



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGROENERGIA

**HÉLIDA CRISTINA NORONHA FIGUEIREDO**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AGROENERGÉTICOS**

**PALMAS  
2020**

**HÉLIDA CRISTINA NORONHA FIGUEIREDO**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AGROENERGÉTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra.

**PALMAS – TO  
2020**

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

---

F475o FIGUEIREDO, HÉLIDA CRISTINA NORONHA .  
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS  
BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS  
AGROENERGÉTICOS. / HÉLIDA CRISTINA NORONHA  
FIGUEIREDO. – Palmas, TO, 2020.  
90 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do  
Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-  
Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2020.

Orientador: Juan Carlos Valdés Serra

1. Fibra da palha de cana-de-açúcar. 2. Resina à base do óleo de  
mamona. 3. Compósito biodegradável. 4. Propriedades morfológicas .  
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).**

HÉLIDA CRISTINA NORONHA FIGUEIREDO

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A  
PARTIR DE RESÍDUOS AGROENERGÉTICOS

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 da aprovação 19/02/2020.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra  
Engenharia Ambiental  
Mat. 014492504  
Universidade Federal do Tocantins-UFT

---

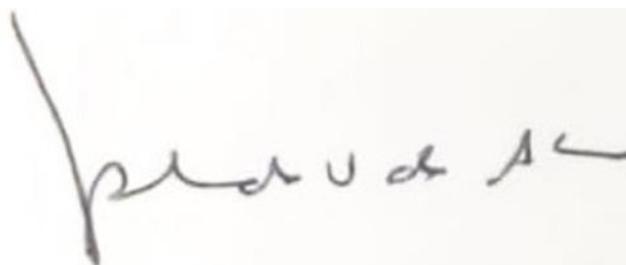
Professor Dr. Juan Carlos Valdés Serra (Orientador, UFT)



Marcus Vinicius Ribeiro e Souza

---

Professor Dr. Marcus Vinicius Ribeiro e Souza (Examinador externo, UFT)



Yolanda Vieira de Abreu

---

Professora Drª. Yolanda Vieira de Abreu (Examinador interno, UFT)

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, meus irmãos e avós por estar sempre apoiando-me nos momentos difíceis, pelo amor e companheirismo que me ofertaram nessa jornada de formação de mestre.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar sempre comigo, me dando força e abençoando durante a minha formação de mestre e a finalização desta pesquisa.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra pela orientação, comprometimento e paciência de compartilhar seus conhecimentos, me auxiliando para a realização desta pesquisa.

À banca examinadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Yolanda Vieira de Abreu e Prof. Dr. Marcus Vinicius Ribeiro e Souza, pela disponibilidade de me avaliar.

À Capes, pelo apoio financeiro durante todo o Mestrado.

À Empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, pela doação da Resina.

Agradeço aos meus pais Egídio Noronha e Maria da Conceição, por serem exemplo de força, garra e determinação, obrigado pelo amor incondicionalmente e incentivo sempre. Aos meus irmãos Hérica Kauãna e Fernando Noronha, pelo companheirismo e apoio nos momentos difíceis. Agradeço por compartilharem comigo o meu sonho de me tornar uma Mestre em Agroenergia.

Agradeço aos meus novos amigos que fiz no Mestrado em Agroenergia - UFT Fábio Cunha, Francis, Domingos, Illys, Alexandre, Paula e Ronaldo que sempre me ajudaram como pessoa e também contribuíram durante toda a jornada.

A todos que de forma direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

*Você vê coisas e diz: Por que? Mas eu sonho coisas que  
nunca existiram e digo: Por que não?  
(George Bernard Shaw)*

## RESUMO

FIGUEIREDO, Héli da Cristina Noronha. **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A PARTIR DE RESÍDUOS AGROENERGÉTICOS**. 2020, 91p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Programa de Pós-Graduação em Agroenergia. Universidade Federal do Tocantins.

A busca por um novo paradigma de preservar o meio ambiente e utilizar produtos naturais, vem contribuindo para um maior interesse na utilização de materiais derivados da biomassa. Deste modo, os compósitos poliméricos com fibras vegetais surgem como uma alternativa no campo dos materiais para aplicações de engenharia. Neste estudo, o principal objetivo foi produzir materiais compósitos biodegradáveis a partir da palha de cana-de-açúcar e resina à base do óleo de mamona. As fibras foram utilizadas em dois tamanhos:  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$  e  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ ; resina na proporção de 10%, 15% e 20%. O método de preparação foi realizado conforme a NBR 14810-2:2018, utilizando-se a técnica de moldagem por compressão a temperatura ambiente. Foram realizados os ensaios físicos: umidade, densidade e inchamento; os ensaios mecânicos: flexão estática, elasticidade e compressão. Avaliou-se o ensaio morfológico: microscopia eletrônica de varredura; e o ensaio de biodegradabilidade do compósito, no período de três meses. Os resultados mostraram que os valores dos ensaios físicos atenderam os limites mínimos que estabelece a norma, resultando em 8,72% o inchamento do material compósito. No ensaio mecânico, o compósito de menor fibra e 20% de resina foi mais resistente no teste de flexão com capacidade de 3,69 N/mm<sup>2</sup>, e no ensaio de compressão com 2,98 N/mm<sup>2</sup>. Para validação dos resultados, foi realizada a estatística com significância a 5% pelo teste F, comparado as médias pelo teste Scott-knott dos tratamentos realizados. Entretanto, os desempenhos dos compósitos de menor tamanho de fibra foram superiores aos compósitos de maior tamanho de fibra, uma vez que, as fibras menores apresentaram mais compactas, além disso, quanto maior o percentual de resina utilizado mais resistente o compósito. A análise morfológica apresentou ampla interação na interface entre matriz/reforço. O ensaio de biodegradação mostrou-se que no decorrer dos meses os compósitos foram perdendo peso de massa, o que mostra o aprimoramento da degradação. Portanto, o compósito feito da palha de cana-de-açúcar e resina à base de óleo de mamona possuem um grande potencial no mercado, por serem desenvolvidos a partir de fontes renováveis, é considerado biodegradável e baixo custo em relação aos compósitos produzidos de fibras sintéticas.

**Palavras chave:** Material compósito; Palha da cana-de-açúcar; Resina à base do óleo de mamona; Biodegradabilidade.

## ABSTRACT

FIGUEIREDO, Héliida Cristina Noronha. **OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF BIODEGRADABLE COMPOSITES FROM AGROENERGY WASTE**. 2020, 91p. Dissertation (Master in Agroenergy) Postgraduate Program in Agroenergy. Federal University of Tocantins.

The search for a new paradigm of preserving the environment and using natural products, has contributed to a greater interest in the use of materials derived from biomass. In this way, polymeric composites with vegetable fibers appear as an alternative in the field of materials for engineering applications. In this study, the main objective was to produce biodegradable composite materials from sugarcane straw and resin based on castor oil. The fibers were used in two sizes: 0 <fibers  $\leq 4,27$ mm and 4,27 <fibers <10mm; resin in the proportion of 10%, 15% and 20%. The preparation method was carried out according to NBR 14810-2: 2018, using the compression molding technique at room temperature. Physical tests were carried out: moisture, density and swelling; mechanical tests: static bending, elasticity and compression. The morphological test was evaluated: scanning electron microscopy; and the composite biodegradability test, over a three-month period. The results showed that the values of the physical tests met the minimum limits established by the standard, resulting in 8,72% swelling of the composite material. In the mechanical test, the composite with less fiber and 20% resin was more resistant in the flexion test with a capacity of 3,69 N/mm<sup>2</sup>, and in the compression test with 2,98 N/mm<sup>2</sup>. To validate the results, the statistic was performed with significance at 5% by the F test, compared to the means by the Scott-knott test of the treatments performed. However, the performance of the smaller fiber composites was superior to the larger fiber composites, since the smaller fibers presented more compactness, in addition, the higher the percentage of resin used the more resistant the composite. The morphological analysis showed a wide interaction at the matrix/reinforcement interface. The biodegradation test showed that over the months the composites started to lose weight, which shows the improvement of the degradation. Therefore, the composite made of sugar cane straw and castor oil-based resin has great potential in the market, as it is developed from renewable sources, it is considered biodegradable and low cost in relation to composites produced from fibers synthetic.

**Keywords:** Composite material; Sugar cane straw; Castor oil based resin; Biodegradability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Fluxograma das etapas do processo de fabricação dos painéis.....	20
Figura 2- Desenho esquemático de uma planta de cana-de-açúcar .....	21
Figura 3- Divisão dos corpos de prova .....	25
Figura 4- Pontos de medição no corpo de prova.....	26
Figura 5- Diagrama dos materiais compósitos .....	31
Figura 6- Classificação de compósitos.....	35
Figura 7- Classificação das fibras .....	37
Figura 8- Folhas, frutos e sementes de mamona .....	41
Figura 9- Classificação das fibras .....	47
Figura 10- Umidade da palha de maior dimensão.....	48
Figura 11- Umidade da palha de menor dimensão .....	48
Figura 12- Resina utilizada do óleo de mamona .....	49
Figura 13- Placas do material compósito obtido.....	50
Figura 14- Material compósito cortado .....	50
Figura 15- Média geral dos compósitos no ensaio de umidade .....	51
Figura 16- Média geral dos compósitos no ensaio de densidade.....	53
Figura 17- Materiais compósitos no ensaio de inchamento.....	55
Figura 18- Média geral dos compósitos no ensaio de inchamento por 24h.....	56
Figura 19- Material compósito no ensaio de flexão estática.....	58
Figura 20- Média geral dos compósitos no ensaio de flexão.....	59
Figura 21- Média geral dos compósitos no ensaio de elasticidade .....	61
Figura 22- Material compósito no ensaio de compressão .....	63
Figura 23- Média geral dos compósitos no ensaio de compressão.....	64
Figura 24- Etapas do ensaio de biodegradação.....	66
Figura 25- Amostras após o ensaio de biodegradação .....	67
Figura 26- Média de massa dos compósitos no ensaio de biodegradação .....	68
Figura 27 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito.....	69
Figura 28 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito.....	69
Figura 29 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito.....	70
Figura 30 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito.....	70
Figura 31 - Comportamento dos resultados de densidade encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa.....	73

Figura 32 - Comportamento dos resultados de umidade encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa.....	74
Figura 33 - Comportamento dos resultados de inchamento encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa.....	75
Figura 34 - Comportamento dos resultados de flexão encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa.....	75
Figura 35 - Comportamento dos resultados de elasticidade encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa.....	76
Figura 36 - Comportamento os resultados de compressão encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa.....	77
Quadro 1- Resultados compilados do uso de fibra e resina do óleo de mamona...	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição dos corpos de prova .....	24
Tabela 2- Quantidade de corpos de prova avaliados por cada tratamento .....	24
Tabela 3- Propriedades físicas do óleo de mamona .....	42
Tabela 4- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de umidade .....	51
Tabela 5- Anova dos tratamentos de umidade .....	52
Tabela 6- Média geral dos tratamentos de umidade .....	52
Tabela 7- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de densidade .....	53
Tabela 8- Anova dos tratamentos de densidade .....	54
Tabela 9- Média geral dos tratamentos de densidade .....	54
Tabela 10- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de inchamento .....	55
Tabela 11- Anova dos tratamentos de inchamento .....	56
Tabela 12- Média geral dos tratamentos de inchamento .....	57
Tabela 13- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de flexão .....	58
Tabela 14- Anova dos tratamentos à flexão estática.....	59
Tabela 15- Média geral dos tratamentos à flexão estática .....	60
Tabela 16- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de elasticidade .....	61
Tabela 17- Anova dos tratamentos à elasticidade.....	62
Tabela 18- Média geral dos tratamentos à elasticidade .....	62
Tabela 19- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de compressão .....	63
Tabela 20- Anova dos tratamentos à compressão .....	64
Tabela 21- Média geral dos tratamentos à compressão.....	65
Tabela 22- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de biodegradação ....	67
Tabela 23- Resultados experimentais do ensaio de umidade.....	88
Tabela 24- Resultados experimentais do ensaio de densidade.....	88
Tabela 25- Resultados experimentais do ensaio de inchamento por 24h.....	89
Tabela 26- Resultados experimentais do ensaio de flexão estática.....	89
Tabela 27- Resultados experimentais do ensaio de elasticidade.....	90
Tabela 28- Resultados experimentais do ensaio de compressão.....	90

## LISTA DE SIGLAS

CCA	Cinzas de cana-de-açúcar
CP	Corpo de prova
MDP	Painéis de partículas de madeira
PU	Resina poliuretana
UF	Uréia-formaldeído
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
PU-M	Resina poliuretano derivado de óleo de mamona
LMC	Laboratório de materiais compósitos
UFT	Universidade Federal do Tocantins
MOE	Módulo de elasticidade
MOR	Módulo de resistência à flexão
TP	Resistência à tração perpendicular
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
ANOVA	Análise de variância
LABMIC	Laboratório multiusuário de microscopia de alta resolução
UFG	Universidade Federal de Goiânia

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Problema .....	18
2 OBJETIVOS .....	19
2.1 Objetivo Geral .....	19
2.1 Objetivos Específicos.....	19
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 Matérias-primas utilizadas.....	21
3.1.1 Palha da cana-de-açúcar .....	21
3.1.2 Resina à base do óleo de mamona .....	23
3.2 Obtenção dos compósitos biodegradáveis .....	23
3.3 Caracterização das propriedades físicas dos compósitos .....	25
3.1.1 Determinação da densidade .....	26
3.1.2 Determinação da umidade .....	27
3.1.3 Determinação do inchamento por 24h .....	27
3.4 Determinação das propriedades mecânicas dos compósitos.....	28
3.4.1 Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade .....	28
3.4.2 Resistência à compressão longitudinal.....	29
3.5 Propriedades morfológicas dos compósitos .....	30
3.5.1 Microscopia eletrônica de varredura .....	30
3.6 Teste de biodegradação dos materiais compósitos .....	30
3.7 Análise Estatística.....	31
4 REFERENCIAL TEÓRICO .....	33
4.1 Palha de cana-de-açúcar .....	33
4.2 Materiais compósitos .....	34
4.2.1 Fibras – panorama geral.....	36
4.2.2 Fibras vegetais de reforço para compósitos .....	37

4.2.3	Compósitos de partículas de madeira.....	38
4.2.4	Produção de materiais compósitos.....	40
4.3	Mamona – aspectos gerais.....	41
4.3.1	Resina à base de mamona.....	42
4.3.2	Utilização de resinas em compósitos.....	43
4.4	Propriedades físicas dos compósitos.....	44
4.5	Determinação das propriedades mecânicas dos compósitos.....	44
4.6	Propriedades morfológicas dos compósitos.....	45
4.6.1	Microscopia eletrônica de varredura.....	45
4.7	Biodegradação dos materiais compósitos.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1	Caracterização da palha da cana-de-açúcar.....	47
5.1.1	Determinação da umidade da fibra.....	47
5.2	Resina utilizada do óleo de mamona.....	49
5.3	Obtenção do material compósito biodegradável.....	50
5.4	Ensaio físicos dos compósitos.....	51
5.4.1	Determinação da umidade.....	51
5.4.2	Determinação da densidade.....	53
5.4.3	Determinação do inchamento por 24h.....	55
5.5	Ensaio mecânicos dos materiais compósitos.....	57
5.5.1	Resistência à flexão estática.....	57
5.5.2	Elasticidade.....	60
5.5.3	Resistência à compressão.....	63
5.6	Biodegradabilidade dos materiais compósitos.....	65
5.7	Ensaio morfológico.....	68
5.8	Discussões.....	71
5.8.1	Densidade.....	72

5.8.2 Umidade .....	73
5.8.3 Inchamento por 24h.....	74
5.8.4 Flexão Estática .....	75
5.8.5 Elasticidade .....	76
5.8.6 Compressão .....	77
6 CONCLUSÕES .....	79
Sugestões para trabalhos futuros .....	80
REFERÊNCIAS .....	81
APÊNDICE .....	89

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa uma posição privilegiada para o desenvolvimento mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância no agronegócio brasileiro. A produção de cana-de-açúcar e álcool atingiu uma proporção significativa nos últimos anos. Devido ao aumento da produção de cana-de-açúcar, tornam o Brasil um participante na comercialização mundial com elevada competitividade (KOHLHEPP, 2010). A produção de cana-de-açúcar, estimada para a safra 2019/20, é de 642,7 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

O Brasil gera quantidades significativas de resíduos de biomassa durante a colheita e processamento da cana-de-açúcar. A palha é mais um subproduto do setor sucroalcooleiro, que vem aumentando gradualmente e a inserção de novas e mais avançadas tecnologias agrícolas e industriais, visando a recuperação integral ou parcial da palha. A palha da cana-de-açúcar compreende as folhas secas, folhas frescas e o topo da planta (SANTOS *et al.*, 2012). São produzidos a partir de cada tonelada de cana-de-açúcar 140 kg de palha, 140 kg de bagaço e 150 kg de açúcar (CGEE, 2008).

O uso de fibras vegetais em vários ramos da indústria moderna é uma área de interesse para pesquisadores focados em promover o desenvolvimento de materiais não convencionais. A ampla disponibilidade, a rápida renovação, a economia, o baixo peso e as altas propriedades específicas das fibras vegetais, bem como seu caráter biodegradável e sua alta resistência à abrasão, permitem considerá-los uma alternativa razoável quando comparados com as fibras tradicionalmente utilizadas (MISRA; PANDEY; MOHANTY, 2015).

Materiais compósitos que compreendem elementos renováveis ou sustentáveis para fibras ou matrizes estão atraindo interesse por suas perspectivas econômicas e ambientais, oferecendo utilidade em vários setores devido à sua capacidade de formabilidade, peso leve e atributos de design (MERTENS; GURR; KRAUSE, 2017). Os compósitos baseados em materiais ecológicos e renováveis são cada vez mais utilizados, para substituir materiais convencionais formados a partir de compósitos de materiais sintéticos que permitem reduzir o efeito das emissões de gases de efeito estufa (SANJAY *et al.*, 2018).

O presente trabalho tem como objetivo produzir materiais compósitos biodegradável utilizando um resíduo agroenergético (palha da cana-de-açúcar) e resina à base do óleo de mamona. O estudo inclui as especificações técnicas, conforme a NBR 14810-2:2018 – Painéis de partículas de média densidade - Requisitos e métodos de ensaio; utilizando fibras vegetais como uma forma de valorizar os resíduos da agroindústria, visando o aproveitamento de recursos naturais disponíveis no meio.

### **1.1 Problema**

O desenvolvimento de compósitos biodegradáveis resulta em grande parte motivado pela maior conscientização ambiental, problemas com o descarte de resíduos e o esgotamento de recursos petroquímicos. As aplicações de fibras naturais são frequentemente limitadas a aplicações internas e não estruturais devido às suas propriedades mecânicas mais baixas e baixa resistência à umidade, mas essas propriedades parecem ter um espaço significativo para melhoria através do uso de tratamentos de superfície inovadores, resinas e aditivos. Portanto, o compósito produzido obteve um bom desempenho mecânico e físico, possui interação entre a fibra e a matriz, é biodegradável, como pode ser utilizado (aplicações)?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Obter e caracterizar um material compósito biodegradável a partir de um resíduo agroenergético (palha da cana-de-açúcar) e resina à base do óleo de mamona.

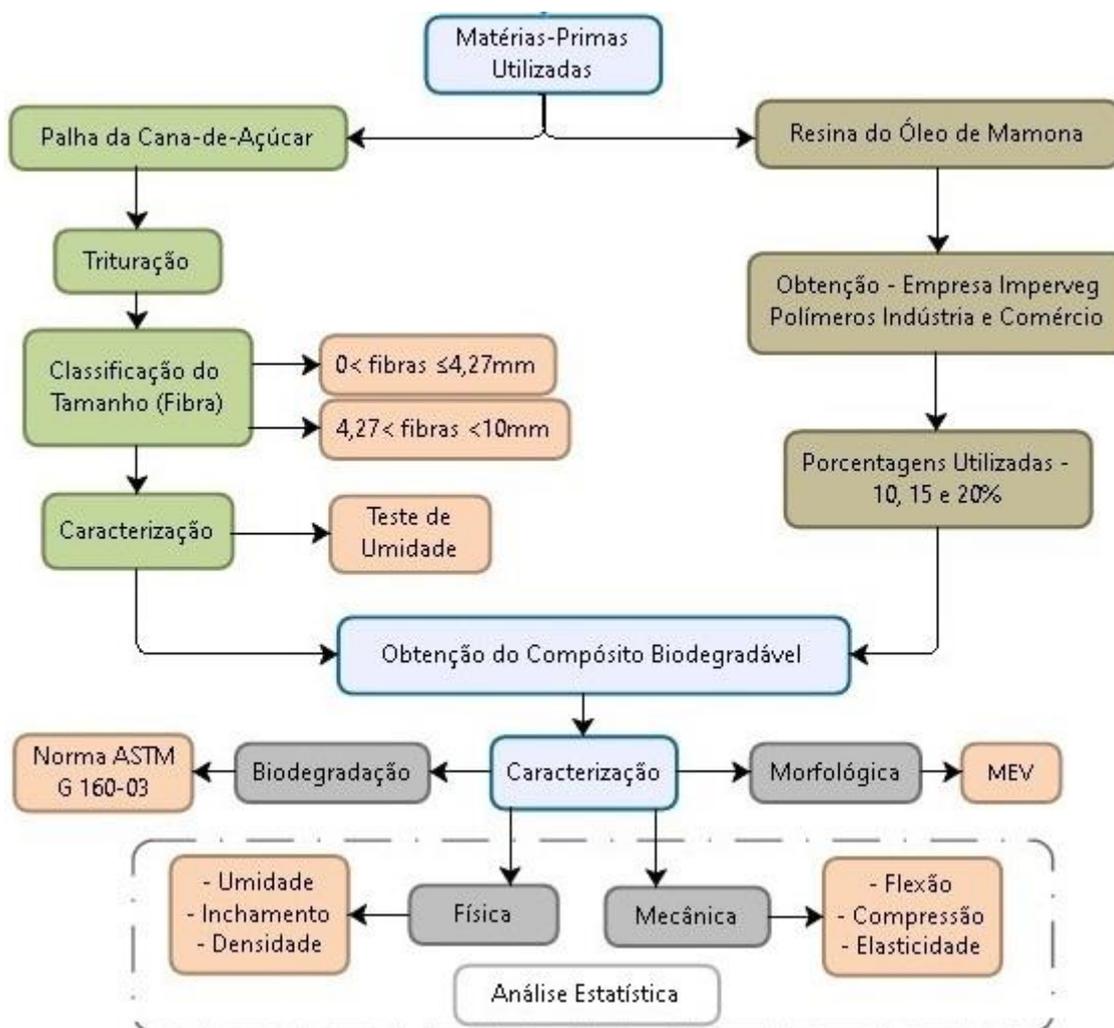
### **2.1 Objetivos Específicos**

- a) Formular compósito de matriz polimérica com resina de poliuretano e reforços de palha da cana-de-açúcar;
- b) Caracterizar as propriedades da fibra palha da cana-de-açúcar;
- c) Obter compósitos com 10%, 15% e 20% em massa de resina;
- d) Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais compósitos obtidos;
- e) Avaliar a biodegradabilidade e as propriedades morfológicas dos compósitos;

### 3 METODOLOGIA

A metodologia empregada para este presente trabalho é classificada como pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, objetivo metodológico descritiva e explicativa, baseado em procedimentos técnicos experimental, onde o pesquisador desenvolve materiais compósitos e realiza pesquisas científicas em periódicos nacionais e internacionais (Periódico Capes, *Science Direct*, Scopus, Scielo, entre outros) buscando assuntos relacionados à palha da cana-de-açúcar e resina à base do óleo de mamona. A Figura 1 mostra o fluxograma das etapas do processo de fabricação dos materiais compósitos biodegradáveis.

Figura 1- Fluxograma das etapas do processo de fabricação dos painéis



Fonte: Próprio autor

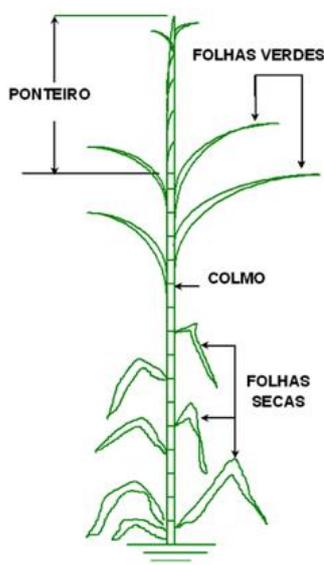
Primeiramente, foi feita a preparação da fibra (trituração, classificação do tamanho e caracterização), posteriormente a obtenção dos compósitos biodegradáveis. Foram realizados os ensaios das propriedades físicas, mecânicas dos compósitos, sendo orientados conforme a NBR 14810-2:2018 – Painéis de partículas de média densidade – Requisitos e métodos de ensaio; ensaio de biodegradação e o ensaio morfológico. Diante dos experimentos realizados, foram analisados os resultados obtidos e por fim realizada a conclusão.

### 3.1 Matérias-primas utilizadas

#### 3.1.1 Palha da cana-de-açúcar

Palha da cana-de-açúcar espécie *Saccharum officinarum*, obtida da Fazenda Água Limpa no município de Pequizeiro no Estado do Tocantins. O material foi removido manualmente do colmo, trituradas em um desintegrador picador forrageira da marca Vencedora Maqtron e embaladas em sacos plástico. Em seguida, foram trazidas para Palmas-Tocantins e armazenadas no Laboratório de Materiais Compósitos (LMC), da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus Palmas até o início do experimento. A Figura 2 mostra o desenho esquemático de uma planta de cana-de-açúcar, suas partes componentes como o colmo, ponteiro e palha.

Figura 2- Desenho esquemático de uma planta de cana-de-açúcar



Fonte: HASSUANI, S.; CELENTE, V., (2016).

### 3.1.1.1 Preparação do resíduo

Para utilização das partículas de palha de cana-de-açúcar, os resíduos foram passados na peneira com dimensão granulométrica de 4,27 mm, obtendo dois tamanhos de fibras, o que ficou retido e o que passou na peneira ( $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$  e  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ ), sendo utilizados estes dois tamanhos para a produção do material compósito. Foram pesados 100g de cada fibra na balança semianalítica, adicionado em um tubo béquer de plástico e compactado as fibras, para identificar quantos mL de fibra seriam utilizados em cada chapa.

### 3.1.1.2 Determinação da umidade

Para determinação do teor de umidade foi realizado conforme Takada, 2014. Foram coletadas dez amostras de cada tamanho da fibra ( $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$  e  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ ) com peso de 1 g cada, que inicialmente foram pesadas em balança semianalítica marca Shimadzu modelo AY 220, e posteriormente secas em estufa da marca Shimadzu, modelo TE 394/3, aplicadas a uma temperatura de 105°C durante 4h. Logo após o tempo determinado as amostras foram esfriadas e retiradas da estufa, foram pesadas individualmente, sendo anotados os valores como massa seca e determinado pela equação 1.

$$U = \frac{MU - MS}{MU} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

*U*: umidade residual, em porcentagem (%);

*MU*: massa úmida, em gramas (g);

*MS*: massa seca, em gramas (g).

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

### **3.1.2 Resina à base do óleo de mamona**

A resina poliuretano derivado de óleo de mamona foi doada pela Empresa IMPERVEG Polímeros Indústria e Comércio Ltda, localizada na cidade de Aguai-São Paulo, é descrita como IMPERVEG AGT 1315, onde especifica na ficha técnica que é uma resina a base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), bi-componente, 100% sólido (isento de solventes) não liberando vapores tóxicos, formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um polioli (componente B), resultando em polímeros com diferentes características, de excepcional estabilidade físico-química, elasticidade, impermeabilidade.

A resina é fornecida em dois componentes (A + B) que devem ser misturados na proporção de 1:1,5 (uma parte do componente A + uma parte e meia do componente B, em volume respectivamente). Após a mistura o tempo de trabalho gira em torno de 15 minutos, quando a resina entra no ponto de gel dificultando o manuseio do material, gerando conseqüentemente perdas. É recomendada inicialmente a mistura de pequenas quantidades.

Depois que foram identificadas as quantidades de fibras a ser utilizada, calculou-se por regra de três a quantidade de resina em mililitros a ser utilizada em cada chapa.

### **3.2 Obtenção dos compósitos biodegradáveis**

Os compósitos foram preparados por moldagem à compressão. Segundo Canevarolo (2004), a moldagem por compressão consiste em transformar um material, depositado na cavidade de um molde, em uma peça de forma definida, através da aplicação de pressão com ou sem aquecimento.

Os componentes da resina de poliuretano foram misturados manualmente, sendo preparado conforme as recomendações do fabricante. A resina misturada foi então adicionada às fibras trituradas em uma batedeira doméstica da marca Mondial para a mistura dos componentes. Depois disso, foram colocados um molde metálico com dimensões internas de 200mm x 200mm x 30mm e conduzidos para uma prensa Hidropneumática da marca NOWAK com capacidade de força de 30 toneladas, aplicada uma carga de 1 tonelada. Depois de 15 minutos, o material foi

retirado do molde. As concentrações de resina nas fibras foram de 10%, 15% e 20% em massa, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Composição dos corpos de prova

Amostra	Tamanho ( $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ )		Tamanho ( $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ )	
	Fibra (mL)	Resina (mL)	Fibra (mL)	Resina (mL)
CP1 <sub>10</sub>	1000	100	-	-
CP1 <sub>15</sub>	1000	150	-	-
CP1 <sub>20</sub>	1000	200	-	-
CP2 <sub>10</sub>	-	-	1200	120
CP2 <sub>15</sub>	-	-	1200	180
CP2 <sub>20</sub>	-	-	1200	240

Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 01, o tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$  é a fibra que ficou retida na peneira; já o tamanho  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$  é a fibra que passou na peneira.

Para os ensaios de umidade, inchamento, densidade, flexão e compressão foram analisados 10 corpos de prova (CP) de cada tratamento. Já no ensaio de biodegradação serão analisados 12 corpos de prova, sendo analisados 4 CP por mês, como mostra na Tabela 2.

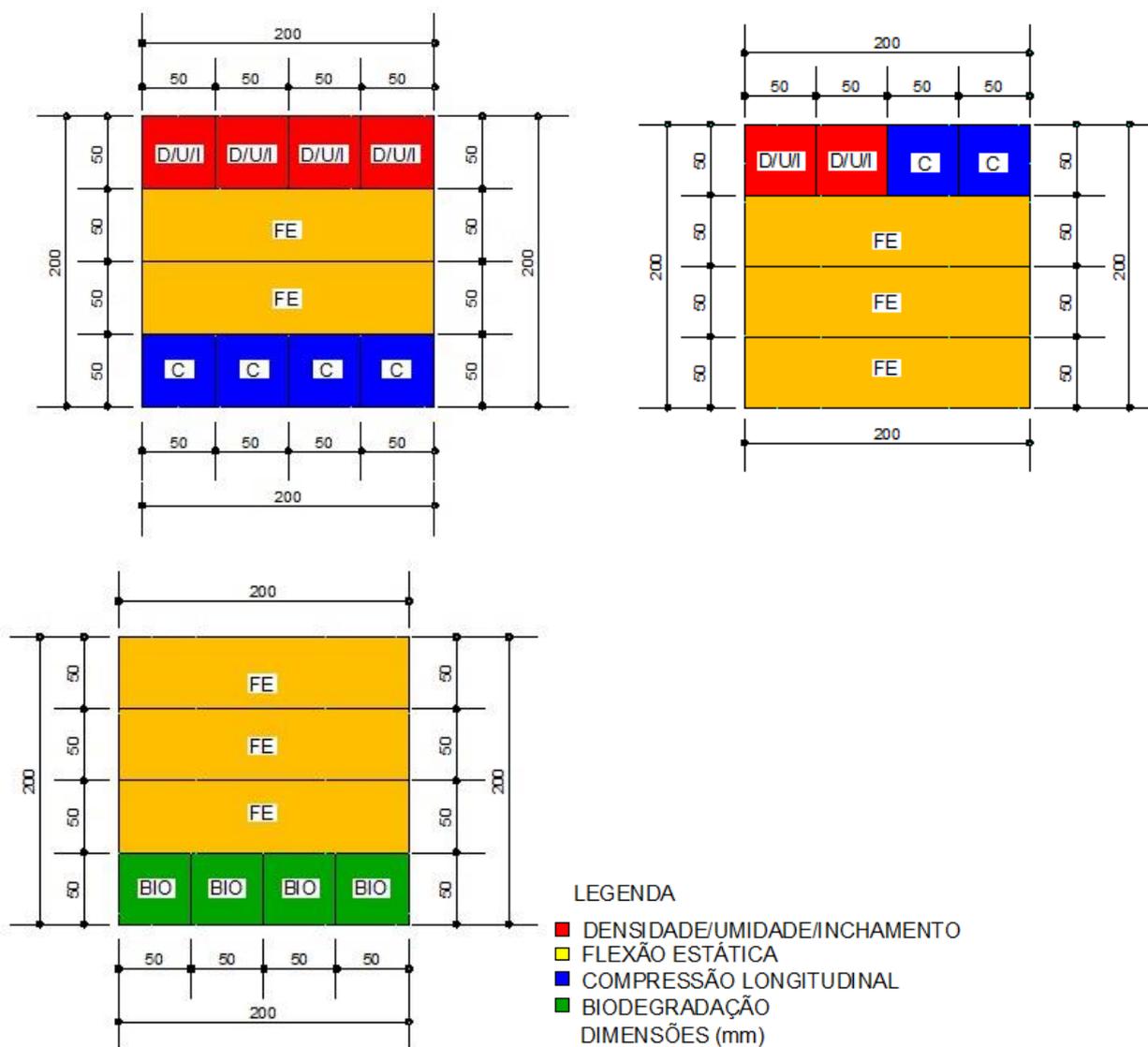
Tabela 2- Quantidade de corpos de prova avaliados por cada tratamento

Ensaio	Nº de CP (repetições)
Umidade	10
Inchamento	10
Densidade	10
Flexão/Elasticidade	10
Compressão	10
Biodegradação	12

Fonte: Próprio autor.

Todo o processo foi realizado em temperatura ambiente. Após a cura, por 7 dias, os compósitos foram cortados (divididos) conforme mostra a Figura 3 e submetidos aos ensaios de propriedades físicas, mecânicas, morfológica e teste de biodegradabilidade.

Figura 3- Divisão dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor.

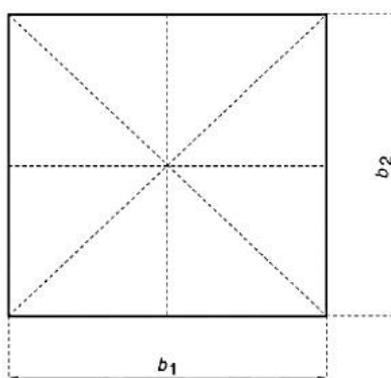
### 3.3 Caracterização das propriedades físicas dos compósitos

Para a determinação das propriedades físicas foram utilizados corpos de prova com as seguintes dimensões: densidade (50 x 50 mm); umidade (50 x 50 mm) e inchamento por 24 horas (50 x 50 mm), sendo empregados 10 CP por tratamento, retirados aleatoriamente das três chapas de cada combinação.

### 3.1.1 Determinação da densidade

O ensaio foi realizado conforme NBR 14810-2:2018. Para determinar a densidade, foi necessário a identificação dos corpos de prova (10 CP de cada tratamento). A espessura foi medida no ponto de intersecção das diagonais em cada corpo de prova. Após a determinação de espessura, com o uso de paquímetro de resolução de 0,01 mm, os corpos de prova foram medidos em dois pontos paralelos às extremidades dos corpos de prova ( $b_1$  e  $b_2$ ), ao longo de linhas que passam pelos centros de extremidades opostas conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4- Pontos de medição no corpo de prova



Fonte: ABNT, (2018).

Com base nas dimensões, calculou-se os volumes dos corpos de provas. Utilizado uma balança analítica com resolução de 0,01 g determinou-se as respectivas massas. A Equação 2 foi utilizada para determinar a densidade aparente dos corpos de prova.

$$D = \frac{M}{V} \cdot 1000000 \quad (2)$$

Onde:

$D$  = é a densidade do corpo de prova ( $kg.m^3$ );

$M$  = é a massa do corpo de prova (g);

$V$  = é o volume do corpo de prova ( $mm^3$ );

$b_1$  e  $b_2$  = são as dimensões do corpo de prova (mm); e

$e$  = é a espessura do corpo de prova (mm).

### 3.1.2 Determinação da umidade

O ensaio foi realizado conforme NBR 14810-2:2018. Os corpos de prova foram pesados individualmente (10 CP de cada tratamento), em balança semianalítica com resolução de 0,01 g e anotados os dados sendo a massa úmida. As amostras foram inseridas em estufa a  $(103 \pm 2)$  °C durante 6 horas. Após o esfriamento foram pesados individualmente, obtendo a massa seca. Esses valores foram utilizados na Equação 3.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

$U$  = umidade residual, em porcentagem (%);

$MU$  = massa úmida, em gramas (g); e

$MS$  = massa seca, em gramas (g).

### 3.1.3 Determinação do inchamento por 24h

O ensaio foi realizado conforme NBR 14810-2:2018. Para determinar o inchamento após 24h, inicialmente foi medido a espessura no ponto de intersecção das diagonais (10 CP de cada tratamento). O recipiente foi preenchido com água destilada, de modo que quando a amostra ficou submersa, o nível de água ficou cerca de 25 mm acima da superfície superior da amostra. Após 24 horas de imersão, os corpos de prova foram retirados do recipiente e removido o excesso de água com um papel. Em sequência, foram medidos novamente a espessura dos corpos de prova e anotados os respectivos resultados e calculados seguindo a equação 4.

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

*I*: inchamento em espessura, em porcentagem (%);

*E1*: espessura após o período de imersão, em milímetros (mm);

*E0*: espessura antes da imersão, em milímetros (mm).

### 3.4 Determinação das propriedades mecânicas dos compósitos

Para a determinação das propriedades mecânicas foram utilizados corpos de prova com as seguintes dimensões: flexão estática e módulo de elasticidade (50 x 200 mm) e compressão longitudinal (50 x 50 mm), com o emprego de dez corpos de prova para cada ensaio, sendo retirados aleatoriamente das três chapas de cada combinação. Os ensaios foram realizados utilizando-se a máquina universal de ensaios EMIC.

#### 3.4.1 Resistência à flexão estática e módulo de elasticidade

O ensaio foi realizado conforme NBR 14810-2:2018. Utilizando o paquímetro digital com resolução de 0,01 mm, foram medidas as espessuras dos corpos de prova individualmente (10 CP de cada tratamento). As extremidades do corpo de prova foram colocadas sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios, de modo que o dispositivo aplicou a carga sobre o centro do corpo de prova. Após a ruptura, foram registradas, a carga no limite proporcional e o valor da força de ruptura e calculados os valores utilizando a equação 5 e 6.

Determinação da resistência à flexão estática:

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

Onde:

*MOR* = módulo de resistência à flexão, em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>);

$P$  = carga de ruptura, em newtons (N);

$D$  = distância entre apoios do aparelho, em milímetros (mm);

$B$  = largura do corpo de prova, em milímetros (mm); e

$E$  = espessura do corpo de prova, em milímetros (mm).

Determinação do módulo de elasticidade:

$$MOE = \frac{P1 \cdot D^3}{d \cdot 4 \cdot B \cdot E^3} \quad (6)$$

Onde:

$MOE$  = módulo de elasticidade, em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>);

$P1$  = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

$D$  = distância entre os apoios do aparelho (mm);

$d$  = deflexão correspondente à carga  $P1$  (mm);

$B$  = largura do corpo de prova (mm);

$E$  = espessura do corpo de prova, em milímetros (mm).

### 3.4.2 Resistência à compressão longitudinal

O ensaio foi realizado conforme NBR 14810-2:2002. As dimensões dos corpos de prova foram medidas (10 CP de cada tratamento) utilizando paquímetro digital de resolução de 0,01 mm. Após as medições os corpos de prova foram colocados em dispositivos de metal e posicionados entre as garras da máquina universal de ensaios (EMIC DL 3000). Iniciando o ensaio, com tempo médio de ruptura de 60 segundos, à carga máxima necessária para romper o corpo de prova, expressa em newtons (N), foi registrada e calculado pela equação 7.

Equação de resistência à compressão longitudinal:

$$F = \frac{f}{A} \quad (7)$$

Onde:

$F$  = compressão longitudinal, em megapascals (MPa);

$f$  = força de ruptura, em newtons (N);

$A$  = área da seção, em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

### **3.5 Propriedades morfológicas dos compósitos**

#### **3.5.1 Microscopia eletrônica de varredura**

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizado no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LABMIC), na Universidade Federal de Goiânia (UFG). Foram utilizadas amostras com dimensões de 2cm x 2cm, coladas no stub (peça metálica), depois colocadas no sputter para realizar o teste de vacum, identificar se as amostras estavam totalmente secas. Observou-se que as amostras não estavam secas, então foi preciso colocar em um recipiente com sílica para secar. Após a secagem de 2 dias, as amostras foram colocadas no equipamento sputter onde passa uma película de ouro e a superfície das amostras foram analisadas no equipamento de MEV, onde a imagem é formada ponto a ponto a partir da interação do feixe de elétrons com a amostra metalizada.

#### **3.6 Teste de biodegradação dos materiais compósitos**

O ensaio de biodegradação por perda de massa foi realizado conforme a norma ASTM G 160-03. Primeiramente, foi adicionado em uma bacia de plástico 2 kg de esterco de cavalo seco, 2 kg de areia grossa, 2 kg de solo fértil e 1 litro de água, foram misturados manualmente. O material foi coberto em papel filme e armazenado no LMC, por 90 dias para maturação. Após 30 dias, mediu-se a umidade e pH do solo, onde a umidade do solo deve estar entre 20 e 30% e o pH entre 6,5 e 7,5. Passado este período de maturação, dividiu-se a mistura em duas bacias de plástico, foram pesadas as amostras na balança semianalítica e enterradas 12 amostras de cada tamanho 4,27 < fibras < 10mm e 0 < fibras ≤ 4,27mm, na proporção de 20% de resina. Foram avaliadas no período de 30, 60 e 90 dias, sendo retirado 4 amostras a cada mês. Depois de retirar as amostras do solo, passou-se um pincel com água destilada nas superfícies do material compósito para a retirada do solo que ficou agrupado, levou-se a estufa com temperatura de 110°C durante 4 horas. Foram pesadas e calculou-se a perda de massa por meio da Equação 8.

$$PM = MI - MF \quad (8)$$

Onde:

*PM* = perda de massa, em gramas (g);

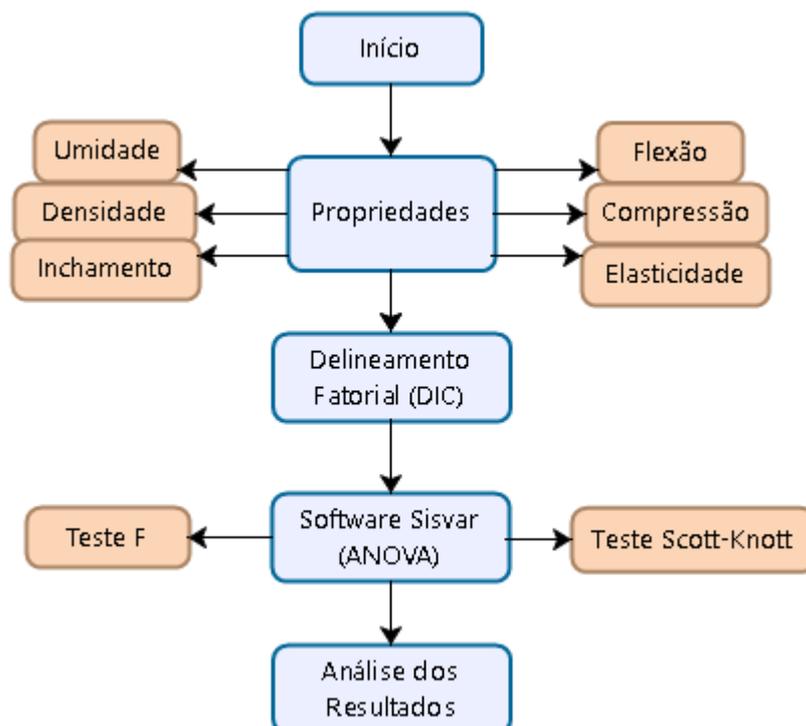
*MI* = massa inicial, em gramas (g); e

*MF* = massa final, em gramas (g).

### 3.7 Análise Estatística

Para o tratamento dos dados, os valores encontrados nos ensaios físicos e mecânicos, foram comparados estatisticamente entre si. A Análise de Variância (ANOVA) foi usada para estabelecer a significância de quaisquer diferenças observadas, se o  $F_{\text{calculado}}$  for maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  é considerado significativo, ou seja, há diferença; e se o  $F_{\text{calculado}}$  for menor que o  $F_{\text{tabelado}}$  não é significativo, ou seja, não há diferença. A Figura 5 mostra o diagrama dos materiais compósitos realizados.

Figura 5- Diagrama dos materiais compósitos



Fonte: Próprio autor.

Foi aplicado o Experimento Fatorial em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) para cada combinação, devido ao tratamento possuir dois fatores perturbadores (três porcentagem de resina/ dois tamanhos de fibras), mediante a análise de variância e teste Scott-knott a 5% de significância, empregando-se o software Sisvar versão 5.7. Diante dos valores obtidos de médias, foram discutidos a significância entre os resultados.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os tópicos referente aos materiais compósitos, após realizar pesquisas científicas em periódicos nacionais e internacionais, produzido citações dos assuntos relacionados à palha da cana-de-açúcar e resina à base do óleo de mamona.

### 4.1 Palha de cana-de-açúcar

A palha de cana-de-açúcar é produzida em grandes quantidades e geralmente é abandonada em terra, podendo ser transformada em cinzas de cana-de-açúcar (CCA) para reutilização em ligantes inorgânicos (MORAES *et al.*, 2016). A CCA é obtida a partir da combustão da palha da cana, um resíduo que aumentou nos últimos anos por dois motivos: a expansão da produção de cana-de-açúcar em muitos países e a tendência de usar uma colheita mecanizada. Após o processo de colheita mecanizada, obtém-se a palha de cana-de-açúcar, que é deixada na maior parte no campo para cobrir o solo nu; no entanto, alguns deles podem ser reutilizados sem afetar essa proteção (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

As atividades envolvidas na coleta da palha de cana-de-açúcar incluem essencialmente adensamento, carregamento, transporte, limpeza da cana e recuperação da palha. Atualmente, essas atividades apresentam limitações quando aplicadas em grande escala, devido à necessidade de adaptar e desenvolver equipamentos específicos de colheita, a mecanização com recuperação de palha apresenta melhores desempenhos tecnoeconômicos (CARDOSO *et al.*, 2019).

A disponibilidade após a colheita depende de vários fatores, como o sistema de colheita utilizado, o clima e a variedade da cana. Durante a colheita de cana, grande parte da palha é separada dos colmos através de um sistema de ventilação composto por dois extratores localizados na colhedora de cana picada e os valores usuais de impurezas vegetais (palha) encontrados atualmente situam-se entre 5 e 6%, deixando grande parte da palha no solo (SILVA *et al.*, 2016).

A composição da palha da cana-de-açúcar estimula alguns grupos de pesquisa a desenvolver tecnologias utilizando a fibra como reforço, para a produção de materiais compósitos. A palha de cana-de-açúcar é composta por três principais componentes macromoleculares: celulose, poliposes e lignina. A separação destas

três frações macromoleculares de materiais lignocelulósicos pode ser realizada por processos físicos, biológicos e químicos. O processo químico é usado nas indústrias de celulose e papel (COSTA *et al.*, 2013).

Materiais lignocelulósicos obtidos no processo de fabricação industrial da cultura da cana-de-açúcar (bagaço de cana e palha de cana-de-açúcar) apresentam alto potencial energético para o aproveitamento destes resíduos. Portanto, a elevada quantidade de resíduos florestais e agroindustriais no Brasil está sendo transformada em produtos de alto valor agregado, como por exemplo: produção de biocompósitos; bioplásticos (MESA-PÉREZ *et al.*, 2013). Além disso, são necessários métodos mais eficazes da utilização de palha de cana-de-açúcar para se obter quantidades suficientes para a preparação de diferentes tipos de misturas (MORAES *et al.*, 2015).

## 4.2 Materiais compósitos

Os materiais compósitos surgiram como uma classe promissora de materiais de engenharia, oferecendo novas perspectivas para a tecnologia moderna. A maioria dos materiais naturais que surgiram como resultado de um processo de evolução prolongado pode ser tratada como materiais composto. De um modo geral, qualquer material que consiste em dois ou mais componentes com diferentes propriedades e limites distintos entre os componentes pode ser referido como um material compósito (VASILIEV; MOROZOV, 2018).

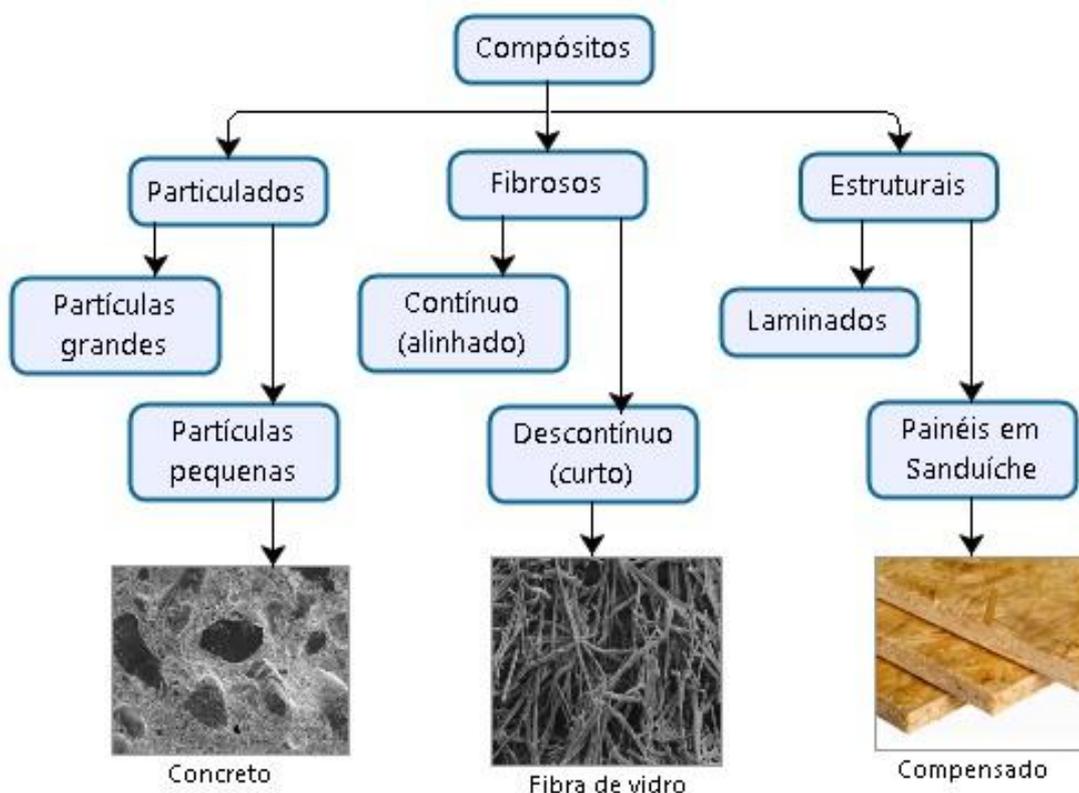
Segundo a Norma *American Society for Testing and Materials – ASTM D3878 – 95*, o material compósito consiste em uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia com certas propriedades que não se encontram nos materiais isoladamente, sendo a denominação destes materiais bastante diversificada, podendo ser tratados ainda como compostos ou conjugados. Eles podem ser criados tanto pelo homem, quanto pela natureza.

Os materiais compósitos ganharam enorme popularidade nas indústrias de pesquisa, os pesquisadores se esforçam para formar diferentes tipos de elementos constituintes para fabricar compósitos e vários testes têm sido realizado para estudar suas propriedades e mudanças de fase. Além disso, os pesquisadores otimizaram a porcentagem de conteúdo (matriz) e outros parâmetros que combinam

a formação de um compósito superior, a fim de alcançar a maior eficiência do material (RAJAK *et al.*, 2019).

A Figura 6 mostra a classificação dos compósitos.

Figura 6- Classificação de compósitos



Fonte: Adaptado de CALISTER, 2007.

Para Calister (2007) os compósitos são classificados em particulados sendo as partículas grandes e pequenas; em fibrosos sendo contínuo e descontínuo; e em estruturais sendo os laminados e painéis em sanduíche. Afirmam que os compósitos são formados por dois constituintes: fase matriz; fase dispersa. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa.

Vasiliev e Morozov (2018) classifica os materiais compósitos existentes em dois grupos: o primeiro grupo compreende compósitos que são conhecidos como “materiais preenchidos”, onde a principal característica desses materiais é a existência de algum material básico ou de matriz cujas propriedades são melhoradas pelo preenchimento de algumas partículas; o segundo grupo de materiais envolve

compostos que são chamados de “materiais reforçados”. Os componentes básicos desses materiais são fibras longas e finas.

Um material composto, o próprio nome forma a definição de que é uma composição de materiais. É a formação de dois ou mais materiais constituintes com propriedades físicas ou químicas significativamente diferentes quando combinados produz um material que possui características únicas diferentes dos elementos constituintes (CLYNE; HULL, 2019).

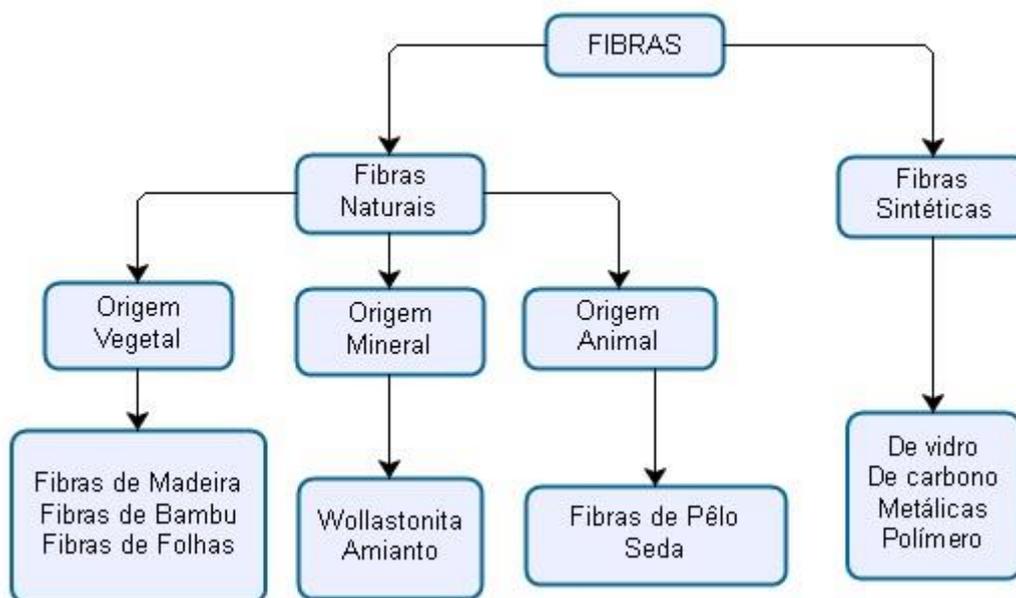
#### **4.2.1 Fibras – panorama geral**

Devido à preocupação da sociedade com a redução de impactos ambientais, começaram a surgir tecnologias “verdes”, assim, esforços têm sido feitos para o desenvolvimento de materiais alternativos que sejam favoráveis ao meio ambiente. Deste modo, surgiram os biocompósitos, que segundo Mohanty *et al.*, (2005) são materiais que possuem pelo menos um tipo de material oriundo de fontes naturais e renováveis, que geralmente são as fibras.

As fibras são caracterizadas por uma dispersão de força relativamente elevada que pode ser aumentada devido a danos nas fibras provocadas pelo equipamento de processamento. A rigidez da matriz deve corresponder à rigidez das fibras e ser suficiente para fornecer uma carga uniforme das fibras. Quanto maior a rigidez da matriz, menor a distância e a influência das fibras danificadas no material compósito (VASILIEV; MOROZOV, 2018).

As fibras naturais foram introduzidas com a intenção de produzir compósitos mais leves, juntamente com custos mais baixos em comparação com compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro (RODRIGUES; SOUZA; FUJIYAMA, 2015). Segundo Persson; Skarendahl, (1984) as fibras podem ser divididas em dois grupos principais: fibras naturais e fibras feitas pelo homem (ou sintéticas), como ilustrado na Figura 7.

Figura 7- Classificação das fibras



Fonte: Adaptado de PERSSON; SKARENDAHL, 1984.

As fibras feitas pelo homem ou fibras sintéticas são o grupo de reforços propriamente dita, incluindo as fibras de vidro, de carbono, aramidas e fibras metálicas. As fibras naturais são classificadas em: fibras lignocelulósicas (vegetais); fibras animais (lã, seda) e fibras minerais (amianto). As fibras sintéticas substituíram as fibras vegetais, devido ao seu melhor desempenho e aos aspectos econômicos (PERSSON; SKARENDAHL, 1984).

Dittenber e Gangarao (2012) cita que as principais condições que afetam a qualidade das fibras são: o crescimento da planta (espécies de plantas, localização da cultura e condições climáticas locais), a fase de colheita (idade das fibras, espessura da fibra e adesão entre fibras) e a fase de fornecimento (método de transporte, tempo de armazenamento e condições).

#### 4.2.2 Fibras vegetais de reforço para compósitos

As fibras naturais podem ser colhidas do caule, folhas ou sementes de várias plantas. As plantas, que produzem fibras naturais, são classificadas como primárias e secundárias, dependendo de sua utilização. As plantas primárias são aquelas cultivadas pelo seu teor de fibras, enquanto as plantas secundárias são

plantas nas quais as fibras são produzidas como um subproduto. Juta, cânhamo, kenaf e sisal são exemplos de plantas primárias. Abacaxi, dendê, coco e cana-de-açúcar são exemplos de plantas secundárias (FARUK *et al.*, 2012).

As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e utilizadas “*in natura*” ou após beneficiamento. As fibras naturais se dividem em: fibras de origem animal; fibras de origem vegetal e fibras de origem mineral. As condições fundamentais para uma resistência mecânica ideal de compósitos reforçados com fibra são uma boa ligação entre a fibra e a matriz, uma distribuição uniforme das fibras e uma baixa proporção de vazios (SAIR *et al.*, 2019).

O desempenho dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais depende de vários fatores, incluindo composição química das fibras, dimensões celulares, ângulo microfibrilar, defeitos, estrutura, propriedades físicas e propriedades mecânicas, além da interação de uma fibra com o polímero. A fim de expandir o uso de fibras naturais para compósitos e melhorar seu desempenho, é essencial conhecer as características das fibras (FARUK *et al.*, 2012). A composição química das fibras vegetais tem grande influência em suas propriedades mecânicas isso ocorre porque a celulose, a hemicelulose e a lignina são as principais responsáveis pelo comportamento da ligação e pela degradação das fibras naturais nos compósitos (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016).

A proporção de fibras é influenciada pela maneira como as fibras são extraídas e processadas. A seleção de uma fibra adequada, entre as disponíveis na natureza, como reforço para um determinado polímero é guiada pelos valores de rigidez e resistência compostas necessárias. Além das propriedades intrínsecas de cada componente (fibras e matriz), espera-se que as propriedades mecânicas do compósito dependam da proporção de fibra, fração e orientação volumétrica e da aderência na interface fibra-matriz, promovendo uma boa transferência de tensão da fase contínua para as fibras que devem carregar a carga (ZINI; SCANDOLA, 2011).

### **4.2.3 Compósitos de partículas de madeira**

Os painéis particulados de madeira são definidos como um produto fabricado a partir de materiais lignocelulósicos, principalmente na forma de partículas discretas, combinado com resina sintética ou outro aglomerante adequado

e ligados em conjunto sob calor e pressão (IWAKIRI *et al.*, 2004). A tecnologia de produção de painéis de partículas aglomeradas desenvolveu-se principalmente após a Segunda Guerra Mundial, em função da escassez da matéria-prima e, também, pela necessidade de reduzir perdas ocorridas tanto na indústria madeireira como na exploração florestal (MENDES *et al.*, 2003).

Para a produção de painéis aglomerados se faz necessário o uso de uma resina com função aglomerante. As resinas mais comumente empregadas na produção de aglomerados são aquelas à base de uréia-formaldeído. Esses tipos de resinas apresentam dois inconvenientes: baixa resistência à ação de umidade e quando aquecida ocorre emissão de formaldeído, prejudicial ao meio ambiente. Com base nisto, há a necessidade de encontrar um substituto com igual qualidade e desempenho às resinas tradicionais (NEGRÃO *et al.*, 2014).

Para a fabricação de compósitos de madeira, como painéis de partículas, o uso de resinas à base de formaldeído gera cargas ambientais devido à emissão de gases tóxicos na prensagem a quente de painéis (LIANG; LV; YANG, 2016). Neste sentido, resina de poliuretano à base de óleo de mamona, resina à base de soja e outros materiais de base renovável têm sido aplicados como ligantes para produzir painéis de madeira (SOUZA *et al.*, 2018).

Contudo, esses painéis podem ser fabricados a partir de qualquer outro material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira (CRAVO *et al.*, 2015). Os materiais lignocelulósicos provenientes de subprodutos agroindustriais vêm sendo utilizados com sucesso na fabricação de painéis, sendo possível destacar a casca de arroz, folhas de bambu e também o bagaço de cana-de-açúcar (CARASHI *et al.*, 2008).

A ABNT NBR 14810-2:2018 – especifica os métodos de ensaio de painéis de partículas de madeira (MDP). O MDP é um produto derivado da madeira, que dentre as diversas tipologias de materiais existentes, é classificado como material composto ou compósito (SILVA *et al.*, 2013). A diferença entre aglomerado e outros produtos reconstituídos de madeira são os materiais ou partículas utilizadas na sua produção. Desta forma, a madeira virgem é não é a única fonte de material para produzir compósitos de madeira, existem uma grande variedade de resíduos não-madeireiros também que pode ser aplicada para produzir compósitos (IRITANI *et al.*, 2015).

#### 4.2.4 Produção de materiais compósitos

Miléo *et al.*, (2011) avaliaram o compósito de resina poliuretano de mamona reforçado com fibras celulósicas da palha de cana-de-açúcar, nas concentrações de fibras de 5%, 10%, 15% e 20%. Para o módulo de flexão os compósitos celulósicos/PU, foram de 171,0; 182,2; 314,8 e 354,5 MPa. Os autores concluíram que a adição de fibras de celulose na matriz tornou-se os compósitos mais rígidos quando em comparação com a matriz pura, melhorando o módulo de flexão, deixando claro que a inclusão de fibras de celulose influencia as propriedades mecânicas. A análise por MEV das superfícies fraturadas mostrou uma fraca dispersão de fibras na matriz, e alta interação matriz-fibra.

Fiorelli *et al.*, (2011) verificaram a utilização do bagaço de cana-de-açúcar para fabricação de painéis de partículas aglomeradas utilizando resina poliuretano à base de óleo de mamona, nas proporções de 10 a 15% de resina. Verificou-se que o valor médio do módulo de ruptura foi de 24,41 MPa, superior aquele recomendado pela norma (NBR 14810), o valor do módulo de elasticidade em estudo foi de 2.432 MPa, e a tração foi de 1,29 MPa. Os autores concluíram que a resina poliuretana à base de óleo de mamona mostra-se como alternativa eficiente para produção de painéis de partículas à base de bagaço de cana-de-açúcar, indicaram os materiais fabricados como sendo de alta densidade.

Marinho *et al.*, (2013) avaliaram o compósito de resina poliuretano derivada do óleo de mamona reforçado com partículas de bambu, em diferentes proporções em peso de resina com 10, 15 e 20%, sendo realizados os ensaios de propriedades físicas, dureza Shore D e das análises térmicas de compósitos elaborados. Os resultados obtidos indicaram que dureza *Shore D* apresentaram valores médios de 65,8; 66,8; 67,7 respectivamente, onde a dureza aumentou com o acréscimo de percentuais de resina nos compósitos, mas para uma adequada aplicação industrial as propriedades mecânicas do material devem ser analisadas. Concluiu-se que o aproveitamento do resíduo de bambu associado à uma resina não poluente, produzida a partir de matéria prima renovável e de fácil obtenção é viável, em função das propriedades avaliadas, além dos benefícios ambientais e econômicos.

Zau *et al.*, (2014) produziram painéis utilizando resíduos de madeira nobre da Amazônia e resina poliuretano derivada do óleo da mamona, com teor de 10; 12,5;

15% (resina) e 1000; 1300; 1500g (resíduo). Verificou-se que os resultados obtidos do módulo de flexão apresentaram superiores ao mínimo recomendado pela norma (NBR 14810) que é 18,0 MPa, com exceção os painéis de 1000g a 10%, que não atenderam ao valor mínimo especificado, apresentando resultados de 14,3 MPa. Os ensaios para determinação da resistência à tração perpendicular às faces, apresentaram valores superiores ao mínimo recomendado pela norma (0,40 MPa), variando de 1,71 a 1,92 MPa.

### 4.3 Mamona – aspectos gerais

A mamona, conhecida botanicamente pelo nome científico *Ricinus communis*, é uma planta tipo arbusto, comum em regiões com clima tropical e subtropical, que se propaga por meio de sementes das quais é extraída, através de prensagem, o óleo de rícino ou de mamona. O componente principal desse óleo é o ácido graxo ricinoléico que possui inúmeras aplicações (KAUR *et al.*, 2019; RODRIGUES, 2008).

A Figura 8 mostra as folhas, frutos e sementes de mamona.

Figura 8- Folhas, frutos e sementes de mamona



Fonte: RODRIGUES, 2008.

O óleo extraído de suas sementes é matéria-prima para a fabricação de produtos diversos setores como na medicina, na indústria farmacêutica, de cosméticos, aeronáuticas, na produção de biodiesel, plásticos, fibras sintéticas, esmaltes, resinas e lubrificantes, próteses. Dessa forma, o emprego do adesivo poliuretano a base de mamona representa uma inovação tecnológica, podendo relacionar a diversos temas da atualidade como modelo de desenvolvimento sustentável, mudança de matriz energética, diminuição do consumo de energia e até

mesmo os destinos da economia do país (SBIHI *et al.*, 2018; CANGEMI; SANTOS; CLARO NETO, 2010).

#### 4.3.1 Resina à base de mamona

A resina poliuretana (PU) a base de óleo de mamona apresenta-se como alternativa aos adesivos à base de formaldeído empregados na produção de painéis de madeira, prevenindo inconvenientes relacionados à origem não renovável e emissão de poluentes, além de acarretar na redução do consumo de energia, devido a menores temperaturas durante a prensagem dos painéis (BERTOLINI *et al.*, 2013).

A PU à base de óleo de mamona pode ser classificada como uma resina termofixa líquida de baixa a alta viscosidade. Trata-se de um polímero bicomponente composto por um pré-polímero e um polioliol extraído do óleo da semente da mamona (*Ricinus communis*). Por ser proveniente de fonte renovável constitui uma excelente alternativa para o desenvolvimento de biocompósitos, além disso, é completamente atóxica por não apresentar materiais voláteis e metais pesados em sua composição e também por não precisar de solventes para aplicação (TROVATI *et al.*, 2019; GODOY, 2007).

O óleo de mamona é um líquido amarelo, viscoso e de forte odor, comumente obtido por prensagem direta da semente ou extração com solvente. Na fabricação de poliuretanos, vem sendo usado em diversas aplicações como lubrificantes e óleos de processo, matéria-prima para combustíveis, espumas poliméricas, revestimentos e tintas, na indústria cosmética e farmacêutica e na medicina com a confecção de próteses de ossos com reduzida rejeição (OMONOV; KHARRAZ; CURTIS, 2017; BELGACEM; GANDINI, 2008).

A Tabela 3 mostra as propriedades físicas do óleo de mamona.

Tabela 3- Propriedades físicas do óleo de mamona

<b>Propriedades Físicas</b>	
Viscosidade (centistokes)	889.3
Densidade (g/mL)	0,959
Condutividade térmica (W / m °C)	4.727
Calor específico (kJ / kg / K)	0,089
Ponto de inflamação (°C)	145
Ponto de fluidez (°C)	2.7
Ponto de fusão (°C)	-2 a -5
Índice de refração	1.480

Fonte: Adaptado de Patel *et al.*, 2016.

Segundo Patel *et al.*, (2016) a análise comparativa mostrou que os valores de viscosidade, densidade, condutividade térmica e ponto de fluidez do óleo de mamona são superiores aos valores de um lubrificante padrão (Óleo de motor SAE 40). A estrutura única do óleo de mamona oferece propriedades interessantes, tornando apropriado para várias aplicações industriais.

#### **4.3.2 Utilização de resinas em compósitos**

A resina é usada na fabricação dos painéis para aglomerar as partículas de madeira que compõem o painel, conferindo-lhe forma, sustentação e resistência. Atualmente 70% de todos os painéis fabricados no mundo levam algum tipo de resina (aglomerante), sendo que grande parte utiliza resinas sintéticas (ZENID, 2007). Sabe-se que as resinas de óleos naturais (soja, mamona, linhaça, etc.) podem ser utilizadas em substituição a resinas termoendurecíveis derivadas da petroquímica, como poliésteres insaturados, ésteres de vinila e resinas epóxi (KHOT *et al.*, 2001).

As matrizes poliméricas são divididas em dois tipos principais: termoendurecíveis e termoplásticas. As matrizes poliméricas termoplásticas estão os designados plásticos técnicos, que são constituídos por macromoléculas individuais lineares sem qualquer reticulação entre si. As matrizes termoendurecíveis são constituídas por polímeros em que as moléculas formam estruturas tridimensionais rígidas. Estas matrizes não podem ser reprocessadas, ao invés do que acontece com os termoplásticos. Uma vez aquecidos os termoendurecíveis, estes assumem uma forma permanente (MOURA, 2011).

As resinas naturais são substâncias amorfas, inodoras ou com um ligeiro aroma; translúcidas ou transparentes; brilhantes, cuja cor vai do amarelo ao castanho escuro. Quando sólidas fracturam como o vidro, quando aquecidas amolecem e finalmente fundem, podendo inflamar-se e arder com chama fuliginosa. O aroma das oleorresinas deve-se a alguns dos componentes dos óleos essenciais que fazem parte da sua constituição. Devido ao desenvolvimento industrial e à elevada procura deste tipo de materiais, as resinas naturais foram sendo substituídas por produtos e resinas sintéticas (GIGANTE, 2005).

A resina à base de Uréia-formaldeído (UF) é o adesivo mais utilizado na produção de chapas aglomeradas que se destinam ao uso interno devido ao baixo

custo, facilidade de manuseio, cura rápida e são incolores, não conferindo cor desfavorável à superfície do painel. Entretanto os adesivos a base de formaldeído emitem formol e em razão disso são classificados como de insalubridade máxima (SILVA *et al.*, 2012).

A resina poliéster insaturado é a mais empregada para confecção de compósitos poliméricos, isto se deve ao fato de aliar bom desempenho mecânico, boas condições de reatividade, custo mais acessível que a resina epóxi ou éster-vinílica à diversidade de formulações disponíveis para atender os requisitos exigidos em diferentes áreas de aplicações dos compósitos (MARINUCCI, 2011).

#### **4.4 Propriedades físicas dos compósitos**

Segundo a NBR 14810-2:2018 - Painéis de partículas de média densidade - Requisitos e métodos de ensaio; especifica as propriedades físicas dos compósitos. As principais propriedades físicas avaliadas em materiais compósitos a partir de resíduos agroenergéticos são: densidade, umidade e inchamento por 24 horas.

O envelhecimento em umidade é amplamente reconhecido como uma das principais causas de falha a longo prazo de uma matriz orgânica exposta à atmosfera; ou em contato com um meio aquoso. Além disso, o envelhecimento por umidade também causa efeitos indesejáveis às propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos compósitos (SÁNCHEZ; CAPOTE; CARRILLO, 2019; KIM; SEO, 2006).

#### **4.5 Determinação das propriedades mecânicas dos compósitos**

Em relação às propriedades mecânicas que é o principal ponto quando se trata de reforço de estruturas, a NBR 14810-2:2018 - Painéis de partículas de média densidade - Requisitos e métodos de ensaio; especifica as propriedades mecânicas dos compósitos, dentre eles são: flexão estática, módulo de elasticidade e compressão longitudinal.

O desempenho dos materiais é sempre apresentado em termos de suas características mecânicas, tais como propriedades de tração, propriedades de flexão e módulo de elasticidade. Essas características são importantes para determinar a

capacidade do material, especialmente sob condições extremas e críticas, que estão diretamente relacionadas ao desempenho (AKIL *et al.*, 2011).

## **4.6 Propriedades morfológicas dos compósitos**

### **4.6.1 Microscopia eletrônica de varredura**

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é utilizado na investigação da microestrutura superficial de materiais importantes como metais, polímeros, vidros, cerâmicos, celulósicos e alimentos, se destacando quando é possível realizar análise química elementar na amostra em observação (SOARES; SARON, 2010). Conforme Dedavid *et al.*, (2007) a MEV é uma técnica utilizada para estudar a microestrutura e morfologia dos materiais sólidos. Utiliza-se feixes de elétrons para explorar a superfície do material, desta forma os sinais capturados são interações do feixe com a amostra.

A microscopia eletrônica é conhecida como um excelente instrumento para o exame de estruturas biológicas muito pequenas para a microscopia de luz. Os métodos modernos requerem procedimentos demorados de fixação e desidratação. A preparação de amostras para microscopia eletrônica de transmissão utilizada para o exame da estrutura celular interna envolve cortes ultrafinos, enquanto a visualização da superfície celular por varredura requer metalização de amostras (NOVIKOV *et al.*, 2019).

## **4.7 Biodegradação dos materiais compósitos**

Na busca por novos materiais biodegradáveis, encontra-se a combinação de fibras naturais com materiais poliméricos biodegradáveis ou não. As fibras naturais podem aderir ao compósito a característica de reforço e, além disso, a biodegradabilidade do compósito minimiza a poluição ambiental e diminuir o custo de produção dos materiais (CALEGARI *et al.*, 2016).

A degradação de diferentes resíduos depende das condições locais como clima, tipo de solo, vegetação e microrganismos decompositores. A biodegradação da madeira consiste em um processo complexo no qual múltiplas enzimas devem atuar cooperativamente, algumas delas tendo ação mediada por moléculas de baixa

massa molar. Na natureza, os micro-organismos mais eficientes na biodegradação da madeira são os fungos decompositores da madeira (CARVALHO, 2009).

Os fungos decompositores da madeira podem ser classificados em três grupos: fungos de decomposição branca, capazes de degradar os três componentes (celulose, hemicelulose e lignina); fungos de decomposição parda, capazes de degradar principalmente as frações polissacarídicas (celulose e hemicelulose) e, fungos de decomposição branca, que podem degradar tanto os polissacarídeos quanto a lignina, porém em velocidades muito reduzidas (CARVALHO, 2009).

As vantagens desses compósitos residem no fato de que são provenientes de recursos renováveis, podem degradar-se no meio ambiente em um período menor em relação aos materiais de origem petroquímica. No entanto, apresentam certas limitações, como baixo desempenho mecânico e a sensibilidade à umidade, o que não inviabiliza o seu uso em produtos. Portanto, o emprego desses compósitos precisa estar alinhado com o tipo de aplicação e suas características (CALEGARI *et al.*, 2016).

Além disso, a biodegradação de compósitos apresenta muitas vantagens únicas e mais destacadas, como renováveis naturais de baixo custo, facilmente acessíveis, favoráveis ao meio ambiente e naturais, em contraste com os materiais convencionais comercializados no mercado, garantem um grande potencial para a substituição por materiais biodegradáveis (SUN *et al.*, 2019).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados da caracterização da matéria-prima utilizada, bem como os resultados dos ensaios físicos, mecânicos, biodegradabilidade e morfologia dos materiais compósitos desenvolvido.

### 5.1 Caracterização da palha da cana-de-açúcar

A palha da cana-de-açúcar foi triturada e classificada em duas dimensões para a obtenção da placa do material compósito, como mostra a Figura 9.

Figura 9- Classificação das fibras



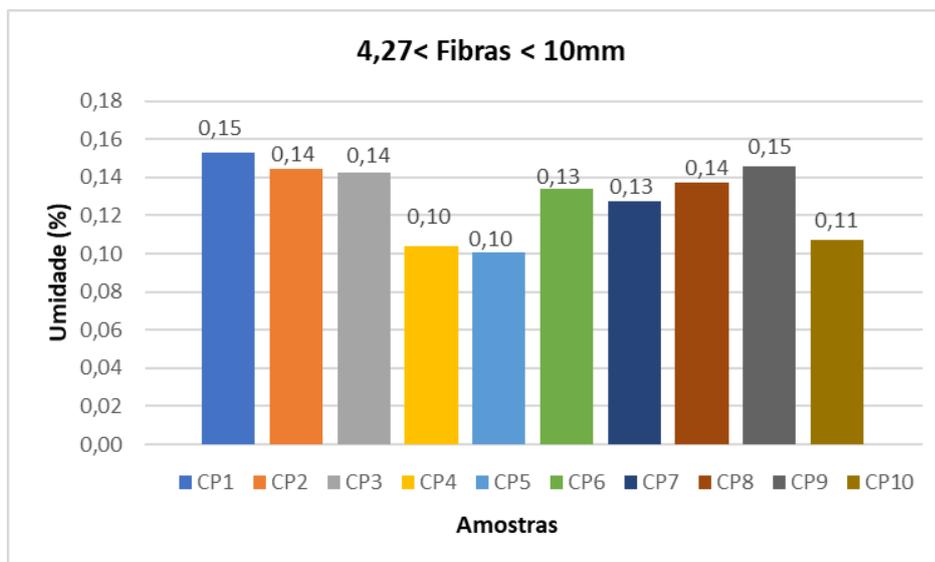
Fonte: Próprio autor.

Obs.: Palha da cana-de-açúcar: (A) tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ ; (B) tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ .

#### 5.1.1 Determinação da umidade da fibra

A figura 10 apresenta a umidade de cada amostra da palha de cana-de-açúcar utilizada para a obtenção dos materiais compósitos, com tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ , onde o desvio-padrão de  $\pm 0,02$  e a média aritmética das 10 amostras analisadas foram de 0,12%, ou seja, um valor baixo considerando que as fibras já estavam secas.

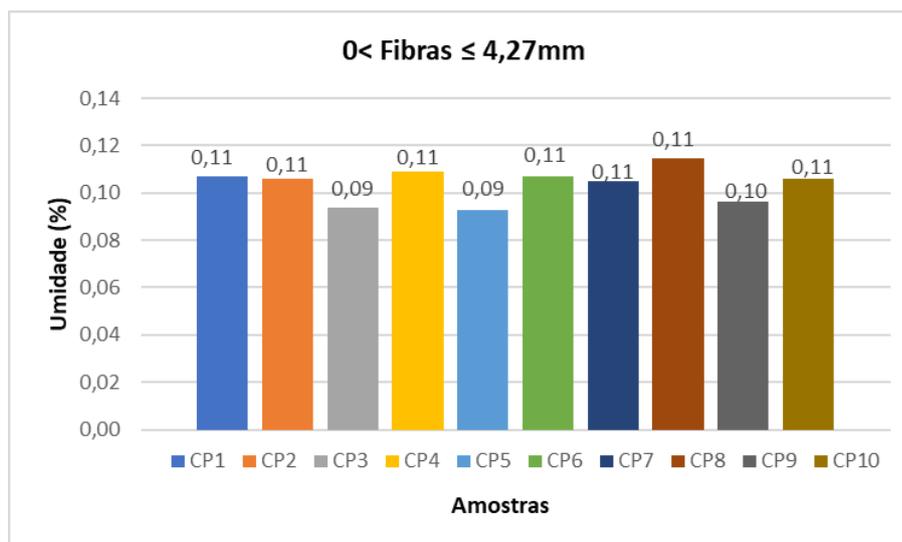
Figura 10- Umidade da palha de maior dimensão



Fonte: Próprio autor.

A figura 11 apresenta a umidade da palha de cana-de-açúcar utilizada para a fabricação dos materiais compósitos, com tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ , onde o desvio-padrão de  $\pm 0,01$  e a média aritmética das 10 amostras analisadas foram de 0,10%, ou seja, um valor um pouco menor em relação a fibra de maior tamanho, considerando também que as fibras já estavam secas.

Figura 11- Umidade da palha de menor dimensão



Fonte: Próprio autor.

## 5.2 Resina utilizada do óleo de mamona

A Figura 12 mostra a resina do óleo de mamona utilizada para obtenção da placa do material compósito, sendo dois componentes (A + B), líquido amarelo componente A, líquido marrom componente B, conforme o fabricante.

Figura 12- Resina utilizada do óleo de mamona



Fonte: Próprio autor.

A ficha técnica do fabricante informa os seguintes dados:

**Propriedades:** apresenta excelente resistência à ação do intemperismo e águas contendo substâncias agressivas como sais, ácidos e álcalis. Os compósitos obtidos com esta resina apresentam as seguintes características:

- Alta durabilidade;
- Grande resistência aos raios ultravioleta;
- Estanqueidade a líquidos e gases;
- Excelente penetração nos poros da superfície, garantindo uma boa aderência;
- Não apresenta retração volumétrica após a cura.

**Características:**

- Consistência: fluída;
- Cor após cura: âmbar;
- Resistência ao calor: apresenta perda de massa somente após 210 °C;
- Liberação de elementos tóxicos: isento;
- Secagem ao Toque: 60 a 90 minutos dependendo da temperatura ambiente;
- tempo mínimo de retirada do molde: 6 horas
- Tempo de cura e manuseio: 24 horas

**Rendimento:** varia de 10 a 50 % em relação à massa do material a ser utilizado, dependendo das características e resistências mecânicas que se

queira dar ao compósito. Vale lembrar que as propriedades mecânicas da peça variam em função da porcentagem a ser utilizada e da carga a ser exercida. Caberá ao interessado a definição da porcentagem e carga para definir as características que pretenda dar ao seu compósito.

### 5.3 Obtenção do material compósito biodegradável

A Figura 13 e 14 apresenta as placas obtidas do material compósito, com os dois tamanhos de fibra, com dimensões de 200mm x 200mm, feitas na chapa metálica.

Figura 13- Placas do material compósito obtido



Fonte: Próprio autor.

Obs.: Placa do material compósito: (A) tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ ; (B) tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ .

Figura 14- Material compósito cortado



Fonte: Próprio autor.

Obs.: Material compósito cortado: (a) (b) (c) 10%, 15%, 20% e tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ ; (d) (e) (f) 10%, 15%, 20% e tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ .

## 5.4 Ensaios físicos dos compósitos

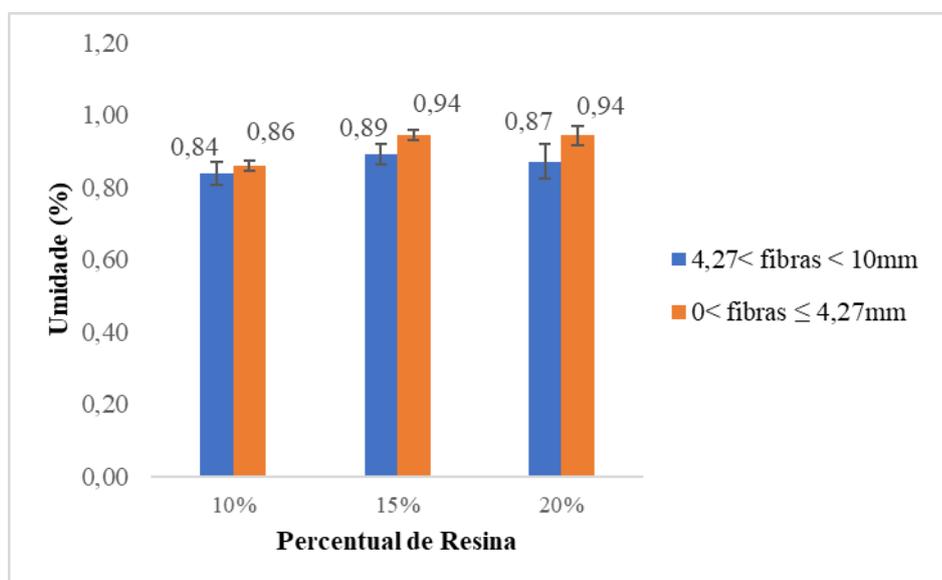
### 5.4.1 Determinação da umidade

Os resultados experimentais do ensaio de umidade estão descritos na Tabela 23 em apêndice. A Tabela 4 e Figura 15 mostra a média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de umidade.

Tabela 4- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de umidade

Resina (%)	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)	
	Média (%)	Desvio Padrão	Média (%)	Desvio Padrão
10	0,84	± 0,03	0,86	± 0,01
15	0,89	± 0,03	0,94	± 0,01
20	0,87	± 0,05	0,94	± 0,03

Figura 15- Média geral dos compósitos no ensaio de umidade



Fonte: Próprio autor.

A partir dos resultados obtidos no ensaio de umidade dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona, observa-se que o compósito de menor fibra nas concentrações de 15 e 20% absorveu mais umidade, assim quando submetido à estufa, este apresentou menor índice de perda de umidade, ou seja, quanto maior o percentual de resina ao

compósito, maior foi a umidade, uma vez que as partículas da fibra são menores, evaporando menos umidade.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) de umidade dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona estão apresentados na Tabela 5. Pode-se observar, que os valores apresentaram significância entre os parâmetros resina, fibra e a interação Resina x Fibra, ou seja, há diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 5- Anova dos tratamentos de umidade

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
Resina	2	0,06*
Fibra	1	0,008*
Resina x Fibra	2	0,0007*
Erro	54	0,0002
Total	59	-
CV (%)	-	3,32

Obs.: FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 6 mostra as médias de cada tratamento de umidade, como foi significativo a interação, é necessário analisar os dados juntos, se houve diferença significativa ou não, entre os seis tratamentos. Os valores estão expressos em porcentagem (%).

Tabela 6- Média geral dos tratamentos de umidade

<b>Tamanho (mm)</b>	<b>Resina</b>		
	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
4,27 < fibras < 10	0,84 Aa	0,89 Ba	0,87 Ba
0 < fibras ≤ 4,27	0,86 Aa	0,94 Bb	0,94 Bb

As médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas linhas e médias seguidas das mesmas letras minúscula nas colunas, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Observa-se que na linha 4,27 < fibras < 10mm, as concentrações de resinas de 10 e 15% se diferem estatisticamente entre si; já na linha 0 < fibras ≤ 4,27mm, as concentrações de resinas à 15 e 20% não se diferem estatisticamente

entre si. Em relação a coluna, a concentração de resina à 10% não se diferem estatisticamente entre si; à 15% se diferem estatisticamente entre si; e a concentração de 20% também se diferem estatisticamente entre si.

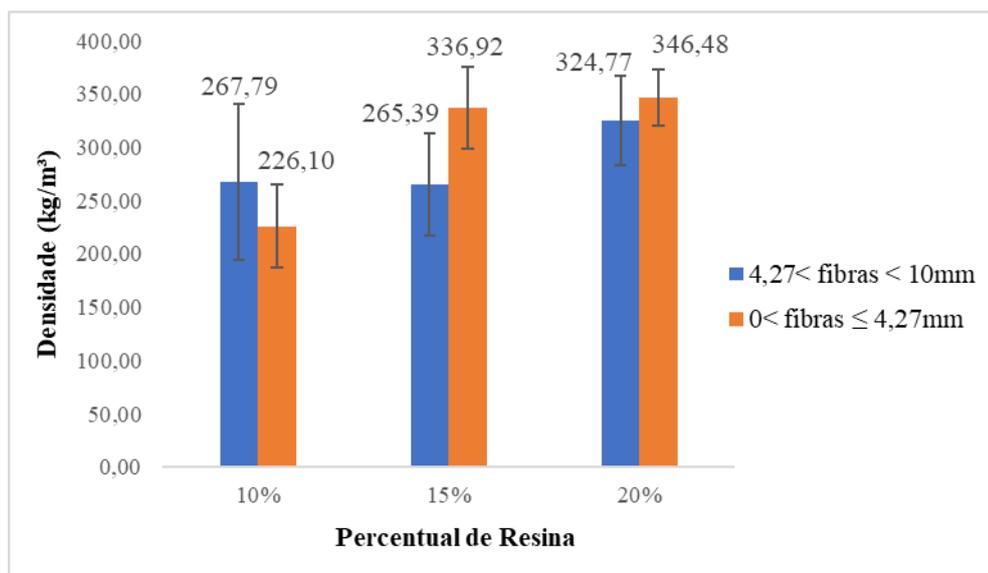
#### 5.4.2 Determinação da densidade

Os resultados experimentais do ensaio de densidade estão descritos na Tabela 24 em apêndice. A Tabela 7 e Figura 16 mostra a média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de densidade.

Tabela 7- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de densidade

Resina (%)	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)	
	Média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão	Média (kg/m <sup>3</sup> )	Desvio Padrão
10	267,79	± 72,77	226,10	± 39,25
15	265,39	± 47,62	336,92	± 38,60
20	324,77	± 42,01	346,48	± 26,41

Figura 16- Média geral dos compósitos no ensaio de densidade



Fonte: Próprio autor.

Observa-se a densidade dos materiais compósitos dos valores obtidos no ensaio, o compósito de menor fibra e com maior concentração de resina obteve

maior densidade com valor de 346,48 kg/m<sup>3</sup>, estando relacionado a largura, comprimento, espessura e aumento de PU-M na mistura do compósito. A amostra com resina a 10% e tamanho 4,27 < fibras < 10mm obteve maior valor de média comparado com a concentração de 15%, uma vez que o manuseio de colocar as fibras na fôrma, a falta de homogeneidade na distribuição das partículas, resulta um maior volume no processo de obtenção das amostras.

A densidade dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona, não foram significativos na variação fibra e significativos na interação Resina x Fibra e resina, como podemos verificar os valores na Tabela 8 da análise da variância.

Tabela 8- Anova dos tratamentos de densidade

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
Resina	2	0,10*
Fibra	1	0,009 <sup>NS</sup>
Resina x Fibra	2	0,037 *
Erro	54	0,005
Total	59	-
CV (%)	-	3,04

Obs.: FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; (<sup>NS</sup>) Não Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 9 mostra as médias de cada tratamento de densidade, como foi significativo a interação, é necessário analisar os dados juntos, se houve diferença significativa ou não, entre os seis tratamentos. Os valores estão expressos em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>).

Tabela 9- Média geral dos tratamentos de densidade

<b>Tamanho (mm)</b>	<b>Resina</b>		
	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
4,27 < fibras < 10	267,79 Aa	265,39 Aa	324,76 Ba
0 < fibras ≤ 4,27	226,01 Aa	336,92 Bb	346,48 Ba

As médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas linhas e médias seguidas das mesmas letras minúscula nas colunas, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de

significância. Observa-se que na linha  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ , as concentrações de resinas de 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si; já na linha  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ , as concentrações de resinas à 15 e 20% não se diferem estatisticamente entre si. Em relação a coluna, a concentração de resina à 10% não se diferem estatisticamente entre si; à 15% se diferem estatisticamente entre si; e a concentração de 20% não se diferem estatisticamente entre si.

#### 5.4.3 Determinação do inchamento por 24h

A Figura 17 mostra os materiais compósitos imersos na água destilada para o teste de inchamento por 24 horas.

Figura 17- Materiais compósitos no ensaio de inchamento



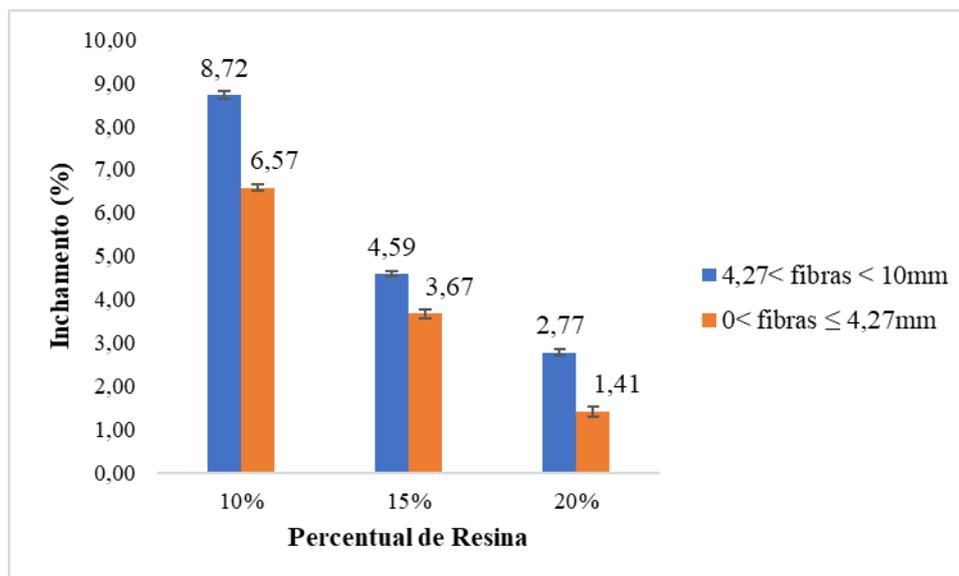
Fonte: Próprio autor.

Os resultados experimentais do ensaio de inchamento estão descritos na Tabela 25 em apêndice. A Tabela 10 e Figura 18 mostra a média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de inchamento.

Tabela 10- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de inchamento

Resina (%)	Tamanho ( $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ )		Tamanho ( $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ )	
	Média (%)	Desvio Padrão	Média (%)	Desvio Padrão
10	8,72	$\pm 0,09$	6,57	$\pm 0,07$
15	4,59	$\pm 0,05$	3,67	$\pm 0,11$
20	2,77	$\pm 0,07$	1,41	$\pm 0,11$

Figura 18- Média geral dos compósitos no ensaio de inchamento por 24h



Fonte: Próprio autor.

Observa-se os resultados de inchamento por 24h dos materiais compósitos, o compósito de maior fibra na concentração de resina de 10% obteve maior inchamento com valor de 8,72%, atendendo aos requisitos especificados de acordo com a NBR 14810-2:2018, onde preconiza um valor máximo de 22%. Devido à quantidade de resina ser inferior e as partículas de fibras maiores, facilita a entrada d'água destilada percorrendo entre os poros do material compósito, desta forma, o material absorve mais água e apresenta uma maior alteração em sua espessura.

O inchamento por 24h dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona, foram significativos na interação Resina x Fibra, fibra e resina, apresentados na Tabela 11 da análise da variância.

Tabela 11- Anova dos tratamentos de inchamento

FV	GL	QM
Resina	2	1,71*
Fibra	1	0,44*
Resina x Fibra	2	0,06*
Erro	54	0,0002
Total	59	-
CV (%)	-	2,74

Obs.: FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 12 mostra as médias de cada tratamento do inchamento por 24h, como foi significativo a interação, é necessário analisar os dados juntos, se houve diferença significativa ou não entre os seis tratamentos. Os valores estão expressos em porcentagem (%).

Tabela 12- Média geral dos tratamentos de inchamento

Tamanho (mm)	Resina		
	10%	15%	20%
4,27 < fibras < 10	8,72 Aa	4,59 Ba	2,77 Ca
0 < fibras ≤ 4,27	6,57 Ab	3,67 Bb	1,41 Cb

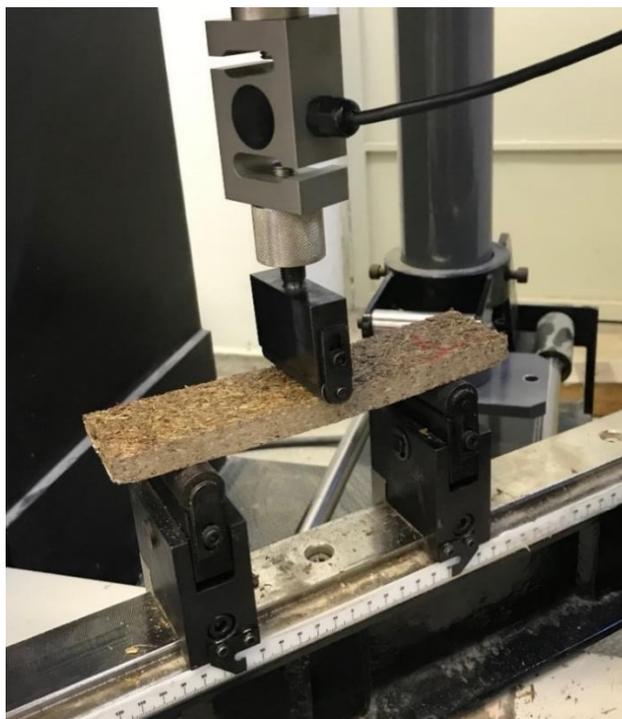
As médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas linhas e médias seguidas das mesmas letras minúscula nas colunas, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Observa-se que na linha 4,27 < fibras < 10mm, as concentrações de resinas de 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si; e na linha 0 < fibras ≤ 4,27mm, as concentrações de resinas à 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si. Em relação a coluna, a concentração de resina à 10% se diferem estatisticamente entre si; à 15% se diferem estatisticamente entre si; e a concentração de 20% se diferem estatisticamente entre si.

## 5.5 Ensaio mecânicos dos materiais compósitos

### 5.5.1 Resistência à flexão estática

A Figura 19 mostra o material compósito no equipamento de ensaios para o teste de flexão estática.

Figura 19- Material compósito no ensaio de flexão estática



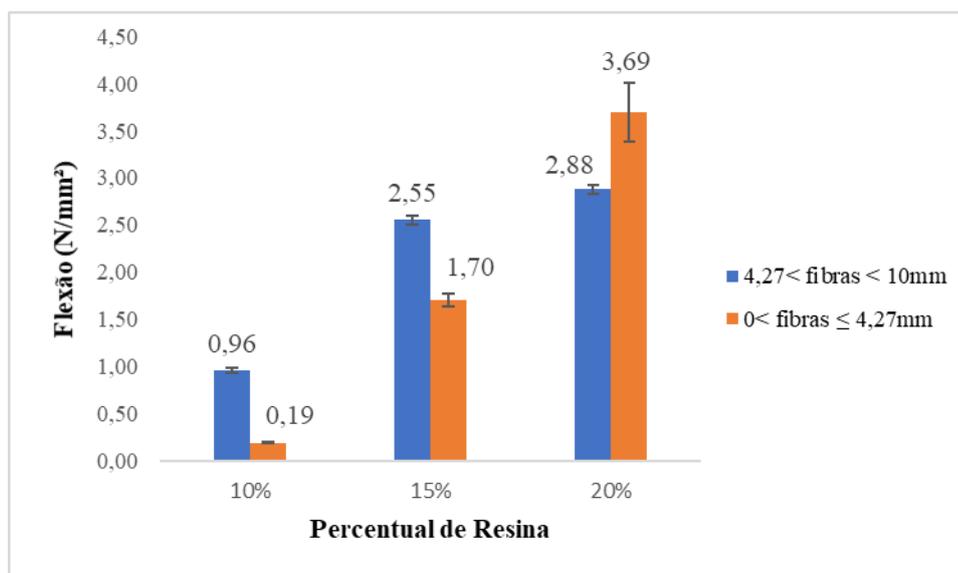
Fonte: Próprio autor.

Os resultados experimentais do ensaio de resistência à flexão estão descritos na Tabela 26 em anexos. A Tabela 13 e Figura 20 mostra a média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de flexão.

Tabela 13- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de flexão

Resina (%)	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)	
	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
10	0,96	± 0,03	0,19	± 0,01
15	2,55	± 0,05	1,70	± 0,06
20	2,88	± 0,05	3,69	± 0,31

Figura 20- Média geral dos compósitos no ensaio de flexão



Fonte: Próprio autor.

Observa-se os resultados de flexão estática dos materiais compósitos, onde é possível afirmar que o compósito de maior fibra nas concentrações de resina à 10 e 15%, obteve maior resistência à flexão, comparado com a fibra menor; e a fibra menor na concentração de resina à 20% obteve maior resistência à flexão, com um valor máximo de 3,69 N/mm<sup>2</sup>, não atendendo o valor mínimo de 11 N/mm<sup>2</sup> que estabelece a NBR 14810-2:2018. Verificou-se que quanto maior o percentual de resina ao compósito maior foi sua resistência, entretanto, a fibra menor agregou mais resina, por ser uma área de superfície menor obteve mais ligação entre as partículas.

Os resultados da análise de variância do ensaio de resistência à flexão estática dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona estão apresentados na Tabela 14. Pode-se observar, que os valores apresentaram significância entre os parâmetros resina, fibra e a interação Resina x Fibra, ou seja, há diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 14- Anova dos tratamentos à flexão estática

FV	GL	QM
Resina	2	4,30*
Fibra	1	0,99*
Resina x Fibra	2	0,84*
Erro	54	0,0004
Total	59	-
CV (%)	-	13,10

Obs.: FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 15 mostra as médias de cada tratamento de resistência à flexão, como foi significativo a interação, é necessário analisar os dados juntos, se houve diferença significativa ou não entre os seis tratamentos. Os valores estão expressos em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>).

Tabela 15- Média geral dos tratamentos à flexão estática

Tamanho (mm)	Resina		
	10%	15%	20%
4,27 < fibras < 10	0,96 Ca	2,55 Ba	2,88 Ab
0 < fibras ≤ 4,27	0,19 Cb	1,70 Bb	3,69 Aa

As médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas linhas e médias seguidas das mesmas letras minúscula nas colunas, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Observa-se que na linha 4,27 < fibras < 10mm, as concentrações de resinas de 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si; e na linha 0 < fibras ≤ 4,27mm, as concentrações de resinas à 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si. Em relação a coluna, as concentrações de resina à 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si.

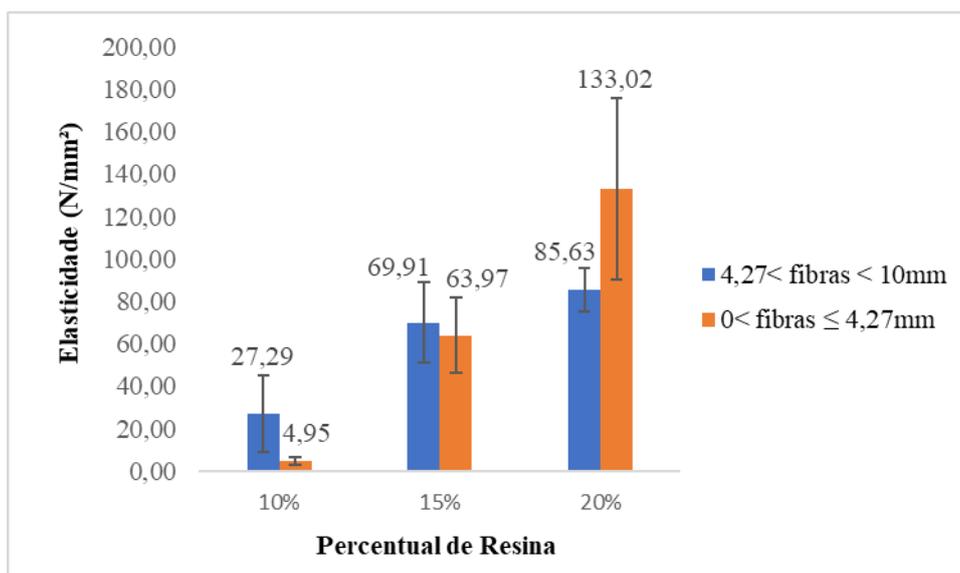
### 5.5.2 Elasticidade

Os resultados experimentais do ensaio de elasticidade estão descritos na Tabela 27 em anexos. A Tabela 16 e Figura 21 mostra a média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de elasticidade.

Tabela 16- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de elasticidade

Resina (%)	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)	
	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
10	27,29	± 18,14	4,95	± 1,77
15	69,91	± 19,03	63,97	± 17,62
20	85,63	± 10,11	133,02	± 42,72

Figura 21- Média geral dos compósitos no ensaio de elasticidade



Fonte: Próprio autor.

Os resultados do ensaio do módulo de elasticidade dos compósitos estão apresentados na Figura 21, observa-se que o compósito de maior fibra nas concentrações de resina à 10 e 15%, obteve maior elasticidade, comparado com a fibra menor; e a fibra menor na concentração de resina à 20% obteve maior elasticidade, com um valor máximo de 133,02 N/mm<sup>2</sup>, sendo menor que o valor mínimo de 1600 N/mm<sup>2</sup> recomendado pela a norma NBR 14810-2:2018. Entretanto, essa variação de valores pode estar relacionada a quantidade e composição de fibra, resina utilizada, a mistura dos materiais, o manuseio na fôrma, a carga aplicada na compactação, o tempo de cura etc.

A resistência à elasticidade dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona, não foram significativos na variação fibra e significativos na interação Resina x Fibra e resina, como podemos verificar os valores na Tabela 17 da análise da variância.

Tabela 17- Anova dos tratamentos à elasticidade

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>
Resina	2	5,73*
Fibra	1	0,49 <sup>NS</sup>
Resina x Fibra	2	0,98*
Erro	54	0,03
Total	59	-
CV (%)	-	10,88

Obs.: FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 18 mostra as médias de cada tratamento de resistência à elasticidade, como foi significativo a interação, é necessário analisar os dados juntos, se houve diferença significativa ou não entre os seis tratamentos. Os valores estão expressos em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>).

Tabela 18- Média geral dos tratamentos à elasticidade

<b>Tamanho (mm)</b>	<b>Resina</b>		
	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>
4,27 < fibras < 10	27,28 Ba	69,90 Aa	85,62 Aa
0 < fibras ≤ 4,27	4,95 Cb	63,97 Ba	133,02 Ab

As médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas linhas e médias seguidas das mesmas letras minúscula nas colunas, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Observa-se que na linha 4,27 < fibras < 10mm, as concentrações de resinas de 10 e 15% se diferem estatisticamente entre si; e na linha 0 < fibras ≤ 4,27mm, as concentrações de resinas à 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si. Em relação a coluna, as concentrações de resina à 10%, se diferem estatisticamente entre si; à 15% não se diferem estatisticamente entre si; e a concentração de 20% se diferem estatisticamente entre si.

### 5.5.3 Resistência à compressão

A Figura 22 mostra o material compósito no equipamento de ensaios para o teste de compressão.

Figura 22- Material compósito no ensaio de compressão



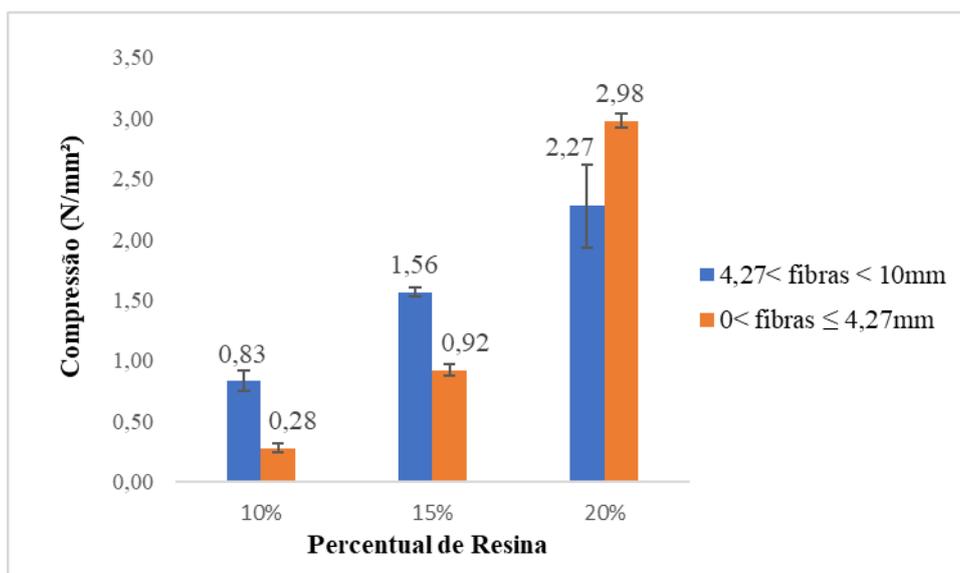
Fonte: Próprio autor.

Os resultados experimentais do ensaio de resistência à compressão estão descritos na Tabela 28 em anexos. A Tabela 19 e Figura 23 mostra a média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de compressão.

Tabela 19- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de compressão

Resina (%)	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)		Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)	
	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
10	0,83	± 0,08	0,28	± 0,04
15	1,56	± 0,04	0,92	± 0,04
20	2,27	± 0,34	2,98	± 0,06

Figura 23- Média geral dos compósitos no ensaio de compressão



Fonte: Próprio autor.

Os resultados do ensaio de compressão dos compósitos estão apresentados na Figura 23, observa-se que o compósito de maior fibra nas concentrações de resina à 10 e 15%, obteve maior resistência à compressão, comparado com a fibra menor; e a fibra menor na concentração de resina à 20% obteve maior resistência à compressão, com um valor máximo de 2,98 N/mm<sup>2</sup>, quanto maior foi o percentual de resina utilizado no compósito maior foi a resistência.

Os resultados da análise de variância do ensaio de resistência à compressão dos materiais compósitos feitos com palha da cana-de-açúcar e resina a base do óleo de mamona estão apresentados na Tabela 20. Pode-se observar, que os valores apresentaram significância entre os parâmetros resina, fibra e a interação Resina x Fibra, ou seja, há diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 20- Anova dos tratamentos à compressão

FV	GL	QM
Resina	2	2,70*
Fibra	1	0,57*
Resina x Fibra	2	0,46*
Erro	54	0,002*
Total	59	-
CV (%)	-	10,03

Obs.: FV: Fonte de Variação; GL: Grau de Liberdade; QM: Quadrado Médio; CV: Coeficiente de Variação; (\*) Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 21 mostra as médias de cada tratamento de resistência à compressão, como foi significativo a interação, é necessário analisar os dados juntos, se houve diferença significativa ou não entre os seis tratamentos. Os valores estão expressos em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>).

Tabela 21- Média geral dos tratamentos à compressão

Tamanho (mm)	Resina		
	10%	15%	20%
4,27 < fibras < 10	0,83 Ca	1,56 Ba	2,27 Ab
0 < fibras ≤ 4,27	0,27 Cb	0,92 Bb	2,98 Aa

As médias seguidas das mesmas letras maiúsculas nas linhas e médias seguidas das mesmas letras minúscula nas colunas, pertencem a um mesmo grupo, de acordo com os critérios de agrupamentos pelo Teste Scott-Knott a 5% de significância. Observa-se que na linha 4,27 < fibras < 10mm, as concentrações de resinas de 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si; e na linha 0 < fibras ≤ 4,27mm, as concentrações de resinas à 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si. Em relação a coluna, as concentrações de resina à 10, 15 e 20% se diferem estatisticamente entre si.

## 5.6 Biodegradabilidade dos materiais compósitos

O ensaio de biodegradabilidade serve para avaliar se o material compósito obteve perda de massa durante o período analisado. A norma ASTM G 160-03 preconiza que a umidade do solo deve estar entre 20 e 30%, e o pH entre 6,5 e 7,5. A umidade do solo calculada apresentou um valor de 21,4% e o pH de 7,35%, ambos compatíveis com a norma. Os corpos de prova foram submersos no solo e isolados com papel filme, contendo fungos no solo. A Figura 24 mostra as etapas de preparação do ensaio de biodegradação.

Figura 24- Etapas do ensaio de biodegradação



Obs.:

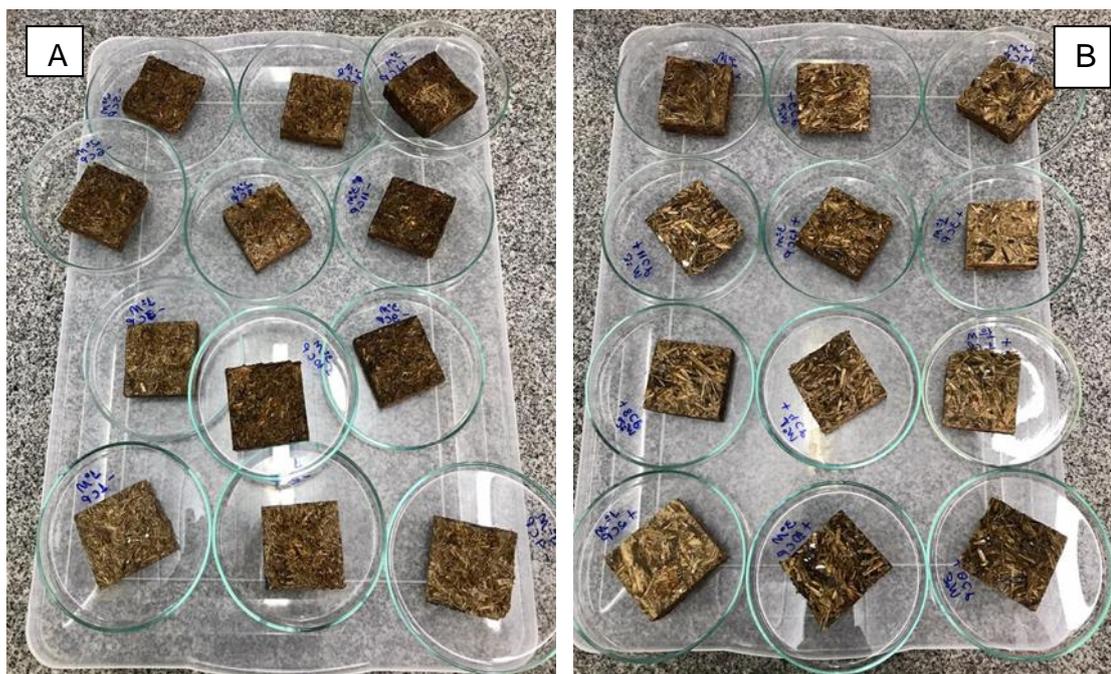
- (a) colocação dos materiais compósitos no solo;
- (b) cobertura de solo;
- (c) vedação com papel filme.

Fonte: Próprio autor.

Durante o processo de degradação, o número de bactérias e fungos na superfície pode aumentar, indicando que bactérias e fungos se acumularam seletivamente na superfície dos compósitos acelerando sua degradação. No entanto, esses materiais biodegradáveis também apresentam muitas desvantagens, pois são fáceis de deformar, frágeis e quebradiços, muito sensível à temperatura e umidade (SUN et al., 2019).

Após a retirada dos corpos de prova do solo, foram colocados na placa de petri para ser levados a estufa, conforme mostra a Figura 25 dos materiais compósitos.

Figura 25- Amostras após o ensaio de biodegradação



Fonte: Próprio autor.

Obs.: Materiais compósitos no ensaio de biodegradação: (A) tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$  e 10, 15, 20% de resina; (B) tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$  e 10, 15, 20% de resina.

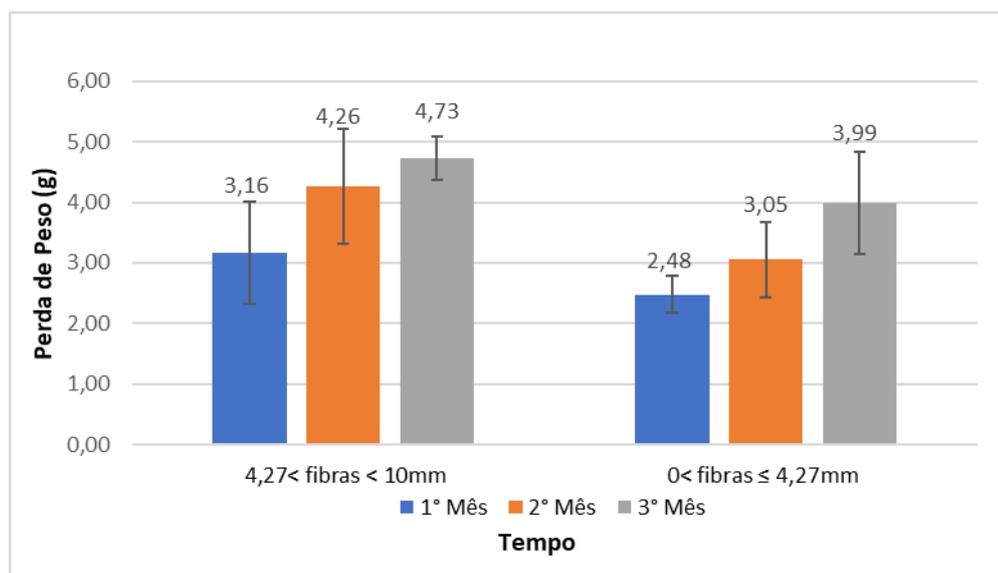
Observa-se que houve mudança na coloração das amostras, apresentando aspecto mais escuro devido os fungos e bactérias presentes no solo.

A Tabela 22 mostra a média e o desvio padrão dos materiais compósitos no ensaio de biodegradação.

Tabela 22- Média e desvio padrão dos compósitos no ensaio de biodegradação

Tempo (mês)	Tamanho ( $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ )		Tamanho ( $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ )	
	Média (g)	Desvio Padrão	Média (g)	Desvio Padrão
1	3,16	$\pm 0,84$	2,48	$\pm 0,30$
2	4,26	$\pm 0,94$	3,05	$\pm 0,63$
3	4,73	$\pm 0,37$	3,99	$\pm 0,84$

Figura 26- Média de massa dos compósitos no ensaio de biodegradação



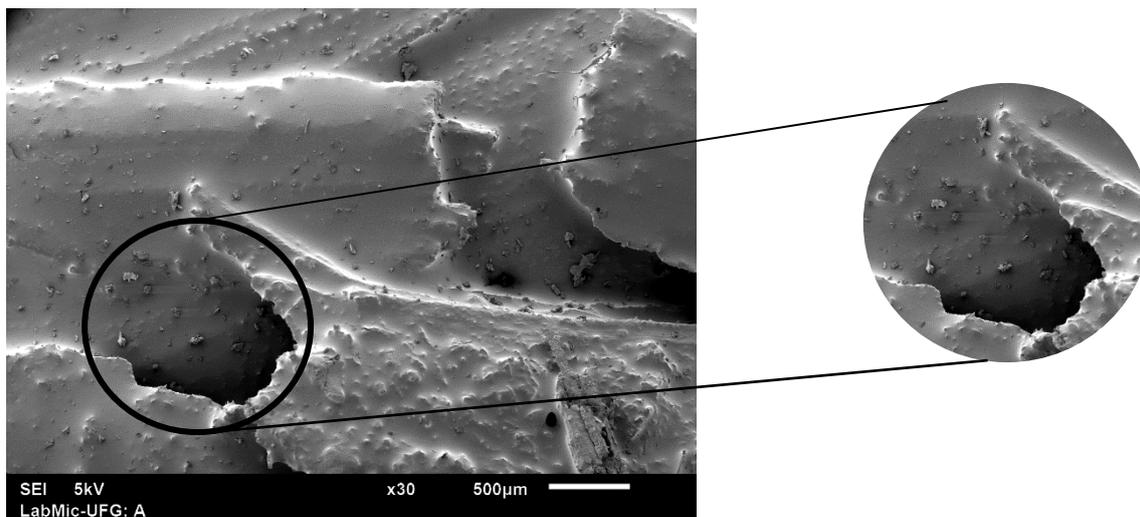
Fonte: Próprio autor.

Os resultados do ensaio de biodegradabilidade dos materiais compósitos estão apresentados na Figura 26, observa-se que conforme aumenta o tempo em contato com o solo aumenta-se a quantidade de perda de massa do compósito, o tamanho 4,27 < fibras < 10mm perdeu mais peso comparado com o tamanho de 0 < fibras ≤ 4,27mm. Entende-se que este fator ocorreu devido a compactação entre as fibras, onde a maior fibra acelerou a biodegradação subsequente no solo, sendo menos resistente ao ataque de fungos, apresentando assim maior perda de massa.

### 5.7 Ensaio morfológico

As superfícies dos corpos de provas fraturados nos ensaios de flexão foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, com a finalidade de observar as características da microestrutura dos compósitos, disposição da fibra na matriz e interface fibra/matriz. A Figura 27 mostra a MEV do material compósito, contendo 20% de resina e tamanho de 4,27 < fibras < 10mm.

Figura 27 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito

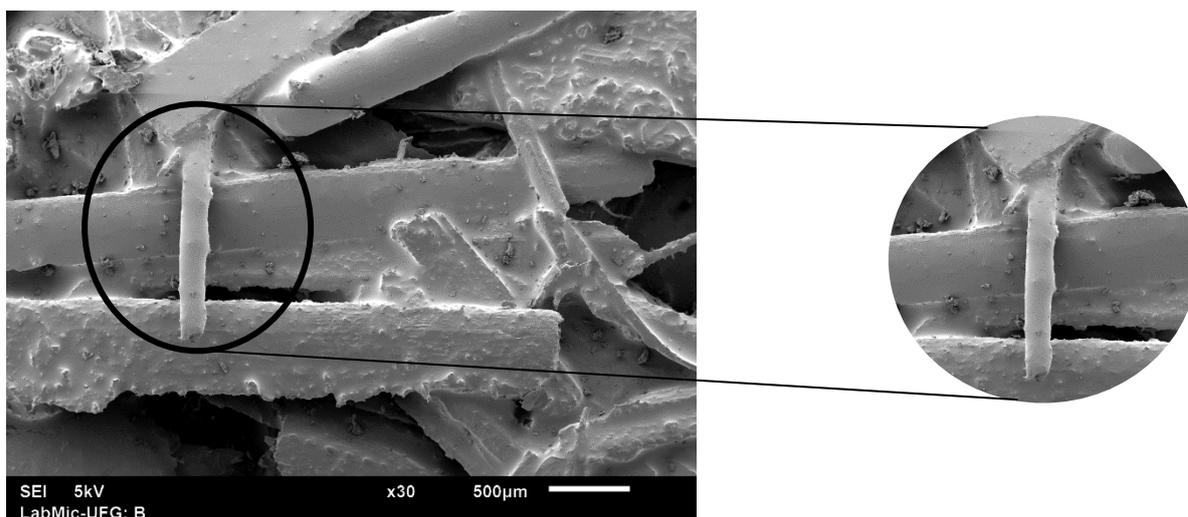


Fonte: Próprio autor.

Observa-se que a matriz de resina cobriu toda a fibra, havendo um espaço de vazio, podendo ser explicado devido o deslocamento da fibra na aplicação da carga no ensaio de flexão (NOVIKOV *et al.*, 2019).

A Figura 28 mostra a MEV do material compósito, contendo 20% de resina e tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ .

Figura 28 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito

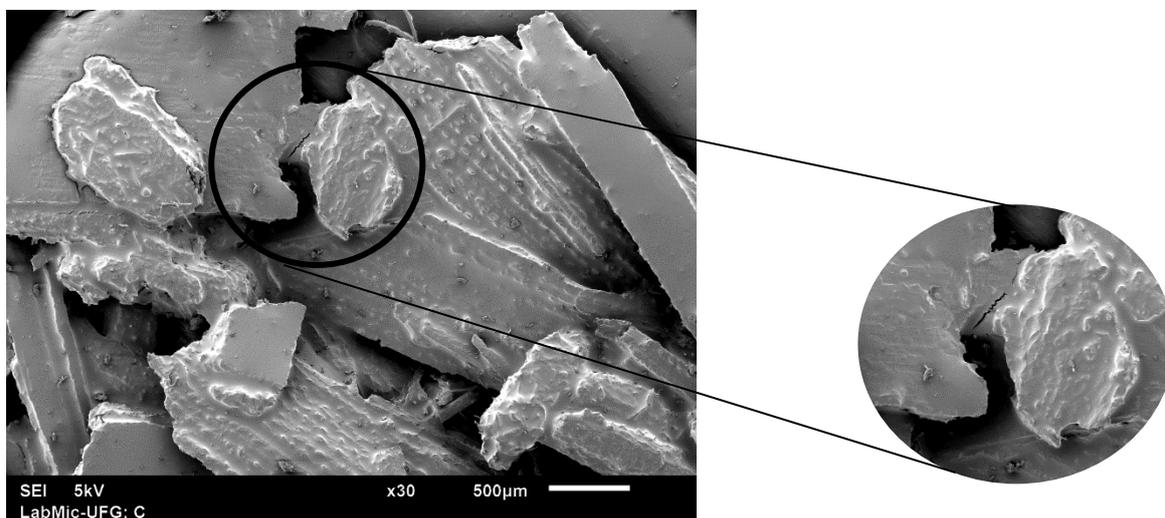


Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado, as fibras estão bem embutidas na matriz e as pontas das fibras não exibem danos, estando totalmente cobertas pela matriz (NOVIKOV *et al.*, 2019).

A Figura 29 mostra a MEV do material compósito, contendo 15% de resina e tamanho de  $0 < \text{fibras} \leq 4,27\text{mm}$ .

Figura 29 – Micrografia obtida pelo MEV do material compósito

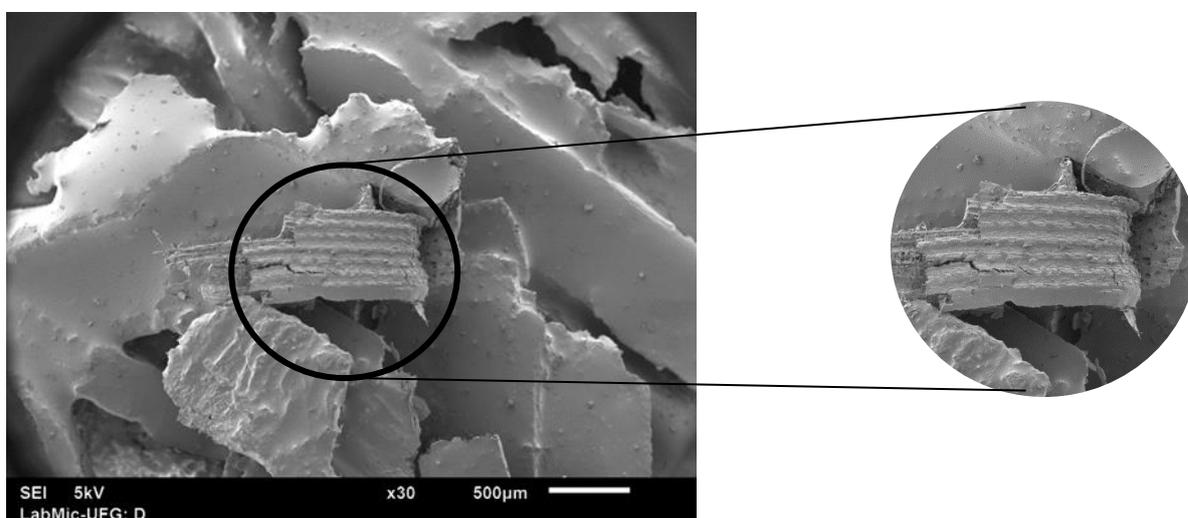


Fonte: Próprio autor.

Observa-se que houve uma boa transferência de tensão entre fibra e matriz antes de ocorrer a fissura e que as fibras foram rompidas por sobrecarga (NOVIKOV *et al.*, 2019).

A Figura 30 mostra a MEV do material compósito, contendo 15% de resina e tamanho de  $4,27 < \text{fibras} < 10\text{mm}$ .

Figura 30 - Micrografia obtida pelo MEV do material compósito



Fonte: Próprio autor.

Como pode ser observado, houve uma pequena fissura e descolagem nas fibras, o que indica o modo de falha de rompimento da fibra. Esse comprometimento é o responsável pela perda de resistência (NOVIKOV *et al.*, 2019).

## 5.8 Discussões

No Quadro 1 estão apresentados os resultados dos materiais compósitos feito de fibras e resina do óleo de mamona encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Quadro 1- Resultados compilados do uso de fibra e resina do óleo de mamona

Tratamento	Uso	Tratamento	Autores	Melhores Resultados da literatura	Resultados experimento atual
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Fibra de bambu e resina de mamona	Tratamento com plasma/prensagem temperatura ambiente	(SÁNCHEZ; CAPOTE; CARRILLO, 2019)	1,10	0,35
	Fibra de pinhal e resina de mamona	Prensagem a quente	(WECHSLER et al., 2013)	0,69	
	Fibras de côco verde, bagaço de cana de açúcar e resina de mamona	Prensagem a quente	(FIORELLI; BUENO; CABRAL, 2019)	0,53	
Umidade (%)	Fibra de bambu e resina de mamona	Tratamento alcalino/prensagem temperatura ambiente	(SÁNCHEZ; CAPOTE; CARRILLO, 2019)	8,0	0,94
	Fibra de pinhal e resina de mamona	Prensagem a quente	(WECHSLER et al., 2013)	5,90	
Inchamento (%)	Fibra de pinhal e resina de mamona	Prensagem a quente	(WECHSLER et al., 2013)	43,4	8,72
	Fibras de côco verde, bagaço de cana de açúcar e resina de mamona	Prensagem a quente	(FIORELLI; BUENO; CABRAL, 2019)	54,56	
Flexão (MPa)	Fibra de bambu e resina de mamona	Tratamento alcalino/prensagem temperatura ambiente	(SÁNCHEZ; CAPOTE; CARRILLO, 2019)	165,40	3,69
	Fibra de pinhal e resina de mamona	Prensagem a quente	(WECHSLER et al., 2013)	8,70	
	Fibras de côco verde, bagaço de cana de açúcar e resina de mamona	Prensagem a quente	(FIORELLI; BUENO; CABRAL, 2019)	16,20	

Flexão (MPa)	Fibra de piaçava e resina de mamona	Prensagem a quente	(REIS; MOTTA, 2014)	19,98	3,69
Elasticidade (MPa)	Fibra de pinhal e resina de mamona	Prensagem a quente	WECHSLER et al., 2013)	930,0	133,02
	Fibras de côco verde, bagaço de cana de açúcar e resina de mamona	Prensagem a quente	(FIORELLI; BUENO; CABRAL, 2019)	1879,0	
	Fibra de bambu e resina de mamona	Tratamento com plasma/prensagem temperatura ambiente	(SÁNCHEZ; CAPOTE; CARRILLO, 2019)	203,0	
Compressão (MPa)	Fibra de bambu e resina de mamona	Tratamento alcalino/prensagem temperatura ambiente	(SÁNCHEZ; CAPOTE; CARRILLO, 2019)	56,0	2,98
	Fibra de piaçava e resina de mamona	Prensagem a quente	(REIS; MOTTA, 2014)	39,52	

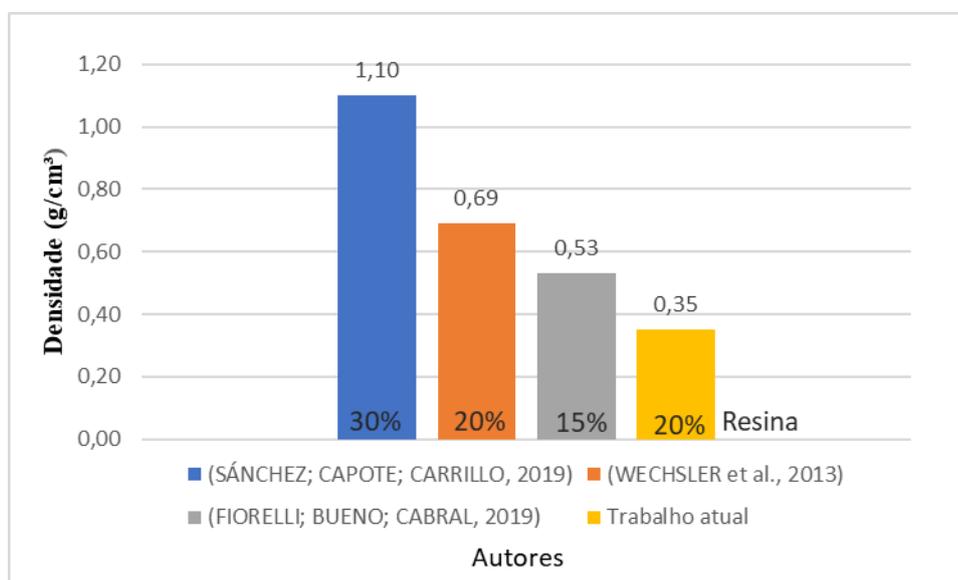
Fonte: Próprio autor.

Os resultados dos ensaios físicos foram similares aos resultados encontrados de vários autores em diferentes tipos de compósitos. Em relação aos ensaios mecânicos, houve uma divergência entre os valores deparados. Entretanto, os autores utilizaram diferentes concentrações de resina, tratamento de fibras, diferentes temperaturas e normas. Contudo, não foi encontrado nenhum artigo que utilizou somente a palha da cana-de-açúcar e resina do óleo de mamona para aprimores comparações.

### 5.8.1 Densidade

A Figura 31 apresenta os resultados de densidade encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Figura 31 – Comportamento dos resultados de densidade encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa



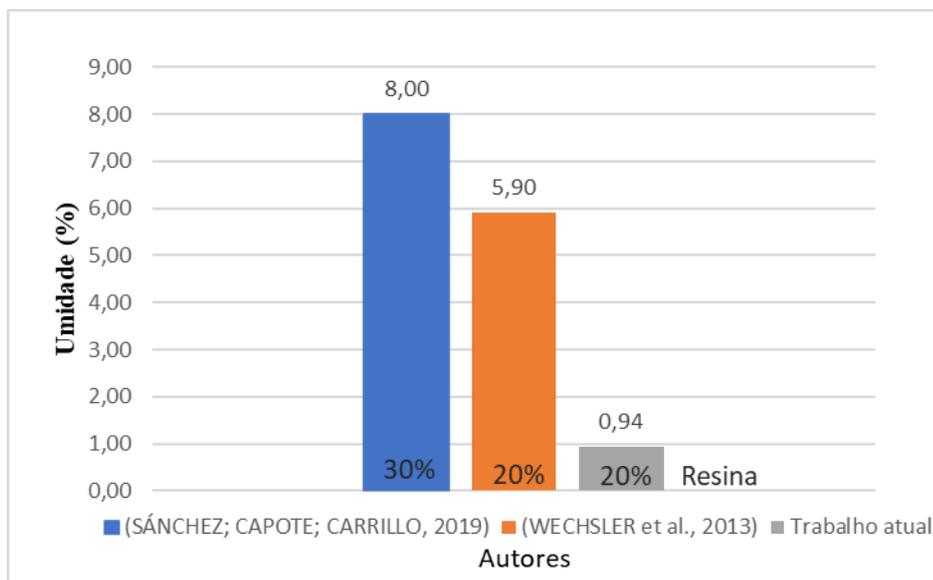
Fonte: Próprio autor.

Como apresentado na Figura 31, verifica-se que a densidade encontrada por diferentes autores possui variações dos valores, mostrando que o compósito do trabalho atual é considerado mesmo denso, onde objetos com a mesma forma e mesma dimensão, mas produzidos, isto é, feitos com materiais diferentes, possuem massas e densidades diferentes. É importante destacar que, como o volume de um corpo se altera em diferentes condições de temperatura e pressão, a densidade será diferente quando a temperatura e pressão forem alteradas. A densidade de um corpo é inversamente proporcional ao seu volume, ou seja, quanto maior o volume, menor a densidade.

### 5.8.2 Umidade

A Figura 32 apresenta os resultados de umidade encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Figura 32 – Comportamento dos resultados de umidade encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa



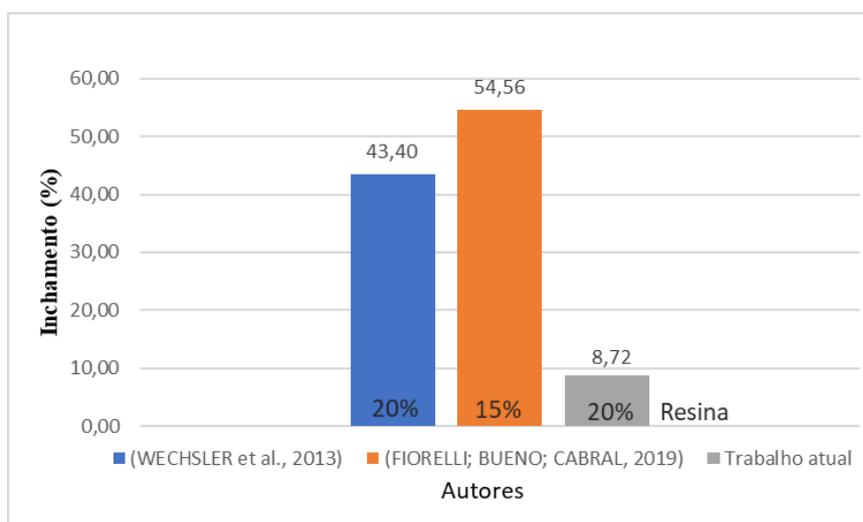
Fonte: Próprio autor.

Como apresentado na Figura 32, verifica-se que a umidade encontrada por diferentes autores possui poucas variações, estando relacionado a umidade da fibra (diferentes tipos) e a quantidade de resina utilizada para a obtenção do material compósito, visto que, Sánchez; Capote; Carrillo (2019) utilizaram 30% de resina, Wechsler et al., (2013) utilizou 20% e o trabalho atual 20% de resina.

### 5.8.3 Inchamento por 24h

A Figura 33 apresenta os resultados de inchamento encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Figura 33 – Comportamento dos resultados de inchamento encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa



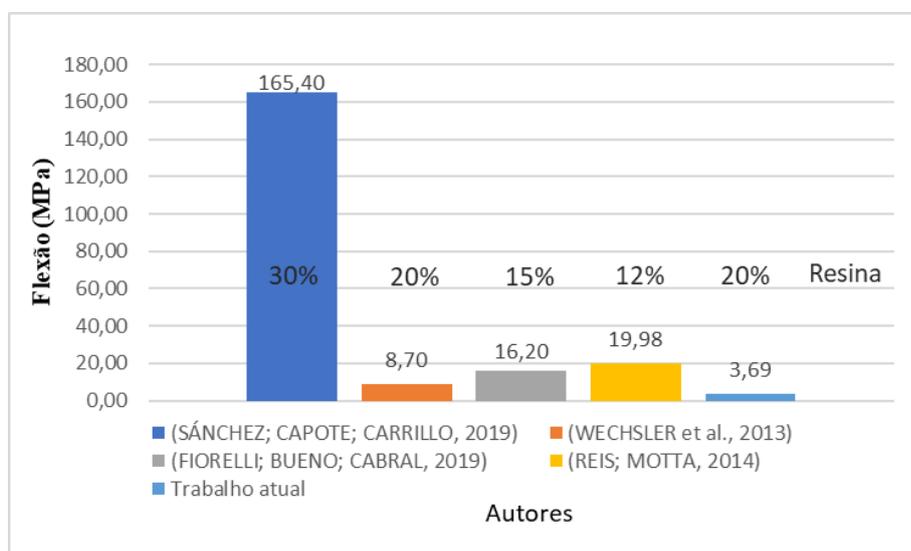
Fonte: Próprio autor.

Como apresentado na Figura 33, verifica-se que o inchamento encontrado por diferentes autores possui grandes variações dos valores, estando relacionado o tipo de fibra, os vazios e o tamanho da fibra utilizada para a obtenção do material compósito, onde a água destilada percorre entre os poros aumentando o tamanho do corpo de prova.

#### 5.8.4 Flexão Estática

A Figura 34 apresenta os resultados de flexão encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Figura 34 – Comportamento dos resultados de flexão encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa



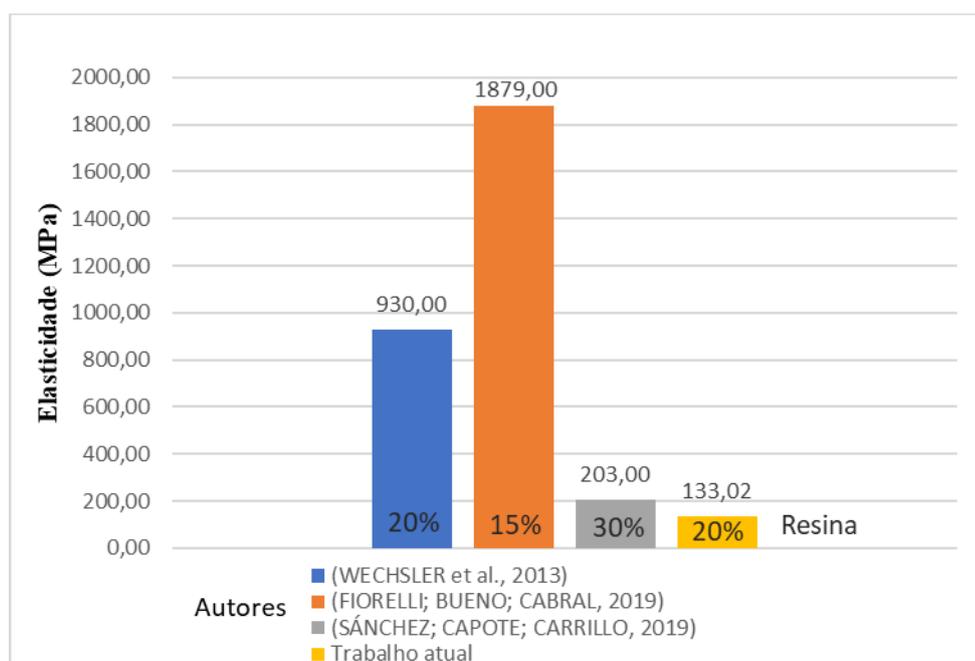
Fonte: Próprio autor.

Como apresentado na Figura 34, verifica-se que a flexão encontrada por diferentes autores possui grandes variações dos valores, estando relacionado o método de preparação do compósito, a carga aplicada na compactação, o tratamento das fibras, entretanto, utilizaram também normas diferentes ao presente trabalho.

### 5.8.5 Elasticidade

A Figura 35 apresenta os resultados de elasticidade encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Figura 35 – Comportamento dos resultados de elasticidade encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa



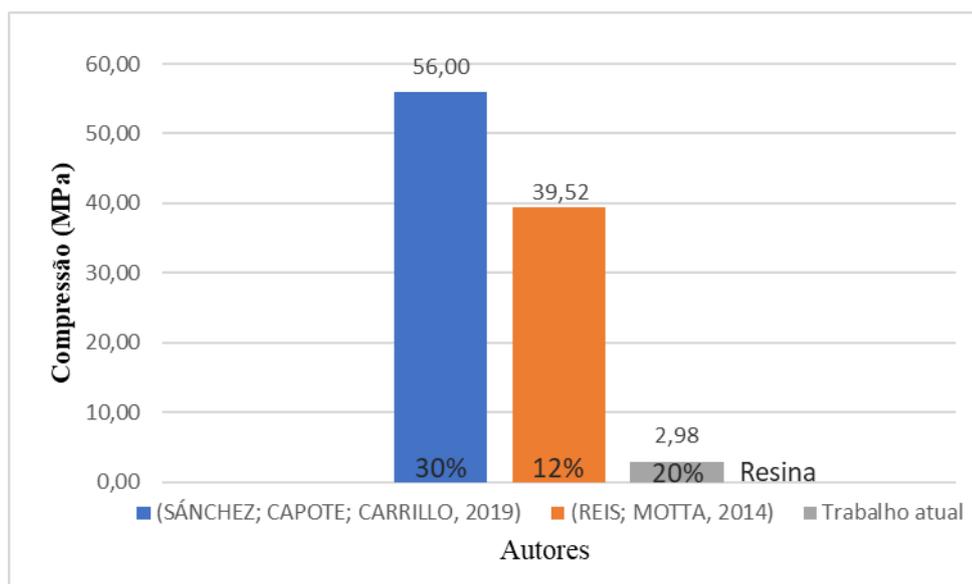
Fonte: Próprio autor.

Como apresentado na Figura 35, verifica-se que a elasticidade encontrada por diferentes autores possui grandes variações dos valores, estando relacionado o percentual de resina ao compósito, o método de preparação do compósito, o tratamento das fibras, o tempo de cura etc.

### 5.8.6 Compressão

A Figura 36 apresenta os resultados de compressão encontrados na literatura em comportamento os resultados encontrados nesta pesquisa.

Figura 36 – Comportamento os resultados de compressão encontrados na literatura com o resultado desta pesquisa



Fonte: Próprio autor.

Como apresentado na Figura 36, verifica-se que a compressão encontrada por diferentes autores possui grandes variações dos valores, estando relacionado o método de preparação do compósito.

Baseado nos comportamentos dos resultados obtidos nesta pesquisa com os resultados encontrados na literatura referente aos materiais compósitos, nota-se que os principais fatores devido a divergência dos valores são: diferentes condições de temperatura e pressões; umidade e tamanho das fibras; quantidade de resina (percentual); tratamento das fibras (vazios); aplicação da carga na compactação; métodos de preparação do compósito (norma). Contudo, o grande tempo de cura da resina poliuretana bem como a alta temperatura em que o processo é realizado, pode restringir o uso do compósito em aplicações em que se é exigido um grande volume de material, como por exemplo aplicações estruturais.

No presente trabalho, os materiais compósitos provindo da palha da cana-de-açúcar e resina do óleo de mamona mostraram-se eficazes dependendo de sua aplicação. A norma classifica como (tipo P2) painéis não estruturais, para uso interno em condições secas. Ao comparar os resultados obtidos dos ensaios mecânicos, constatou-se que no tratamento da menor fibra à 20% de resina o compósito obteve maior resistência tanto à flexão, como elasticidade e compressão. Cabe ao engenheiro determinar o tipo de resina a ser utilizada bem como a porcentagem de seus constituintes, visto que tais variáveis influenciam muito nas propriedades mecânicas do compósito.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou os efeitos dos materiais compósitos produzidos da palha de cana-de-açúcar e resina à base do óleo de mamona, na proporção de dois tamanhos de fibras e três porcentagens de resina. As fibras de palha apresentaram tamanhos com diferentes propriedades, os maiores diâmetros acumulam mais imperfeições e afetam diretamente as propriedades dos materiais compósitos.

Com base nos ensaios físicos realizados, apresentou maior inchamento o compósito de maior fibra à 10% de resina, uma vez que é um material não resistente a umidade. Afirma-se que os valores encontrados de umidade, densidade e inchamento foram promissores, estando dentro do que preconiza a norma.

Dentro dos aspectos relacionados aos ensaios mecânicos, obteve melhor desempenho o compósito da fibra menor com 20% de resina nos ensaios de flexão, elasticidade e compressão, tendo em vista que nenhum tratamento foi feito na superfície da fibra e sua formulação foi realizada de forma manual. Tais resultados mostraram que o compósito de poliuretano natural pode ser competitivo no mercado, visto que são compatíveis com outras resinas sintéticas já utilizadas na indústria.

As análises do ensaio morfológico exibiram ampla interação na interface entre matriz/reforço, onde houve o deslocamento das fibras no momento da perda de resistência. Contudo, devido o afastamento criou-se vazios na interligação das fibras, mostrando que houve considerável mudança da morfologia com os variados tratamentos do compósito.

Os resultados do ensaio de biodegradação comprovam que no decorrer dos meses avaliados os compósitos foram diminuindo o peso de massa, o que mostra o favorecimento da degradação das amostras no ambiente ao qual o ensaio foi realizado, considerando o compósito biodegradável, podendo ser utilizado na fabricação de mesas, cadeiras, paredes etc.

Desta forma, o compósito aglomerado da palha de cana-de-açúcar e resina à base de óleo de mamona desenvolvido neste trabalho é sustentável, sendo relevante nos âmbitos: ambiental, econômico e social. Além disso, os materiais compósitos possuem a vantagem de serem desenvolvidas a partir de fontes renováveis. Portanto, de suma importância científica e tecnológica para obtenção de novos materiais utilizados na engenharia.

**Sugestões para trabalhos futuros**

- ✓ Realizar estudos do melhor tratamento a ser feito com as fibras;
- ✓ Utilizar uma fôrma que tem melhor manuseio, facilidade na retirada do material compósito;
- ✓ Deixar o material na fôrma inserido na máquina EMIC por no mínimo 12 horas;
- ✓ Utilizar uma força maior que 3 toneladas.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2:2018 – Painéis de partículas de média densidade - parte 2: requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3:2002 – Chapas de madeira aglomerada - parte 3: métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2002. 32 p.
- ASTM D3878 – 95. **Standard terminology of high - modulus reinforcing fibers and their composites**. 1995. Disponível em: <[https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/ASTM-D3878-07-147327\\_SAIG\\_ASTM\\_ASTM\\_2641631/](https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/ASTM-D3878-07-147327_SAIG_ASTM_ASTM_2641631/)>. Acesso em: 23 de janeiro 2019.
- ASTM G 160 – 03. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard practice for Evaluating Microbial Susceptibility of Nonmetallic Materials**. By Laboratory Soil Burial v. 14.04, 2004.
- AKIL, H.m. *et al.* **Kenaf fiber reinforced composites: A review**. Materials & Design, [s.l.], v. 32, n. 8-9, p.4107-4121, set. 2011. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0261306911002639#b0015>>. Acesso em: 26 fev. 2019.
- BELGACEM, Mohamed; GANDINI, Alessandro. **Monômeros, Polímeros e Compósitos de Recursos Renováveis**. Amsterdam: Elsevier Science, 2008. 560 p. Disponível em: <<https://www.elsevier.com/books/monomers-polymers-and-composites-from-renewable-resources/belgacem/978-0-08-045316-3>>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- BERTOLINI, S. M. *et al.* **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com CCB e resina PU de mamona na produção de chapas de partículas**. In: LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. (Orgs.). Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos. São Carlos; EESC/USP, 2013. cap. 2, p. 23-55.
- CALEGARI, Eliana Paula *et al.* **Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos**. Sustentabilidade em Debate, [s.l.], v. 7, n. 1, p.140-155, 30 abr. 2016. Editora de Livros IABS. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/142321/000992228.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 26 set. 2019.
- CALISTER, W.D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 5 edition, John Wiley and Sons, Inc. USA. 2007. Disponível em: <[https://www.academia.edu/35084760/Materials\\_Science\\_and\\_Engineering\\_7th\\_Edition\\_-\\_William\\_D\\_Callister.pdf?auto=download](https://www.academia.edu/35084760/Materials_Science_and_Engineering_7th_Edition_-_William_D_Callister.pdf?auto=download)>. Acesso em: 26 de janeiro 2019.
- CANEVAROLO, J. S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Ed. Artliber, São Paulo, 2004. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/273340060\\_Tecnicas\\_De\\_Caracterizacao\\_de\\_Polimeros](https://www.researchgate.net/publication/273340060_Tecnicas_De_Caracterizacao_de_Polimeros)>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. **A revolução verde da mamona**. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 3-8, fev. 2010.
- CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; COIADO CHAMMA, P. V. **Produção de painéis a partir de resíduos lignocelulósicos para uso na arquitetura**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., Londrina, 2008.
- CARDOSO, T. F. *et al.* **A regional approach to determine economic, environmental and social impacts of different sugarcane production systems in Brazil**. Biomass And

Bioenergy, [s.l.], v. 120, p.9-20, jan. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953418302848?dgcid=author>>. Acesso em: 08 out. 2019.

CARVALHO, W. *et al.* **UMA VISÃO SOBRE A ESTRUTURA, COMPOSIÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DA MADEIRA**. Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Quim. Nova, Vol. 32, No. 8, 2191-2195, 2009. Disponível em: <[http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol32No8\\_2191\\_32-RV08643.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol32No8_2191_32-RV08643.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2019.

CGEE, CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. 1 ed. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2008. 314p. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2002?mode=full>>. Acesso em: 23 de janeiro 2019.

CLYNE, T. W.; HULL, Derek. **An introduction to composite materials**. 3ª edição. Cambridge University Press, Google Scholar, 2019. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/br/academic/subjects/engineering/materials-science/introduction-composite-materials-3rd-edition?format=HB>> Acesso em: 11 out. 2019.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v.6 - Safra 2019/20, n.3 - Terceiro levantamento, Brasília: Conab, dezembro de 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 23 de janeiro 2020.

COSTA, Sirlene M. *et al.* **Use of sugar cane straw as a source of cellulose for textile fiber production**. Industrial Crops And Products, [s.l.], v. 42, p.189-194, mar. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669012002932>>. Acesso em: 26 de janeiro 2019.

CRAVO, Julio Cesar Machado *et al.* **PAINEL AGLOMERADO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**. Ciência Florestal, [s.l.], v. 25, n. 3, p.721-730, 30 set. 2015. Universidad Federal de Santa Maria. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1980-50982015000300721](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982015000300721)>. Acesso em: 11 out. 2019.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica por varredura. Aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: PUCRS, 2007, p. 60.

DITTENBER, David B.; GANGARAO, Hota V. S. **Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure**. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, [s.l.], v. 43, n. 8, p.1419-1429, ago. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1359835X11003903>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

FARUK, Omar *et al.* **Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010**. Progress In Polymer Science, [s.l.], v. 37, n. 11, p.1552-1596, nov. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0079670012000391>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

FIORELLI, Juliano *et al.* **Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades**. Acta Scientiarum. Technology, [s.l.], v. 33, n. 4, p.401-406, 20 set. 2011. Universidade Estadual de Maringá. <<http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i4.9615>>. Disponível em:

<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/9615>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

FIORELLI, Juliano; BUENO, Stephen Bonilla; CABRAL, Matheus Roberto. **Assessment of multilayer particleboards produced with green coconut and sugarcane bagasse fibers**. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 205, p.1-9, abr. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061819303083>>. Acesso em: 26 set. 2019.

GIGANTE, Bárbara. **Resinas Naturais**. *Conservar Patrimônio*. Associação Profissional de Conservadores Restauradores de Portugal Lisboa, Portugal, núm. 1, 2005, pp. 33-46. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=513653425004>>. Acesso em: 26 de janeiro 2019.

GODOY, J. **Estudo de um novo compósito madeira / resina poliuretano para o desenvolvimento de um isolador híbrido**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 2007.

HASSUANI, SULEIMAN; CELENTE, VIVIANE. **Recolhimento de palha e conversão em eletricidade**. 2016. Disponível em: <<https://pages.cnpem.br/sucre/2016/04/11/contexto-palha-cana-brasil-atuacao-projeto-sucre/>> Acesso em: 21 mar. 2019.

IRITANI, D.R. *et al.* **Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry**. *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], v. 96, p.308-318, jun. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652614004892>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

IWAKIRI, S. *et al.* **Produção de painéis de madeira aglomerada de Grevillea robusta A. Cunn. ex R. Br.** *Revista Árvore*, v. 28, n. 6, p. 883-887, 2004. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/313709/1/23989.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

KAUR, Ravneet *et al.* **Reaction parameters effect on hydrothermal liquefaction of castor (Ricinus Communis) residue for energy and valuable hydrocarbons recovery**. *Renewable Energy*: Elsevier BV, p.1026-1041, out. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0960148119305488>>. Acesso em: 15 out. 2019.

KHOT, Shrikant N. *et al.* **Development and application of triglyceride-based polymers and composites**. *Journal Of Applied Polymer Science*, [s.l.], v. 82, n. 3, p.703-723, 2001. Wiley. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.1897>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

KIM, H; SEO, D. **Effect of water absorption fatigue on mechanical properties of sisal textile-reinforced composites**. *International Journal Of Fatigue*, [s.l.], v. 28, n. 10, p.1307-1314, out. 2006. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0142112306000557>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

KOHLHEPP, Gerd. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 223-253, jan. 2010. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v24n68/17.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

LIANG, Weihui; LV, Mengqiang; YANG, Xudong. **The combined effects of temperature and humidity on initial emittable formaldehyde concentration of a medium-density fiberboard**. *Building And Environment*, [s.l.], v. 98, p.80-88, mar. 2016. Elsevier BV.

Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0360132315302225>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

MARINHO, Nelson P. *et al.* **Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu.** Polímeros, [s.l.], p.201-205, 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/host-article-assets/polimeros/588371907f8c9d0a0c8b496c/fulltext.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

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

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. **A indústria brasileira de painéis de madeira.** Revista da Madeira, v. 1, n. 71, p. 12-12, 2003.

MERTENS, Oliver; GURR, Julius; KRAUSE, Andreas. **The utilization of thermomechanical pulp fibers in WPC: A review.** Journal Of Applied Polymer Science, [s.l.], v. 134, n. 31, p.1-11, 13 abr. 2017. Wiley. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.45161>>. Acesso em: 26 jan. 2019.

MESA-PÉREZ, Juan Miguel *et al.* **Fast oxidative pyrolysis of sugar cane straw in a fluidized bed reactor.** Applied Thermal Engineering, [s.l.], v. 56, n. 1-2, p.167-175, jul. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1359431113001750>>. Acesso em: 24 de janeiro 2019.

MILÉO, P.C. *et al.* **Mechanical Behaviour of Polyurethane from Castor oil Reinforced Sugarcane Straw Cellulose Composites.** Procedia Engineering, [s.l.], v. 10, p.2068-2073, 2011. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811005303>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

MISRA, M.; PANDEY, J. K.; MOHANTY, A. K. **Biocomposites: Design and Mechanical Performance.** 1ª ed. Elsevier Science, Oxford, 2015.

MOHANTY, A. K. *et al.* **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction.** Taylor & Francis, 2005.

MORAES, J. C. B. *et al.* **Assessment of sugar cane straw ash (SCSA) as pozzolanic material in blended Portland cement: Microstructural characterization of pastes and mechanical strength of mortars.** Construction And Building Materials, [s.l.], v. 94, p.670-677, set. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S095006181530129X>>. Acesso em: 08 out. 2019.

MORAES, J. C. B. *et al.* **Pozzolanic Reactivity Studies on a Biomass-Derived Waste from Sugar Cane Production: Sugar Cane Straw Ash (SCSA).** Acs Sustainable Chemistry & Engineering, [s.l.], v. 4, n. 8, p.4273-4279, 14 jul. 2016. American Chemical Society (ACS). Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.6b00770>>. Acesso em: 24 de janeiro 2019.

MOURA, M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. **Materiais Compósitos Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico.** 2ª Edição, 2011.

NEGRÃO, Wilson Henrique *et al.* **Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais.** Ambiente Construído, [s.l.], v. 14, n. 3, p.103-112, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212014000300008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212014000300008)>.

Acesso em: 11 out. 2019.

NOVIKOV, Ivan *et al.* **A rapid method of whole cell sample preparation for scanning electron microscopy using neodymium chloride.** *Micron: Elsevier BV*, p.2-6, maio 2019.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0968432818303111>>. Acesso em: 15 out. 2019.

OLIVEIRA, Ana P. P. de *et al.* **Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s.l.], v. 18, n. 9, p.939-947, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n9/v18n09a10.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2019.

OMONOV, Tolibjon S.; KHARRAZ, Ereddad; CURTIS, Jonathan M. **Camelina (Camelina Sativa) oil polyols as an alternative to Castor oil.** *Industrial Crops And Products*, [s.l.], v. 107, p.378-385, nov. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669017303540>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ONUAGULUCHI, Obinna; BANTHIA, Nemkumar. **Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review.** *Cement And Concrete Composites*, [s.l.], v. 68, p.96-108, abr. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0958946516300269#bib15>>. Acesso em: 11 out. 2019.

PATEL, Vinay R. *et al.* **Castor Oil: Properties, Uses, and Optimization of Processing Parameters in Commercial Production.** *Lipid Insights*, [s.l.], v. 9, p.1-12, jan. 2016. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.4137/lpi.s40233>. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.4137/LPI.S40233>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

PERSSON, H SKARENDAHL, A. **Natural Fibre Concrete for Roofing Sheets and Other Purposes.** in: SAREC report. *Natural Fibre Concrete*, SAREC Stockolm. 1984. Disponível em: <<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1989/1226/1226-008.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

RAJAK, Dipen Kumar *et al.* **Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials.** *Journal Of Materials Research And Technology*, [s.l.], p.1-21, out. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2238785419312086#bib0215>>. Acesso em: 11 out. 2019.

REIS, J.M.I.; MOTTA, E.P. **Mechanical behavior of piassava fiber reinforced castor oil polymer mortars.** *Composite Structures*, [s.l.], v. 111, p.468-472, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.01.023>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0263822314000361>>. Acesso em: 26 set. 2019.

RODRIGUES, Jean; SOUZA, José Antônio; FUJIYAMA, Roberto. **Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão.** *Matéria (rio de Janeiro)*, [s.l.], v. 20, n. 4, p.946-960, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rmat/v20n4/1517-7076-rmat-20-04-00946.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

RODRIGUES, M. R. P. **Caracterização e utilização do resíduo da borracha de pneus inservíveis em compósitos aplicáveis na construção civil.** 252f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia da São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. **Characterization and factors affecting fiber properties**. In: NATURAL POLYMERS AND AGROFIBERS BASED COMPOSITES, 1., 2000, São Carlos. Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2000. p. 115-134.

SANTOS, Fernando A.; QUEIRÓZ, José H. de; COLODETTE, Jorge L.; FERNANDES, Sergio A.; GUIMARÃES, Valéria M.; REZENDE, Sebastião T. **Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol**. Química Nova, Viçosa – Mg, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 13 jan. 2012. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n5/a25v35n5.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2019.

SAIR, S. *et al.* **Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation**. Composites Communications, [s.l.], v. 16, p.20-24, dez. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2452213919300853#bib5>>. Acesso em: 11 out. 2019.

SÁNCHEZ, Martha L.; CAPOTE, G.; CARRILLO, J. **Composites reinforced with Guadua fibers: Physical and mechanical properties**. Construction And Building Materials, [s.l.], v. 228, p.1-9, dez. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0950061819321671>>. Acesso em: 15 out. 2019.

SANJAY, M. R. *et al.* **Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review**. Journal Of Cleaner Production, [s.l.], v. 172, p.566-581, jan. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652617323946>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

SBIHI, Hassen Mohamed *et al.* **Hexane and ethanol extracted seed oils and leaf essential compositions from two castor plant (Ricinus communis L.) varieties**. Industrial Crops And Products, [s.l.], v. 122, p.174-181, out. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0926669018304916>>. Acesso em: 15 out. 2019.

SILVA, A. P. *et al.* **APROVEITAMENTO DA PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR PÓS-COLHEITA MECANIZADA**. Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra, Dourados/MS, v. 5, n. 8, p.65-74, 2016.

SILVA, L. D. A. *et al.* **Avaliação do ciclo de vida de painéis de madeira: uma revisão bibliográfica com foco sobre a importância e as necessidades para o contexto brasileiro**. In: LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. (Orgs.). Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos. São Carlos: EESC/USP, 2013. cap. 6, p. 123- 164.

SILVA, S. A. M. *et al.* **Strength properties of medium density fiberboards (MDF) manufactured with pinus elliottii wood and polyurethane resin derived from castor oil**. International Journal of Composite Materials, Rosemead, v. 3, p. 7-14, 2012.

SOARES, B. M. C.; SARON, E. S. **Microanálise elementar de materiais: aplicações do sistema MEV-EDX**. Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens, v. 22, n. 1, Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2010. 4p. Disponível em: <[http://cetea.ital.sp.gov.br/informativo/v22n1/v22n1\\_artigo2.pdf](http://cetea.ital.sp.gov.br/informativo/v22n1/v22n1_artigo2.pdf)>. Acesso em: 06 jan. 2019.

SOUZA, Amós M. *et al.* **Wood-based composite made of wood waste and epoxy based ink-waste as adhesive: A cleaner production alternative**. Journal Of Cleaner Production,

[s.l.], v. 193, p.549-562, ago. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652618314239>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

SUN, Enhui *et al.* **Biodegradable copolymer-based composites made from straw fiber for biocomposite flowerpots application.** Composites Part B: Engineering, [s.l.], v. 165, p.193-198, maio 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1359836818323631>>. Acesso em: 26 set. 2019.

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

TROVATI, Graziella *et al.* **Production and characterization of polyurethane castor oil (Ricinus communis) foam for nautical fender.** Polymer Testing, [s.l.], v. 73, p.87-93, fev. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0142941818310213>>. Acesso em: 15 out. 2019.

VASILIEV, Valery V.; MOROZOV, Evgeny V. Introduction. **Advanced Mechanics Of Composite Materials And Structures**, [s.l.], p.17-25, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/B9780081022092000220>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

WECHSLER, A. *et al.* **Macadamia (Macadamia integrifolia) shell and castor (Rícinos communis) oil based sustainable particleboard: A comparison of its properties with conventional wood based particleboard.** Materials & Design, [s.l.], v. 50, p.117-123, set. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez6.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0261306913002082>>. Acesso em: 26 set. 2019.

ZAU, Mírian Dayse Lima *et al.* **Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia - Cumaru (Dipteryx Odorata) e resina poliuretana à base de óleo de mamona.** Polímeros, [s.l.], v. 24, n. 6, p.726-732, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282014000600014&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282014000600014&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 16 abr. 2019.

ZENID, G. J. **Madeiras e suas características.** In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. (Eds.). Tecnologias aplicadas ao setor Madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 125 -158.

ZINI, Elisa; SCANDOLA, Mariastella. **Green composites: An overview.** Polymer Composites, [s.l.], v. 32, n. 12, p.1905-1915, 4 nov. 2011. Wiley. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pc.21224>>. Acesso em: 31 jan. 2019.



## APÊNDICE

**Tabela 23 - Resultados experimentais do ensaio de umidade**

Concentrações	Tamanho (4,27< fibras <10mm)											
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (%)	Desvio Padrão
10%	0,8084	0,8790	0,8022	0,8789	0,8678	0,8550	0,8090	0,8047	0,8267	0,8551	0,8387	0,0317
15%	0,8560	0,8532	0,8991	0,9055	0,8538	0,9031	0,9047	0,9054	0,9047	0,9394	0,8925	0,0286
20%	0,8489	0,9079	0,9061	0,9057	0,8025	0,8097	0,8770	0,8290	0,9490	0,8822	0,8718	0,0480

Concentrações	Tamanho (0< fibras ≤ 4,27mm)											
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (%)	Desvio Padrão
10%	0,8518	0,8780	0,8461	0,8766	0,8426	0,8684	0,8811	0,8518	0,8492	0,8508	0,8596	0,0147
15%	0,9636	0,9437	0,9505	0,9279	0,9241	0,9587	0,9633	0,9364	0,9403	0,9362	0,9445	0,0142
20%	0,9683	0,9848	0,9423	0,9303	0,9710	0,9204	0,9065	0,9143	0,9360	0,9589	0,9433	0,0265

**Tabela 24 - Resultados experimentais do ensaio de densidade**

Concentrações	Tamanho (4,27< fibras <10mm)												
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (%)	Desvio Padrão	
10%	230,5680	177,8695	366,4033	175,1665	287,4921	222,9359	222,8868	284,7628	353,3888	356,4154	267,7889	72,7713	
15%	330,8096	246,5940	326,8576	300,8403	285,4139	278,9930	208,0119	240,9278	188,4529	247,0051	265,3906	47,6118	
20%	244,8462	355,4838	359,4986	331,1034	366,9264	349,9989	328,9398	268,3009	350,0923	292,4789	324,7669	42,0067	

Concentrações	Tamanho (0< fibras ≤ 4,27mm)												
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (%)	Desvio Padrão	
10%	243,0286	197,6251	264,6178	192,2479	210,3624	247,5982	182,9074	216,0506	307,9701	198,5579	226,0966	39,2495	
15%	337,7008	373,2902	393,3551	357,0956	274,7288	306,3214	344,3183	327,9358	368,2906	286,2106	336,9247	38,6011	
20%	322,4229	378,9690	308,1068	330,9850	384,5375	334,6445	323,5584	348,3015	365,4418	367,8099	346,4777	26,4125	

Tabela 25- Resultados experimentais do ensaio de inchamento por 24h

Concentrações	Tamanho (4,27< fibras <10mm)											
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (%)	Desvio Padrão
10%	8,8431	8,6641	8,6237	8,8324	8,6433	8,6566	8,6705	8,8527	8,7478	8,6969	8,7231	0,0890
15%	4,5650	4,6429	4,6329	4,5048	4,6061	4,6882	4,5773	4,5838	4,5277	4,5928	4,5921	0,0542
20%	2,7566	2,7043	2,8692	2,8696	2,6967	2,7263	2,7889	2,8249	2,7479	2,6925	2,7677	0,0678

Concentrações	Tamanho (0< fibras ≤ 4,27mm)											
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (%)	Desvio Padrão
10%	6,5006	6,5250	6,5000	6,5762	6,6395	6,6957	6,5316	6,5966	6,6728	6,5000	6,5738	0,0745
15%	3,7645	3,8065	3,7586	3,5750	3,6824	3,5172	3,5633	3,7710	3,6516	3,5632	3,6653	0,1060
20%	1,3857	1,4691	1,3169	1,3429	1,5316	1,2121	1,4682	1,3121	1,5619	1,5059	1,4106	0,1138

Tabela 26 - Resultados experimentais do ensaio de flexão estática

Concentrações	Tamanho (4,27< fibras <10mm)											
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
10%	0,9834	0,9258	0,9567	0,9978	0,9581	0,9816	0,9979	0,9211	0,9189	0,9352	0,9576	0,0313
15%	2,5080	2,5898	2,5013	2,5507	2,5054	2,6523	2,5917	2,5307	2,5866	2,5140	2,5531	0,0504
20%	2,8140	2,8928	2,8369	2,8398	2,8826	2,9170	2,8788	2,8631	2,9890	2,8569	2,8771	0,0494

Concentrações	Tamanho (0< fibras ≤ 4,27mm)											
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
10%	0,1847	0,1856	0,1969	0,1930	0,1861	0,1845	0,1950	0,1962	0,1972	0,1824	0,1902	0,0060
15%	1,7509	1,6734	1,7328	1,7038	1,7966	1,7935	1,6009	1,6425	1,6597	1,6897	1,7044	0,0642
20%	3,8544	3,7911	3,8160	3,8344	3,7361	3,8765	3,7150	3,7525	2,8278	3,7105	3,6914	0,3090

Tabela 27 - Resultados experimentais do ensaio de elasticidade

Concentrações	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)											Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10			
10%	66,2466	30,9578	18,1023	18,1184	19,6558	28,7407	31,0869	6,9276	6,8749	46,1392	27,2850	18,1387	
15%	43,3740	78,5975	67,0404	103,7078	86,0318	80,1810	56,3853	42,0082	70,1018	71,6407	69,9069	19,0322	
20%	78,9319	85,7134	101,2273	87,8076	68,2979	89,4092	80,7261	92,2857	74,8868	96,9773	85,6263	10,1110	

Concentrações	Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)											Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10			
10%	6,6492	7,5133	5,4726	6,9900	3,4573	2,9549	5,4054	2,2872	4,4729	4,2476	4,9450	1,7676	
15%	68,3181	89,8261	41,4934	56,5369	62,8631	92,3488	42,9457	67,0663	48,1953	70,1464	63,9740	17,6165	
20%	203,0562	150,3655	78,7295	165,6603	163,2012	171,9580	91,7775	102,6818	92,5277	110,2110	133,0169	42,7227	

Tabela 28 - Resultados experimentais do ensaio de compressão

Concentrações	Tamanho (4,27 < fibras < 10mm)										Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10		
10%	0,7691	0,8287	0,8558	0,9776	0,7283	0,9109	0,7906	0,9045	0,7324	0,8089	0,8307	0,0817
15%	1,5981	1,5012	1,5963	1,5516	1,5666	1,6135	1,5212	1,5326	1,6048	1,5457	1,5632	0,0388
20%	2,3312	2,3540	2,3252	2,4026	2,4334	1,3102	2,4421	2,3619	2,4230	2,3650	2,2749	0,3415

Concentrações	Tamanho (0 < fibras ≤ 4,27mm)										Média (N/mm <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10		
10%	0,2805	0,2570	0,3166	0,3255	0,2902	0,2079	0,2671	0,3076	0,2505	0,2613	0,2764	0,0354
15%	0,9022	0,8680	0,9713	0,8765	0,8828	0,9226	0,9489	0,9853	0,8951	0,9667	0,9219	0,0432
20%	2,9918	2,9024	2,9737	3,0585	2,9633	3,0828	2,9654	2,9070	2,9534	2,9979	2,9796	0,0575

