento” e “disposição geométrica da estrutura interna”, foram expostos e analisados comparativamente, no intuito de fornecer informações sobre as suas propriedades mecânicas, para que pesquisadores, indústrias e demais interessados possam avaliar o melhor custo benefício para diversas aplicações dos aspectos econômicos e as condições de trabalho ao qual o projeto será submetido para que não ocorra fratura.

REFERÊNCIAS

ASKELAND, Donald R.; PHULÉ, Pradeep P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2014.

CALLISTER, Jr., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CARR, Laura G. **Desenvolvimento de embalagens biodegradável tipo espuma a partir de fécula de mandioca**. 2007. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CASSU, Silvana N.; FELISBERTI, Maria I.; O comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas. **Revista Química Nova**, São Paulo, vol. 28, no. 2, p. 255-263, fev. 2005.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos materiais**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 365p.

GERE, J.M; GOODNO, B.J. **Mecânica dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

Guia ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos. **SINDIPLAST**, 2011. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/Produção-e-Consumo-Sustentavel/11-Documentos>>. Acesso em 16 de set. 2016.

HAUSMAN, Kalani Kirk; HORNE, Richard. **3D Printing For Dummies**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014. 384 p.

PELICANO, M; PACHEKOSKI, W.; AGNELLI, J. A. M. Influência da Adição de Amido de Mandioca na Biodegradação da Blenda Polimérica PHBV/Ecoflex®. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.19, n.3, p. 212-217, 2009.

PRADELLA, José G. C. Biopolímeros e Intermediários Químicos. **Relatório Técnico no 84 396-205**. Centro de Tecnologia de Processos e Produtos - Laboratório de Biotecnologia Industrial. São Paulo, 2006.

TAKAGAKI, Luiz Koiti. Tecnologia de Impressão 3D. **Revista Inovação Tecnológica**, São Paulo, v.2, n.2, p.2840, jul./dez.2012.,

VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo. Edgar Blucher. 2007.

WANG, Ning. *et.al*. Influence of formamide and water on the properties of thermoplastic starch/poly(lactic acid) blends. **Carbohydrate Polymers**, v.71, p.109-118, 2008.

SOBRE O ORGANIZADOR

JOÃO DALLAMUTA Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ácidos Graxos 138, 139, 143, 146, 147
Águas Pluviais 25, 26, 27, 28, 31, 33, 38, 39, 40, 43, 45, 55, 76
Algoritmo de Roteamento 120, 123, 126, 127
Algoritmo de Utilização de Regeneradores 120
Análise de Redes Sociais 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 104
Arquitetura 55, 123, 128, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136
Aspectos Botânicos 170, 171

B

Biocombustível 161, 162, 164, 165
Biodiesel 3, 13, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169
Biomassa 3, 8, 13, 161

C

Calibração 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54
Caraúbas 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44
Cluster Comercial 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103
Concatenação 128, 129, 135
Conservação de Energia Elétrica 15, 16, 20, 23, 24
Controle de Posição 106, 110, 112, 113, 117, 118, 119

D

Degradação de Estruturas 68
Demanda Energética 1, 2, 7, 8, 9, 10, 12
Desenvolvimento Urbano Sustentável 55
Destilado de Desodorização 138
Drenagem Urbana 25, 37, 38, 40, 43, 44

E

Economia de Energia 15, 22
Eficiência Luminosa 15, 16, 17, 18
Energia Alternativa 161
Equilíbrio Sólido-Líquido 138, 140, 141, 144
Equipamento de Litografia Óptica 106, 108, 110, 111, 112, 118
Escoamentos 25, 27, 29, 30, 31, 33, 56, 62

F

Fator de Atrito 46, 49, 50, 52

Filtro Óptico 128, 129, 130, 132

Fotocatálise 80, 81, 82, 89, 149, 150, 151, 160

G

Gestão de Águas Urbanas 36, 38, 44

L

Lixívia Ácida 80, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159

M

Mesa Cartesiana XY 106

Microgravação 106

MIGHA 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Moagem de Alta Energia 80, 81, 82, 83, 86, 89, 91, 149, 150, 151, 154, 159, 160

Modelagem Termodinâmica 138

N

Nanopartículas 81, 92, 149, 150, 160

Nanopós 81, 149, 150, 151, 152, 153

O

Óleos Essenciais 170, 171

P

Patologias 68, 69

Penalidade Física 128, 129

Propriedades Medicinais 170

Q

Qualidade de Transmissão 120, 121, 128, 129

R

Rede Óptica Elástica 120, 127, 128, 136

Rede Óptica Elástica Translúcida 120, 127, 136

Remoção de Contaminantes 25, 33

Requalificação Ambiental 55, 57, 61, 65

Resiliência a Inundações 55, 57, 60, 62, 65

Roraima 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14

S

Saneamento Básico 36, 37, 43, 44

Solubilidade 32, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148

T

Teatros Públicos 68

TiO₂ 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160

Tratamento de Efluentes 25, 26, 33, 82, 151

Troca de Informações 93, 96, 98, 101, 103

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-682-9

