



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

**PAULA RAQUEL BARRETO RODRIGUES**

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE COMPÓSITO FABRICADO COM  
FIBRA DO EPICARPO DO COCO BABAÇU (*Orbignya phalerata*) E RESÍDUOS  
POLIMÉRICOS**

Palmas - TO

2019

**PAULA RAQUEL BARRETO RODRIGUES**

**DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE COMPÓSITO FABRICADO COM  
FIBRA DO EPICARPO DO COCO BABAÇU (*Orbignya phalerata*) E RESÍDUOS  
POLIMÉRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins, sob orientação do Professor Dr. Juan Carlos Valdes Serra, como parte das exigências do Mestrado em Agroenergia, para a obtenção do Título de Mestre em Agroenergia.

Palmas- TO

2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

---

- R696d Rodrigues, Paula Raquel Barreto.  
DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE COMPOSITO FABRICADO  
COM FIBRA DO EPICARPO DO COCO BABAÇU (*Orbignya phalerata*) E  
RESIDUOS POLIMERICOS. / Paula Raquel Barreto Rodrigues. – Palmas, TO,  
2019.  
102 f.  
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Agroenergia, 2019.  
Orientador: Juan Carlos Valdes Serra  
1. Compositos. 2. Fibras vegetais. 3. Resina ureia-formaldeído. 4.  
Propriedades mecânicas. I. Título

CDD 333.7

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

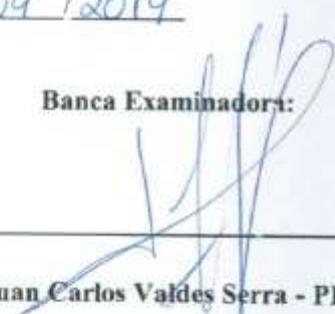
PAULA RAQUEL BARRETO RODRIGUES

DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE COMPÓSITO FABRICADO COM  
FIBRA DO EPICARPO DO COCO BABAÇU (*Orbignya phalerata*) E RESÍDUOS  
POLIMÉRICOS

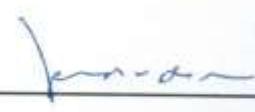
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, foi avaliada para a obtenção do Título de mestre em Agroenergia, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação 22 / 04 / 2019

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Juan Carlos Valdes Serra - PPGA / UFT

Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Yolanda Vieira de Abreu – PPGA / UFT

Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Raydel Lorenzo Reinaldo - Engenharia Civil / UFT

Examinador

*Dedico este trabalho à minha amada filha,  
Mariana Barreto Barbosa Lima*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por tudo, por cada etapa concluída da minha vida, todas contribuíram para meu desenvolvimento. Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Juan Carlos Valdes Serra, por todo conhecimento passado e dedicação durante a realização desse trabalho. Agradeço aos meus pais e a minha família, por tudo e ao meu companheiro Amitai, por toda ajuda e companheirismo. Agradeço ao meu amigo e técnico de laboratório Domingos Bonfim, por toda ajuda no desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço a todos os colegas que ganhei durante o mestrado e pelo conhecimento que compartilhamos no decorrer deste curso. Agradeço à todos os docentes, secretária, estagiárias (os) e técnicas (os) que fazem parte do Programa de Pós-Graduação do Mestrado de Agroenergia – UFT, por toda contribuição e apoio.

À todos, obrigado.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo obter e caracterizar um material compósito a partir de resíduos agroenergéticos e poliméricos. Foi composto por fibras do epicarpo do coco babaçu e diferentes resíduos poliméricos, utilizando como matriz a resina Ureia-formaldeído (UF). O compósito produzido foi analisado quanto as suas propriedades físicas, mecânicas e morfológicas. As propriedades de umidade e densidade estão de acordo com a norma ABNT 14810-2 (2014), para chapas de madeiras aglomeradas, exceto o compósito PP20% que não atendeu ao requisito densidade. Os teores de inchamento em espessura e absorção de água obtiveram estatisticamente melhores resultados, nas concentrações de 40% e 60% de resina. A adição de resíduos plásticos PP na matriz estrutural dos painéis compósitos, promoveu um incremento no desempenho das propriedades mecânicas destes, em relação ao resíduo PET. As propriedades mecânicas MOE, MOR e a resistência à compressão dos compósitos não foram influenciados pelo aumento no teor de resina UF. Em geral, os compósitos produzidos obtiveram resultados compatíveis com as normas para as propriedades físicas e em acordo com trabalhos referenciados na literatura. As propriedades mecânicas não atenderam a norma e foram inferiores aos resultados obtidos por outros autores. A análise microscópica pelo MEV permitiu constatar a porosidade e trincas da resina UF, o elevado índice de espaços vazios do compósito, a superfície cerosa da fibra e conseqüentemente a baixa adesão entre a fibra e a matriz. Apesar disso, a utilização de fibras de epicarpo de babaçu para matérias compósitos tem futuro promissor e vem sendo bastante estudada. Acredita-se que o melhoramento das técnicas de preparação da fibra e uso de tecnologias possam melhorar o desempenho do compósito com fibra do epicarpo de babaçu.

**Palavras-Chaves: compósitos, fibras vegetais, propriedades mecânicas, resina ureia-formaldeído**

## ABSTRACT

This work aimed to obtain and characterize a composite material from agroenergetic and polymeric residues. It was composed of babassu coco epicarp fibers and different polymeric residues, using as a matrix the Urea-formaldehyde resin. The composite produced was analyzed for its physical, mechanical and morphological properties. The properties of moisture and density are according to the ABNT Standard 14810-2 (2014), for bonded wood sheets, except the PP20% composite that did not meet the density requirement. The swelling contents in thickness and water absorption obtained statistically better results, in the concentrations of 40% and 60% of resin. The addition of PP plastic residues in the structural matrix of the composite panels, promoted an increase in the performance of the mechanical properties of these, in relation to the PET residue. The mechanical properties MOE, MOR and the compressive strength of the composites were not influenced by the increase in UF resin content. In general, the produced composites obtained results compatible with the norms for the physical properties and in agreement with works referenced in the literature. The mechanical properties did not meet the norm and were inferior to the results obtained by other authors. Microscopic analysis by the MEV test allowed to verify the porosity and cracks of the UF resin, the high void content of the composite, the waxy surface of the fiber and consequently the low adhesion between the fiber and the matrix. Despite this, the use of babassu epicarp fibers for composite materials has a promising future and has been well studied. It is believed that the improvement of fiber preparation techniques and the use of technologies can improve the performance of the babassu epicarp fiber composite.

**Key words: Composites, vegetable fibers, mechanical properties, urea-formaldehyde resin**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Partes constituinte do fruto do babaçu: (A) epicarpo, (B) mesocarpo, (C) amêndoa, (D) endocarpo.....	18
Figura 2: Estrutura de um Material Compósito .....	22
Figura 3:Classificação dos compósitos.....	22
Figura 4: Disposição das fibras nos materiais compósitos: (a) contínuas alinhadas, (b) contínuas desalinhadas e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.....	25
Figura 5: Resina Redemite e endurecedor G .....	31
Figura 6: Etapas da metodologia de confecção dos compósitos .....	32
Figura 7: Resíduos poliméricos: PP (A) e PET (B).....	33
Figura 8: Peneiramento das fibras no agitador de peneiras .....	34
Figura 9: Fibras do epicarpo do babaçu: antes (A) e após (B) trituração e peneiramento .....	34
Figura 10: Prensa Nowak utilizada para moldagem dos compósitos .....	37
Figura 11: Pontos de medição no corpo de prova .....	40
Figura 12: Determinação do peso das amostras de densidade.....	40
Figura 13: Ensaio de Absorção de Água, 2h e 24 h .....	42
Figura 14: Ensaio de Flexão, Máquina EMIC DL 30000.....	43
Figura 15: Ensaio de Compressão, Máquina EMIC DL 30000.....	45
Figura 16: Preparação das amostras, equipamento Denton Vacuum Desk V .....	47
Figura 17: Microscópio Eletrônico de Varredura, Jeol JSM – 6610.....	47
Figura 18: Compósitos após prensa em molde metálico .....	50
Figura 19: Média do teor de umidade dos compósitos, por tratamento .....	51
Figura 20: Densidade média dos compósitos, por tratamento.....	54
Figura 21: Acréscimo na absorção de água em 2H e 24H, por tratamento .....	57
Figura 22: Inchamento em espessura, em 2H e 24H, por tratamento.....	61
Figura 23: MOR por tratamento .....	66
Figura 24: MOE por tratamento .....	67
Figura 25: Resistência à Compressão por tratamento .....	71
Figura 26:Microfotografia da fibra do epicarpo do babaçu retida em peneira de 2,0 mm .....	74
Figura 27: Microfotografia da superfície da fibra do epicarpo do babaçu ampliada: (A) 150x, (B) 350x, (C) 1500x e (D) 2500x .....	75

Figura 28: Microfotografia da superfície da resina UF, após secagem e cura: (A) 350x, (B) 50x, (C) 500x e (D) 1500x. A região selecionada em vermelho indica que a fibra ampliada nas imagens (C) e (D) se tratam da mesma fibra com diferentes aumentos...	76
Figura 29: Microfotografia do compósito PET20%: (A)40x, (B)100x, (C)1500x e (D)1500x.....	77
Figura 30: Microfotografia do compósito PET40%:(A)50x, (B)250x, (C)40x e (D)650x .....	78
Figura 31: Microfotografia do compósito PET60%: (A)40x, (B)40x, (C)150x e (D)40x .....	79
Figura 32: Microfotografia do compósito PP20%: (A)40x, (B)35x, (C)1500x e (D)100x .....	79
Figura 33: Microfotografia do compósito PP40%: (A)50x, (B)40x, (C)50x e (D)150x	81
Figura 34: Microfotografia do compósito PP60%: (A)50x, (B)50x, (C)50x e (D)150x	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Constituintes de fibra naturais utilizadas em matérias compósitos .....	27
Tabela 2: Características gerais da resina e do endurecedor G .....	31
Tabela 3: Teor de umidade e teor de cinzas da fibra do babaçu <i>in natura</i> .....	48
Tabela 4: Valores de umidade e densidade de fibras naturais.....	49
Tabela 5: Média do teor de umidade dos compósitos, por tratamento .....	50
Tabela 6: Análise de Variância para o teor de umidade .....	52
Tabela 7: Médias de umidade dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	52
Tabela 8: Densidade média dos compósito, por tratamento .....	53
Tabela 9: ANOVA da densidade dos compósitos .....	54
Tabela 10: Médias de densidade dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	55
Tabela 11: Valores de umidade e densidade de compósitos de fibras naturais.....	56
Tabela 12: Absorção de água dos compósitos em 2h e 24, por tratamento.....	57
Tabela 13: ANOVA da absorção de água dos compósitos, 2h e 24 h.....	58
Tabela 14: Médias de AA (2 H) dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	58
Tabela 15: Médias de AA (24 H) dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	59
Tabela 16: Média de inchamento em espessura dos compósitos, em 2h e 24.....	60
Tabela 17: ANOVA de inchamento em espessura dos compósitos, 2h e 24 h.....	61
Tabela 18: Médias de IE (2h) dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	62
Tabela 19: Médias de IE (24 H) dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	62
Tabela 20: Valores de AA e IE de compósitos de fibras naturais .....	63
Tabela 21: Médias obtidas nos ensaios de físicos dos compósitos obtidos.....	64
Tabela 22: Média do MOR dos compósito, por tratamento .....	66
Tabela 23: ANOVA do MOR e MOE dos compósitos .....	67
Tabela 24: Médias do MOR dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	68
Tabela 25: Médias do MOE dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	68
Tabela 26: Valores do módulo de ruptura e de elasticidade de compósitos.....	69
Tabela 27: Média de Resistência à Compressão dos compósito, por tratamento.....	70
Tabela 28: ANOVA de Resistência à Compressão dos compósitos .....	71
Tabela 29: Médias de Resistência à Compressão dos tratamentos comparadas pelo Teste <i>Tukey</i> .....	72
Tabela 30: Valores do módulo de ruptura e de elasticidade de compósitos.....	73
Tabela 31: Valores médios das propriedades mecânicas dos compósitos obtidos .....	73

## **LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS E SÍMBOLOS**

Absorção de gua (AA);

American Society for Testing and Materials (ASTM);

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);

Epicarpo (Epi);

Endocarpo (Endo);

Fonte de variação (FV);

Grau de liberdade (GL);

Inchamento em espessura (IE);

Poli tereftalato de etileno (PET)

Polipropileno (PP);

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);

Modulo de elasticidade (MOE);

Modulo de ruptura (MOR);

Quadrado Médio (QM);

Ureia-Formaldeído (UF);

Universidade Federal do Tocantins (UFT);

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
	2.1 Objetivo Geral.....	16
	2.2 Objetivos Específicos .....	16
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
	3.1 A Cultura do Coco Babaçu .....	17
	3.2 Resíduos Agroenergéticos .....	19
	3.2.1. Uso de resíduos agroenergéticos para produção de materiais compósitos....	20
	3.3 Materiais Compósitos .....	21
	3.3.1. Matrizes de compósitos.....	23
	3.3.1.1 Resina Ureia-Folmaldeído.....	23
	3.3.2. Fibras de reforço.....	24
	3.3.2.1. Fibra do epicarpo de babaçu.....	27
	3.3.2.2. Resíduos Recicláveis Poliméricos.....	28
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
	4.1 Materiais .....	30
	4.1.1. Reforço .....	30
	4.1.2. Matriz: Resina Ureia-Formaldeído.....	30
	4.2 Métodos.....	32
	4.2.1. Preparação da fibra e resíduos poliméricos.....	32
	4.2.2 Caracterização da fibra do epicarpo do babaçu.....	35
	4.2.3 Confeção do material compósito .....	36
	4.2.4 Delineamento Experimental.....	38

4.2.5	Determinação das propriedades do compósito.....	38
4.2.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	46
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização da fibra do epicarpo do babaçu .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Propriedades físicas dos compósitos.....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Umidade .....	50
5.2.2	Densidade .....	53
5.2.3	Absorção de Água .....	56
5.2.4	Inchamento em espessura.....	60
5.2.5	Resultados gerais das propriedades físicas.....	64
<b>5.3</b>	<b>Propriedades mecânicas dos compósitos .....</b>	<b>65</b>
5.3.1	Resistência à flexão .....	65
5.3.2	Resistencia à compressão .....	70
5.3.3	Resultados gerais das propriedades mecânicas .....	73
<b>5.4</b>	<b>Microscopia Eletrônica de Varredura .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>82</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>84</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O aumento da consciência mundial, devido ao esgotamento dos recursos naturais e às mudanças climáticas, ocasionou uma crescente demanda por produtos sustentáveis com base em fontes renováveis (GURUNATHAN *et al.*, 2015). Neste contexto, vem se destacando a Agroenergia, ou seja, a bioenergia produzida a partir da biomassa agropecuária e florestal.

O biodiesel surge como alternativa promissora para substituir o diesel derivado do petróleo, especialmente por suas características físico-químicas, além da contribuição nos âmbitos social e econômico (SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016, ALVES *et al.*, 2015).

Entretanto, as indústrias de biocombustíveis, por mais eficientes que sejam, dificilmente aproveitarão totalmente a matéria-prima. Devido às preocupações com questões ambientais e de sustentabilidade, no último século observa-se no mundo melhorias notáveis através do desenvolvimento de compósitos de fibras lignocelulósicas (LA MANTIA & MORREALE, 2011).

Em geral, o uso de fibras a partir de resíduos agrícolas como reforço em compósitos oferece uma solução de baixo custo e ambientalmente amigável para eliminação dos resíduos, além da possibilidade de obter lucro com os resíduos (ZINI & SCANDOLA, 2011).

Os compósitos são produtos da combinação de dois ou mais materiais para formar um terceiro material com propriedades que não se encontra isoladamente. Estes biocompósitos podem ser biodegradados no final da vida sem prejudicar o meio ambiente, o que não é possível com compósitos de polímero à base de fibras sintéticas (GURUNATHAN *et al.*, 2015).

As fibras lignocelulósicas chamaram atenção considerável como substitutos das fibras sintéticas, como fibras de vidro e carbono. Os compósitos reforçados com fibras naturais são estudados para muitas aplicações, como automóveis, aeroespaciais, embalagens e indústrias de construção, onde não é necessária uma capacidade de carga elevada (ZINI & SCANDOLA, 2011).

O babaçu é uma palmeira de grande porte, com elevado número de frutos por cacho, e que possui sementes oleaginosas e comestíveis. Apresenta uma produção de óleo

por hectare comparável à da soja, porém seu potencial tem sido pouco explorado (LAVIOLA, 2014).

Segundo pesquisas realizadas por Ponte *et al.* (2017) e Lima *et al.* (2007) o óleo do babaçu reúne características que possibilita a sua aplicação como insumo na produção do bioquerosene e na produção do biodiesel. Os parâmetros físico-químicos do biodiesel metílico e etílico encontraram-se dentro dos limites permitidos pela ANP, confirmando sua qualidade.

O aproveitamento do fruto do babaçu tem-se restringido a utilização do óleo da amêndoa, que representa, em média, 7% da massa do fruto, nesse processo, é desprezado até 93% do fruto, correspondendo ao epicarpo, mesocarpo e endocarpo (QUEIROGA *et al.*, 2015). O aproveitamento de resíduos da cadeia do biocombustível tem sido objeto de estudos, destacando-se os trabalhos que apontam para produção de novos materiais (MACHADO *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2010).

As chapas aglomeradas podem ser fabricadas a partir de qualquer material lignocelulósico desde que lhes confira resistência mecânica adequada. Tais materiais utilizados como base para a formação de painéis são advindos de madeira de florestas ou reflorestamentos e também de aproveitamento de resíduos industriais florestais ou da agricultura (SOUZA *et al.*, 2018).

Desta forma, como alternativa para a utilização dos resíduos da indústria de biodiesel, propõe-se o desenvolvimento de material compósito de fibra vegetal e resíduo polimérico. Este trabalho se configura no desenvolvimento e estudo de um material compósito que utiliza como matéria-prima os resíduos agroenergéticos do coco babaçu (*Orbignya phalerata*).

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Obter e caracterizar um material compósito a partir de um resíduo agroenergético e resíduos poliméricos dentro de uma matriz de resina Ureia-Formaldeído. O compósito produzido deve ser analisado quanto as suas propriedades físicas e mecânicas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar fisicamente a material prima principal, fibra do epicarpo do coco babaçu (*Orbignya phalerata*);
- Obter materiais compósitos a partir da fibra do epicarpo do coco babaçu, diferentes resíduos poliméricos e em matriz de resina UF;
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais compósitos;
- Analisar a morfologia da fibra e a adesão fibra/matriz dos compósitos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A Cultura do Coco Babaçu

O babaçu (*Orbigynia phalerata*) é uma das palmeiras brasileiras com maior relevância social e econômica para o Norte e Nordeste do Brasil. A área de exploração dos babaçuais se estende ao Piauí, Pará, Bahia, Ceará, Tocantins ao Maranhão (PINHEIRO *et al.*, 2015; ALBEIRO *et al.*, 2011; EMBRAPA, 1984).

O babaçu é uma palmeira nativa pioneira e a sua ocorrência caracteriza-se por gradientes que vão desde a floresta primária até a recomposição de áreas desmatadas dando origem a formações vegetais secundárias (GOUVEIA *et al.*, 2016). O extrativismo do babaçu ocorre em áreas de ocorrência natural, a partir de plantas não cultivadas. Sendo fonte de renda para muitas famílias que fazem sua coleta de maneira artesanal, principalmente no Estado do Maranhão (PINHEIRO *et al.*, 2015; SANTOS, 2008).

Desta palmeira pode ser aproveitado além dos frutos, as folhas para produção de diversos artesanatos, cobertura para casas e também forrageira, servindo na época da seca como alimento para o gado. O caule tem uso na construção, como esteios e ripas, se apodrecido, tem sido usado como composto para adubação. A polpa retirada do mesocarpo do fruto é utilizada como farinha para preparo de bolos e mingaus. Das palmeiras jovens, quando derrubadas, extrai-se o palmito e coleta-se uma seiva que, fermentada, produz um vinho bastante apreciado regionalmente (ALBIERO *et al.*, 2007; BRANDÃO *et al.*, 2002).

O fruto da Palmeira de Babaçu, tem entre 8 e 15 cm de comprimento, sendo sua composição externa – fibrosa (epicarpo), intermediária – fibrosa-amilácea (mesocarpo); e a interna – lenhosa (endocarpo), na qual estão inseridas as amêndoas (SANTOS, 2014). As partes constituintes do fruto do babaçu está ilustrada conforme Figura 1.

Figura 1: Partes constituinte do fruto do babaçu: (A) epicarpo, (B) mesocarpo, (C) amêndoa, (D) endocarpo.



Fonte: Adaptado de Nascimento (2004).

A amêndoa representa, em média, 7% da massa do fruto. Seu epicarpo representa em média de 12 a 15% do fruto e tem alto poder calorífero. O endocarpo responde de 58 a 60% da massa do fruto e tem, também, elevado poder calorífero; enquanto o mesocarpo em torno de 20 a 23% do fruto e é composto por 60% de amido (LORENZI *et al.*, 1996, NASCIMENTO, 2004).

A amêndoa constitui apenas 6 a 10% do fruto, e dela se obtém aproximadamente 65% de óleo. Esse óleo é matéria-prima para fabricação de sabão, glicerina e óleo comestível. Os óleos de babaçu são largamente utilizados na indústria de cosméticos e alimentos (LORENZI, 1996).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2016, foram extraídas 61.390 toneladas de amêndoas de babaçu. Seu extrativismo é pautado principalmente na extração do óleo das amêndoas dos seus frutos (QUEIROGA *et al.*, 2015).

O epicarpo, mesocarpo e endocarpo, usualmente são utilizados como biomassa para a produção de energia, por meio da queima direta ou acumulado em “áreas de despejo” (ALMEIDA *et al.*, 2002).

Segundo pesquisa realizada por Ponte *et al.* (2017) outra aplicação para este tipo de óleo seria no setor de combustível uma vez que, o ácido graxo obtido do óleo de babaçu (fase de topo) reúne características que possibilita a sua aplicação como insumo na produção do bioquerosene e a parte não destilada do óleo (fase de fundo) na produção do biodiesel (PONTE *et al.*, 2017).

O processo de obtenção do óleo pode ser obtido por processos tradicionais, seguido apenas da neutralização e purificação deste óleo onde através de uma reação de transesterificação com metanol ou etanol podemos chegar no biodiesel que é um combustível limpo e renovável apropriado para movimentar veículos ciclo diesel (LOPES & CHUCHARDT, 1983).

Conforme estudo de Lima *et al.* (2007) o óleo de babaçu é apropriado para obtenção de biodiesel, os parâmetros físico-químicos do biodiesel metílico e etílico encontraram-se dentro dos limites permitidos pela Agência Nacional de Petróleo, confirmando sua qualidade. Além do mesmo possuir alta estabilidade oxidativa devido ao mesmo possuir baixa quantidade de ácidos graxos insaturados e alta quantidade de ácidos láurico e ácidos saturados.

### **3.2 Resíduos Agroenergéticos**

Biodiesel é o nome dado a ésteres alquílicos de ácidos graxos desde que atendam certos parâmetros de qualidade (DABDOUB *et al.*, 2009), obtido através de craqueamento catalítico ou reação de transesterificação (ALVES *et al.*, 2015 Tornou-se estratégico para o Brasil ingressar no mercado de biodiesel, promovendo um combustível renovável e o desenvolvimento regional, por meio da agricultura familiar gerando emprego e renda no campo, valorizar matérias-primas nacionais e contribuir para a inclusão social (LAVIOLA *et al.*, 2016; CHAGAS, 2012; MENDES & COSTA, 2010; SANTOS, 2008).

No Brasil há uma variedade muito grande de oleaginosas, que vêm se destacando como matérias-primas destinadas à produção de biodiesel. Haja vista, sua utilização ser viável econômica e ambientalmente, já que esse biocombustível provoca menos danos ao meio ambiente (PONTE *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2016).

Não obstante aos benefícios associados ao biodiesel, grandes volumes de resíduos são gerados na sua fabricação (LIMA *et al.*, 2009). O biodiesel pode ser produzido a partir de qualquer óleo vegetal bruto. A extração do óleo vegetal pode ser realizada por processo físico (prensagem) ou químico (por solvente). A extração mais habitual utiliza prensas mecânicas e hidráulicas. A seleção do tipo de extração depende da capacidade produtiva e o teor de óleo da matéria-prima (LEIRAS, 2006).

Conforme explicam Mota e Pestana (2011) os principais resíduos são a torta gerada pelo processo de prensagem mecânica e os farelos após a extração por solventes, a glicerina ou glicerol, produzida no processo de fabricação do biodiesel por transesterificação, e as cinzas são oriundas do aquecimento das caldeiras.

O aumento de biodiesel produzidos contribui para expressiva formação de resíduos sólidos orgânicos que oferecem possibilidades de serem utilizados no mercado, permitindo retornos econômicos (GENTIL *et al.*, 2012). O aproveitamento de co-produtos gerados na cadeia produtiva do biodiesel merece estudos, uma vez que muitas cadeias só serão economicamente viáveis se esses resíduos acrescentarem valor aos sistemas (ALTOÉ & VOESE, 2014; SOUZA *et al.*, 2009). Segundo Laufenberg *et al.* (2003), os resíduos podem conter muitas substâncias de alto valor e pode ser convertido em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários.

Diferentes formas de utilização têm sido empregadas para reduzir o impacto ambiental que tais resíduos eles poderiam causar caso fossem rejeitados diretamente no meio ambiente (MOTA & PESTANA, 2011; VAZ JR., 2010). Ao mesmo tempo que fomenta à produção de biodiesel, há a preocupação com a destinação a ser dada aos subprodutos gerados por essa agroindústria. Dessa forma, o Plano Nacional de Agroenergia expõe a necessidade de ampliar as oportunidades de agregação de valor e inclusão social por meio da criação de outras fontes de renda para os produtores (BRASIL, 2007).

### 3.2.1. Uso de resíduos agroenergéticos para produção de materiais compósitos

O aproveitamento de resíduos da cadeia do biocombustível tem sido objeto de estudos, destacando-se os trabalhos que apontam para produção de novos materiais (SOUZA *et al.*, 2010). A utilização adequada destes resíduos minimiza problemas ambientais e energéticos, e podem vir a gerar produtos com relevantes aplicações na indústria (BRÍGIDA *et al.*, 2010; PELIZER *et al.*, 2007).

Devido às preocupações com questões ambientais e de sustentabilidade, no último século observa-se no mundo melhorias notáveis através do desenvolvimento de compósitos de fibras lignocelulósicas (LA MANTIA & MORREALE, 2011). As fibras lignocelulósicas chamaram atenção considerável como substitutos das fibras sintéticas, como fibras de vidro e carbono.

Em geral, o uso de fibras a partir de resíduos agrícolas como reforço em compósitos oferece uma solução de baixo custo e ambientalmente amigável para eliminação dos resíduos, além da possibilidade de obter lucro com os resíduos (ZINI & SCANDOLA, 2011).

A produção de painéis alternativos, com aproveitamento de resíduos de diferentes origens, pode contribuir para suprir a demanda de matérias primas da indústria de painéis e estimular a produção de novos materiais (BELINI *et al.*, 2014). Os compósitos reforçados com fibras naturais são estudados para muitas aplicações, como automóveis, aeroespaciais, embalagens e indústrias de construção, onde não é necessária uma capacidade de carga elevada (ZINI & SCANDOLA, 2011).

O uso de resíduos agroindustriais é apontado como uma das alternativas potenciais para suprir a necessidade de biomassa exigida na produção de painéis (BELINI *et al.*, 2014). Os painéis de madeira aglomerada são conjuntos de partículas, fibras ou partes de madeiras unidas por uma composição adesiva, sob pressão e temperatura adequada (FERNANDES *et al.*, 2019).

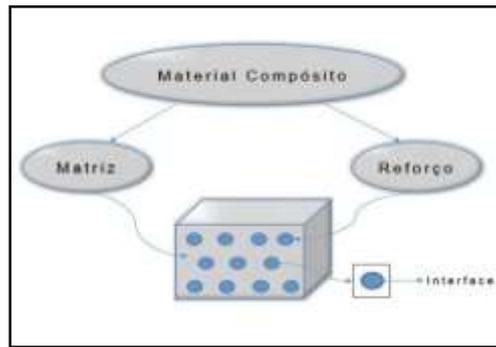
A utilização de resíduos lignocelulósicos vem sendo largamente estudada como matéria prima alternativa de forma parcial ou integral de painéis particulados (FARIAS MACHADO *et al.*, 2017). Isto é possível devido à similaridade química dos resíduos lignocelulósicos com as madeiras duras, que possuem menor teor de lignina e maior teor de hemicelulose (IWAKIRI *et al.*, 2004).

### **3.3 Materiais Compósitos**

De acordo com a Norma American Society for Testing and Materials (ASTM D3878 – 95), a definição de material compósito consiste em uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material com certas propriedades que não se encontram nos materiais originais isoladamente.

De acordo com Daniel e Ishai (2006) apud Angélico (2009), tem-se uma fase rígida e resistente, designada reforço ou fase dispersa, e uma menos rígida e menos resistente, designada matriz ou fase contínua. É considerada interfase a localização entre a fase dispersa e fase contínua (Figura 2).

Figura 2: Estrutura de um Material Compósito



Fonte: Adaptado de Angélico (2009).

Segundo Callister (2011) os compósitos podem ser classificados em compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e compósitos estruturais (Figura 3). Nos compósitos reforçados com partículas a fase dispersa tem eixos iguais, em que as dimensões das partículas são aproximadamente as mesmas em todas as direções. Nos compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa apresenta a geometria de uma fibra, tem-se uma grande razão entre o comprimento e o diâmetro. E os compósitos estruturais são combinações de compósitos e materiais homogêneos.

Figura 3: Classificação dos compósitos.



Fonte: Adaptado de Callister (2011).

Pesquisadores têm buscado o desenvolvimento de novos materiais, que busquem conciliar o alto desempenho dos polímeros com a questão ecológica. O uso de materiais compósitos tem aumentado a cada dia, devido às melhorias das características dos materiais, das propriedades das matrizes poliméricas, dos reforços fibrosos e da interface polímero-reforço (RESENDE *et al.*, 2011; WAMBUA *et al.*, 2003).

### 3.3.1. Matrizes de compósitos

A matriz confere estrutura ao compósito, preenchendo os espaços vazios entre reforços, já os reforços são os que realçam propriedades do compósito como um todo. A função essencial de dar forma ao compósito é da matriz, assim são classificados de acordo com o tipo utilizado em polimérica, metálica, cerâmica e cimentícia (TORRES, 2009).

Os polímeros utilizados como adesivos de madeira podem ser de dois tipos: adesivos termoendurecíveis e adesivos à frio. Os adesivos de madeira termoendurecida comumente usados para a produção de painéis compostos à base de madeira incluem as resinas de uréia-formaldeído (UF), resinas de melamina-uréia-formaldeído (MUF), resinas de fenol-formaldeído (PF) e isocianatos. O adesivo a frio pode curar sozinho à temperatura ambiente na ausência de energia térmica extra, incluem resorcinol – formaldeído (RF), fenol – RF (PRF), MUF e poliuretanos (PURs) (MOUSAVI, HUANG & LI, 2019).

Os principais adesivos hoje empregados nas indústrias de painéis são: Ureia-Formaldeído (UF), Fenol-Formaldeído (FF), Melamina-Formaldeído (MF) e Difenil Metano Di-isocianato (MDI). Entre esses, a UF não é recomendada para painéis de uso exterior, a MF apresenta moderada resistência e os demais apresentam elevada resistência à umidade (MELO, 2013).

Os adesivos influenciam todos os aspectos dos compósitos, desde suas propriedades mecânicas e sua capacidade de desempenho em condições úmidas até seus efeitos no ambiente (localizados e no ambiente mais amplo). A seleção das resinas também dependerá o uso final de produtos de painel (ORMONDROYD, 2015)

No futuro, a ligação de madeira com adesivos continuará a ser um fator importante não só para a utilização eficiente das florestas como fonte de matérias-primas, mas também para a fabricação eficiente de produtos de madeira e de madeira residual. A eficiência na conversão de árvores e resíduos de madeira em produtos úteis ajudará a garantir a conservação contínua de recursos naturais (CONNER, 2017).

#### 3.3.1.1 Resina Ureia-Folmaldeído

A uréia-formaldeído (UF), desenvolvida nos anos 1930, é uma resina commodity barata e adequada para o desenvolvimento de painéis de partículas e MDF

(ORMONDROYD, 2015). Adesivos à base de UF são os mais utilizados nas indústrias de painéis de partículas de madeira e madeira. Estima-se que cerca de 90% de todos os painéis aglomerados produzidos no mundo utilizam esse tipo de resina (MELO, 2013).

A resina UF é utilizada pela indústria de produtos florestais na produção de aglomerados, painéis de fibras de média densidade, e madeira compensada de madeira, e é usado como um adesivo de laminação para colagem de revestimentos de móveis para painéis e para portas com descarga interna, por exemplo (CONNER & BHUIYAN, 2017).

As resinas UF atendem pela sua alta reatividade, rápida reação em prensa quente e fácil manuseio, incolor, boa adesão à madeira e pelo seu baixo preço (LI *et al.*, 2016, MELO, 2013; DUNKYM 1998). Devido ao seu alto teor de nitrogênio, as resinas UF são não-inflamáveis e queimam somente com o apoio de uma chama (DUNKYM 1998).

Sua principal desvantagem é a menor resistência a condições de água e umidade, especialmente em altas temperaturas, onde a hidrólise de pontes de aminometileno causa liberação contínua de formaldeído a partir de produtos à base de madeira (DORIEH *et al.*, 2019; ORMONDROYD, 2015). Entre os principais adesivos UF é a que apresenta maior higroscopicidade, não sendo indicado para painéis de uso exterior, o que limita sua utilização prática apenas a produtos internos (MELO, 2013; DUNKYM 1998).

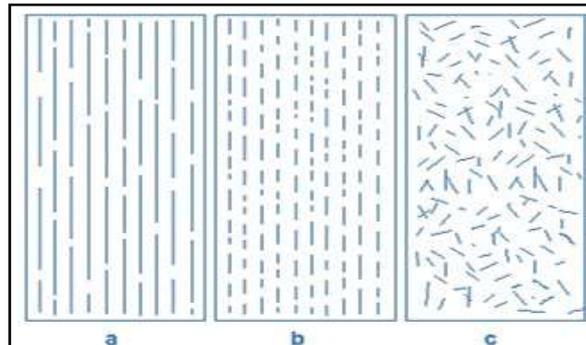
As deficiências desta resina com a emissão de formaldeído e umidade são atualmente objetos de pesquisas contínuas no mundo (LI *et al.*, 2016; DUNKYM 1998). Contudo, o problema da emissão de formaldeído têm sido reduzido, devido à diminuição do conteúdo de formaldeído nas resinas a partir da década de 1980 e do emprego de vários métodos tecnológicos de fabricação (CONNER & BHUIYAN, 2017; ORMONDROYD, 2015). Essas modificações permitiram que as resinas UF mantivessem sua elevada posição como um sistema adesivo versátil para colagem de produtos de madeira (CONNER & BHUIYAN, 2017)

### 3.3.2. Fibras de reforço

O tamanho do comprimento, a orientação das fibras em relação umas às outras, a concentração e a sua distribuição têm influência significativa sobre a resistência e outras as propriedades dos compósitos reforçados com fibras. A melhor combinação geral das propriedades dos compósitos é obtida quando a distribuição das fibras é uniforme (CALLISTER, 2011). A estrutura das fibras fornece informações sobre a capacidade de

adesão da interface fibra/matriz e a capacidade de homogeneização (MARINELLI *et al.*, 2008). A Figura 4, mostra diferentes maneiras de disposição dessas fibras.

Figura 4: Disposição das fibras nos materiais compósitos: (a) contínuas alinhadas, (b) contínuas desalinhadas e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.



Fonte: Adaptado de Callister (2011).

As fibras empregadas para confecção de materiais compósitos podem ser sintéticas ou naturais. Nas últimas décadas, aumentou o interesse sob as fibras naturais em relação ao seu uso como reforço em materiais compósitos para substituir as fibras de vidro (AL-OQLA & SAPUAN, 2013; ALVES *et al.*, 2010). Para Gurunathan *et al.* (2015) as fibras naturais podem ser classificadas com base na sua origem em:

- Fibras de origem animal;
- Fibras de origem vegetal; e
- Fibras de origem mineral.

Inúmeras fibras naturais vegetais são produzidas em praticamente todos os lugares do mundo e por ser uma fonte de recurso renovável, possíveis de serem pesquisadas (NECHWATAL *et al.*, 2003). As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas “in natura” ou após beneficiamento (MARINELLI *et al.*, 2008).

Comumente são chamadas de fibras celulósicas, visto que a celulose é o seu principal componente químico, ou mesmo por fibras lignocelulósicas considerando que a maioria das fibras contém lignina, um polímero polifenólico natural (MARINELLI *et al.*, 2008; PUKANSKY, 2005).

As fibras naturais, podem potencialmente competir com fibras sintéticas, especialmente vidro, ao comparar propriedades como resistência à tração, custo, disponibilidade, elasticidade e alongamento em caso de falha. Vários tipos de fibras

naturais (como juta, cânhamo, linho e sisal) foram utilizados em aplicações industriais e na indústria automotiva devido às suas propriedades desejadas (AL-OQLA & SAPUAN, 2013; ALVES *et al.*, 2010).

As propriedades e o desempenho de produtos de engenharia fabricados a partir de compósitos de fibras naturais (NFC) dependem das propriedades de seus componentes individuais e sobretudo de suas características de compatibilidade e interface (polímero / enchimento) (KALIA *et al.*, 2011).

Dentre os materiais de reforço mais analisados em matrizes estão as fibras vegetais pois, apresentam fonte renovável, abundância e baixo custo. A introdução de fibras às matrizes dos compósitos visa melhorar suas propriedades e reduzir custos. As fibras naturais contêm vários benefícios ante as fibras sintéticas, pois apresentam baixa densidade, são biodegradáveis e fáceis para processar, além de serem obtidos a partir de fontes renováveis na natureza (SOUZA *et al.*, 2010; CORRADINI *et al.*, 2008). Desse modo, estes biocompósitos podem ser biodegradados no final da vida sem prejudicar o meio ambiente, o que não é possível com compósitos de polímero à base de fibras sintéticas (GURUNATHAN *et al.*, 2015).

De acordo com Satyanarayana (2010), os fatores necessários para a produção de compósitos incluem a seleção das fibras vegetais e da matriz, os tratamentos adequados na superfície das fibras visando à redução da sensibilidade à umidade, e as técnicas de fabricação, preferencialmente, de baixo custo. Os tratamentos adequados na superfície das fibras visando à redução da sensibilidade à umidade, podem melhorar a adesão fibra-matriz e resultar no aumento da resistência ao impacto (SATYANARAYANA, 2010; TITA *et al.*, 2002).

Estudos sobre a estrutura interna de fibras vegetais também demonstraram a presença de impurezas naturais e artificiais na superfície dessas fibras, provenientes do beneficiamento resíduos estes que diminuem a adesão quando estas fibras são utilizadas em materiais compósitos ou laminados (JOSEPH & THOMAS, 1993).

A substituição de fibras de vidro e carbono por fibras naturais em compósitos traz como vantagens: baixo custo, boas propriedades de isolamento térmico e acústico, disponibilidade, sequestro de CO<sub>2</sub> melhorado, recuperação de energia, diminuição da irritação dérmica e respiratória e menor desgaste da ferramenta nas operações de usinagem (AL-OQLA & SAPUAN, 2013).

Vários trabalhos referentes a compósitos híbridos destacam melhoria das propriedades mecânicas, diminuição da absorção de umidade e resistência ao envelhecimento ambiental (devido a menor degradação das fibras sintéticas), em relação aos compósitos apenas com fibras naturais (THWE & LIAO, 2003; SREEKALA *et al.*, 2002). Bledzik e Gassan (1999), ao estudar um compósito híbrido com fibra de vidro e fibra natural, constataram decréscimo da absorção de umidade e dependência das propriedades mecânicas.

### 3.3.2.1. Fibra do epicarpo de babaçu

A confecção de painéis particulados com resíduos do coco babaçu busca contribuir com a indústria de base florestal, bem como designar outra finalidade aos resíduos gerados com o processamento industrial ou artesanal. Estudos visando à utilização de partículas de epicarpo e endocarpo do coco babaçu na produção de painéis particulados demonstraram desempenho mecânico satisfatório (MACHADO *et al.* 2017; LIMA *et al.* 2006).

A Tabela 1 apresenta valores encontrados na literatura, para os constituintes estruturais de fibras naturais utilizadas como reforços em matérias compósitos.

Tabela 1: Constituintes de fibra naturais utilizadas em matérias compósitos

<b>Autor</b>	<b>Fibra</b>	<b>Extrativos (%)</b>	<b>Lignina (%)</b>	<b>Celulose (%)</b>	<b>Hemicelulose (%)</b>
<b>Franco (2010)</b>	Epicarpo de babaçu	-	17,8	62	13
<b>Fonteles (2013)</b>	Epicarpo de babaçu	-	33,2	30,2	36,1
<b>Machado et al. (2017a)</b>	Epicarpo de babaçu	1,10	35,7	32,33	20,88
	Endocarpo de babaçu	1,11	35,35	29,81	25,71
<b>Cabral et al. (2017)</b>	Casca de coco verde	2,63	40,10	24,70	12,26
<b>Machado et al. (2017b)</b>	Pinus	3,35	25,18	53,04	20,22

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Segundo Fiorelli *et al.* (2014) o conteúdo de celulose está intimamente relacionado com as propriedades mecânicas de aglomerado. Já a lignina contribui para o mecanismo de adesão.

Os resultados encontrados por Machado *et al.* (2017) para a caracterização físico-química de partículas de epicarpo do babaçu demonstraram potencialidade de utilização como matéria prima de painéis aglomerados, devido a semelhança nos teores de celulose e lignina com a das partículas de madeira

### 3.3.2.2. Resíduos Recicláveis Poliméricos

Com a globalização e o crescimento populacional, existe a necessidade de se estudar o desenvolvimento de novos produtos a partir de resíduos de materiais poliméricos pós-consumo. Segundo a ABRELPE (2018) foram produzidos 21.153 t/dia de resíduos recicláveis plásticos em 2017, somente 1.738 t/dia foram recuperados, sendo o índice de recuperação dos resíduos recicláveis de 8%.

A rentabilidade do mercado de reciclagem de materiais plásticos mostra aspectos atraentes para setor empresarial, de forma a minimizar o emprego da matéria prima virgem e reduzir o descarte de materiais nobres, além da economia com recursos naturais e redução de problemas ambientais (BATTISTELLE *et al.*, 2014; FORLIN, 2002).

A reciclagem de resíduos termoplásticos de embalagens na forma de compósitos com fibras vegetais apresenta grande potencial de viabilidade técnica e econômica (GANDARA *et al.*, 2017). Esses materiais apresentam vantagens como moderada resistência química, baixa densidade e elevada tenacidade. Contudo, em geral, possuem baixas estabilidade dimensional e baixa temperatura de utilização (MARINUCCI, 2011; FONSECA, 2005).

Alguns dos resíduos poliméricos mais encontrados no meio ambiente são o polipropileno, o polietileno e o tereftalato de etileno, e suas variantes. O polipropileno e o tereftalato de etileno são utilizados neste trabalho devido a sua facilidade de manuseio e suas principais características são apresentadas a seguir:

#### A. Polipropileno (PP)

O polipropileno (PP) é o polímero mais comumente utilizado como matriz em compósitos de fibras naturais nos últimos anos (SPADETTI *et al.*, 2017). O Polipropileno é um polímero termoplástico derivado do propeno ou propileno. Constituído de uma resina polimérica que possui baixa densidade, assim, desempenhando um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, acompanhadas da ductilidade e da resistência (fibras) (FERNANDES, 2017).

O que torna o polipropileno atraente para sua utilização na produção de compósitos, são: baixo custo, fácil moldagem, boa estabilidade térmica, mas há algumas desvantagens: sensibilidade à luz UV e agentes de oxidação, sofrendo degradação com maior facilidade (CALLISTER, 2011). Em produtos desenvolvidos para o mercado automotivo as fibras naturais são usualmente combinadas com uma matriz de polipropileno, que tem baixo custo e temperatura de processamento, para garantir a estabilidade térmica (DICKSON *et al.*, 2014).

#### B. Polietileno Tereftalato (PET)

O Poli (tereftalato de etileno) (PET) é um polímero termoplástico que possui resistência ao impacto moderada, baixo peso específico, além de baixa porosidade, proporcionando uma excelente barreira para gases e odores (ABIPET, 2017). É um dos termoplásticos mais produzidos no mundo, utilizado em fibras têxteis, embalagens processadas por injeção sopro, filmes biorientados e polímeros de engenharia (ROMÃO *et al.*, 2009).

A utilização do PET como reforçador em materiais compósitos tem sido alvo de pesquisas nos últimos anos. O sucesso da aplicação do PET deve-se a sua baixa densidade, alta tenacidade e resistência ao impacto, além de sua resistência a abrasão (SATAPATHY, 2008); resistência química, propriedades de barreira a gases, capacidade de processamento, brilho e estabilidade térmica (AWAJA & PAVEL *et al.*, 2005).

O polietileno tereftalato (PET), por ser polimérico, é um material extremamente prejudicial à natureza quando descartado de forma incorreta. Nesse contexto, o processo de reciclagem e o uso destes resíduos na confecção de novos materiais é uma alternativa para amenizar o impacto ambiental causado por esse polímero (FONSECA, T. G. *et al.*, 2014; RODRIGUES *et al.*, 2017).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os compósitos estudados neste trabalho foram utilizados como reforço o resíduo fibroso do coco babaçu (*Orbignya phalerata*) com adição de polímeros descartados, e como matriz resina à base de ureia-formol. As propriedades, a preparação dos materiais utilizados, os métodos de ensaios utilizados na avaliação dos materiais e dos compósitos são apresentados neste tópico.

### 4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação do material compósito neste trabalho foram:

#### 4.1.1. Reforço

As fibras do epicarpo do coco babaçu (*Orbignya phalerata*) utilizadas como reforço na fabricação dos painéis experimentais foram fornecidas pela Empresa TOBASA Bioindustrial de Babaçu S/A, no município de Tocantinópolis – TO.

Os resíduos recicláveis poliméricos foram os polímeros: Polipropileno (PP) em forma de copos descartáveis e o Poli-tereftalato de etileno (PET) de garrafas de refrigerantes sem coloração.

#### 4.1.2. Matriz: Resina Ureia-Formaldeído

A resina utilizada como matriz foi a Redemite, da empresa Redelease. A Redemite é um adesivo líquido, de cor branca, viscoso, de cheiro forte e a base de resina uréia formaldeído. A Redemite vem acompanhada de um catalisador chamado de “endurecedor G”, que tem a função de acelerar o endurecimento da resina. É um produto na forma de cristais granulados de cor branca, empregado como endurecedor de reação de ação direta. Foram utilizados neste experimento 10Kg desta resina (Figura 5).

Figura 5: Resina Redemite e endurecedor G



Fonte: Fotos da autora (2019).

A Tabela 2 apresenta as características gerais da Redemite e do Endurecedor G:

Tabela 2: Características gerais da resina e do endurecedor G

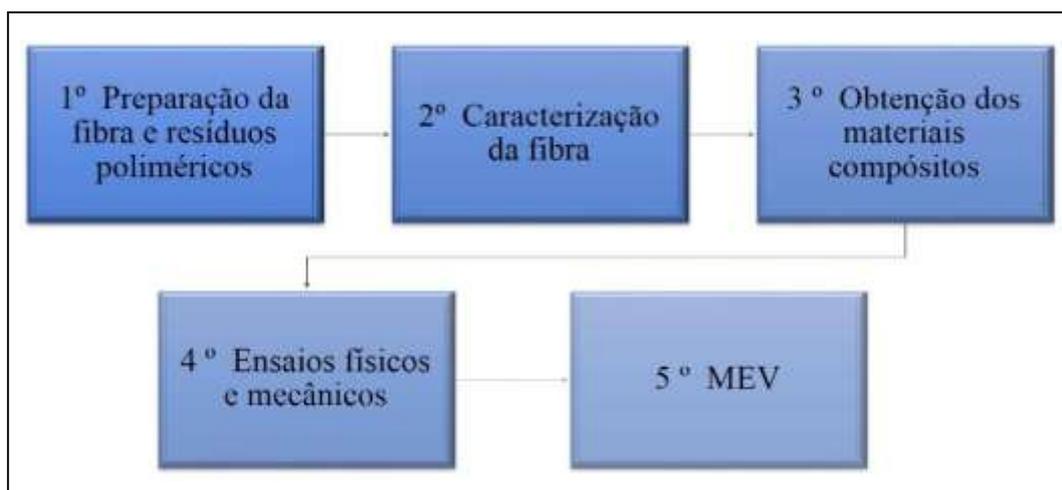
<b>Redemite</b>	
Viscosidade Brookfield a 25° C	400 a 1000 cPs
Ph a 25° C	7,5 a 8,2
Tempo de gel a 21° C	27 a 70 minutos
Teor de sólidos a 105° C por 3 H	64 %
Densidade a 25° C	1,289 g/cm <sup>3</sup>
Teor de formol livre	2,5 %
<b>Endurecedor G</b>	
Teor de sulfato de amônio	97 %
Umidade Karl Fischer	0,5 %

Fonte: Redelease (2018).

## 4.2 Métodos

O esquema apresentado na Figura 6 exemplifica as etapas adotadas na metodologia, para confecção e avaliação do compósito reforçado com o epicarpo do coco babaçu.

Figura 6: Etapas da metodologia de confecção dos compósitos



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 4.2.1. Preparação da fibra e resíduos poliméricos

#### 4.2.1.1 Lavagem

Inicialmente, o epicarpo do coco babaçu foi lavado com água corrente para remoção de impurezas e resíduos grosseiros, até que a água de lavagem tornou-se translúcida. Em seguida, foi disposto para secagem natural por 48 horas, em temperatura ambiente. Do mesmo modo os resíduos poliméricos descartados de garrafa PET e PP foram lavados para limpeza de resíduos grosseiros, e posteriormente secos ao ar livre por 48 horas.

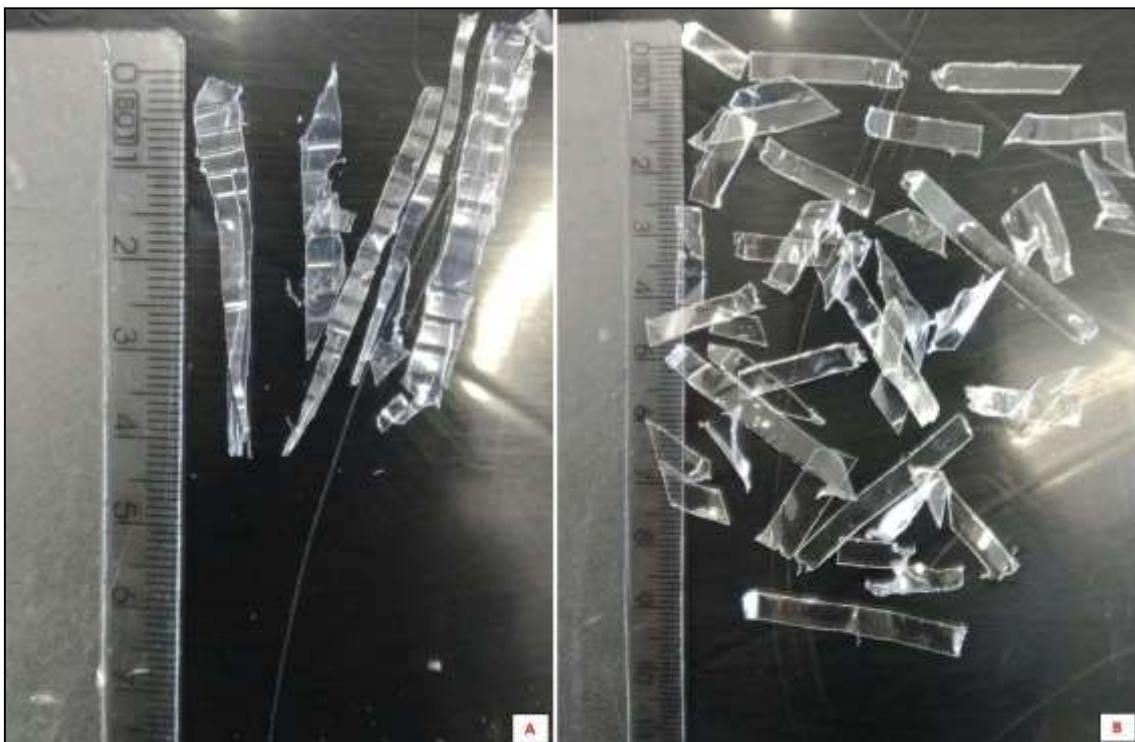
#### 4.2.1.2 Trituração

As fibras do epicarpo do babaçu naturalmente possuem a casca mais dura e mais grossa, por isso foram trituradas em um triturador de resíduos orgânicos para quebra desta

casca e depois em liquidificador doméstico, de modo a se obter fibras com os menores tamanhos.

Os resíduos de plásticos foram levados a máquina de picotar papel para se alcançar partículas menores e posteriormente em liquidificador comum, de modo a obter partes com os menores tamanhos (Figura 7).

Figura 7: Resíduos poliméricos: PP (A) e PET (B)



Fonte: Fotos da autora (2019).

#### 4.2.1.3 Peneiramento

Após a etapa de trituração as fibras passaram por uma Máquina Agitadora de Peneiras WS Tyler RX 29 (Figura 8), acoplada à peneira de granulometria de 2mm (10 mesh), do Laboratório de Materiais de Construção Civil, Faculdade Católica do Tocantins, Palmas-TO.

As fibras obtidas após peneiramento são mostradas na Figura 9, esse processo se faz necessário para homogeneização das fibras e melhor incorporação do reforço na matriz dos compósitos.

Figura 8: Peneiramento das fibras no agitador de peneiras



Fonte: Fotos da autora (2019).

Figura 9: Fibras do epicarpo do babaçu: antes (A) e após (B) trituração e peneiramento



Fonte: Fotos da autora (2019).

#### 4.2.2 Caracterização da fibra do epicarpo do babaçu

Os parâmetros analisados para caracterização das fibras do epicarpo do coco babaçu, foram: umidade e teor de cinzas. As metodologias empregadas estão de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (1985), e são descritas a seguir.

##### A. Determinação da umidade da fibra

Para determinação do teor de umidade no epicarpo do coco babaçu foram utilizadas dez amostras, inicialmente pesadas em balança semi-analítica para obtenção da massa inicial do resíduo ( $M_i$ ). Após secagem em estufa a uma temperatura de 103°C durante 4h, foram resfriadas em dessecador e novamente pesadas. Este processo é repetido até que se atinja massa constante entre pesagens sucessivas para obtenção do peso final do resíduo ( $M_f$ ) (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). Por subtração obtêm-se as massas de umidade perdida em cada amostra, como mostra a Equação 1.

$$Mu = M_i - M_f \quad (1)$$

Onde:

$Mu$ : massa de umidade perdida na secagem (g);

$M_i$ : massa inicial de resíduo (g);

$M_f$ : massa final de resíduo (g).

O teor médio de umidade é obtido por meio da média aritmética das 10 amostras analisadas.

$$u = \frac{Mu}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$u$ : teor de umidade do resíduo (%);

$Mu$ : massa de umidade perdida na secagem (g);

$M_i$ : massa inicial de resíduo (g).

## B. Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas presente em uma amostra representa a matéria inorgânica que permanece nesta após ser submetida a um processo de incineração, queima do material orgânico. O método de determinação de cinzas consiste na queima da amostra em mufla utilizando temperaturas entre 550°C e 570°C por tempos pré-determinados (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

Inicialmente 30g da amostra foram colocadas em 10 cadinhos, para obtenção da média aritmética. Os cadinhos vazios foram previamente aquecidos em mufla até que fossem queimados todos os resíduos que possam estar presentes em seu interior e depois resfriados em dessecador. Em seguida os cadinhos com as amostras foram pesados em balança semi-analítica para obtenção da massa inicial da amostra ( $M_i$ ), depois levados à mufla, a 550°C por um período de 4 horas e então resfriados em dessecador e pesados para obtenção da massa das cinzas ( $M_f$ ). O teor de cinzas das amostras foi determinado pela diferença entre as massas inicial e final, de acordo com a Equação 3.

$$T_{cinzas} = \frac{100 \times M_f}{M_t} \quad (3)$$

Onde:

$T$ : teor de cinzas (%);

$M_f$ : massa das cinzas (g);

$M_i$ : massa da amostra (g).

### 4.2.3 Confeccção do material compósito

Neste experimento foram confeccionados materiais compósitos a partir de resina a base de ureia-formol, reforçados com fibra do epicarpo do coco babaçu e resíduos plásticos de copos descartáveis de PP ou garrafas PET.

#### A. Mistura dos componentes

Foi utilizada uma batedeira doméstica para a mistura dos componentes da Redemite, adicionando-se resina, trigo, água e endurecedor G, em proporções (partes por

peso) de acordo com a recomendação do manual do fabricante. O manuseio deste produto deve ser acompanhado de uso de equipamentos de proteção individual, pois pode provocar efeitos nocivos à saúde humana.

A homogeneização dos resíduos plásticos, fibras de babaçu e resina preparada foi realizada de forma manual, com utilização de luvas. Os compósitos foram confeccionados por processo de prensagem fixando-se a grandeza de 10% para o resíduo plástico (PP ou PET) e adicionando 20%, 40% e 60% de resina, calculadas em função do volume de fibras.

## B. Prensagem

Para a obtenção dos compósitos submeteu-se a mistura ao processo de moldagem utilizando uma prensa Hidropneumática, marca NOWAK, do Laboratório de Materiais Compósitos, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Palmas (Figura 10). Em um molde metálico com dimensões internas de 200mm x 200mm x 30mm, o material foi prensado sob ação de 3 toneladas em intervalo de tempo de 30 minutos. Posteriormente, os corpos de prova confeccionados foram cortados, com o auxílio de uma serra, de acordo com as dimensões especificadas pelas normas para cada ensaio.

Figura 10: Prensa Nowak utilizada para moldagem dos compósitos



Fonte: Fotos da autora (2019).

#### 4.2.4 Delineamento Experimental

O experimento utiliza como reforço principal a fibra do epicarpo do babaçu combinado com 2 tipos de resíduos poliméricos em matriz de resina UF em 3 proporções, totalizando 6 tratamentos. No Quadro 1 encontra-se a nomenclatura adotada para cada tratamento. A amostra testemunha constituída por resina pura foi chamada de Branco (BB).

Quadro 1: Delineamento Experimental

<b>Tipo de Resíduo Polimérico</b>	<b>Volume de Resina (%)</b>	<b>Corpo de prova (CP)</b>
NENHUM	100	BB
PP	20	PP20%
	40	PP40%
	60	PP60%
PET	20	PET20%
	40	PET40%
	60	PET60%

Fonte: A autora (2019).

O delineamento experimental utilizado foi o experimento fatorial. Para análise estatística dos resultados foi realizado o teste de normalidade (Teste ShapiroWilk, a 5% de significância), e para melhor ajustamento dos dados optou-se pela opção de transformação dos dados pela equação raiz quadrada:  $Y + 1.0 - \text{SQRT}(Y + 1.0)$ , exceto para a ANOVA do fator densidade. Posteriormente, feito a análise de variância (ANOVA) e em seguida foi aplicado o Teste de *Tukey* para determinar quais médias de tratamentos diferenciavam entre si. Para isso foi utilizado o software SISVAR Versão 5.6.

#### 4.2.5 Determinação das propriedades do compósito

Para os compósitos com fibras naturais alguns aspectos físicos devem ser observados pois, podem agregar características não desejáveis no material tornando-os

frágeis. As propriedades mecânicas são avaliadas com o objetivo de verificar a complexidade da interação entre reforço e a matriz.

Os compósitos foram caracterizados em suas propriedades físicas quanto a densidade, umidade, absorção de água e inchamento em espessura; e mecânicas quanto a Resistência à Compressão e Resistência à Flexão. As especificações sobre os ensaios de acordo com cada norma, está apresentada no Quadro 2.

Quadro 2: Especificações para os ensaios físicos e mecânicos dos compósitos confeccionados

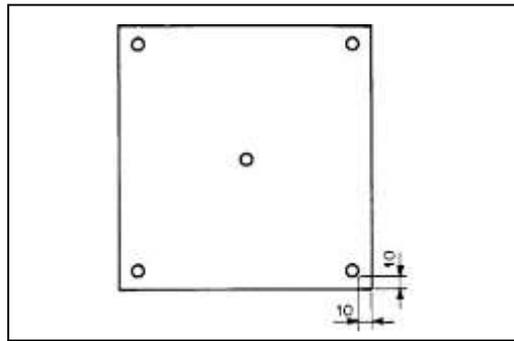
<b>Propriedades</b>	<b>Norma utilizada</b>	<b>Dimensões CP</b>	<b>Repetições</b>
Densidade	ABNT NBR 14810-3 (2013c)	50 mm x 50 mm	10
Umidade	ABNT NBR 14810-3 (2013c)	50 mm x 50 mm	10
Absorção de Água	ABNT NBR 14810-3 (2013c)	25 mm x 25 mm	10
Inchamento em Espessura	ABNT NBR 14810-3 (2013c)	25 mm x 25 mm	10
Resistência à Flexão	ASTM D1037 (2012)	195 mm x 51 mm	6
Resistência à Compressão	ASTM D1037 (2012)	200 mm x 102 mm	5

Fonte: A autora (2019).

#### A. Determinação da Densidade

A determinação da densidade dos compósitos foi realizada de acordo com a Norma ABNT NBR 14810-3 (2013c). Para calcular a densidade básica, foi necessário a determinar, com o auxílio de um paquímetro de precisão 0,05mm, as dimensões de largura, comprimento e espessura. Para definir a espessura dos corpos-de-prova a mesma deve ser medida em cinco pontos, como mostra a Figura 11.

Figura 11: Pontos de medição no corpo de prova



Fonte: ABNT (2013c).

Após a medição da espessura nestes pontos realiza-se a média aritmética dos mesmos, obtendo o valor “E” a ser utilizado na Equação 3. O peso das amostras foi aferido em balança semianalítica marca Shimadzu modelo AY220, Figura 12.

Figura 12: Determinação do peso das amostras de densidade



Fonte: Fotos da autora (2019).

Para determinar o volume do corpo de prova foi utilizada a Equação 3.

$$V = L \times C \times E \quad (3)$$

Onde:

*V*: volume do corpo de prova (cm);

*L*: largura do corpo de prova (cm);

*C*: comprimento do corpo de prova (cm);

*E*: média da espessura do corpo de prova (cm).

E para determinar a densidade foi utilizada a seguinte Equação 4.

$$\rho = \frac{m}{v} \times 1000 \quad (4)$$

Onde:

$\rho$ : densidade do corpo de prova (g/cm<sup>3</sup>);

*m*: massa do corpo de prova (g);

*v*: volume do corpo de prova (cm<sup>3</sup>).

#### B. Determinação da Umidade

Para a determinação da umidade dos compósitos os corpos de prova foram secos em estufa a 103 ± 2 °C durante um período de 4 horas, de acordo com a Norma ABNT NBR 14810-3 (2013c). O cálculo da porcentagem do teor de umidade, utiliza-se a seguinte equação:

$$U = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

*U*: umidade residual do corpo-de-prova (%);

*MU*: massa úmida do corpo-de-prova (g);

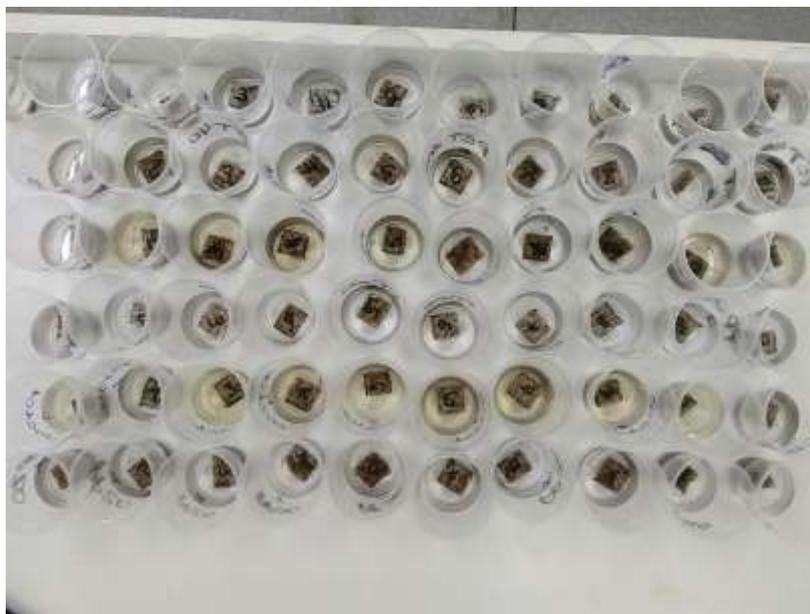
*MS*: massa seca do corpo-de-prova (g).

#### C. Determinação da Absorção d'água

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de absorção de água, segundo a Norma ABNT NBR 14810-3 (2013c). Os corpos de prova são inicialmente pesados com

a designação de massa inicial ( $M_0$ ). As amostras foram imersas em água destilada durante 2 horas e 24 horas a 20°C. Em seguida, removida a água da superfície com cuidado volta-se a pesar de forma a saber qual a massa final ( $M_1$ ). Conforme mostrado na Figura 13

Figura 13: Ensaio de Absorção de Água, 2h e 24 h



Fonte: Fotos da autora (2019).

O valor é calculado pela seguinte Equação 6:

$$AA = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

*AA*: absorção de água pelo corpo de prova (%);

*M<sub>1</sub>*: massa do corpo de prova após o período de imersão (g);

*M<sub>0</sub>*: massa do corpo de prova antes da imersão (g).

#### D. Determinação do Inchamento em espessura

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de Inchamento em espessura, segundo a Norma ABNT 14810-3 NBR (2013c). Os corpos de prova são inicialmente medidos com a designação de espessura inicial ( $E_0$ ). As amostras foram imersas em água

destilada durante 2 horas e 24 horas a 20°C. Em seguida, removida a água da superfície com cuidado volta-se a medir a espessura final (E1). O valor é calculado pela Equação 7:

$$IE = \frac{E1-E0}{E0} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

*IE: Inchamento em espessura do corpo de prova (%);*

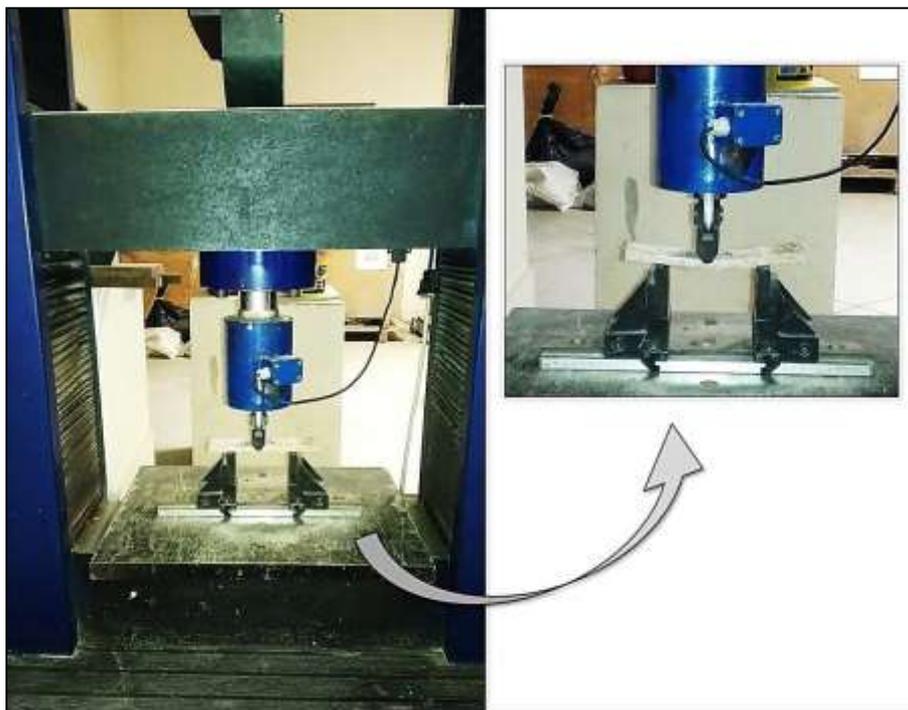
*E1: Inchamento em espessura do corpo de prova após período de imersão (mm);*

*E0: Inchamento em espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).*

#### E. Ensaio de Flexão

O ensaio mecânico de flexão foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas, do Departamento do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP-ULBRA, utilizando a Máquina Universal de Ensaio-EMIC DL 30000, conforme ilustrado na Figura 14. O EMIC é conectado a um computador no qual as informações são lidas por meio do Software Tesc versão 1.1.

Figura 14: Ensaio de Flexão, Máquina EMIC DL 30000



Fonte: Fotos da autora (2019).

Para realização do ensaio de flexão foi utilizada a norma ASTM D1037 (2012) - Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. As extremidades do corpo de prova ficam posicionadas sobre dois apoios da máquina universal de ensaios - EMIC, de modo a aplicar a carga sobre o centro do corpo de prova. O resultado da carga de ruptura é dado por meio do Software Tesc versão 1.1, assim o Módulo de Ruptura foi calculado pela seguinte equação 8.

$$MOR = \frac{1,5 \times P \times D}{B \times E^2} \quad (8)$$

Onde:

*MOR*: módulo de ruptura (MPa);

*P*: carga de ruptura (N);

*D*: distância entre os apoios do aparelho (mm);

*B*: largura do corpo de prova (mm);

*E*: espessura média do corpo de prova (mm).

E o módulo de elasticidade é calculado a partir da Equação 9:

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times E^3} \quad (9)$$

Onde:

*MOE*: módulo de elasticidade (MPa)

*P1*: carga no limite proporcional (N)

*D*: distância entre os apoios do aparelho (mm)

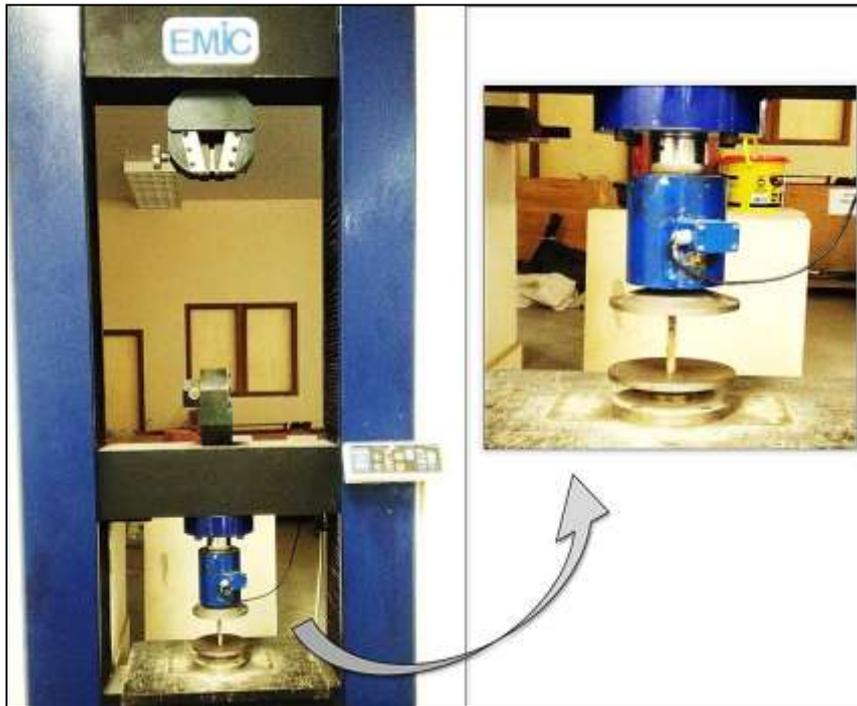
*d*: deflexão correspondente à carga *P1* (mm)

*E*: espessura média do corpo de prova (mm)

## F. Ensaio de Compressão

O ensaio mecânico de compressão foi realizado na mesma máquina do ensaio de flexão, Máquina Universal de Ensaio- EMIC DL 30000, alterando-se apenas o cabeçote de encaixe para o corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15: Ensaio de Compressão, Máquina EMIC DL 30000



Fonte: Fotos da autora (2019).

A norma empregada para a realização deste ensaio é a ASTM D1037 (2012) – Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. O resultado da carga máxima de compressão é dado por meio do Software Tesc versão 1.1. A resistência à compressão foi calculada pela Equação 9:

$$R_c = \frac{P_{max}}{b \times d} \quad (9)$$

Onde:

*R<sub>c</sub>*: Resistência à compressão (MPa)

*P<sub>max</sub>*: carga máxima (N)

*b*: largura do corpo de prova (mm)

*d*: Espessura do corpo de prova (mm)

#### 4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na microscopia eletrônica de varredura as características de interesse observadas foram a superfície dos materiais e adesão fibra-matriz do compósito. Para a análise morfológica foram submetidas a microscopia amostras de:

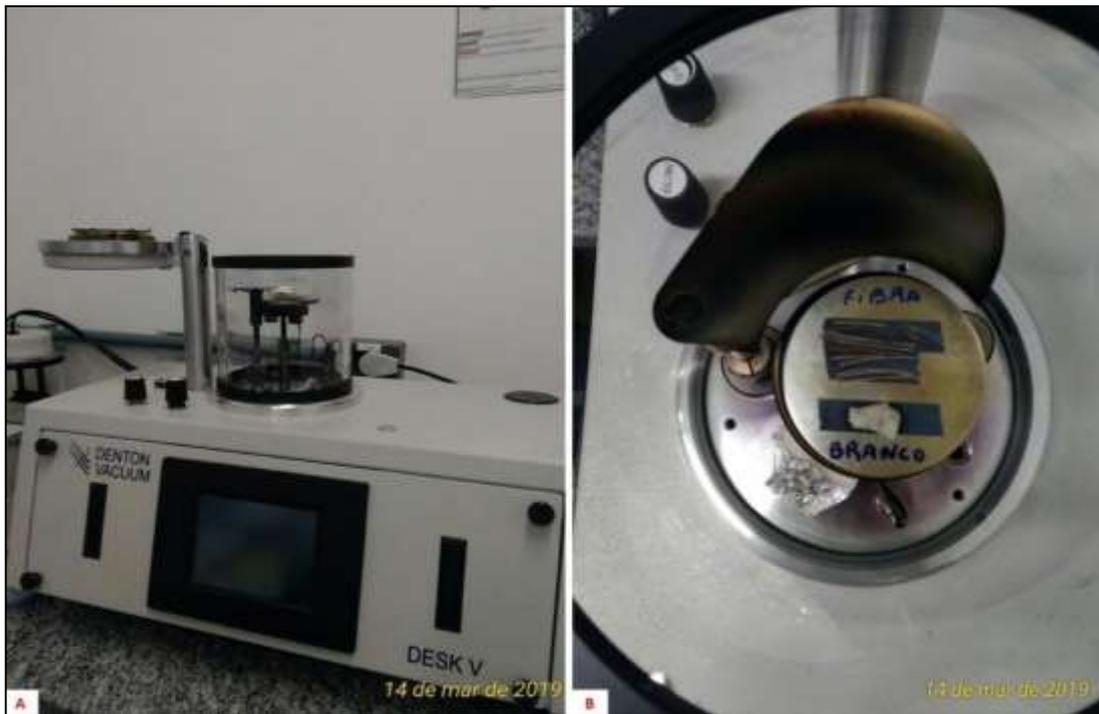
- ✓ Fibras do epicarpo de babaçu *in natura*, após secagem em estufa por 4 horas em 60 °C;
- ✓ Corpo de prova branco após cura (somente resina), depois de secagem em estufa por 4 horas em 60 °C;
- ✓ Os compósitos após a ruptura mecânica, nos 6 (seis) tratamentos.

Na preparação das amostras para microanálise, as amostras são revestidas com um banho de ouro, no equipamento Denton Vacuum Desk V, do Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução (LabMic), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiania-GO (Figura 16).

Inicialmente as amostras selecionadas possuíam uma superfície com medidas 10mm x 20mm. Porém, durante a preparação das amostras foi necessário diminuir ainda mais o tamanho, devido serem muito porosas e o equipamento a vácuo não conseguir concluir o processo. Apesar disso, foi possível realizar o ensaio MEV das amostras.

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada no Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução (LabMic), Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiania-GO. No equipamento Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Jeol JSM – 6610, equipado com EDS (Figura 17).

Figura 16: Preparação das amostras, equipamento Denton Vacuum Desk V



Fonte: Fotos da autora (2019).

Figura 17: Microscópio Eletrônico de Varredura, Jeol JSM – 6610



Fonte: Fotos da autora (2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização da fibra do epicarpo do babaçu

Os ensaios de caracterização das fibras do epicarpo de babaçu são: teor de umidade, teor de cinzas e microscopia eletrônica de varredura. Na Tabela 3 têm-se os valores de umidade e teor de cinzas, encontrado no resíduo agroenergético da fibra do epicarpo de babaçu na granulometria estudada (2 mm).

Tabela 3: Teor de umidade e teor de cinzas da fibra do babaçu *in natura*

<b>Amostra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Teor de Cinzas (%)</b>
1	11.20	6.48
2	7.34	3.31
3	7.16	5.80
4	7.16	6.04
5	7.24	6.30
6	7.07	5.82
7	7.66	6.76
8	7.47	3.60
9	8.86	3.99
10	8.09	8.95
<b>Média</b>	<b>7.93</b>	<b>5.70</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>±1,28</b>	<b>±1.70</b>

Fonte: A autora (2019).

Como pode ser verificado a média obtida foi de 7,93% de umidade, com desvio de padrão de  $\pm 1,28\%$ , sendo que o menor valor foi de 7,07% e o maior de 11,2%. O teor de cinzas representa a matéria inorgânica da fibra, a média obtida para foi de 5,7%.

A presença de umidade na fibra lignocelulósica traz dificuldades no processamento do compósito, provocando uma série de defeitos superficiais no produto final (FONTELES, 2013). As fibras lignocelulósicas tendem a absorver umidade e com isso gerar a formação de vapores durante o processamento e gerar porosidade no

compósito. Campos & Lahr (2004) recomendam teores de umidade normalmente entre 5% e 20%. Nascimento (2002) recomenda que o teor de umidade para produção de chapas de madeira, deve ser entre 3% e 12%, pois essa umidade permite uma boa penetração de colagem da matriz.

A Tabela 4 a seguir apresenta valores encontrados na literatura, de umidade e densidade de fibras naturais utilizadas como reforços em matérias compósitos.

Tabela 4: Valores de umidade e densidade de fibras naturais

<b>Autor</b>	<b>Tipo de fibra</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Cinzas (%)</b>
<i>Presente trabalho</i>	<i>Epicarpo de babaçu</i>	<i>7,93</i>	<i>5,70</i>
Azevedo & Paiva (2015)	Epicarpo de babaçu	15,74	-
Fonteles (2013)	Epicarpo de babaçu	6,53	1,3
Franco (2010)	Epicarpo de babaçu	6	1,0
Teixeira (2002)	Epicarpo de babaçu	21,47	2,22
Lemos (2017)	Babaçu	9,49	-
Takada (2014)	Palha de cana de açúcar	5,80	10,09

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os valores obtidos neste trabalho apresentam-se dentro dos padrões dos valores de umidade e cinzas encontrados na literatura.

## **5.2 Propriedades físicas dos compósitos**

O material compósito prensado apresentou espessura média de 10 mm, aproximadamente (Figura 18). As propriedades físicas avaliadas nos materiais compósitos foram: densidade, umidade, inchamento em espessura e absorção de água.

Figura 18: Compósitos após prensa em molde metálico



Fonte: Fotos da autora (2019).

### 5.2.1 Umidade

Conforme a Norma ABNT NBR 14.810-2 (2013), para comercialização, o teor médio de umidade de chapas de madeira aglomerada deve estar entre 5 e 11%. A Tabela 5 contém os valores médios do teor de umidade (%) dos compósitos produzidos, para cada tratamento.

Tabela 5: Média do teor de umidade dos compósitos, por tratamento

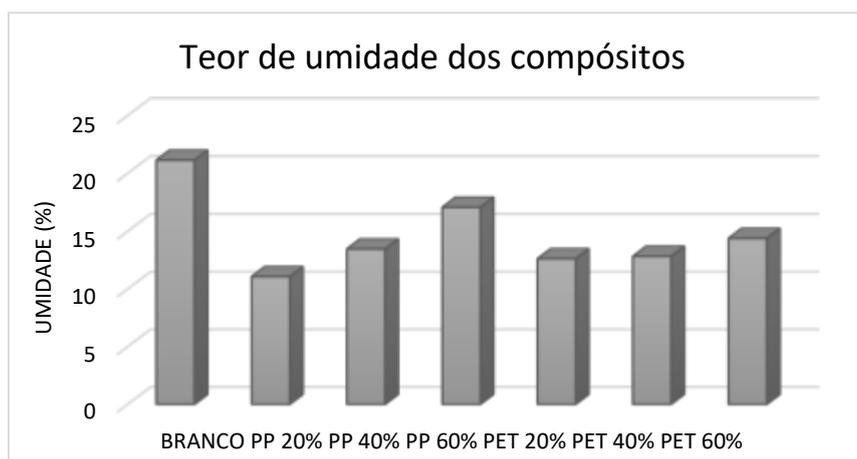
<b>Tratamento</b>	<b>Umidade (%)</b>
BB	21.14
PP20%	11.07
PP40%	13.47
PP60%	17.07
PET20%	11.36
PET40%	12.83
PET60%	14.38

Fonte: A autora (2019).

A média do teor de umidade para o material compósito BB é de 21,14%. Os materiais compósitos com adição do polímero PP: PP20, PP40 e PP60 obtiveram média de 11,07%, 13,47% e 17,07%, respectivamente. Os materiais compósitos com adição do polímero PET: PET20%, PET40% e PET60%, obtiveram média de umidade de 11,36%, 12,83% e 14,38%, respectivamente. A Figura 19 apresenta o gráfico com os valores médios do teor de umidade (%) dos compósitos produzidos para cada tratamento.

Considerando o desvio padrão para os valores médios de umidade os materiais dos compósitos PP20% e PET20%, são os únicos que atendem a Norma ABNT NBR 14.810-2 (2013). Nota-se que tais compósitos são os que possuem menor concentração de resina em sua formação.

Figura 19: Média do teor de umidade dos compósitos, por tratamento



Fonte: A autora (2019).

Para Dunkym (1998), o teor ótimo de umidade satisfatório das partículas coladas é 6 - 7% no núcleo e 11 - 13% em superfície do aglomerado. O teor de umidade deve ser ajustado a fim de não exceder um determinado nível de umidade no aglomerado total, o que causaria problemas com eliminação de vapor e até bolhas de vapor no painel final. Fiorelli *et al.* (2011), ressalta que a aplicação de impermeabilizantes como adesivos ou parafinas pode diminuir a absorção de moléculas de água, otimizando o desempenho físico de painéis particulados, por bloquear parcialmente os sítios de adsorção.

A Tabela 6 traz a ANOVA para o fator teor de umidade dos materiais compósitos produzidos de fibra do epicarpo de babaçu.

Tabela 6: Análise de Variância para o teor de umidade.

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>
Resina	3	4,847594	263,560
Plástico	1	0,045128	2,454
Interação	3	0,248647	13,519 *
Erro	72	0,018393	
Total corrigido	79		

CV (%) = 3.36

Nota: Em que CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; FV – Fonte de variação; QM – Quadrado médio; F – tabelado, • - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns - não significativo ( $p \geq .05$ )

Verifica-se, pelo teste F, que houve diferença significativa ao nível de 5% de significância para a interação plástico-resina. Assim, estes dados médios foram submetidos ao teste de *Tukey* e os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7: Médias de umidade dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

<b>Umidade (%)</b>	<b>100%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
PP	21,14 Aa	11,07 Bd	13,47 Ac	17,06 Ab
PET	21,14 Aa	11,36 Ac	12,82 Ac	14,38 Bb

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina (coluna), tem-se variações significativas nos materiais compósitos com 20% de resina e 60% de resina. Conclui-se que, para esses tratamentos houve diferença significativa de umidade com a introdução de polímeros nos materiais compósitos.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), tem-se variações significativas no teor de umidade entre os materiais compósitos com PP. Estes diferenciaram-se entre si, com o aumento da concentração de resina UF. Os compósitos PET20% e PET40% são estatisticamente iguais em teor de umidade. Houve diferença significativa no teor de umidade para os compósitos PET60% e BB.

Segundo Dunkym (1998) quanto menor a porcentagem de adesivo usado na madeira, menor será essa quantidade de água aplicada ao aglomerado e menor o teor de umidade das partículas coladas no núcleo. A água adicional é necessária para a mistura da cola. No entanto, a mesma não pode ser substituída por uma umidade das partículas secas do núcleo, porque esta água deve estar disponível a curto prazo unicamente para induzir um forte efeito de choque a vapor.

A capacidade limitada do Resina UF para resistir à umidade é causada pela fragilidade do adesivo, que permite que a resina curada rache e permita a penetração da umidade no produto ligado, e a quebra química nas ligações amino dentro do termofixo curado (DUNKYM, 1998). A presença de umidade pode ocasionar perdas substanciais nas propriedades físicas dos compósitos, se os materiais componentes apresentarem elevados índices de retenção de água (PERELLES *et al.*, 2013).

### 5.2.2 Densidade

A Norma ABNT NBR 14.810-2 (2013), estabelece que a densidade média para chapas de madeira aglomerada deve ser entre 551 e 750 kg/m<sup>3</sup>, para painel MDP, de uso não estrutural em ambientes secos. A média de densidade para o material compósito BB é 1143,5Kg/m<sup>3</sup>. A densidade média para os materiais compósitos produzidos variou de 534.5 Kg/m<sup>3</sup> a 933,7 Kg/m<sup>3</sup>. Apenas o compósito PP20% não atende a norma de referência, como mostra a Tabela 8.

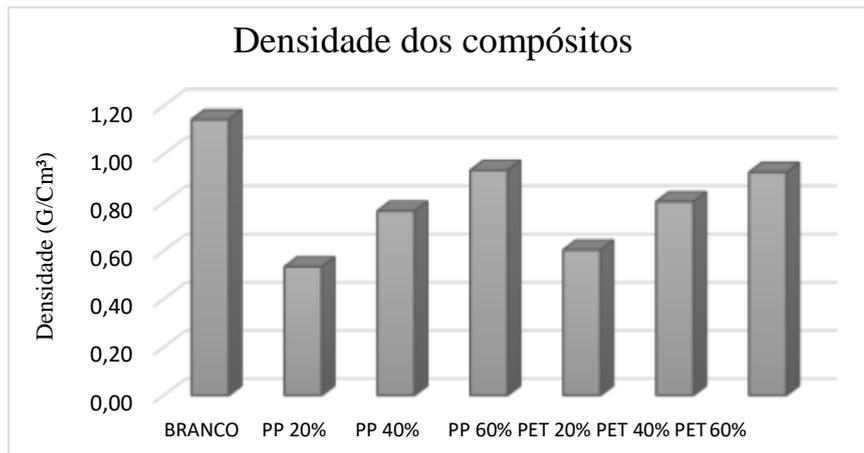
Tabela 8: Densidade média dos compósito, por tratamento

<b>Tratamento</b>	<b>Densidade Média (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
BB	1.1435	1143.5422
PP20%	0.5345	534.5107
PP40%	0.7652	765.2269
PP60%	0.9337	933.7347
PET20%	0.6042	604.2066
PET40%	0.8041	804.1099
PET60%	0.9256	925.6122

Fonte: A autora (2019).

Observa-se que os valores da densidade aumentam a medida que se adiciona quantidade de resina ao compósito. No entanto, para se afirmar se essa diferença de densidade é ou não significativa, é necessário uma análise estatística – ANOVA. A Figura 20 apresenta o gráfico com os valores de densidade para cada tipo de tratamento.

Figura 20: Densidade média dos compósitos, por tratamento



Fonte: A autora (2019).

A Tabela 9 apresenta a ANOVA do fator densidade dos materiais compósitos fabricados com a fibra do epicarpo do babaçu.

Tabela 9: ANOVA da densidade dos compósitos

FV	GL	QM	Fc
Resina	3	357,7256	95,696
Plástico	1	4,3393	1,161
Interação	3	2,2025	0,589*
Erro	72	3,7381	
Total corrigido	79		
CV (%)	6.67		

Nota: Em que CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; FV – Fonte de variação; QM – Quadrado médio; F – tabelado, \* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns - não significativo ( $p \geq .05$ )

O fator de interação entre plásticos e concentração de resina apresentou efeito significativo pelo teste F para a densidade. Assim sendo, as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10: Médias de densidade dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	100%	20%	40%	60%
PP	1,1435 Aa	0.5345 Ad	0.7652 Ac	0.9337 Ab
PET	1,1435 Aa	0.6042 Ac	0.8041 Ab	0.9256 Ab

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que a densidade não demonstra alteração significativa ao se adicionar um polímero ou outro no compósito, em nenhuma das concentrações. Não houve diferença significativa de densidade com a introdução de polímeros PP ou PET nos materiais compósitos.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), houve variações significativas de densidade, entre os materiais compósitos com PP. Todos estes diferenciaram-se entre si com o aumento da concentração de resina UF, aumentando a densidade dos compósitos.

Os compósitos com PET40% e PET60% são estatisticamente iguais em densidade mas, se diferenciam do PET20%. Houve diferença significativa com benefícios para o fator densidade ao se aumentar a concentração de resina UF em 40% e 60%.

A Tabela 11 a seguir apresenta valores de umidade e densidade de materiais compósitos confeccionados com diferentes reforços de fibras naturais, especificando a granulometria da fibra, o tipo de resina utilizada e concentração de resina. Os valores de densidade e umidade dos compósitos obtidos neste trabalho apresentam-se dentro das referências encontradas na literatura.

Em pesquisa de Machado *et al.* (2017b) o painel confeccionado somente com a fibra do epicarpo do coco babaçu obteve 910 Kg/m<sup>3</sup> com apenas 12% de resina à base de óleo de mamona, resultado bem superior ao do presente trabalho com 60% de resina UF. A metodologia também diferenciou-se por não ter adição de resíduos de polímeros, foi prensado à quente (100 °C) e ter sido utilizado partículas da fibra moída, e não com fibras

longas. Ressalta-se que as técnicas utilizadas na produção podem ser determinantes para o desempenho físico dos compósitos.

Tabela 11: Valores de umidade e densidade de compósitos de fibras naturais

<b>Autor</b>	<b>Tipo de fibra</b>	<b>Gran. (mm)</b>	<b>Tipo de Resina</b>	<b>Teor de Resina (%)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Densidade (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b><i>Presente trabalho</i></b>	<b><i>Epi.de babaçu</i></b>	<b><i>&lt; 2</i></b>	<b><i>UF</i></b>	<b><i>20 - 60</i></b>	<b><i>11,07 – 17,07</i></b>	<b><i>534,51 – 933,73</i></b>
Machado et al. (2017a)	Epi. e endo. de babaçu e <i>Pinus</i>	4 < 6	Óleo de mamona	12-15	-	913,22 - 914,20
Machado et al. (2017b)	Epi. e endo.de babaçu	4 < 6	Óleo de mamona	12	-	910-920
Azevedo & Paiva (2015)	Epi. de babaçu e Eucalipto	0,6 < 2	UF	25	9,96-10,26	-
Mendes et al. (2010)	Bagaço de cana e eucalipto	< 6	UF	6 - 12	-	560 - 980
Marinho et al. (2013)	Bambu	0,157 < 2,38	Óleo de mamona	10 - 20	8,8-9,9	850 - 960
Fiorelli et al. (2011)	Bagaço de cana	< 8	Óleo de mamona	10 - 15	-	890 - 930
Takada (2014)	Palha de cana	< 0,595	UF	50 - 90	9,97-12,50	504 – 1200

Nota: Em que Gran. – granulometria, Epi – epicarpo, Endo – endocarpo.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 5.2.3 Absorção de Água

A absorção de água (AA) é o aumento da massa em água que um corpo de prova apresenta, segundo a Norma ABNT NBR 14.810-2 (2013). A Tabela 12 apresenta os valores médios de AA, em percentagem, para os compósitos de fibra de epicarpo de babaçu, após intervalo de tempo de 2 horas e 4 horas.

A absorção de água em 2 horas variou de 16,8% a 53,2% nos materiais compósitos. Já absorção de água em 24 horas variou de 21,6% a 45,2%. Observa-se que a AA, para 2h e 24 h, é menor nos tratamentos com maior concentração de resina no compósito pois, o preenchimento com resina diminui a porosidade do painel e aumenta sua densidade.

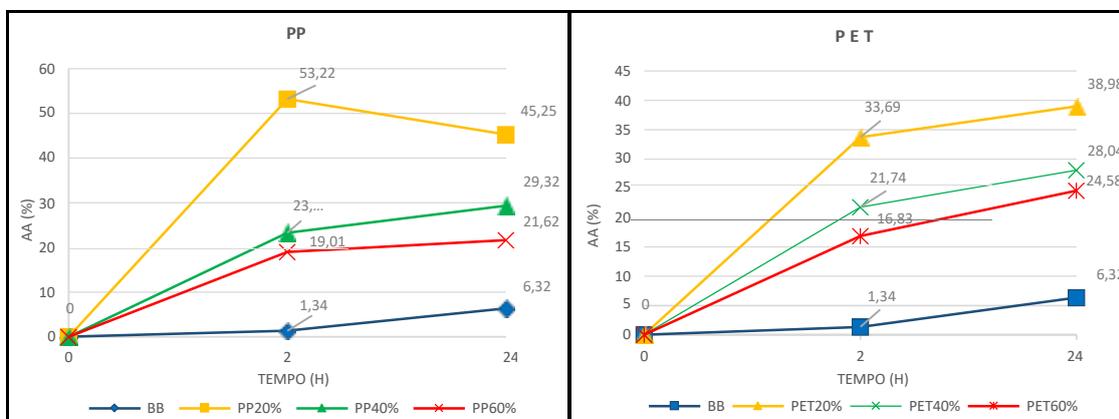
Tabela 12: Absorção de água dos compósitos em 2h e 24, por tratamento

Tratamento	AA 2h (%)	AA 24h (%)
BB	1.34	6.32
PP 20%	53.22	45.25
PP 40%	23.24	29.32
PP 60%	19.01	21.62
PET 20%	33.69	38.98
PET 40%	21.74	28.04
PET 60%	16.83	24.58

Fonte: A autora (2019).

O percentual de acréscimo sobre a absorção de água do período de 2h para 24h foi de: 6,08% para o material PP40%; 2,61% para o material PP60%; 5,29% para o material PET20%; 6,3% para o material PET40%; e 7,75% para o material PET60%. O material PP20% apresentou decréscimo de -7,97%, sugerindo que possa ter ocorrido erro experimental durante calibragem da balança semi-analítica (Figura 21).

Figura 21: Acréscimo na absorção de água em 2H e 24H, por tratamento



Fonte: A autora (2019).

A absorção de água em polímeros é avaliada pela absorção de umidade, resultando no aumento das dimensões da peça, o que prejudica sua aplicação em trabalhos de precisão. A variação do teor de umidade pode provocar uma rede de microfaturas na superfície dos compósitos que pode alterar suas propriedades mecânicas (MULINARI, 2009). Além disso, os efeitos resultantes podem contribuir para a perda de compatibilização entre as fibras e a matriz, o que pode provocar enfraquecimento da adesão interfacial (CALEGARI & OLIVEIRA, 2016).

A Tabela 13 apresenta a ANOVA do fator AA, em 2 horas e 24 horas, dos materiais compósitos fabricados com a fibra do epicarpo do babaçu.

Tabela 13: ANOVA da absorção de água dos compósitos, 2h e 24 h

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM (AA 2h)</b>	<b>Fc (AA 2h)</b>	<b>QM (AA 24h)</b>	<b>Fc (AA 24h)</b>
Resina	3	88,505282	584,547	52,114985	499,973
Plástico	1	4,219768	27,870	0,089879	0,862
Interação	3	2,196043	14,504*	0,529420	5,079*
Erro	72	0,151408		0,104236	
Total corrigido	79				

CV (%) AA 2h = 9,00

CV (%) AA 24h = 6,59

Nota: Em que CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; FV – Fonte de variação; QM – Quadrado médio; F – tabelado, \* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns - não significativo ( $p \geq .05$ )

O fator de interação entre plásticos e concentração de resina apresentou efeito significativo pelo teste F. As médias de AA, em 2 horas, foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14: Médias de AA (2 H) dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

<b>AA 2h (%)</b>	<b>100%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
PP	1,34 Ad	53,22 Aa	23,24 Ab	19,01 Ac
PET	1,34 Ad	33,69 Ba	21,74 Ab	16,83 Ac

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que a Absorção de Água (2h) demonstrou diferença significativa apenas para a concentração de 20% de resina UF. Não houve diferença significativa de AA (2h) com a introdução de polímeros PP ou PET nos materiais compósitos, para as concentrações de 40% e 60% de resina UF.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero(linha), houve variações significativas de AA (2h), entre os materiais compósitos com PP. Os materiais compósitos PP20%, PP40% e PP60%, diferenciaram-se entre si com o aumento da concentração de resina UF, diminuindo a absorção de água (2h) nos compósitos. Houve variações significativas de AA (2h), entre os materiais compósitos com PET. Os materiais compósitos PET20%, PET40% e PET60%, diferenciaram-se entre si com o aumento da concentração de resina UF, diminuindo a absorção de água (2h) nos compósitos.

As médias de Absorção de Água, em 24 horas, foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser observados na Tabela 15.

Tabela 15: Médias de AA (24 H) dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

AA 24H (%)	100%	20%	40%	60%
PP	6,32 Ad	45,25 Aa	29,31 Ab	21,61 Bc
PET	6,32 Ac	38,97 Ba	28,04 Ab	24,57 Ab

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que a Absorção de Água (24h) demonstrou diferença significativa para as concentrações de 20% e 60% de resina UF. Não houve diferença significativa na AA (24h) com a introdução de polímeros PP ou PET, nos materiais compósitos com 40% de resina UF.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), houve variações significativas de AA (24h), entre os materiais compósitos com PP. Os materiais compósitos PP20%, PP40% e PP60%, diferenciaram-se entre si com o aumento da concentração de resina UF, diminuindo a absorção de água (24h) nos compósitos.

Houve variações significativas de AA (24h), entre os materiais compósitos PET20% e PET40%, PET20% e PET60%. Os materiais compósitos PET40% e PET60%, não se diferenciaram estatisticamente com o acréscimo de resina UF.

#### 5.2.4 Inchamento em espessura

Inchamento em espessura (IE) corresponde à variação percentual de aumento em espessura que esse corpo de prova apresenta (ABNT, 2013a). A Tabela 16 apresenta os valores médios de IE, em percentagem, após intervalo de tempo de 2 horas e 4 horas, para cada tratamento dos compósitos de fibra de epicarpo de babaçu.

Tabela 16: Média de inchamento em espessura dos compósitos, em 2h e 24

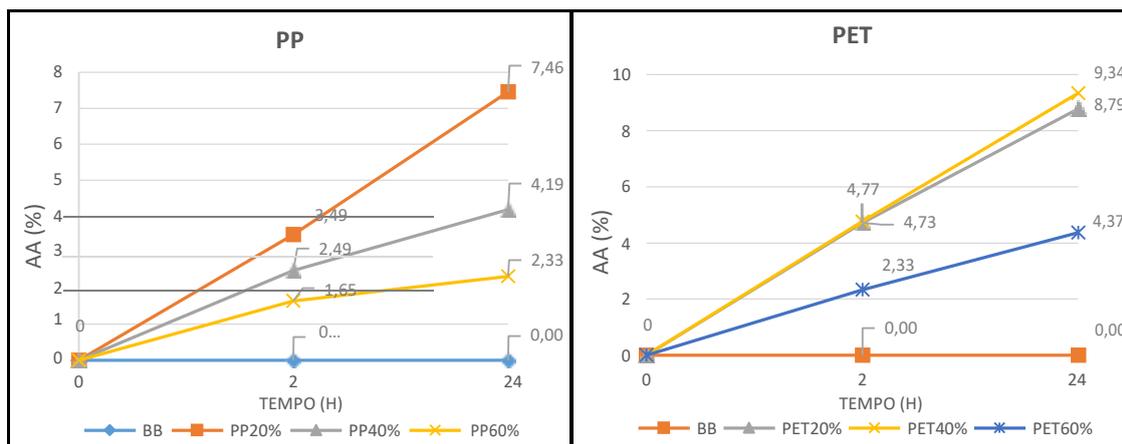
<b>Tratamento</b>	<b>IE 2h (%)</b>	<b>IE 24h (%)</b>
<b>BB</b>	0.00	0.00
<b>PP 20%</b>	3.49	7.46
<b>PP 40%</b>	2.49	4.19
<b>PP 60%</b>	1.65	2.33
<b>PET 20%</b>	4.73	8.79
<b>PET 40%</b>	4.72	9.34
<b>PET 60%</b>	2.33	4.37

Fonte: A autora (2019).

O inchamento em espessura em 2 horas variou de 1,65% a 4,73% nos materiais compósitos. Já o inchamento em espessura em 24 horas variou de 2,33% a 9,342%. A Figura 22 apresenta o gráfico com os valores de IE, em 2h e 24h, para cada tipo de tratamento.

A Figura 22 apresenta o gráfico com os valores de IE, em 2h e 24h, para cada tipo de tratamento. Observa-se que para os materiais compósitos com PP, o inchamento em espessura (2h e 24 h) é inversamente proporcional ao aumento da concentração de resina UF. Para os materiais compósitos com PET, o inchamento em espessura (2h) é inversamente proporcional ao aumento da concentração de resina UF. Porém, oscila em 24h.

Figura 22: Inchamento em espessura, em 2H e 24H, por tratamento



Fonte: A autora (2019).

O percentual de acréscimo sobre o inchamento em espessura do período de 2h para 24h foi de: 3,97% para o material PP20%; 1,7% para o material PP40%; 0,68% para o material PP60%; 4,06 % para o material PET20%; 4,62% para o material PET40%; e 2,04% para o material PET60%.

A Tabela 17 apresenta a ANOVA do fator IE, em 2 horas e 24 horas, dos materiais compósitos fabricados com a fibra do epicarpo do babaçu.

Tabela 17: ANOVA de inchamento em espessura dos compósitos, 2h e 24 h

FV	GL	QM (IE 2h)	Fc (IE 2h)	QM (IE 24h)	Fc (IE 24h)
Resina	3	5,734573	26,975	15,357740	63,898
Plástico	1	1,137631	5,341	3,131289	13,028
Interação	3	0,175193	0,824	0,765711	3,186
Erro	72	0,212588		0,240349	
Total corrigido	79				

CV (%) IE 2h = 26,62

CV (%) IE 24h = 22,61

Nota: Em que: CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; FV – Fonte de variação; QM – Quadrado médio; F – tabelado, • - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns - não significativo ( $p \geq .05$ ).

O fator de interação entre plásticos e concentração de resina apresentou efeito significativo pelo teste F. As médias de inchamento em espessura, em 2 horas, foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18: Médias de IE (2h) dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

<b>IE 2H (%)</b>	<b>100%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
PP	0 Ab	3,49 Aa	2,49 Ba	1,65 Aa
PET	0 Ab	4,73 Aa	4,72 Aab	2,33 Ab

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que o IE (2h) demonstrou diferença significativa apenas para a concentração de 40% de resina UF. Não houve diferença significativa de IE (2h) com a introdução de polímeros PP ou PET nos materiais compósitos, para as concentrações de 20% e 60% de resina UF.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), não houve variações significativas em IE (2h), entre os materiais compósitos com PP. Os materiais compósitos PP20%, PP40% e PP60%, diferenciaram-se entre si com o aumento da concentração de resina UF, contribuindo para menor IE (2h) nos compósitos. Houve variações significativas de IE (2h), entre os materiais compósitos com PET. Os materiais compósitos PET20% e PET60%, diferenciaram-se entre si com o aumento da concentração de resina UF. O PET40% é estatisticamente igual ao PET20% e ao PET60%.

As médias de inchamento em espessura, em 24 horas, foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser observados na Figura 19.

Tabela 19: Médias de IE (24 H) dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

<b>IE 24H (%)</b>	<b>100%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
PP	0 Ac	7,46 Aa	4,19 Bb	2,33 Bb
PET	0 Ac	8,79 Aa	9,34 Aa	4,37 Ab

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de *Tukey* ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna). Houve diferença significativa em IE (24h) com a inserção de polímeros PP ou PET nos materiais compósitos, para as concentrações de 40% e 60% de resina UF.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), houve variações significativas em IE (24h) dos materiais compósitos com PP. Os materiais compósitos PP20% se diferenciaram dos materiais PP40% e PP60%, estes últimos que são estatisticamente iguais em IE (24h). Houve variações significativas de IE (24h), entre os materiais compósitos com PET. Os materiais compósitos PET60% se diferenciaram dos materiais PET20% e PET40%, que são estatisticamente iguais em IE (24h).

A Tabela 20 apresenta valores encontrados na literatura, de AA e IE de materiais compósitos confeccionados com diferentes reforços de fibras naturais.

Tabela 20: Valores de AA e IE de compósitos de fibras naturais

<b>Autor</b>	<b>Tipo de fibra</b>	<b>Gran. (mm)</b>	<b>Tipo de Resina</b>	<b>Teor de Resina (%)</b>	<b>AA 2H (%)</b>	<b>AA 24H (%)</b>	<b>IE 2H (%)</b>	<b>IE 24H (%)</b>
<i>Presente trabalho</i>	<i>Epi.de babaçu</i>	<i>&lt; 2</i>	<i>UF</i>	<i>20 - 60</i>	<i>16,83-53,22</i>	<i>21,62-45,25</i>	<i>1,65-4,73</i>	<i>2,33-9,34</i>
Lima et al. (2006)	Epi.babaçu e pinus	4,37 < 12	UF	2 - 8	77,4-94,48	86,58-105,93	32,10-45,32	37,86-53,40
Machado et al. (2017a)	Epi. e endo. babaçu e pinus	4 < 6	Óleo de mamona	12 - 15	30,99-35,75	75,32-86,34	13,22-15,73	56,07-58,98
Machado et al. (2017b)	Epi. e end. babaçu	4 < 6	Óleo de mamona	12	30,99-35,76	75,32-86,34	13,22-15,73	56,07-58,98
Azevedo & Paiva (2015)	Epi. babaçu e eucalipto	0,60 < 2	UF	25	5,71-15,16	15,60-33,48	2,47-4,30	4,05-10,66
Mendes et al. (2010)	Bagaço de cana e eucalipto	< 6	UF	6 - 12	-	13,33-53,10	5,75-10,89	11,9-22,68
Marinho et al. (2013)	Bambu	0,157 < 2,38	Óleo de mamona	10 - 20	-	12,3-16,3	-	22,9-68,3
Fiorelli et al. (2011)	Bagaço de cana	< 8	Óleo de mamona	10 - 15	-	-	0,31-19,6	19,09-25,07

Nota: Em que Gran – granulometria, Epi – epicarpo, Endo – endocarpo.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os valores obtidos neste trabalho apresentam-se semelhantes aos valores de Absorção de Água e Inchamento em espessura, ao obtido por Azevedo & Paiva (2015) com epicarpo de babaçu e 25% de resina UF.

Os painéis confeccionados com menor teor de resina, seja resina à base de UF ou à base de óleo de mamona, apresentam maior percentual de absorção de água e inchamento em espessura. Isto por que a aplicação de adesivos ou parafinas como impermeabilizantes diminui a absorção de moléculas de água (FIORELLI *et al.*, 2011)

### 5.2.5 Resultados gerais das propriedades físicas

Os resultados de análises físicas iniciais obtidas nas diferentes porcentagens de reforço/matriz encontram-se resumidos na Tabela 21 a seguir.

Tabela 21: Médias obtidas nos ensaios de físicos dos compósitos obtidos

<b>CP</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Densidade (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>IE 2H (%)</b>	<b>IE 24H (%)</b>	<b>AA 2H (%)</b>	<b>AA 24H (%)</b>
BB	21.14	1143.5422	0.00	0.00	1.34	6.32
PP20%	11.07	534.5107	3.49	7.46	53.22	45.25
PP40%	13.47	765.2269	2.49	4.19	23.24	29.32
PP60%	17.07	933.7347	1.65	2.33	19.01	21.62
PET20%	11.36	604.2066	4.73	8.79	33.69	38.98
PET40%	12.83	804.1099	4.72	9.34	21.74	28.04
PET60%	14.38	925.6122	2.33	4.37	16.83	24.58

Fonte: A autora (2019).

Observa-se que com o aumento do teor de resina ocorreu também acréscimo do teor de umidade (%). Os compósitos PP40%, PP60%, PET40% e PET60% não atenderam aos valores de umidade padrão da Norma ABNT NBR 14.810-2 (2013b).

O compósito PP20% não atendeu aos valores de densidade da Norma ABNT NBR 14.810-2 (2013). Houve benefícios significativos para o fator densidade ao se aumentar a concentração de resina UF em 40% e 60%.

Houve acréscimo no percentual de absorção de água no período de 2h para 24h, exceto para o material compósito PP20%. Com o aumento da concentração de resina UF ocorreu diminuição de absorção de água nos compósitos, em 2 h e em 24 h.

Houve acréscimo no percentual de inchamento em espessura no período de 2h para 24h. O aumento da concentração de resina UF contribuiu para menor inchamento em espessura nos compósitos, com melhores resultados nas concentrações de 40% e 60% de resina UF. De modo geral, cada compósito apresenta particularidade em seus resultados de devido sua interação entre fibras do epicarpo do coco babaçu e matriz polimérica.

### **5.3 Propriedades mecânicas dos compósitos**

#### **5.3.1 Resistência à flexão**

O estudo da resistência à flexão dos compósitos, permite avaliar o comportamento do material de resistir à força de dobramento aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal. As propriedades de flexão dos compósitos são influenciadas pela quantidade e tipo de reforço inseridas na matriz (MULINARI, 2009). O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são parâmetros normalmente determinados nos testes de flexão estática e de grande importância na caracterização tecnológica da madeira (SILVA *et al.*, 2005).

A resistência à flexão é definida como a tensão máxima de tração de ruptura, sendo denominada frequentemente como módulo de ruptura, na literatura em inglês como MOR (“modulus of rupture”) (PADILHA, 1997).

O módulo de elasticidade ou módulo de Young é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão (MULINARI, 2009). Quanto maior for o módulo de elasticidade do material maior será a sua resistência à deformação. (MOE) (MULINARI, 2009; KLOCK, 2000).

O Módulo de Ruptura e o Módulo de Elasticidade calculados são mostrados na Tabela 22.

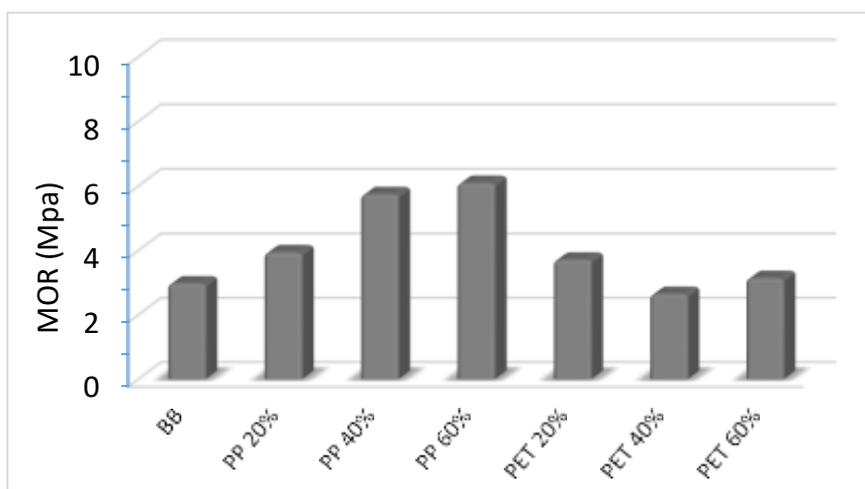
Tabela 22: Média do MOR dos compósito, por tratamento

Tratamentos	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)
BB	2,98	0.00
PP 20%	3,94	395.60
PP 40%	5,75	568.43
PP 60%	6,10	619.41
PET 20%	3,72	396.50
PET 40%	2,65	270,48
PET 60%	3,14	295.51

Fonte: A autora (2019).

Segundo a ABNT NBR 14.810-2 (2013b) recomenda valor mínimo na flexão estática de ruptura (MOR) de 18 Mpa, para chapas com espessura de 8 a 13 mm, se refere as chapas de média densidade. O MOR dos materiais compósitos confeccionados de fibra de epicarpo de babaçu, variaram de 2,65 Mpa a 6,10 Mpa. A Figura 23 exhibe o gráfico com os valores MOR (Mpa) para cada tipo de tratamento.

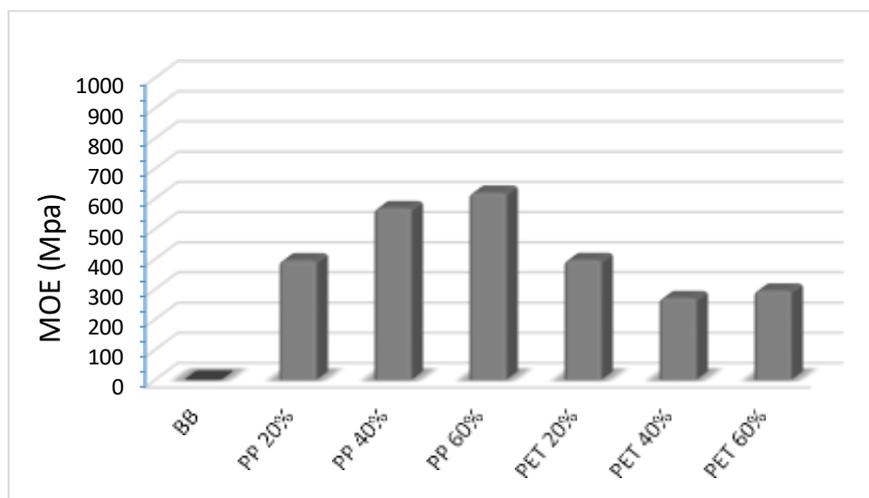
Figura 23: MOR por tratamento



Fonte: A autora (2019).

O MOE dos compósitos confeccionados de fibra de epicarpo de babaçu, variaram de 270,48 Mpa a 619.41 Mpa. A Figura 24 apresenta o gráfico com os valores MOE (Mpa) para cada tipo de tratamento.

Figura 24: MOE por tratamento



Fonte: A autora (2019).

A Tabela 23 apresenta a ANOVA do fator MOR e MOE, dos materiais compósitos fabricados com a fibra do epicarpo do babaçu.

Tabela 23: ANOVA do MOR e MOE dos compósitos

FV	GL	QM (MOE)	Fc (MOE)	QM (MOR)	Fc (MOR)
RESINA	3	1093,8012	93,689	0,2536	2,418
PLÁSTICO	1	167,6734	14,362	1,4661	13,978
INTERAÇÃO	3	57,3310	4,911	0,3899	3,718
ERRO	40	11,6747		0,1048	
TOTAL CORRIGIDO	47				

CV MOE (%) = 22,33

CV MOR (%) = 14,86

Nota: Em que CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; FV – Fonte de variação; QM – Quadrado médio; F – tabelado, • - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns - não significativo ( $p \geq .05$ ).

As médias do MOR foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser analisados na Tabela 24.

Tabela 24: Médias do MOR dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

MOR (Mpa)	100%	20%	40%	60%
PP	2,98 Ab	3,94 Aab	5,75 Aa	6,10 Aa
PET	2,98 Ab	3,71 Aa	2,65 Ba	3,14 Ba

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que o MOR nas concentrações 40% e 60% de resina UF, apresentam diferença significativa ao se adicionar o polímero PP ou PET. Não houve diferença significativa para o MOR com a introdução de polímeros PP ou PET nos materiais compósitos com 20% de resina UF.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), não houve variações significativas para o MOR, entre os materiais compósitos com PP. Assim sendo, os materiais compósitos PP20%, PP40% e PP60% são estatisticamente iguais. Houve diferença dos compósitos PP40% e PP60% em relação ao Branco. Os compósitos com PET20%, PET40% e PET60% possuem MOR estatisticamente iguais porém, se diferenciam do Branco.

As médias do MOE foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser analisados na Tabela 25.

Tabela 25: Médias do MOE dos tratamentos comparadas pelo Teste *Tukey*

MOE (Mpa)	100%	20%	40%	60%
PP	0 Ab	395,60 Aa	568,43 Aa	619,41 Aa
PET	0 Ab	396,50 Aa	270,47 Ba	295,51 Ba

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que o MOE nas concentrações 40% e 60% de resina UF, apresentam diferença significativa ao se adicionar o polímero PP ou PET. Não houve diferença significativa para o MOE, ao se adicionar polímeros PP ou PET nos materiais compósitos com 20% de resina UF.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), não houve variações significativas para o MOE, entre os materiais compósitos com PP e PET. Assim sendo, os materiais compósitos PP20%, PP40% e PP60% são estatisticamente iguais. Houve diferença destes materiais compósitos em relação ao Branco. Os materiais compósitos PET20%, PET40% e PET60% possuem MOE estatisticamente iguais porém, e se diferenciam do Branco.

A porcentagem da resina não foi um fator determinante para uma melhor resistência à flexão, MOR e MOE. No entanto, a adição de polímero PP agregou reforço aos materiais compósitos produzidos.

A Tabela 26 apresenta valores de MOR e MOE para alguns materiais compósitos encontrados na literatura.

Tabela 26: Valores do módulo de ruptura e de elasticidade de compósitos.

<b>Autor</b>	<b>Tipo de fibra</b>	<b>Gran. (mm)</b>	<b>Tipo de Resina</b>	<b>Teor de Resina (%)</b>	<b>MOR (Mpa)</b>	<b>MOE (Mpa)</b>
<b><i>Presente trabalho</i></b>	<b><i>Epi. de babaçu</i></b>	<b><i>&lt; 2</i></b>	<b><i>UF</i></b>	<b><i>20 - 60</i></b>	<b><i>3,14 – 6,10</i></b>	<b><i>270,48 – 619,41</i></b>
Lima et al. (2006)	Epi.de babaçu e Pinus	4,37 < 12	UF	6 – 8	17,83 – 26,24	1994,57 – 2788,52
Machado et al. (2017)	Epi. e Endo. de babaçu e pinus	4 < 6	Óleo de Mamona	12 - 15	14,48 – 39,98	1267,85 – 3381,13
Azevedo & Paiva (2015)	Epi. de babaçu e Eucalipto	0,6 < 2	UF	25	28,6 – 29,45	-
Mendes et al. (2010)	Bagaço de cana e eucalipto	< 6	UF	6 - 12	11,15 – 14,07	895,82 – 1042,11
Fiorelli et al. (2011)	Bagaço de cana	< 8	Óleo de mamona	10 - 15	24,41	2432
Mendes et al. (2014)	Eucalipto	< 6,14	UF	6	3,0 – 6,2	927,3 – 1357,3
Benedito (2008)	Eucalipto	0,420 < 0,250	UF	8	37,7 - 44	6170 – 7536,38

Nota: Em que Gran – granulometria, Epi – epicarpo, Endo – endocarpo.

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os materiais compósitos produzidos apresentaram valores de módulo de ruptura menores que os recomendados pela norma ABNT NBR 14.810-2 (2013b). Os valores médios obtidos para o MOR e MOE estão abaixo de intervalos encontrados por outros autores na literatura. Nota-se que compósitos produzidos com a resina UF em menor concentração, podem apresentar valores mais elevados para MOR e MOE.

Machado *et al.* (2017), Azevedo & Paiva (2015) e Lima *et al.* (2006) avaliaram as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com resíduos de epicarpo de babaçu e obtiveram resultados compatíveis com os normativos nacionais e internacionais, e com valores obtidos para diversas espécies de madeira na literatura. Demonstrando a potencialidade de desempenho tecnológico das partículas residuais do coco babaçu.

### 5.3.2 Resistência à compressão

Nos ensaios de compressão a máxima tensão que o material pode suportar antes da fratura é determinada dividindo-se a carga máxima pela área inicial do corpo de prova. A resistência à compressão é uma medida da capacidade que um material tem de resistir a forças de compressão, quando é espremido lateralmente.

Os valores médios de Resistência à Compressão paralela à superfície variaram de 1,04 Mpa a 2,82 Mpa, como mostra a Tabela 27. Os valores para os compósitos se mostraram inferiores ao material branco (BB), demonstrando que a adição de fibra não adicionou reforço a matriz de resina UF.

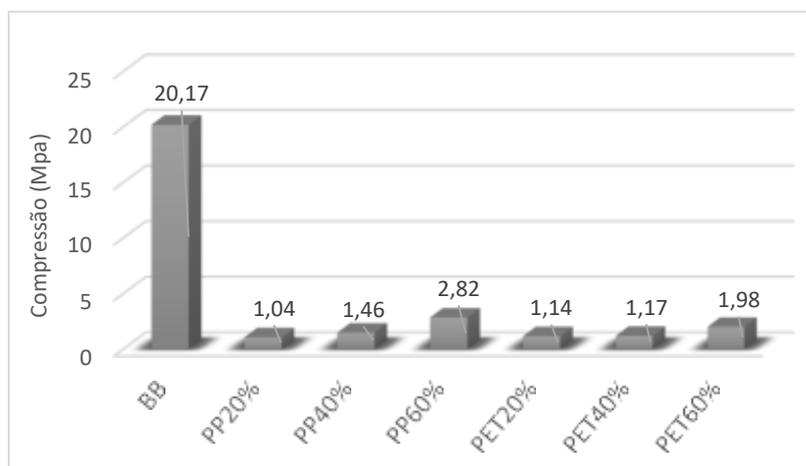
Tabela 27: Média de Resistência à Compressão dos compósito, por tratamento

<b>Tratamento</b>	<b>Resistência à Compressão (Mpa)</b>
BB	20.17
PP 20%	1.04
PP 40%	1.46
PP 60%	2.82
PET 20%	1.14
PET 40%	1.17
PET 60%	1.98

Fonte: A autora (2019).

A Figura 25 apresenta o gráfico com os valores de Resistência à Compressão para cada tipo de tratamento.

Figura 25: Resistência à Compressão por tratamento



Fonte: A autora (2019).

A Tabela 28 apresenta a ANOVA do fator de Resistência à Compressão, dos materiais compósitos fabricados com a fibra do epicarpo do babaçu.

Tabela 28: ANOVA de Resistência à Compressão dos compósitos

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Resina	3	22,587360	315,391
Plástico	1	0,050901	0,711
Interação	3	0,032895	0,459 *
Erro	32	0,071617	
Total corrigido	39		

CV (%) = 11,42

Nota: Em que: CV – Coeficiente de variação; GL – grau de liberdade; FV – Fonte de variação; QM – Quadrado médio; F – tabelado, \* - significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns - não significativo ( $p \geq .05$ )

As médias de Resistência à Compressão foram comparadas pelo teste de *Tukey* e os resultados podem ser analisados na Tabela 29.

Tabela 29: Médias de Resistência à Compressão dos tratamentos comparadas pelo Teste Tukey

<b>Compressão (Mpa)</b>	<b>100%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
PP	20,17 Aa	1,04 Ac	1,46 Abc	2,82 Ab
PET	20,17 Aa	1,14 Ab	1,17 Ab	1,98 Ab

Nota: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Colunas letras maiúsculas; Linhas letras minúsculas.

Analisando, separadamente, o desdobramento de polímeros PP e PET dentro de cada concentração de resina UF (coluna), nota-se que não houve diferença significativa ao se adicionar o polímero PP ou PET, para nenhuma das concentrações de resina UF estudadas.

Analisando, separadamente, o desdobramento concentração de resina UF dentro de cada polímero (linha), houve variações significativas para a resistência à compressão entre os materiais compósitos com PP. Houve diferença de todos os materiais compósitos em relação ao Branco.

Os materiais compósitos PP20% e PP40% são estatisticamente iguais, e os compósitos PP40% e PP60% % também são estatisticamente iguais. Contudo, os compósitos PP20% se diferem estatisticamente dos compósitos PP60%, este com melhor resultado de resistência à compressão.

Não houve variações significativas para a resistência à compressão entre os materiais compósitos confeccionados com PET. Porém, houve diferença de todos em relação ao Branco.

Pode-se verificar que a porcentagem da resina não foi um fator determinante para uma melhor resistência à compressão em materiais compósitos confeccionados com PET.

A Tabela 30 apresenta valores de MOR e MOE para alguns materiais compósitos encontrados na literatura. Como pode ser observado, os valores estão abaixo dos encontrados na literatura para fibras naturais.

Tabela 30: Valores do módulo de ruptura e de elasticidade de compósitos.

<b>Autor</b>	<b>Tipo de fibra</b>	<b>Gran. (mm)</b>	<b>Tipo de Resina</b>	<b>Teor de resina (%)</b>	<b>Resistencia à compressão (Mpa)</b>
<i>Presente trabalho</i>	<i>Epi. de babaçu</i>	< 2	UF	20 - 60	1.04 – 2.82
Mendes et al. (2010)	Bagaço de cana e eucalipto	< 6	UF	6 - 12	4.2 – 5.05
Mendes et al. (2014)	Eucalipto	< 6,14	UF	6	3,0 - 4,4
Benedito (2008)	Eucalipto	0,420 < 0,250	UF	8	5,18 – 6,11
Takada (2014)	Palha de cana	< 0,595	UF	50 - 90	0,21 – 1,3

Nota: Em que Gran. – granulometria, Epi – epicarpo, Endo – endocarpo.  
 Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 5.3.3 Resultados gerais das propriedades mecânicas

A Tabela 31 apresenta os valores médios das propriedades mecânicas dos materiais compósitos obtidos no presente trabalho, com fibra do epicarpo de babaçu.

Tabela 31: Valores médios das propriedades mecânicas dos compósitos obtidos

<b>CP</b>	<b>MOR (Mpa)</b>	<b>MOE (Mpa)</b>	<b>Resistencia à compressão (Mpa)</b>
BB	2,98	0.00	20.17
P20%	3,94	395.60	1.04
PP40%	5,75	568.43	1.46
PP60%	6,10	619.41	2.82
PET20%	3,72	396.50	1.14
PET40%	5,75	270,48	1.17
PET60%	3,14	295.51	1.98

Fonte: A autora (2019).

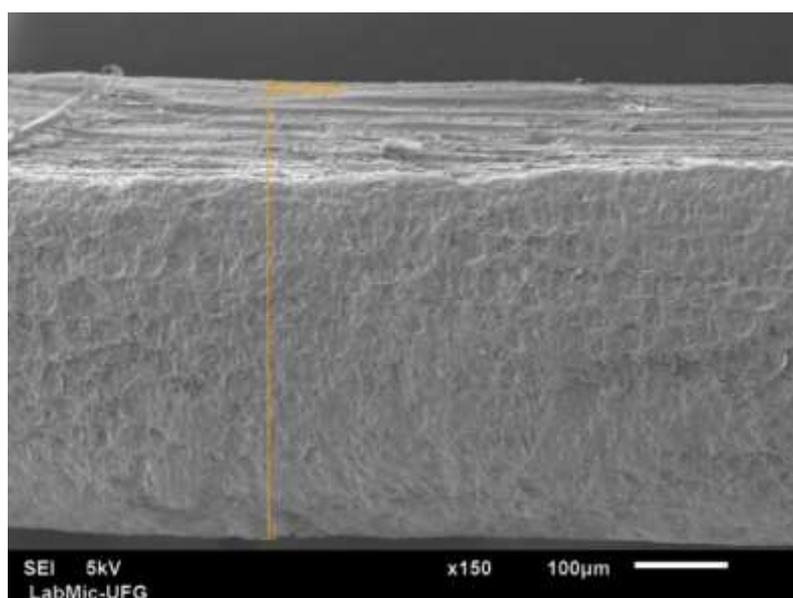
Em relação às propriedades mecânicas, os compósitos avaliados apresentaram os valores do Módulo de ruptura, Módulo de elasticidade e Resistência à compressão inferiores ao exigido pela norma para chapa de madeiras aglomeradas e com os valores buscados na literatura para compósitos de fibras naturais. Porém, vale ressaltar que os compósitos foram produzidos apenas com resina e fibras, sem tratamento alcalino da fibra celulósica, sem adição de plastificantes e sem moldagem à quente, visando facilitar e reduzir gastos com o processo de confecção dos materiais compósitos.

#### 5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise morfológica utilizando a Microscopia Eletrônica De Varredura (MEV) para a amostra da fibra do epicarpo do babaçu (*in natura*) e para as amostras de materiais compósitos foram feitas com o intuito de analisar a superfície da fibra, da resina e do material compósito produzido e comparar as diferenças no processo de adesão fibra/matriz.

As fibras do epicarpo do babaçu *in natura*, peneiradas em malha 2mm, foram submetidas ao ensaio MEV para análise da superfície das fibras. Conforme mostrado na imagem ampliada 150x, a fibra apresenta diâmetro equivalente à 494 micrometro (Figura 26).

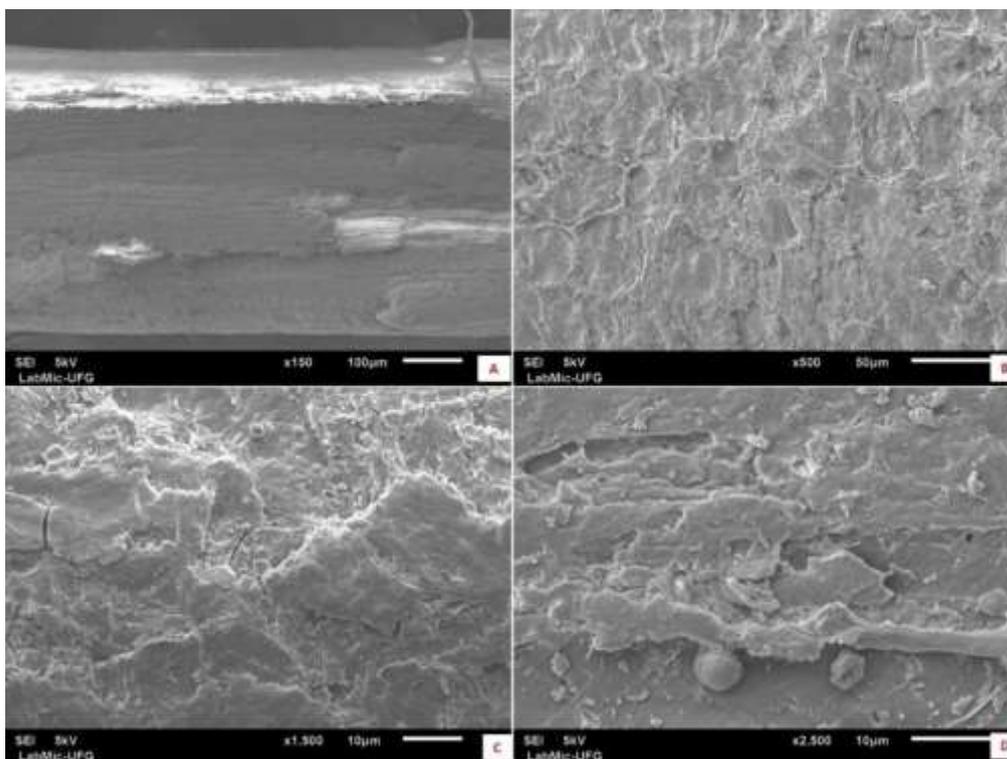
Figura 26: Microfotografia da fibra do epicarpo do babaçu retida em peneira de 2,0 mm



Fonte: Fotos da autora (2019).

Na Figura 27 observa-se a superfície da fibra in natura com leve rugosidade e aspecto irregular. Pode ser verificado depósitos de cera (tilose) aderido à superfície da fibras do epicarpo do coco babaçu, que contribuem para diminuir a adesão da fibra com a resina UF no compósito. As tiloses têm paredes celulósicas e podem, por seu tamanho e número, obstruir completamente os vasos do xilema através de buracos (AGRIOS, 2004).

Figura 27: Microfotografia da superfície da fibra do epicarpo do babaçu ampliada: (A) 150x, (B) 350x, (C) 1500x e (D) 2500x

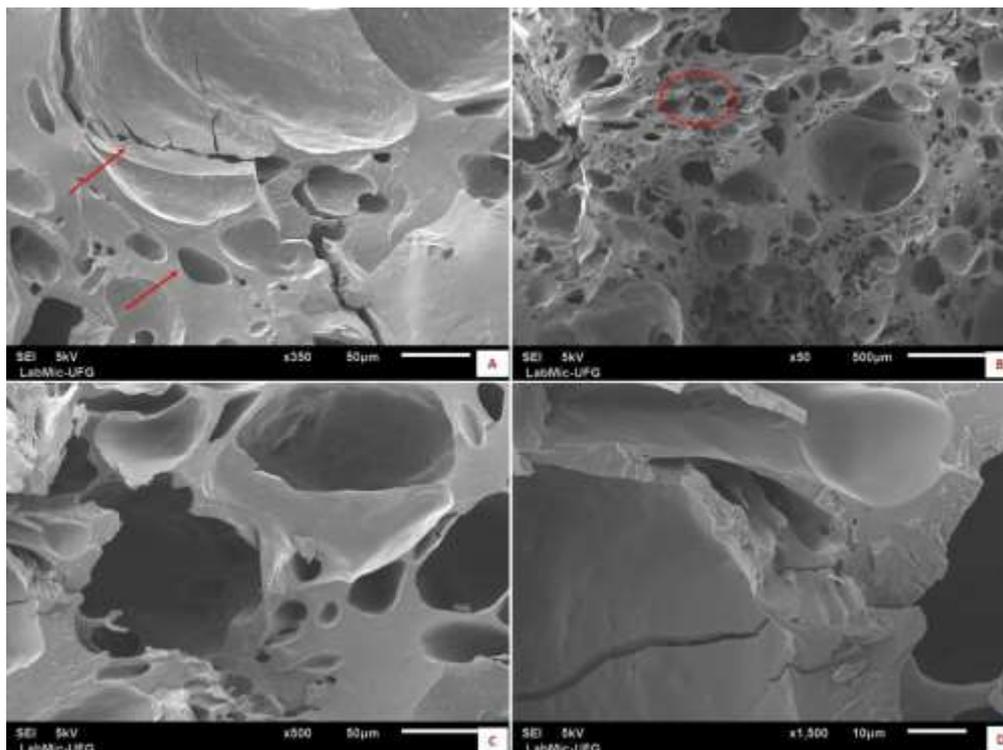


Fonte: Fotos da autora (2019).

Segundo trabalho de Franco (2010), a realização de tratamento alcalino com Hidróxido de Sódio (NaOH), contribuem para remoção desta cera e outras substancias da fibra do epicarpo do coco babaçu. Zimmermann et al. (2013) e Jesus et al. (2015) conseguiram a extração de componentes menos estáveis, como a hemicelulose, lignina, ceras e óleos de baixo peso molecular, após tratamento alcalino com fibras do pseudocaule de bananeira. As fibras mercerizadas tendem a melhorar a interface nos compósitos

Na Figura 28, pode ser observado a superfície ampliada da resina ureia-formaldeído curada e seca em estufa (BB), por 4 horas a 65°C, apresentando inúmeros poros vazios e trincas.

Figura 28: Microfotografia da superfície da resina UF, após secagem e cura: (A) 350x, (B) 50x, (C) 500x e (D) 1500x. A região selecionada em vermelho indica que a fibra ampliada nas imagens (C) e (D) se tratam da mesma fibra com diferentes aumentos



Fonte: Fotos da autora (2019).

Segundo Conner (2017) e Dunkym (1998) condições úmidas especialmente em combinação com calor levam a uma reversão das reações de formação com emissão de formaldeído. Além disso o uso de um catalisador ácido para acelerar a cura da ligação aumenta a taxa de hidrólise e emissão de formaldeído, com consequente eliminação de vapor e até bolhas de vapor no material final.

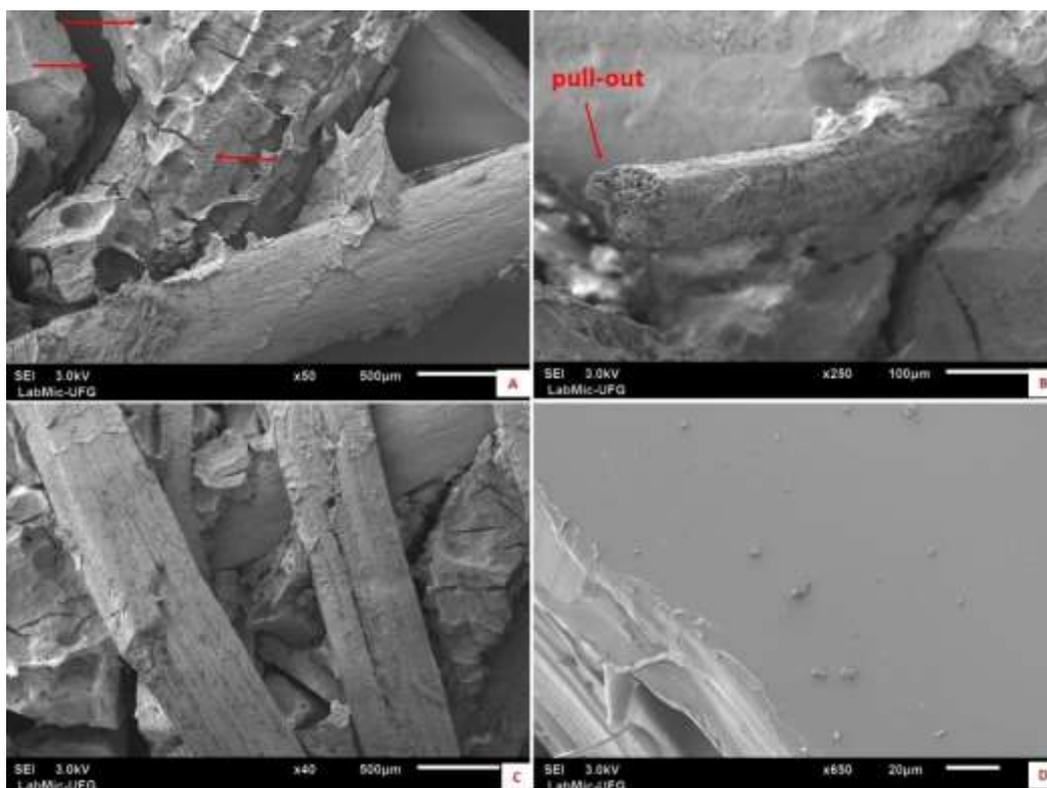
A quantidade de catalisador ácido deve sempre ser ajustada para as condições de endurecimento desejadas (temperatura, tempo e outros parâmetros) pois, a adição excessiva pode causar fragilidade da resina curada e um teor muito alto de ácido na mesma. Essas condições são problemas que ainda não foram resolvidos totalmente na prática (DUNKYM, 1998).

Os materiais compósitos PP20%, PP40%, PP60%, PET20%, PET40% e PET60% foram submetidos à microscopia eletrônica de varredura da superfície após ruptura, por esforços por flexão. Gerando as imagens verificadas nas Figuras 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33 e Figura 34.

A figura 29 (A) mostra a presença de poros aparentes na resina UF, espaços vazios e fissuras no compósito PET20%. Figura 29 (B) mostra fibra de babaçu com extremidade arrancada da matriz, fenômeno de “pull-out”, indicando menor adesão interfacial. A figura 29 (D) é possível visualizar a superfície lisa do resíduo de PET, o que sugere que não houve boa aderência da resina UF ao resíduo PET.

Fernandes *et al.* (2019), em pesquisa de painéis aglomerados, observou que a presença de diversas fibras entrelaçadas em sua superfície causa muitos interstícios, uma vez que as fibras são mais difíceis de se acomodarem.

Figura 29: Microfotografia do compósito PET20%: (A)40x, (B)100x, (C)1500x e (D)1500x

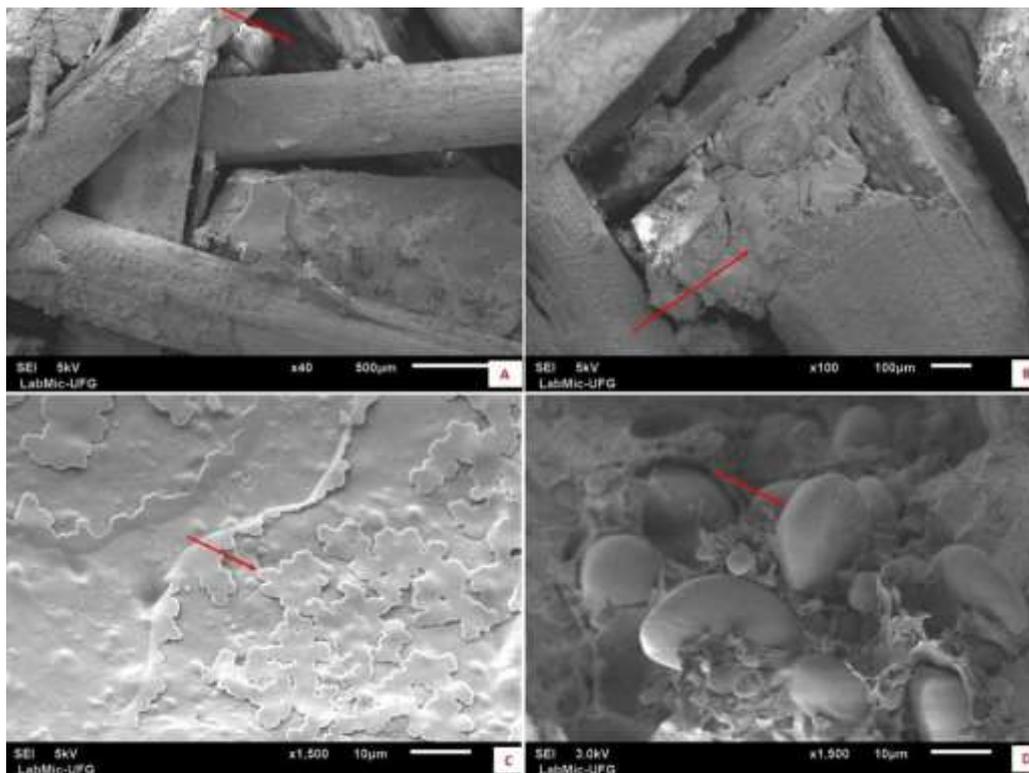


Fonte: Fotos da autora (2019).

O compósito PET40% produzido não apresentou boa uniformidade sendo possível perceber grande quantidade de fibras e resinas soltas, indicando que não houve boa

interação fibra/matriz. Na Figura 30 (A) e Figura 30 (B) pode ser observados cavidades entre a fibra e a matriz, afastamento da fibra. Na figura 30 (C) observa-se uma camada de cera aderida a fibra, o que prejudica a adesão da resina. E na Figura 30 (D) notamos a presença de aminoácidos na resina UF, que podem ser provenientes do processo de mistura da resina com o trigo.

Figura 30: Microfotografia do compósito PET40%:(A)50x, (B)250x, (C)40x e (D)650x

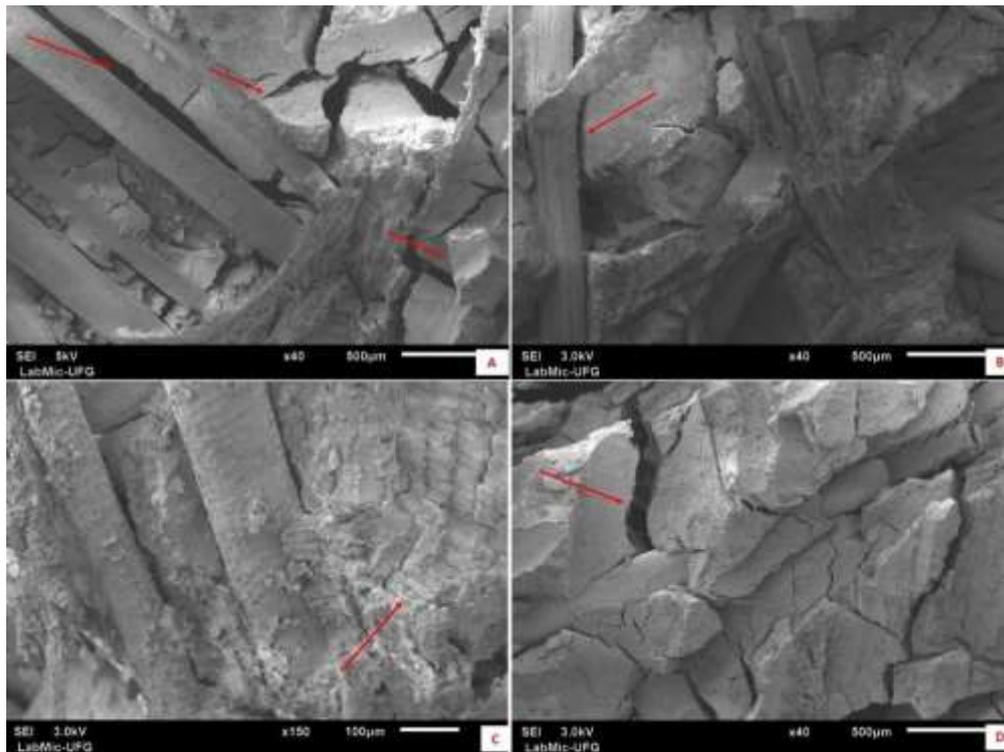


Fonte: Fotos da autora (2019).

A figura 31 mostra menos fibras aparentes e maior presença de resina UF encobrindo a fibra. É possível visualizar afastamentos laterais da fibra com a resina UF e pedaços de resina soltos, sugerindo baixa adesão da fibra com a matriz já que, a fibra se desprende e provoca quebra da resina ao ser submetida ao esforço.

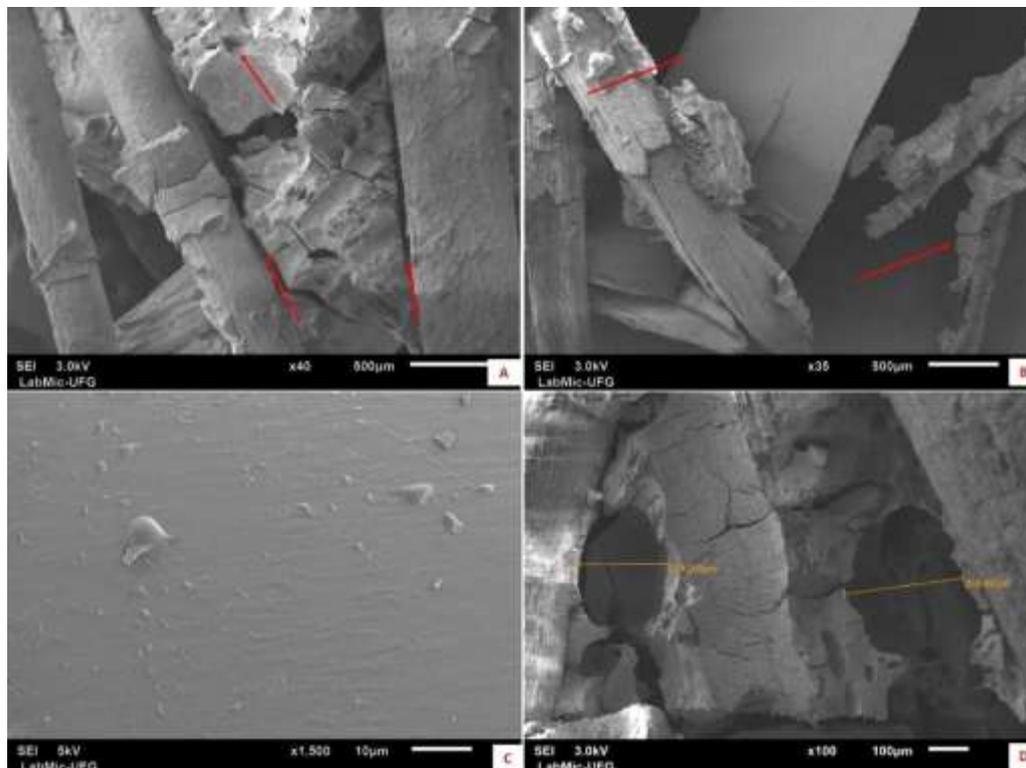
Descolagem da resina e afastamento da fibra é visto na figura 32 (A) do compósito PP20%. Na Figura 32 (B) e (C), observa-se o resíduo PET solto no material, com superfície sutilmente lisa e sem adesão de resina. Figura 32 (D) orifícios na resina.

Figura 31: Microfotografia do compósito PET60%: (A)40x, (B)40x, (C)150x e (D)40x



Fonte: Fotos da autora (2019).

Figura 32: Microfotografia do compósito PP20%: (A)40x, (B)35x, (C)1500x e (D)100x



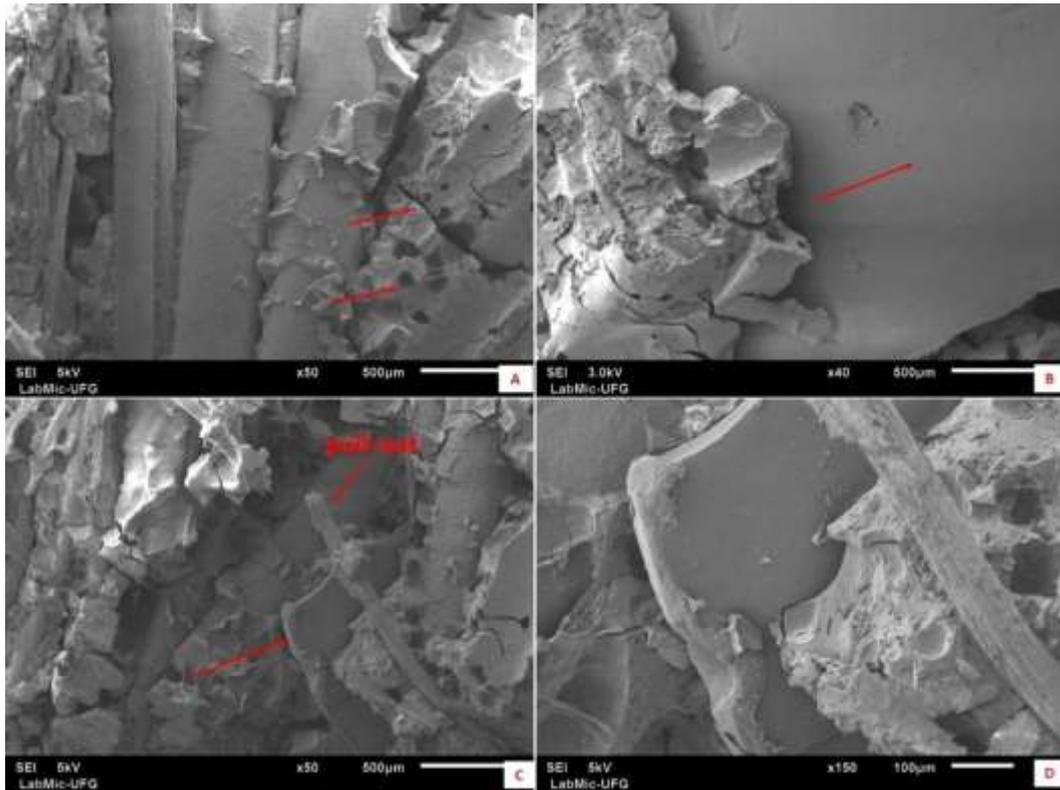
Fonte: Fotos da autora (2019).

A figura 33 do compósito PP40% mostra inúmeras quantidade de poros e espaços vazios. Observa-se nesta figura 33 (B), (C) e (D) a presença do resíduo PP preso ao compósito porém, sem adesão da resina com a sua superfície. Fibra arrancada (pull-out) na figura 33 (B).

A Figura 34 mostra que há presença maior de resina pois, são escassas as fibras aparentes neste compósito PET60%. Também é possível perceber menor presença de poros que nos compósitos PET20% e PET40%, porem há muitas trincas e fissuras. A Figura 34 (A) mostra a presença de trincas no sentido longitudinal da fibra, indicando que o esforço produzido pela ruptura causou fissuras na resina. Figura 34 (B) mostra o arranchamento de uma fibra, fenômeno “pull-out”.

A partir das micrografias dos compósitos produzidos foi possível observar a distribuição aleatória e entrelaçada das fibras dentro da matriz, o fenômeno de “pull-out” (fibras descoladas da matriz), constatar a porosidade do compósito, o elevado índice de cavidades e vazios, a superfície cerosa da fibra e as trincas peculiares desta resina UF. Estes fenômenos confirmam a baixa adesão entre a fibra e a matriz, e corrobora com os baixos resultados dos ensaios mecânicos apresentados anteriormente.

Figura 33: Microfotografia do compósito PP40%: (A)50x, (B)40x, (C)50x e (D)150x



Fonte: Fotos da autora (2019).

Figura 34: Microfotografia do compósito PP60%: (A)50x, (B)50x, (C)50x e (D)150x



Fonte: Fotos da autora (2019).

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de um material compósito utilizando resíduos de epicarpo do coco babaçu, da agroindústria do babaçu. As características da fibra do epicarpo do babaçu são interessantes para fabricação de compósitos. Atualmente, tem sido objeto de pesquisas neste ramo da ciência dos materiais.

Após a confecção deste novo material sabemos que:

- ✓ As propriedades de umidade e densidade estão de acordo com a norma ABNT 14810-2 (2014), para chapas de madeiras aglomeradas, exceto o compósito PP20% não atendeu ao requisito densidade;
- ✓ Os valores de inchamento em espessura obtiveram melhores resultados, estatisticamente, nas concentrações de 40% e 60% de resina, nos compósitos PP40%, PP60% e PET60%;
- ✓ Os valores de absorção de água obtiveram melhores resultados, estatisticamente, nas concentrações de 40% e 60% de resina, nos compósitos PP60%, PET40% e PET60%;
- ✓ A adição de resíduos plásticos PP na matriz estrutural dos painéis compósitos produzidos, promoveu um incremento no desempenho das propriedades mecânicas destes, em relação ao resíduo PET. Com melhores resultados de MOR e MOE para PP40% e PP60%;
- ✓ A resistência à compressão obteve melhor resultado no material compósito PP60%;
- ✓ O MOR, MOE e a resistência à compressão dos compósitos não foram influenciados pelo aumento no teor de resina UF;
- ✓ A análise microscópica pelo MEV permitiu constatar: a porosidade do compósito, o elevado índice de espaços vazios, a superfície cerosa da fibra, as trincas peculiares desta resina UF e consequentemente a baixa adesão entre a fibra e a matriz.

Todavia, neste trabalho a fibra apresentou possível potencial para a produção de compósitos pois, houve bons resultados para as propriedades físicas, e que vão de acordo com valores de outros estudos para painéis de fibra encontrados na literatura.

Os valores das propriedades mecânicas obtidas estão abaixo de valores de outros estudos para painéis de fibra encontrados na literatura, e do exigido pela norma para chapas de madeira aglomerada. Porém, os compósitos foram produzidos tão-somente com resina e fibra objetivando custo mínimo de produção. Sabe-se que é possível alcançar melhorias substanciais no desempenho de materiais compósitos agregando novas técnicas de produção, tais como: tratamento alcalino de fibras, termomoldagem à quente e diminuição do tamanho das fibras. Além do uso de equipamentos como misturador planetário, para maior homogeneização do material e injetora para conformação do corpo de prova podem ser utilizados.

Deste modo, é possível produzir painéis que agreguem valor às propriedades dos compósitos a partir de fibras de epicarpo do babaçu. Novas pesquisas podem ser realizadas a respeito da fabricação destes painéis, tendo em vista que a produção destes agrega valor à cadeia produtiva do babaçu e surge como alternativa à produção tradicional dos painéis de madeira. Além de cooperar com o desenvolvimento ambiental, econômico e social, por meio de geração de emprego e renda, redução de custos na produção e redução na produção de resíduos da indústria agroenergética.

## **7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como recomendações para trabalhos futuros nesta linha de pesquisa é sugerido:

- ✓ Pesquisar nova metodologia de confecção para este tipo de matriz a base de resina UF;
- ✓ Pesquisar granulometrias diferentes para estes reforços: fibra do epicarpo de babaçu e resíduos poliméricos;
- ✓ Pesquisar possível melhorias do tratamento alcalino da fibra do epicarpo de babaçu;
- ✓ Pesquisar a interação deste resíduo do epicarpo de babaçu com outros tipos de matrizes poliméricas;

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANP. Biodiesel – Introdução. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2015). Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=60468&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1399416619720>>. Acesso em: 28 out. 2017.

ABIPET – Associação Brasileira de Industrias de PET (2017). Disponível em: <<http://www.abipet.org.br>> Acesso em: 28 out. 2017.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2018). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. São Paulo-SP, Set-2018, 74p.

ALBIERO, Daniel et al. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para a agricultura familiar. *Acta Amaz.*, Manaus , v. 37, n. 3, p. 337-346, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000300004>.

ALBEIRO, D. MACIEL, A. J.S. GAMERO, C. A. Design and development of babassu (*Orbignya phalerata* Mart.) harvest for small farms in areas of forests transition of the Amazon. *Acta Amazônica*, v. 37, p. 57–68, 2011.

ALMEIDA, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S.; TEIXEIRA, D. E. Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cementbonded particleboard. *Bioresource Technology*, v. 85, p. 159-163, 2002.

ALTOÉ, S. M. L.; VOESE, S. B. Gestão de resíduos da indústria do biodiesel: um estudo da criação de valor na cadeia de suprimentos. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, V. 3, N. 1, p. 107-123, Jan./Abr. 2014.

ALVES, R. S; LOPES, L. C; BESSA, A. M. M; AGUIAR, R. S. de S; SANT'ANA, H. B. Estudo do equilíbrio líquido-líquido para o sistema contendo biodiesel metílico de

coco babaçu, metanol e glicerol. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. UNICAMP, Campinas – SP, julho-2015.

ANGÉLICO, R. A. Avaliação de Modelos de Falhas Progressivas Para Estruturas em Material Compósito. 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP,2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15316:Chapas de Fibras de Média Densidade -Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 4p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-1: Chapas de madeira aglomerada – Parte 1 - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a. 5p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-2: Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 - Requisitos. Rio de Janeiro, 2013b. 4p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-3: Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013c. 51p

AGRIOS, GN, (2004) Plant Pathology. 5ª edição, Academic Press, San Diego.

AL-OQLA, Faris M.; SAPUAN, S. M. Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 347-354, 2014.

ALMACO – ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. Compósitos. Disponível em:< <http://www.almaco.org.br/compositos.cfm>>. Acesso em: 14 nov. 17

ALVES, C., FERRÃO, P.M.C., SILVA, A.J., REIS, L.G., FREITAS, M., RODRIGUES, L.B., ALVES, D.E., 2010. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *J. Cleaner Prod.* V. 18, p.313-327

ASTM D1037. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. In: Annual Book of Standards ASTM. Philadelphia, 2012.

AWAJA, F. & PAVEL, D. Eur. Polym. J., 41, p. 1453, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>

BRANDÃO, J.; LACA-BUENDIA, J.P.; MACEDO, J.F. Árvores nativas e exóticas do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002, 528 p.

BATTISTELLE, Rosane et al. Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, V. 19, n. 1, p. 7-15, Mar. 2014 .

BARROSO, D. G. L. et. al. Desenvolvimento de compósito laminado polimérico reforçado com fibra de garrafas PET. Engevista, v. 14, n. 1, p. 3-12, abril-2012.

BENINI, K. C. C. DE C. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

BLEDZKI, A. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. Progress in Polymer Science, v. 24, pp. 221-274, 1999. DOI:10.1016/s0079-6700(98)00018-5

BRASIL. Lei Nº 11.097 - Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 8, 14. jan. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cadeia produtiva da Agroenergia. Buainain, A. M. e Batalha, M. O. (coordenadores). Brasília, 112 p. 2007.

BRÍGIDA, A. I. S. et al. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. *Carbohydrate Polymers*, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.

CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. A. Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. *ENGEVISTA*, v.19, n.1, p.99-108, Janeiro-2017. <https://doi.org/10.22409/engevista.v19i1.802>

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. *Sustentabilidade em Debate - Brasília*, v. 7, n. 1, p. 140-155, jan/abr 2016

CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 705p.

CAMPOS, Cristiane Inácio de; LAHR, Francisco Antônio Rocco. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído. *Matéria*, v. 9, n. 1, p. 32-42, 2004.

CARRAZZA. L. R; ÁVILA, J. C. C; SILVA, M. L. *Manual tecnológico de aproveitamento integral do fruto e da folha do babaçu*. 2ª edição: Brasília-DF (Brazil); 2012. 32 p.

CHAGAS, A. L. S. *Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas*. Relatório de estudos Setoriais: Biocombustíveis. Núcleo de Estudo de Economia de Baixo Carbono – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto - SP, dez, 2012. 145 p.

CHEN, C.-H.; TENG, C. C.; YANG, C. H. Preparation and characterization of rigid poly (vinyl chloride)/MMT nanocomposites. *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, v. 43, Issue 12, 2005, pag. 1465–1474, 2005. DOI:10.1002/polb.20444

CONNER, A. H., & BHUIYAN, M. S. H. (2017). Wood: Adhesives. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.01932-9

CORRADINI, E.; AGNELLI, J. A. M.; MORAIS, L. C.; MATTOSO, L. H. C. Compósitos biodegradáveis de amido/glúten de milho/glicerol reforçados com fibras de sisal. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n.4, p. 353-358, 2008.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. *Revista Quim. Nova*, v. 32, n. 3, p.776-792, 2009.

DANIEL, I. M., ISHAI, O., (1994) *Engineering mechanics of composite materials*, New York: Oxford University Press

DEDAVID, B. A. *Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores*. Porto Alegre – RS, Ed. EDIPUCRS, 2007.

DICKSON, AR, MESMO, D., WAMES, JM, et al., "O efeito do reprocessamento sobre as propriedades mecânicas do polipropileno reforçado com pasta de madeira, linho ou fibra de vidro", *Composites: Part A* , v. 61 , pp. 258 - 267, junho-2014

DINHANE, Fernanda Christiane Rossetto. *Propriedades físico-mecânicas de painéis de MDP (Medium Density Particleboard) constituído de bambu e fibra de coco*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2015, 110f.

DIRSCHNABEL, M. S; ARAÚJO, R. G. Estudo de propriedades térmicas, elétricas e mecânicas de nanocompósitos pvc/nanotubos de carbono obtidos pelo processo de compactação a quente. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química (2014). Florianópolis – SC, out-2014.

DOAK, K. W. – “Ethylene Polymers”. Em: Mark, H. M.; Bikales, N. M.; Overberg, C. G.; Menges, G. – “Encyclopedia of Polymer Science and Engineering”, John-Wiley & Sons, New York , Volume 6 (1986)

DORIEH, A., MAHMOODI, NO.; MAMAGHANI, M.; PIZZI, A.; MOHAMMADI ZEYDI, M. (2019). Efeito de diferentes ácidos durante a síntese de adesivos de ureia-formaldeído e as propriedades mecânicas de painéis de fibra de densidade média ligados a eles . J. Appl. Polym Sci., 136, 47256. Doi: 10.1002/app.47256

DUNKY, M. (1998). Urea–formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. International Journal of Adhesion and Adhesives, v.18, n.2, p. 95–107, 1988. Doi:10.1016/s0143-7496(97)00054-7

EMBRAPA. Babaçu: Programa Nacional de Pesquisa. Brasília: EMBRAPA, 1984. 89p.

F. A. F. DA PONTE; J. S. RODRIGUES; J. Q. MALVEIRA; J. A. S. RAMOS FILHO; M. C. G. ALBUQUERQUE. Avaliação físico-química dos óleos de babaçu (*Orbignyaspeciosa*) e coco (*Cocos nucifera*) com elevado índice de acidez e dos ácidos graxos (C6 a C16). Rev. Scientia Plena, v. 13, n. 8, p. 8, 2017. DOI: 10.14808/sci.plena.2017.085301

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K; FINK, H. P; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000 e 2010. Progr. Polymer Sci. 37, pag. 1552-1596

FARUK, O.; BLEDZKI, A. K; FINK, H. P; SAIN, M. Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites. Macromol. Mater. Eng., v. 299, n. 1, pag. 9-26, January-2014. DOI: 10.1002 / mame.201300008

FERNANDES, Otávio. Efeitos da adição de polipropileno triturado em argamassa de cimento Portland. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Paraíba. 2017.

FERNANDES, C. N.; PINTO, I. C. M. S.; SARAIVA, R. L. P.; ARAÚJO JÚNIOR, C. P.; CABRAL, A. E. B.; ROSA, M. F. Painéis de partículas elaborados do mesocarpo do dendê como alternativa ao MDF utilizado na construção civil. Eng. Painéis de partículas elaborados do mesocarpo do dendê como alternativa ao MDF utilizado na construção civil. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019172500>.

FIGUEIREDO, L. D. Embates nos babaquais. Do espaço doméstico ao público – lutas das quebradeiras de coco babaçu no Maranhão. 2005. 198f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

FIORELLI, J.; BELINI, U. L.; SAVASTANO JUNIOR, H.; BARRERO, N. G.; SARTORI, D. L.; LEITE, M. K.; TOMAZELLO FILHO, M. Painel multicamada com reforços de partículas de bambu. Scientia Forestalis, v. 42, p. 421-427, 2014.

FIORELLI, J.; ROCCO LAHAR, F. A.; DO NASCIMENTO, M. F.; JUNIOR, H. S.; ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona-produção e propriedades. Acta Scientiarum. Technology, Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i4.9615>

FONSECA, F. M. C. Desenvolvimento e caracterização de compósitos à base de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) reciclado e fibras vegetais. 2005. 133f. Dissertação de Mestrado. Redemat, UFOP/CETEC/UEMG, Ouro Preto, 2005

FONSECA, T. G; ALMEIDA, Y. M. B; VINHAS, G. M. Reciclagem química do PET pós-consumo: caracterização estrutural do ácido tereftálico e efeito da hidrólise alcalina em baixa temperatura. Polímeros, v. 24, n. 5, p. 567-571, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1583>

FONTELES, Carlos Alberto Lopes. Compósitos poliméricos à base de matriz termofixa e coco babaçu (*Orbignya phalerata*): análise por sorção de água e propriedades

mecânicas. 2013. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

FORLIN, F.J.J. Considerações sobre a reciclagem, *Polímeros: Ciência e tecnologia*, v. 12, p. 1-10, 2002.

FRANCO, F. J. P. Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz epóxi: Estudo do efeito do tratamento da fibra. Dissertação (Mestrado). Natal-RN, 2010, 77p.

GANDARA, M.; GONÇALVES, A.R; SARON, C. Compósitos de PET reciclado com fibra de cana-de-açúcar tratada por explosão a vapor. *Revista Matéria*, v.22, n.4, 2017. ISSN 1517-7076

GENTIL, R. M.; SERRA, J. C. V.; CASTRO, R. B. D. Resíduos sólidos orgânicos provenientes da extração de oleaginosas para biodiesel e seus potenciais de uso. *Revista Geoambiente On-line*, Jataí - GO, n. 18, p. 127-142, jan/jun-2012.

GIRONÈS, J.; LÓPEZ, J. P.; MUTJÉ, P.; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; VILASECA, F. Natural fiber-reinforced thermoplastic starch composites obtained by melt processing. *Composite Science and Technology*. 2012.

GOUVEIA, V. M; MATRICARDI, E. A. T; ANGELO, H. Análise Hot Spot do extrativismo do babaçu e atividades agropecuárias no Maranhão. X CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, UFMT, OUT-2016, CUIABÁ-MT.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. 2008. 98p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2008.

GURUNATHAN, T; MOHANTY, S; NAYAK, S.K.A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives (2015).

Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v 77, p. 1-25, Out-2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>

HENDRICKSIN, C.; LAVE, L. & MCMICHAEL, F. - CHEMTECH, 25, p.56, 1995.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Químicos e Físicos para Análises de Alimentos. Normas Analíticas. v. 1, 3 ed. São Paulo, 1985.

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. S.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C.  
Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias denove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. Acta Amazônica, v. 42, p. 59-64, 2012.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J.C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. Revista Árvore, v. 28, p. 883- 887, 2004.

JESUS, M.S.; SOUSA, T.B.; MORI, F.A.; GUIMARÃES, B.M.R.; Fibras vegetais com potencial para reforço de compósitos poliméricos analisados a partir da Microscopia Eletrônica De Varredura – MEV. O PAPEL, v. 76, n. 8, p. 61-63, ago-2015

JOSEPH, K. & THOMAS, S. J. Reinf. Plast. Compos. 12, p.139, 1993.

JOSEPH, Kuruvilla; MEDEIROS, Eliton S.; CARVALHO, Laura H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. Polímeros, São Carlos , v. 9, n. 4, p. 136-141, Dec-1999.

KALIA, S., AVÉROUS, L., NJUGUNA, J., DUFRESNE, A., CHERIAN, B.M., 2011.Natural fibers, bio-and nanocomposites. International Journal of Polymer Science Volume 2011, 2 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2011/735932>.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. 2000. 275 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LA MANTIA FP, MORREALE M. Green composites: a brief review (2011). *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v 42, n. 6, p. 579-588. Jun-2011. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.01.017>

LAUFENBERG, G. Transformation of vegetable waste into added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. *Bioresource Technology*, n. 87, p. 167–198, maio-2003.

LAVIOLA, B. G. et al., Potencial do Pinhão Manso e palmeiras para a diversificação de matéria-prima na produção de biodiesel – Capítulo 06. *Biodiesel no Brasil: Impulso tecnológico*. Vol. I, UFLA, Lavras – MG, p. 120-140, 2014.

LEIRAS, A. A cadeia produtiva de biodiesel: uma avaliação econômica para o caso da Bahia. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação, PUC. Rio de Janeiro, 2006.

LEMOS, A. L. Avaliação da degradação abiótica e biótica de biocompósitos produzidos a partir de bioblendas de PCL/PLA com fibras vegetais – madeira de pinus, cana-de-açúcar e babaçu. 148f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, UFRGS. Porto Alegre, 2017.

LI, T.; LIANG, J.; CAO, M.; GUO, X.; XIE, X.; DU, G. J. *Appl. Polym Sci.* 133, 1, 2016. [Doi.org/10.1002/app.44339](https://doi.org/10.1002/app.44339)

LIMA, C. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 334-340, 2009.

LIMA, J. R. O; DA SILVA, R. B; DA SIVA, C. C. M; SOARES, L. S. Biodiesel de Babaçu (*Orbignya sp.*) obtido por via etanólica. *Rev. Química Nova*, v. 30, n.3, p. 600-603, 2007.

LIMA, A. M.; VIDAURRE, G. B.; LIMA, R. M.; BRITO, O. E. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. *Revista Árvore*, v. 30, p. 645-650. 2006.

LOPES, O.C.; SCHUCHARDT, U.F.F. 1983. Novos catalizadores para transesterificação de óleos vegetais. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 103p.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M. de; MEDEIROS-COSTA, J.T. de; CERQUEIRA, L.S.C. de; BEHR, N. Von. *Palmeiras do Brasil: nativas e exóticas*. Nova Odessa: Plantarum, 1996. 303p.

LONTRA, B. G. F. *Reciclagem Mecânica de Polietileno de Alta Densidade Obtido a partir de Sacolas Plásticas*. Projeto de Graduação – UFRJ, Curso de Engenharia de Materiais. Rio de Janeiro, 2011, 35p.

MACHADO, Nítalo André et al. (2017a) Propriedades físico-mecânicas de painéis multicamadas produzidos com partículas de coco babaçu e de *Pinus sp.* *REVISTA AGRO@MBIENTE ON-LINE*, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 191-199, jul-2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i3.4153>

MACHADO, Nítalo André et al. (2017b) Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences*. Agrária, Recife, v.12, n.2, p.202-209, 2017. DOI:10.5039/agraria.v12i2a5434

MARINELLI, A. L. et al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARINHO, N. P., NASCIMENTO, E. M., NISGOSKI, S., MAGALHÃES, W. L., CLARO NETO, S., & AZEVEDO, E. C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2013.

MARINUCCI, G. Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia. ed. São Paulo: Artliber, 2011.

MATTOSO, L. H. C; PEREIRA, N. C; SOUZA, M. L. & AGNELLI, J. A. M. Brasília: EMBRAPA Produção e Informação, *in*: Odilon R R F da Silva; Napoleão E D M Beltrão. (Org.). O Agro Negócio do Sisal no Brasil. 1. ed., p.161, 1999

MELO, Jessyka Meierjürgen Caracterização de compósito produzido com diferentes frações de pó de madeira e polietileno de alta densidade. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Materiais) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

MENDES, R. F., MENDES, L. M., ABRANCHES, R. A. S., SANTOS, R. D., & GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010

MENDES, R. F., MENDES, L. M., MENDONÇA, L. L., GUIMARÃES JÚNIOR, J. B., & MORI, F. A. Qualidade de painéis aglomerados homogêneos produzidos com a madeira de clones de *Eucalyptus rophylla*. *CERNE Lavras*, v.20, n.2 p.329-336, jun-2014. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760.201420021273>.

MENDES, A. P. A.; COSTA, R. C. Mercado brasileiro de biodiesel e perspectivas futuras. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 31, p. 253-279, mar-2010.

MOTA, C. J. D. A.; PESTANA, C. F. D. M. Co-produtos da produção de biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 416-425, 2011.

MOUSAVI, S. Y.; HUANG, J.; LI, K (2019), Investigação de adesivos de madeira à base de epóxi. *J Appl Polym Sci*, 47741. doi.org/10.1002/app.47741

MULINARI, D. R. Comportamento térmico mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009. Guaratinguetá, 2009. 111 p.

MILES D. C. & BRISTON, J. H. – “Polymer Technology”, Temple Press Book, London (1965).

NASCIMENTO, U. S. Carvão de babaçu como fonte térmica para sistema de refrigeração por absorção no estado do Maranhão. 2004. 83p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP, 2004.

NASCIMENTO, M. F. CPH: Chapas de Partículas Homogêneas - Madeira do Nordeste do Brasil. 2002, 153f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

NECHWATAL, A.; MIECK, K. P. & REUBMANN, T. *Composites Science And Technology*, 63, p.1273, 2003.

NEVES, C. J. A.; - “Resistência Química de PE’s a Vários Reagentes Químicos” – Boletim Técnico nº13 – OPP Petroquímica S.A. – Agosto (1999)

OLIVEIRA, L. B.; DA COSTA, A. O. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: Congresso Brasileiro de Energia, 9. 2002. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: COPPE, 2002. vol. IV, p. 1772-1779.

ORMONDROYD, G. A. (2015). Adhesives for wood composites. *Wood Composites*, 47–66. doi:10.1016/b978-1-78242-454-3.00003-2

PADILHA, A. F. *Materiais de Engenharia - Microestrutura e Propriedades*. Ed. Hemus Livraria, Curitiba-PR, 1997. 352 p.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. *J. Technol. Manag. Innov*, v. 2, p. 118-127, mar-2007

PERELLES, D. H.; MEDEIROS, M. F.; GARCEZ, M. R. Aplicação da análise hierárquica como ferramenta de tomada de decisão para escolha do compósito de reforço com polímeros reforçados com fibras. *Revista ALCONPAT*, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 161-176, set-2013. ISSN 2007-6835

PONTE, F. A. F. DA; RODRIGUES, J. S; MALVEIRA, J. Q; RAMOS FILHO, J. A. S; ALBUQUERQUE, M. C. G. Avaliação físico-química dos óleos de babaçu (*Orbignyasperiosa*) e coco (*Cocos nucifera*) com elevado índice de acidez e dos ácidos graxos (C6 a C16). *Rev. Scientia Plena*, v.13, n. 08, 2017.

PUKANSKY, B. *European Polymer Journal*, 41, p.645, 2005.

QUEIROGA, V. P.; GIRÃO, E. G.; ARAÚJO, I. M. S.; GONDIM, T. M. S.; FREIRE, R. M. M.; VERAS, L. G. C. Composição centesimal de amêndoas de coco babaçu em quatro tempos de armazenamento. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 17, p. 207-213, 2015.

RESENDE, Juliana Marques; OLIVEIRA, Franciny Lima de; MULINARI, Daniella Regina Mulinari. Avaliação de compósitos híbridos para aplicações em Engenharia. *Cadernos UniFOA*. Volta Redonda, Ano VI, n. 15, abril 2011. Disponível em: <http://www.unifoa.edu.br/cadernos/edicao/15/11.pdf>

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S. & DE PAOLI, M. A. - *Polímeros*, 19, p.121 (2009). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282009000200009>

RODOLFO JR. A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. - "Tecnologia do PVC", 2. ed., ProEditores, São Paulo (2006).

RODRIGUES, P. F. RIBEIRO, T. P. NEVES JUNIOR, A. Caracterização Mecânica de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras de Politereftalato de Etileno Espiraladas. E&S – Engineering and Science, (2017), V. 6, Ed. 1. <http://dx.doi.org/10.18607/ES20176068>

SAWYER, L. C. & GRUBB, D. T. – “Polymer Microscopy”, Chapman and Hall, London, p.134 e 219 (1994).

SANTOS, A. P. Desempenho de trator agrícola em operação de preparo do solo utilizando diesel e proporções de biodiesel de babaçu. 2014. 69p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2014.

SANTOS, J. R. de J. Biodiesel de Babaçu: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. João Pessoa, PB: UFPB, 2008.

SANTOS, N. A. V. et al. Rejeitos de Biomassas Oriundas da Cadeia de Biocombustíveis no Brasil: Produção de Bio-óleo e Sub-produtos. Rev. Virtual Quim. v. 9 (1), p. 52-72, 2017. DOI: 10.21577/1984-6835.20170007

SILVA, J. C. et al. Influencia da Idade e da Posição Radial na Flexão Estática da Madeira de Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden. R. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.795-799, 2005.

SILVA, S. P. S.; Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curuá e Híbridos com Fibras de Vidro. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, G. N DA; SILVA, M. N. P. DA; HURTADO, C. R; HURTADO, G. R. Obtenção de biodiesel a partir dos óleos de macaúba, babaçu e dendê, utilizando diferentes catalisadores químicos e biológicos. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.6, n.1, p.82-88, 2016.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; E RUBIRA, A. F.; Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Revista Quim. Nova*, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

SATAPAPHY, S. G. B. Mechanical Properties and Fracture Behavior of Short PET Fiber-Waste Polyethylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 27, p. 967-984, 2008.

SATYANARAYANA, K. G. Biodegradable polymer composites based on brazilianlignocellulosic. *Revista Matéria*, v. 15, n. 2, p. 088-095, 2010.

SOUSA, D. C. Compósitos com matriz de amido do mesocarpo do coco babaçu reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu. 2016. 86f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências da Natureza, Pós-Graduação em Química. Teresina, 2016.

SOUZA, N. F. *et al.* Caracterização das fibras da prensagem do mesocarpo do dedê para posterior utilização em nanomateriais. In: Congresso norte-nordeste de pesquisa e inovação, 5, 2010, Maceió. Anais... Maceió: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2010.

SOUZA, J. T.; HASELEIN, C. B.; MENEZES, W. M.; GARLET, A.; TALGATTI<sup>2</sup>, M. Propriedades biológicas de painéis de casca de arroz e adesivo tanino-formaldeído. *Pesquisas Agrárias e Ambientais, nativa, Sinop*, v.6, n. 5, p. 532-536, set./out. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i5.5566>

SPADETTI, Carolini *et al.* Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de Polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose. *Rev. Polímeros, São Carlos*, v. 27, n. spe, p. 84-90, 2017.

SREEKALA, M. S., GEORGE, J., KUMARAN, M. G., & THOMAS, S. The mechanical performance of hybrid phenol-formaldehyde-based composites reinforced with glass and

oil palm fibres. *Composites Science and Technology*, v. 62, n. 3, p.339–353, 2002. doi:10.1016/s0266-3538(01)00219-6

TEIXEIRA, M. A. Heat and power demands in babassu palm oil extraction industry in Brazil. *Energy Conversion and Management*. V. 46, n.13-14, p. 2068-2074, ago-2005. doi:10.1016/j.enconman.2004.10.014.

TORRES, D. E. Desenvolvimento de um eco-compósito moldado composto de fibras recicladas celulósicas e termoplásticas. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Guimarães, Portugal, 2009.

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*, v. 63, p. 1259-1264, 2003.

WAN, C.; QIAO, X.; ZHANG, YONG; ZHANG, YINXI. Effect of different clay treatment on morphology and mechanical properties of PVC-clay nanocomposites, In *Polymer Testing*, V. 22, n. 4, Pag. 453-461, 2003. DOI:10.1016/S0142

TAKADA, Camila Rosa da Silva. Obtenção de materiais compósitos a partir de resíduo agroenergético: caso do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar. 2014. 80f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2014.

TEIXEIRA, Marcos Alexandre. Biomassa de babaçu no Brasil .. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002, Campinas. Proceedings online ... Disponível em:[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000100032&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100032&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 07 de abril de 2019.

TITA, S. P. S. et al. - Matrizes termofixas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 12, nº 4, p. 228-239, 2002.

TRIANA, O.; LEONARD, M.; SAAVEDRA, F.; FERNÁNDEZ, N.; GÁLVEZ, G. & PEÑA, E.- “Atlas del Bagazo de la Caña de Azúcar”, Cuba-9/GEPLACEA/ ICIDCA, México (1990).

THWE, M. M.; LIAO, K. (2003). Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Composites Science and Technology*, v. 63, n. 3-4, p. 375–387. doi:10.1016/s0266-3538(02)00225-7

VAZ JR., S. Uso dos Coprodutos e Resíduos de Biomassa para Obtenção de Produtos Químicos Renováveis. Circular Técnica – Embrapa Agroenergia. Brasília-DF, Dez., 2010.

ZIMMERMANN, M.V.G.; TURELLA, T.C.; ZATTERA, A.J. Influência do tratamento químico da fibra de bananeira em compósitos de poli(etileno-co-acetato de vinila) com e sem Agente de Expansão. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 71, 2013.

ZINI E, SCANDOLA M. Green composites: an overview. *Polym Compos*, v 32, p. 1905–15, Dez-2011. DOI: 10.1002 / pc.21224