

# Ciência e Engenharia de Materiais

3

Marcia Regina Werner Schneider Abdala  
(Organizadora)



 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**MARCIA REGINA WERNER SCHNEIDER ABDALA**

(Organizadora)

# **Ciência e Engenharia de Materiais**

## **3**

Atena Editora

2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

C569 Ciência e engenharia de materiais 3 [recurso eletrônico] / Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Ciência e Engenharia de Materiais; v. 3)

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-85-85107-65-9  
DOI 10.22533/at.ed.659183010

1. Engenharia. 2. Materiais I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série.

CDD 620.11

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Você já percebeu a importância dos materiais na sua vida diária? Os materiais estão provavelmente mais imersos na nossa cultura do que a maioria de nós imagina. Diferentes segmentos como habitação, saúde, transportes, segurança, informação/comunicação, vestuário, entre outros, são influenciados em maior ou menor grau pelos materiais.

De fato a utilização dos materiais sempre foi tão importante que os períodos antigos eram denominados de acordo com os materiais utilizados pela sociedade primitiva, como a Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro, etc.

A humanidade está em constante evolução, e os materiais não são exceções. Com o avanço da ciência e da tecnologia a cada dia surgem novos materiais com características específicas que permitem aplicações pormenorizadas e inovação nas mais diferentes áreas.

Todos os dias centenas de pesquisadores estão atentos ao desenvolvimento de novos materiais e ao aprimoramento dos existentes de forma a integrá-los em tecnologias de manufatura economicamente eficientes e ecologicamente seguras.

Estamos entrando em uma nova era caracterizada por novos materiais que podem tornar o futuro mais fácil, seguro e sustentável. O campo da Ciência e Engenharia de Materiais aplicada está seguindo por novos caminhos. A iminente escassez de recursos está exigindo inovações e ideias criativas.

Nesse sentido, este livro evidencia a importância da Ciência e Engenharia de Materiais, apresentando uma coletânea de trabalhos, composta por quatro volumes, que permitem conhecer mais profundamente os diferentes materiais, mediante um exame das relações entre a sua estrutura, as suas propriedades e o seu processamento.

Considerando que a utilização de materiais e os projetos de engenharia mudam continuamente e que o ritmo desta mudança se acelera, não há como prever os avanços de longo prazo nesta área. A busca por novos materiais prossegue continuamente...

Boa leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE AGREGADOS DE ESCÓRIA DE ACIARIA LD PÓS-PROCESSADA PARA CONCRETOS SUSTENTÁVEIS	
<i>Bárbara Ponciano de Souza</i>	
<i>Wanna Carvalho Fontes</i>	
<i>José Maria Fontes de Carvalho</i>	
<i>Rosana Marcia de Resende Mol</i>	
<i>Ellen Cristine Pinto da Costa</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
ANÁLISE MICROESTRUTURAL E FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUO DE SEIXO PARA UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO MIÚDO	
<i>Marco Antonio Barbosa de Oliveira</i>	
<i>Kleber Roberto Matos da Silva</i>	
<i>Vitória Santos Barroso</i>	
<i>José de Ribamar Mouta Araújo</i>	
<i>Marcelo de Souza Picanço</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLOGIA DA FRATURA DE CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS DO PROCESSO DE RECAPAGEM	
<i>Fábio Santos de Sousa</i>	
<i>Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho</i>	
<i>César Tadeu Nasser Medeiros Branco</i>	
<i>Laércio Gouvêa Gomes</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>33</b>
PLANEJAMENTO FATORIAL PARA ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS CIMENTÍCIOS	
<i>Jonath Oliveira do Nascimento</i>	
<i>Bruno Diego de Moraes</i>	
<i>Marcos Mattheus Lopes da Silva</i>	
<i>Felipe Lira Formíga Andrade</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>44</b>
ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO UV EM COMPOSTOS DE POLIETILENO COM ADITIVOS OXI-BIODEGRADANTES	
<i>Caroline Henrique de Souza Borba</i>	
<i>Zora Ionara Gama dos Santos</i>	
<i>Raul Franklin Andrade Santos</i>	
<i>Grazielle Rozendo de Cerqueira</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>54</b>
USO DO PÓ DA PALHA DE CARNAÚBA COMO IMPERMEABILIZANTE EM TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	
<i>Ana Raira Gonçalves da Silva</i>	
<i>Marília Pereira de Oliveira</i>	
<i>Marineide Jussara Diniz</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>61</b>
EVALUATION OF THE COLOR CHANGES IN ARTIFICIALLY AGED PINE	
<i>Tiago Hendrigo de Almeida</i>	
<i>Diego Henrique de Almeida</i>	
<i>André Luis Christóforo</i>	
<i>Francisco Antonio Rocco Lahr</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 66**

COLORIMETRIC PARAMETERS OF BRAZILIAN TROPICAL WOOD SPECIES

*Diego Henrique de Almeida*  
*Tiago Hendrigo de Almeida*  
*Francisco Antonio Rocco Lahr*  
*André Luis Christoforo*

**CAPÍTULO 9 ..... 70**

ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DO RESÍDUO DE FIBRA DE PIAÇAVA MODIFICADO COM ÁGUA MORNA

*JanettyJany Pereira Barros*  
*Danusa de Araújo Moura*  
*Camila Gomes Moreno*  
*Fabiana de Carvalho Fim*  
*Eduardo Braga Costa Santos*  
*Lucineide Balbino da Silva*

**CAPÍTULO 10 ..... 82**

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BREU E TEREBINTINA A PARTIR DA GOMA RESINA DE *PINUS SP.* E IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS ADVINDAS DA SUA UTILIZAÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

*Juliana Esteves Fernandes Cieslinski*

**CAPÍTULO 11 ..... 93**

ESTUDO DA INTEGRIDADE E DURABILIDADE DE MATERIAIS ESTABILIZADOS POR SOLIDIFICAÇÃO CONTENDO LODO DE CURTUME

*Maria Rosiane de Almeida Andrade*  
*Marília Claudino Moreira Cunha*  
*André Luiz Fiquene de Brito*  
*Ana Cristina Silva Muniz*  
*Bianca Viana de Sousa Barbosa*  
*Carlos Eduardo Pereira*

**CAPÍTULO 12 ..... 104**

TESTE DE ATIVIDADE E EFICÁCIA DE AGENTES BIOCIDAS EM TINTA ACRÍLICA

*Túlio Valério Agostinho da Silva*  
*Sara Horácio de Oliveira*  
*Magda Rosângela Santos Vieira*  
*Ildnay de Souza Lima Brandão*

**CAPÍTULO 13 ..... 112**

ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FIBRA CALOTROPIS PROCERA E SUA POTENCIAL APLICAÇÃO NA REMOÇÃO DE HIDROCARBONETOS E DERIVADOS

*Anaxmandro Pereira da Silva*  
*Erick Buonora Tabosa do Egíto*  
*Késia Karina de Oliveira Souto Silva*  
*Rasiah Ladchumananandasivam*  
*José Heriberto Oliveira do Nascimento*  
*Ana Rita Leandro dos Santos*

**CAPÍTULO 14 ..... 118**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL POZOLÂNICO DA MICROSSÍLICA COM ALTO TEOR DE CARBONO: ANÁLISE QUÍMICA, MINERALÓGICA E MECÂNICA

*Ruan Landolfo da Silva Ferreira*  
*Marcos Alyssandro Soares dos Anjos*  
*Andreza Kelly Costa Nóbrega*

**CAPÍTULO 15..... 129**

INFLUÊNCIA DA IMPREGNAÇÃO CONTRA DEMANDA BIOLÓGICA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MADEIRAS DE CEDROARANA (*CEDRELINGA CATENAEFORMIS*)

*Andréa de Souza Almeida*

*Tiago Hendrigo de Almeida*

*Francisco Antonio Rocco Lahr*

*André Luis Christoforo*

**CAPÍTULO 16..... 139**

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM EFLUENTES REFRAATÓRIOS POR PROCESSO FENTON PARA DEGRADAÇÃO E MINERALIZAÇÃO DESSES COMPOSTOS EM REATOR DE ESCALA LABORATORIAL MODELO PARR

*Camila Freire Berenguer*

*Yana Batista Brandão*

*Mohand Benachour*

**CAPÍTULO 17 ..... 156**

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÓLEOS DE TRANSFORMADORES POR ESPECTROSCOPIA FTIR/ATR E ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

*Isabela Nogueira*

*Maísa Maciel Machado Santos*

*Thiago Arantes Nogueira*

*Estácio Tavares Wanderley Neto*

*Credson de Salles*

*Tessa Martins de Carvalho Carneiro*

*Álvaro Antônio Alencar de Queiroz*

**SOBRE A ORGANIZADORA ..... 171**

## ABSORÇÃO DE ÁGUA E CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS DO RESÍDUO DE FIBRA DE PIAÇAVA MODIFICADO COM ÁGUA MORNA

### **JanettyJany Pereira Barros**

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Materiais  
João Pessoa – Paraíba

### **Danusa de Araújo Moura**

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Materiais  
João Pessoa – Paraíba

### **Camila Gomes Moreno**

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Materiais  
João Pessoa – Paraíba

### **Fabiana de Carvalho Fim**

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia de Materiais  
João Pessoa – Paraíba

### **Eduardo Braga Costa Santos**

Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais  
João Pessoa – Paraíba

### **Lucineide Balbino da Silva**

Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais  
João Pessoa – Paraíba

importantes a serem investigados devido as suas características hidrofílicas. A caracterização morfológica e a análise porosimétrica são avaliadas para verificar o potencial do resíduo da fibra de piaçava modificada como reforço para matrizes poliméricas. Inicialmente, o resíduo da fibra foi lavado com solução de detergente, em seguida foi moído e peneirado até obter tamanho de partículas inferior a 270 mesh. Após essa etapa, o resíduo da fibra foi tratado com água destilada aquecida a 50 °C, variando-se o tempo de tratamento em 2, 12 e 24 h. O resíduo tratado termicamente a 24h apresentou menor massa e maior absorção de água, sendo um indicativo da maior remoção de sujeiras e graxas superficiais. Portanto, a superfície do resíduo da fibra se tornou mais limpa e sem a presença das ceras a impermeabilização foi insuficiente. Conseqüentemente, a fibra passou a absorver maior teor de umidade. No entanto, o tratamento térmico foi benéfico por modificar a morfologia do resíduo, aumentando a rugosidade e o volume de poros, sugerindo uma estrutura mais porosa do que a da amostra apenas lavada com sabão. Portanto, as características superficiais do resíduo de fibra tratado a 50 °C são de interesse para a sua utilização como reforço em matrizes poliméricas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo da fibra de piaçava, Absorção de água, Morfologia, Análise

**RESUMO:** Neste trabalho, o resíduo de fibra de piaçava foi tratado termicamente com água morna a 50 °C. A absorção de água e o teor de umidade de fibras vegetais são parâmetros



**ABSTRACT:** In this work, piassava fiber residue was thermally treated with warm water at 50°C. The water absorption and moisture content of vegetable fibers are important parameters to investigate due to their hydrophilic characteristics. Morphological characterization and porosimetric analysis are evaluated to verify the potential of modified piassava fiber as reinforcement for polymer matrices. Firstly, fiber residue was washed with detergent water, then it was milled and sieved to a particle size of less than 270 mesh. After this step, piassava fiber residue was thermally treated with distilled water warmed to 50°C with the treatment time varied to 2, 12 and 24h. The thermally-treated residue showed both lower mass and higher water absorption during 24h, being an indication for higher dirt and superficial wax removal. The fiber residue surface became cleaner, therefore the impermeabilization was insufficient without the presence of wax. The fiber residue surface consequently absorbed higher moisture content. On the other hand, the thermal treatment was beneficial as it modified the residue's morphology, increased its roughness and pore volume, resulting in a more porous structure than the sample which was only washed with detergent. Therefore, the superficial characteristics of fiber residue treated at 50°C are of interest for its application as a reinforcement for polymer matrices.

**KEYWORDS:** Piassava fiber residue, Water absorption, Morphology, Porosimetric analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, busca-se cada vez mais o desenvolvimento de eco-materiais menos prejudiciais ao meio ambiente e um nicho que tem ganhado força é o da indústria automotiva, em que a disponibilidade e a leveza desses materiais satisfazem ao apelo ecológico como também funcional. Nesse cenário, as fibras vegetais, com as suas características peculiares, como a baixa massa específica, maciez, abrasividade reduzida, disponibilidade, não toxicidade, biodegradabilidade e baixo consumo de energia na produção, têm substituído as fibras sintéticas em compósitos poliméricos. As fibras vegetais são constituídas por fibrilas de celulose mantidas coesas por uma matriz de lignina e hemicelulose, com a função de agir como barreira natural à degradação microbiana. A celulose é responsável pelas características estruturais e cristalinidade das fibras. As superfícies das fibras vegetais são tratadas por diversos meios com o objetivo de melhorar a interação interfacial das fibras com as matrizes poliméricas (LI, TABIL e PANIGHAHI, 2007; QIN et al., 2008; KUMAR et al., 2009).

A fibra de piaçava da espécie *Attalea funifera Martius* é cultivada nas regiões norte e nordeste do Brasil, com produção centrada para a confecção de vassouras e que anualmente demanda considerável quantidade de resíduos da fibra, os quais são descartados sem fins lucrativos. O uso de subprodutos de fibras vegetais advindos da

indústria como carga em matrizes poliméricas tem sido uma alternativa para mitigar problemas ambientais da geração dos resíduos (MULINARI et al., 2010; MARZOUK et al., 2017). O estudo da fibra de piaçava como carga natural em compósito polimérico tem sido de interesse crescente (BONELLI, ELZUBAIR e SUAREZ, 2005; NUNES et al., 2017). No entanto, o estudo do resíduo da fibra ainda tem sido pouco investigado (MIRANDA et al., 2015). A grande motivação para estudar o resíduo da fibra de piaçava realizando modificação superficial se fortalece no conhecimento de que a morfologia da fibra vegetal é importante no comportamento reológico dos compósitos poliméricos (YAN-HONG et al., 2013; SANTOS et al., 2018) e que a busca por tratamentos superficiais da fibra menos nocivos ao meio ambiente é de interesse para a produção de eco-materiais amigáveis. Além disso, vale elucidar que os biopolímeros são fortes candidatos a servirem de matriz nos compósitos poliméricos utilizando fibras vegetais (SINGH et al., 2008; MELO et al., 2012). Assim, a produção desses compósitos verdes vem colaborar com a diminuição do custo de produção dos biopolímeros e ainda melhorar suas propriedades, ampliando a sua aplicação em escala industrial (TORRES-TELLO et al., 2017).

O tratamento superficial da fibra de piaçava com água morna a 50 °C é econômico, simples e não poluente. A fibra de piaçava tem sido estudada, quando “in natura” foi avaliada por D’Almeida, Aquino e Monteiro (2006), quando modificada superficialmente com compostos químicos foi avaliada por outros autores (MIRANDA et al., 2015; SANTOS et al., 2018). Por fim, compósitos de polipropileno reciclado com fibra de piaçava “in natura” foram estudados por Nunes e colaboradores (2016). Sabe-se da literatura (JAHN et al., 2002; LI, TABIL e PANIGHAHI, 2007; MAYA e RAJESH, 2008), que mudanças nas características topográficas das fibras vegetais têm resultado em aumento da sua área superficial efetiva. Estes fatores melhoram a interação interfacial da fibra com as matrizes poliméricas. Sendo assim, se faz necessário para a fabricação de compósitos poliméricos conhecer previamente as características superficiais do reforço.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é avaliar o resíduo da fibra lavado com solução de detergente e superficialmente modificado com água a 50 °C. A absorção de água e o teor de umidade são determinados como também os aspectos morfológicos são avaliados por microscopia óptica (OM) e análise porosimétrica.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Materiais

O resíduo da fibra de piaçava da espécie *Attalea funifera martius* foi gentilmente doado pela empresa Bruxaxá-Pernambuco-Brasil, na forma de aparas advindas da produção de vassouras. Nesse trabalho o resíduo da fibra é avaliado após lavagem com detergente e água destilada e também após lavagem seguido de tratamento com

água morna a 50 °C.

## 2.2. Tratamento superficial do resíduo da fibra de piaçava

O resíduo da fibra, conforme recebido da empresa, foi inicialmente cortado em tamanho variando de 1 a 5 cm de comprimento, pesado e armazenado em lotes de  $10 \pm 2\%$  g para posteriormente ser lavado utilizando solução de detergente neutro, na concentração de 2% de vol durante  $(24 \pm 1)$  h, sob agitação magnética.

Em seguida, o resíduo da fibra lavado foi filtrado em papel filtro e enxaguado com água destilada. Posteriormente, a amostra foi seca a 70 °C durante  $120 \pm 3$  min e moída primeiramente em moinho de facas e depois em moinho de bolas por 2 h. Após moagem, a amostra foi peneirada a uma taxa de 5 Hz durante 15 min, utilizando um conjunto de peneiras com malhas na ordem: 50, 60, 80, 100, 200 e 270 mesh, para a obtenção de tamanhos de partículas de fibra inferiores a 270 mesh e passou a ser denominada de amostra RFL e seu peso inicial foi anotado ( $W_i$ ). Em seguida, a amostra foi submetida ao tratamento com água morna a 50 °C, durante 2, 12 e 24 h, portanto essa amostra é o resíduo de fibra tratado (RFT50). Por fim, a amostra RFT50 foi seca ao ar livre durante 7 dias e novamente pesada ( $W_f$ ). As amostras foram armazenadas hermeticamente em dessecador para posteriores caracterizações.

## 2.3. Absorção de água e de umidade

A massa inicial da amostra RFL ( $W_i$ ) foi tomada como referência para a determinação da absorção de água da amostra RFT50, de acordo com a Eq. 1:

$$\text{Absorção de água}(\%) = \left( \frac{W_f - W_i}{W_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que  $W_i$  [g] é a massa inicial da amostra RFL;  $W_f$  [g] é a massa da amostra RFT50 após o tratamento.

O teste de absorção de umidade foi realizado com base na norma ASTM D1348-94, utilizando o teste B. O cálculo da taxa de umidade foi feito seguindo a Eq. 2:

$$\text{Taxa de umidade}(\%) = \left[ \frac{(M - D)}{(M - T)} \right] \times 100 \quad (2)$$

Em que M é a massa original da amostra considerando a massa do recipiente; D é a massa seca final da amostra considerando o recipiente; T é a massa do recipiente sem amostra.

## 2.4. Microscopia Óptica (MO)

A microscopia óptica das amostras foi realizada em um microscópio óptico marca Zeiss, modelo AxioTech 30, com captura de imagem feita por uma câmera acoplada, modelo Color View e software de captura de imagem AnalySIS. Inicialmente, as

amostras foram prensadas na forma de pastilha circular com massa aproximada de  $1\pm 0,05$  grama e imediatamente analisadas. As imagens foram registradas em escala de 5x, 10x, 20x e 50x.

## 2.5. Análise Porosimétrica por Adsorção de $N_2$

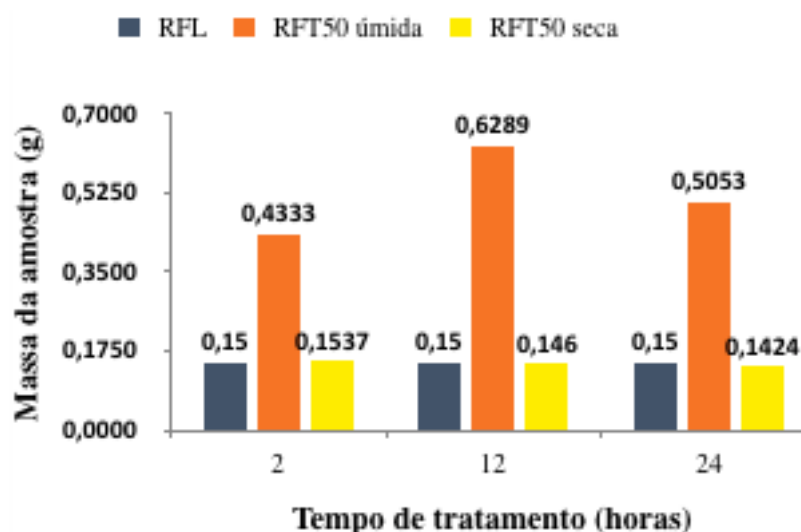
A análise porosimétrica das amostras foi realizada em um equipamento BELSORPII / BEL. Inicialmente as amostras foram tratadas por 3 horas a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  em um BelprepII/BEL com fluxo de  $N_2(g)$ . No equipamento a sorção foi realizada com  $N_2(g)$  e com padrão de He, em um dewar contendo  $N_2$  (líquido).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Absorção de Água e de Umidade do Resíduo da Fibra

A medida da absorção de água do resíduo tratado termicamente com água morna a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  (amostra RFT50) foi determinada utilizando a Equação 1. O ensaio ocorreu em três tempos diferentes, 2, 12 e 24h, os quais foram utilizados para avaliar o tempo ideal para a remoção de graxas presentes na superfície da fibra. A Figura 1 mostra a variação de massa das amostras com o tempo. A barra azul representa a amostra RFL, logo após o tratamento a amostra RFT50 úmida é representada pela barra laranja e finalmente a barra amarela representa amostra RFT50 logo após a secagem durante 7 dias ao ar livre, passando a ser denominada de amostra RFT50 seca.

A pesagem das amostras foi realizada com o objetivo de verificar quanto de água o resíduo da fibra absorveu com o tempo de tratamento, conforme os dados mostrados na Tabela 1. Pode se observar que os percentuais de absorção de água da amostra RFT50 úmida, nos três tempos de análises, foram consideravelmente altos. Isto significa que ocorreu inchamento da macroestrutura da fibra enquanto a mesma estava úmida, principalmente com o aumento do tempo de tratamento.



**Figura 1**-Adsorção de água das amostras de piaçava somente lavadas (azul), tratada termicamente em água destilada a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  (laranja) e após a secagem por 7 dias (amarelo).

No entanto, as amostras RFT50 úmidas, após a secagem, apresentaram redução das suas massas em 2,66 e 5,06 %, respectivamente (Tabela 1). Sendo assim, pode-se sugerir que essa redução da massa se deve à remoção dos constituintes superficiais da fibra não fibrosos, principalmente quando o tempo de tratamento foi de 24h, no qual foi observado o maior decréscimo de massa. A partir da literatura (MISHRA et al., 2002), sabe-se que graxas e substâncias solúveis em água presentes na superfície de fibra vegetal dificultam a sua interação com as matrizes poliméricas.

Tempo de Tratamento (h)	Absorção de água (%) (RFT50 úmida)	Perda de Massa (%) (RFT50 seca)
2	188,86	Não houve
12	319,26	2,66
24	236,86	5,06

Tabela 1 – Absorção de água pelo resíduo da fibra após o tratamento com água morna a 50 °C durante 2, 12 e 24 h de tratamento e perda de massa após a secagem.

Neste artigo, o teor de umidade, a caracterização morfológica e análise porosimétrica foram avaliados para as amostras RFL e RFT50. Vale salientar que apenas a amostra tratada a 50 °C durante 24h foi investigada, uma vez que foi a que apresentou a maior perda de massa. Os dados obtidos para o teor de umidade das amostras RFL e RFT50 são apresentados na Figura 2. O resíduo da fibra apenas lavado e seco apresentou valor mais baixo do teor de umidade do que o resíduo da fibra tratado com água a 50 °C. Pode-se sugerir que este resultado está associado a remoção de graxas, ceras presentes na superfície da amostra RFT50, uma vez que o tratamento a 24h foi o que levou o resíduo a perder mais massa. Portanto, para a amostra RFT50 sua absorção de umidade foi facilitada, devido à ausência das ceras que são responsáveis pela impermeabilização superficial da fibra. Infelizmente, o tratamento com água morna no resíduo da fibra de piaçava levou a um valor de absorção de umidade superior ao esperado para fibras vegetais, que varia em torno de 5 a 10% (SAHEB e JOG, 1999).

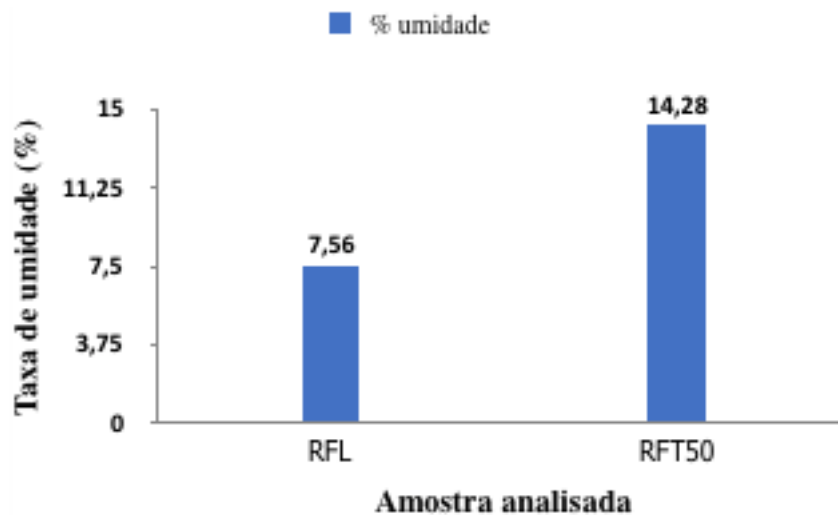
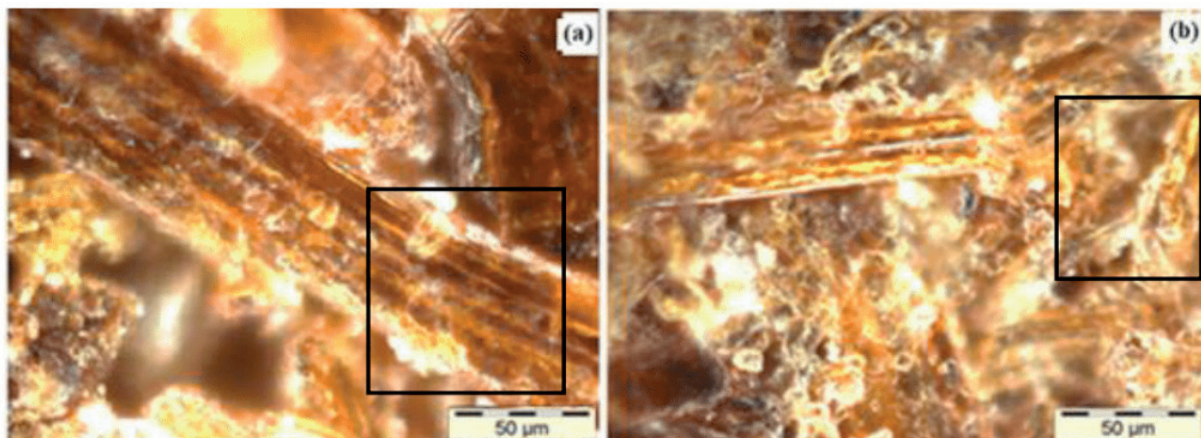


Figura 2- Teores de umidade para a fibra lavada e tratada termicamente a 50 °C.

### 3.2. Microscopia Óptica (MO) do Resíduo da Fibra

As micrografias da superfície das amostras RFL e RFT50 estão apresentadas na Figura 3. Pode-se constatar na imagem da Figura 3a que a lavagem do resíduo da fibra com a solução de detergente removeu sujeiras da sua superfície. Pode-se ainda observar a presença de sulcos característicos da superfície da fibra de piaçava, os quais estão entre os feixes de fibrilas interligadas (detalhe na imagem), ou seja, a estrutura da macrofibra da piaçava se manteve intacta, sem denotar indício de separação de feixes de microfibras. Na Figura 3b, observa-se que o tratamento com água a 50 °C causou modificação superficial da amostra RFT50. A desfibrilação de uma fibra vegetal ocorre devido a um processo de separação de feixes da macrofibra, resultando em outros feixes de microfibrilas com diâmetros menores, aumentando a área superficial da fibra (MISHRA et al., 2002; MULINARI et al., 2010). Em estudo prévio do nosso grupo de pesquisa (SANTOS et al., 2018), as análises da morfologia por microscopia eletrônica de varredura (MEV), da área superficial e do tamanho de partículas da amostra RFT50 também foram avaliadas, sendo observado que ocorreu desfibrilação da amostra RFT50, com tempo de tratamento de 24h. Portanto, a partir da análise por microscopia óptica da amostra RFT50 na Figura 3b também pode-se sugerir que há indicação de que ocorreu desfibrilação em algumas fibras (detalhe na imagem). Mulinari et al. (2010) realizaram tratamento térmico a 100 °C em resíduo de fibra têxtil e observaram fibrilas achatadas.



**Figura 3** – MO do resíduo da fibra de piaçava: a) Amostra RFL; b) Amostra RFT50.

### 3.3. Análise Porosimétrica por Adsorção de N<sub>2</sub>

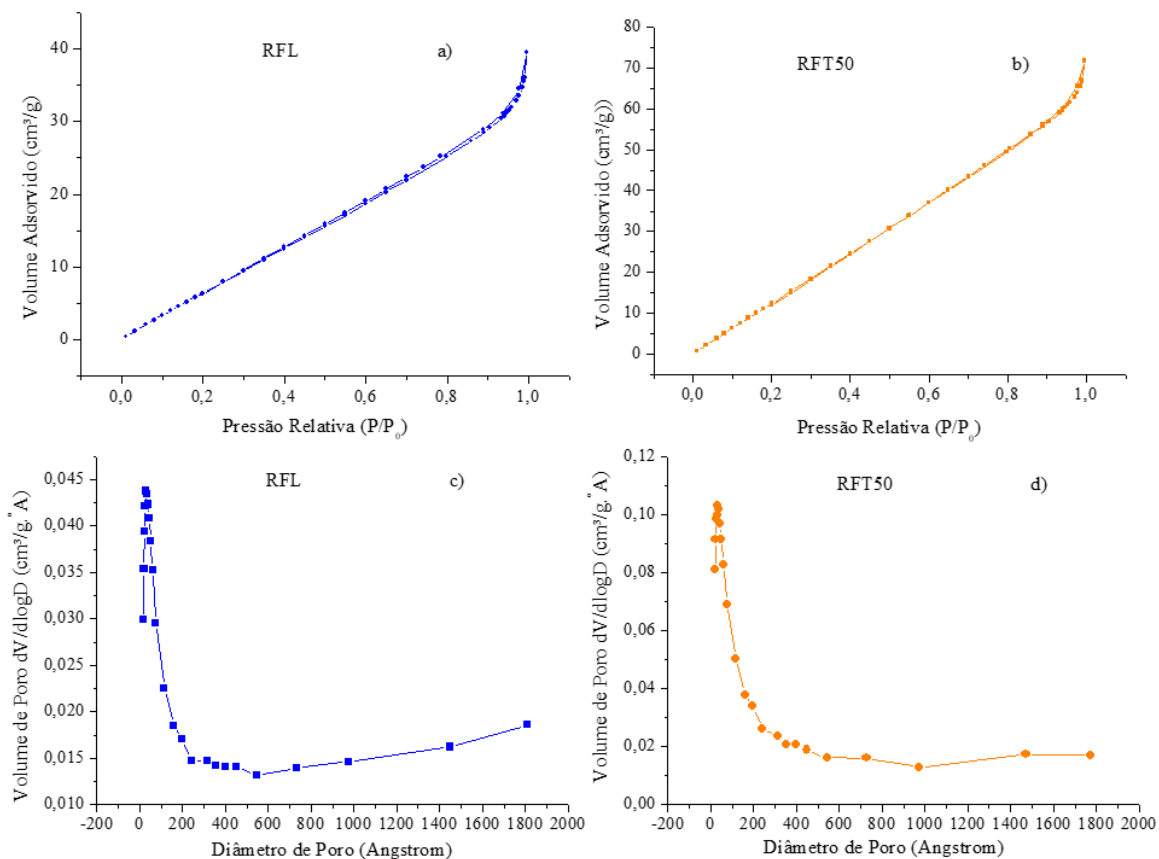
A área superficial pelo método BET e o diâmetro médio de poros pelo método BJH para as amostras RFL e RFT50 foram investigadas por Santos et al. (2018) e seus resultados indicaram que a amostra RFT50 apresentou o dobro do valor da área superficial, um decréscimo no diâmetro médio e um decréscimo no parâmetro C em comparação com a amostra RFL. No atual artigo iremos aprofundar mais a discussão a respeito do parâmetro C e da distribuição de tamanho de poros, bem como as curvas de adsorção e dessorção das amostras RFL e RFT50.

O parâmetro C, obtido pela análise porosimétrica pelo método BET, está relacionado com as diferenças de entalpia da primeira camada de nitrogênio adsorvido, assim como da camada seguinte, e está fortemente relacionado à energia de superfície das cargas (KÁDÁR et al., 2006). O valor do parâmetro C é similar nas amostras RFL e RFT50 que de acordo com Santos et al. (2018) foi igual a 3,16 e 2,88, respectivamente. Os valores baixos indicam interações bastante fracas entre o nitrogênio que está adsorvido e as partículas presentes na superfície das fibras. Como a amostra RFT50 mostrou menor valor do parâmetro C do que a amostra RFL, pode-se sugerir que o tratamento com água morna diminuiu a quantidade de grupos OH<sup>-</sup> disponíveis na superfície da amostra RFT50 e a sua energia de superfície. Mas como os valores do parâmetro C de ambas as amostras foram bastante similares, pode-se supor que esse fator não influenciará muito a adesão dessas amostras com uma matriz polimérica. Como as amostras são rugosas (Figura 3), se torna mais provável que a adesão interfacial entre a fibra e uma matriz polimérica apolar ocorra pelo ancoramento mecânico. A temperatura de tratamento é uma condição bastante importante quando se fala em energia superficial de fibras vegetais. Em outro estudo realizado pelo nosso grupo de pesquisa (SANTOS et al., 2018) foi verificado que o aumento da temperatura de tratamento (água a 75 °C) ocasionou diminuição no valor do parâmetro C (2,04), de modo que sua energia de superfície foi ainda mais reduzida do que a da amostra tratada na temperatura de 50 °C.

A Figura 4 apresenta as isotermas de adsorção e dessorção de  $N_2$  para as amostras RFL e RFT50, bem como a distribuição de poros das suas superfícies. Pode-se observar em ambas as amostras um leve *loop* de histerese característico de isoterma do tipo IV, que de acordo com a classificação da IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) é atribuído a materiais mesoporosos. Além disso, na Figura 4a se observa que a amostra RFL apresentou histerese mais pronunciada do que a RFT50 (Figura 4b), podendo significar segundo Sing et al. (1985) uma maior dispersão de tamanhos de poros, caracterizado por poros em forma de fenda. Esses resultados corroboram com as imagens de MEV propostas por Santos et al. (2018) que mostraram a presença nítida de poros com forma de fenda em ambas as amostras. Além disso, o aumento do volume de adsorção com o aumento da pressão relativa observado nas isotermas de ambas as amostras pode ser um indicativo de que as mesmas apresentam bom carácter poroso e com propriedades de adsorção satisfatórias (PIRES et al., 2012).

As Figuras 4c e 4d mostram o volume médio de poros em função do diâmetro de poro para as amostras RFL e RFT50, respectivamente. A partir desses gráficos, é possível verificar que a amostra RFL dá um indicativo de poros bimodais, sendo que a maioria deles está centrada em 3,5 nm. Já a amostra RFT50 apresenta poros monomodais com a maioria centrada em 3,7 nm. O tamanho dos poros das duas amostras é bastante similar sendo que a diferença está no volume adsorvido, ou seja, na quantidade de poros. Enquanto que o resíduo apenas lavado mostra um volume em torno de 0,04 cm<sup>3</sup>/g, o resíduo tratado a 50 °C apresenta um volume em torno de 0,10 cm<sup>3</sup>/g. Esse resultado indica que o tratamento a 50 °C aumentou o volume dos poros, o que sugere a formação de uma estrutura mais porosa. Com base no formato da curva de histerese e no volume adsorvido da amostra RFT50 pode-se sugerir que a desfibrilação não ocorreu por completo, porém de alguma forma os feixes de fibrilas estão menos presos na macrofibra de piaçava em concordância com os estudos de Santos et al. (2018).





**Figura 4** –Isotermas de adsorção e dessorção: a) RFL; b) RFT50. Distribuição de poros: c) RFL; d) RFT50.

## 4 | CONCLUSÕES

O tempo de tratamento do resíduo da fibra de piaçava tratado com água a 50 °C influenciou a sua absorção de água. O tratamento durante 24h resultou em maior decréscimo da massa da amostra seca que sugeriu a maior remoção de sujeiras e graxas superficiais do resíduo. O teor de umidade foi maior para o resíduo tratado termicamente, possivelmente a remoção das graxas superficiais o tornou mais permeável. Esse tratamento modificou o aspecto morfológico do resíduo da fibra de piaçava, resultando em maior volume de poros em sua superfície, tornando-o mais poroso.

No geral, pode-se concluir que o resíduo de fibra de piaçava é uma carga potencial para a produção de compósitos poliméricos, os quais representam um meio de valorização desse resíduo e conseqüentemente colaborar na amenização do problema ambiental da geração desses resíduos na região produtora das fibras de piaçava do estado da Bahia, com destino à confecção de vassouras.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Aos órgãos de fomento Capes e CNPq pelas bolsas de estudo. Agradecer a Fundação de Amparo do Estado de Pernambuco (FACEPE) a ajuda financeira, projeto APQ-1481-3.03/15. Agradecer ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) pela caracterização porosimétrica e aos Laboratórios de Solidificação Rápida (LSR-UFPB) pela caracterização morfológica.

## REFERÊNCIAS

- BONELLI, C. M. C., ELZUBAIR, A., SUAREZ, J. C. M. “**Thermal, Mechanical and Morphological Behavior of Recycled High-Density Polyethylene Reinforced with Piassava Fiber**”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 15, n. 4, pp. 256-260, 2005.
- D’ALMEIDA, J.R.M., AQUINO, R.C.M.P., MONTEIRO, S.N. “**Tensile mechanical properties, morphological aspects and chemical characterization of piassava (*Attaleafunifera*) fibers**”, *Composites: Part A*; v.37; pp.1473-1479, 2006.
- JAHN, A., SCHRODER, M.W., FUTING, M., SCHENZEL, K., DIEPENBROCK, W. “**Characterization of alkali treated flax fibres by means of FT Raman spectroscopy and environmental scanning electron Microscopy**”, *Spectrochim Acta A: Mol. Biomol. Spectrosc.*, v. 58, p.2271, 2002.
- KÁDÁR, F., SZÁZDI, L., FEKETE, E., PUKÁNSZKY, B. “**Surface Characteristics of Layered Silicates: Influence on the Properties of Clay/Polymer Nanocomposites**”, *Langmuir*, v. 22, n.8, pp. 7848-7854, 2006.
- KUMAR, R., MAGO, G., BALAN, V. E WYMAN, C.E. “**Physical and chemical characterizations of corn stover and poplar solids resulting from leading pretreatment technologies**”, *Bioresources Technology*, v.100, n.17, pp. 3948-3962, 2009.
- LI, X, TABIL, L.G. PANIGRAHI, S. “**Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review**”, *Journal of Polymer Environment*, v. 15, n.1, pp. 25–33, 2007.
- MARZOUK, W., BETTAIEB, F., RAMZI KHIAR, R., MAJDOUB, H. “**Composite materials based on low-density polyethylene loaded with date pits: Mechanical and thermal characterizations**”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 30, n. 9, pp. 1200–1216, 2017.
- MAYA, J. J., RAJESH, D., A. “**Recent Developments in Chemical and Characterization of Natural Fiber-Reinforced Modification**”, *Comp. Polym. Comp.*, v.29, pp. 187-207, 2008.
- MELO, J.D.D., CARVALHO, L.F.M., MEDEIROS, A.M., SOUTO, C.R.O., PASKOCIMAS, C.A. “**A biodegradable composite material based on polyhydroxybutyrate (PHB) and carnauba fibers**”, *Composites: Part B*, v. 43, pp. 2827–2835, 2012.
- MIRANDA, C. S., FIUZAB, R. P., RICARDO F. CARVALHO, R. F., JOSÉ, N. M. “**Effect of surface treatment on properties of bagasse piassava fiber *Attaleafunifera Martius***”. *Química Nova*, v. 38, n. 2, pp. 161-165, 2015.
- MISHRA, S., MISRA, M., TRIPATHY, S. S., NAYAK, S. K. K., MOHA, A. K. “**The influence of chemical surface modification on the performance of sisal-polyester biocomposites**”, *Polymer Composites*, v. 23, n. 2, pp.164-170, 2002.
- MULINARI, D.R., VOORWALD, H.J.C, CIOFFI, M.O.H, LIMA, C.A. A., BATISTA, C.A.P.R, ROCHA, G.J.M. “**Composite materials obtained from textile fiber residue**”, *Journal of Composite Materials*, v.45, n.5, pp. 543–547, 2010.

- NUNES, S. G., SILVA, L. V., AMICO, S. C., VIANA, J. D., AMADO, F.D.R. **“Study of Composites Produced with Recovered Polypropylene and Piassava Fiber”**, *Materials Research*, v. 20, n. 1, pp. 144-150, 2017.
- NUNES, S. G., SILVA, L. V., AMICO, S. C., VIANA, J. D., AMADO, F. D. R. **“Study of Composites Produced with Recovered Polypropylene and Piassava Fiber”**, *Materials Research*, v. 20, pp. 144-150, 2016.
- PIRES, E. N., MERLINI, C., HAZIM, A-Q. A., SALMÓRIA, G. V., BARRA, G. M. O. **“The influence of alkaline treatment on jute fiber- reinforced epoxy resin composite”**, *Polímeros*, v. 22, n. 4, pp. 339-344, 2012.
- QIN, C., SOYKEABKAEW, N., XIUYUAN, N. E PEIJS, T. **“The effect of fibre volume fraction and mercerization on the properties of all-cellulose composites”**, *Carbohydrate Polymers*, v.71, n.3 pp.458–467, 2008.
- SAHEB, D. N., JOG, J. P. **“Natural fiber polymer composites: a review”**, *Advances in Polymer Techniques*, v. 18, n.4 pp. 351–363, 1999.
- SANTOS, E. B. C., BARROS, J. J. P., MOURA, D. A., MORENO, C. G., FIM, F. C., SILVA, L. B. **“Rheological and thermal behavior of PHB/piassava fiber residue-based green composites modified with warm water”**. *Journal of Materials Research and Technology*, in press, 2018.
- SANTOS, E. B. C., MORENO, C. G., BARROS, J. J. P., MOURA, D. A., RIES, A., WELLEN, R. M.R., SILVA, L. B. **“Effect of Alkaline and Hot Water Treatments on the Structure and Morphology of Piassava Fibers”**. *Materials Research*, 21(2): e20170365, 2018.
- SING, K.S.W., EVERETT, D. H., HAUL, R.A.W., MOSCOU, L., PIEROTTI, R.A., ROUQUEROL, J., SIEMIENIEWSKA, T. **“Reporting physisorption data for gas/solid systems with Special Reference to the Determination of Surface Area and Porosity”**, *Pure Applied Chemistry*, v. 57, n. 4, pp. 603-619, 1985.
- SINGH, S., MOHANTY, A.K., SUGIE, T., TAKAI, Y., HAMADA, H. **“Renewable resource based biobased composites from natural fiber and polyhydroxybutyrate-co-valerate (PHBV) bioplastic”**, *Composites: Part A*, v. 39, n.5, pp. 875–886, 2008.
- TORRES-TELLO, E. V., ROBLEDO-ORTÍZ, J. R., GONZÁLEZ-GARCÍA, Y., PÉREZ-FONSECA, A. A., JASSO-GASTINEL, C. F., MENDIZÁBAL, E. **“Effect of agave fiber content in the thermal and mechanical properties of green composites based on polyhydroxybutyrate or poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate)”**. *Industrial Crops and Products*, v. 99, pp. 117–125, 2017.
- YAN-HONG, F., YI-JIE, LI, BAI-PING, X., DA-WEI, Z., JIN-PING, Q, HE-ZHI, H. **“Effect of fiber morphology on rheological properties of plant fiber reinforced poly(butylene succinate) composites”**, *Composites: Part B*, v. 44, n.1, pp. 193-199, 2013.

## **SOBRE A ORGANIZADORA:**

**Marcia Regina Werner Schneider Abdala:** Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Possui experiência na área de Educação a mais de 06 anos, atuando na área de gestão acadêmica como coordenadora de curso de Engenharia e Tecnologia. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se a atuação como professora de ensino superior atuando em várias áreas de graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Atuou como inspetora de Aviação Civil, nas áreas de infraestrutura aeroportuária e segurança operacional em uma instituição federal.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-65-9

