



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO ENGENHARIA MECÂNICA

EDGLEY ALVES DE OLIVEIRA PAULA

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITO
POLIÉSTER / FIBRA NATURAL (*LUFFA CYLINDRICA*)**

CARAÚBAS – RN
2019

EDGLEY ALVES DE OLIVEIRA PAULA

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITO
POLIÉSTER / FIBRA NATURAL (*LUFFA CYLINDRICA*)**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Professor Me. Rafael Bezerra
Azevedo Mendes – UFERSA.

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P 324 c Paula, Edgley Alves de Oliveira.

Caracterização das propriedades mecânicas de compósito poliéster / fibra natural (Luffa Cylindrica) / Edgley Alves de Oliveira Paula. - 2019.

68 f. : il.

Orientador: Rafael Bezerra Azevedo Mendes.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Mecânica, 2019.

1. Compósito polimérico. 2. Fibra vegetal. 3.

Ensaio Mecânicos. I. Mendes, Rafael Bezerra Azevedo, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EDGLEY ALVES DE OLIVEIRA PAULA

**CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITO
POLIÉSTER / FIBRA NATURAL (*LUFFA CYLINDRICA*)**

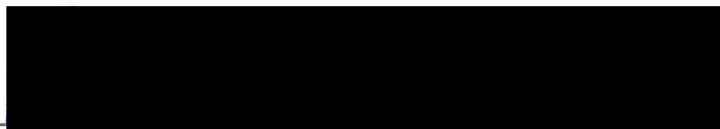
Trabalho de Conclusão do Curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica.

APROVADA EM: 12/08/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Rafael Bezerra Azevedo Mendes
Presidente



Prof. Me. Carlos Cássio de Alcântara
Membro



Profª. Dra. Rejane Ramos Dantas

Membro

EDNOR ALVES DE PAULA (In Memoriam).

Diante de todas as dificuldades enfrentadas para alcançar o sonho de ser Engenheiro Mecânico, o senhor painho foi a minha principal inspiração em todos os momentos de tristeza e alegrias que vivi. Apesar de não está fisicamente presente, o senhor merece todas as homenagens do mundo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me concedido essa oportunidade e por toda a força que me passou nos momentos difíceis, para que eu nunca desistisse.

À minha mãe Neidinha pelo amor, carinho, atenção, apoio, educação e por todo esforço, que junto com meu pai (Ednor), sempre fizeram para que eu pudesse estudar. Sem vocês nada disso teria sido possível.

Às minhas irmãs Edjane e Eduarda por fazerem parte da minha vida e por sempre me ajudarem nos momentos difíceis.

Ao tio Valdir pela confiança e por me ajudar sempre quando precisei, desde quando frequentava o ensino médio até os dias de hoje.

Ao meu orientador e amigo Professor Me. Rafael Mendes por toda ajuda, confiança e contribuições no desenvolvimento desse trabalho.

À Mainha da UFERSA, a Professora Dra. Pollyanna Freire Montenegro Agra (Polly), pela confiança, amizade, oportunidade, incentivo, pelos conselhos nos momentos difíceis e por todo o conhecimento passado durante minha vida acadêmica.

À minha orientadora do projeto de pesquisa Professora Dra. Edna Lúcia da Rocha Linhares (Tia Edna), por toda confiança, amizade e conhecimento passado durante todo esse tempo de projeto.

À Professora Dra. Ana Cláudia, por toda amizade, disponibilidade e ajuda.

Ao meu amigo Lucas do projeto de pesquisa, por toda ajuda e contribuições nos trabalhos desenvolvidos no projeto.

Ao meu amigo Chico por toda ajuda e disponibilidade do transporte.

Aos meus amigos Oséias, Ari e Rafael da Empresa Oeste Service, por toda ajuda e conhecimento passado.

A todos meus amigos da Van universitária.

Às minhas amigas Jessica Rafaelly, Fernanda Beatriz, Clarisse, Rosemary e Edyelly, pela amizade e incentivo.

À minha prima Simone pelos conselhos, incentivo e por estar sempre presente.

Aos meus amigos irmãos Luís Freitas, Lucas Emanuel, Layon Acadias, Lucas Paulista, Lucas Lessa, Filipi, Saulo e Carlinhos por toda força e amizade.

Aos primos e primas por toda ajuda e incentivo.

A todos os meus tios e tias pelo apoio e incentivo.

A todos meus familiares que me ajudaram de forma direta e indiretamente.

A todos os professores da UFERSA que fizeram parte dessa jornada e contribuíram para o meu aprendizado.

Aos amigos da UFERSA pela ajuda durante todo o curso.

“O ser humano pode fazer muitos planos;
contudo, quem decide é Deus, o SENHOR!”
(Provérbios 19: 21. Bíblia King James)

RESUMO

Apesar de descobertos há muitos séculos, foi somente nas últimas décadas que os materiais compósitos ganharam um papel de destaque no desenvolvimento e utilização de materiais para Engenharia, além de ter ganhado cada vez mais espaço em vários segmentos industriais. Contudo, existe um atual interesse nos compósitos naturais com fibras vegetais, e isso deve-se principalmente à crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente e utilização de matéria-prima renovável. Diante disso, o trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de compósito natural utilizando uma matriz polimérica de resina poliéster ortoftálica e como reforço a fibra natural da bucha vegetal extraído da planta *Luffa cylindrica*, com o intuito de determinar as suas propriedades mecânicas a partir de ensaios de densidade volumétrica, tração e flexão. O material foi confeccionado utilizando duas camadas de fibras da bucha vegetal, sendo uma no sentido transversal e outra no sentido longitudinal, e a laminação foi realizada em um molde com duas placas de vidro prensadas em uma prensa hidráulica. Diante das propriedades encontradas nos ensaios, verificou-se que o material apresentou baixa densidade, fator que lhe promove ser leve e viável por conta de ter reforço de uma fibra natural, e na flexão apresentou um comportamento melhor que na tração, resistindo a uma maior tensão e apresentando uma maior deformação.

Palavras-Chave: Compósito polimérico. Fibra vegetal. Ensaio Mecânicos.

ABSTRACT

Although discovered many centuries ago, it is only in recent decades that composite materials have gained a prominent role in the development and use of Engineering materials, and have gained more space in various industry segments. However, there is a current interest in natural plant fiber composites and this is mainly due to the growing worldwide concern with the environmental protection and the use of renewable raw material. Therefore, this study aims to make a natural composite using a polymeric matrix of orthophthalic polyester resin and the vegetable sponge fiber extracted from the *Luffa cylindrica* plant as reinforcement; after that, the mechanical properties are determined from density, tensile, and flexural tests. The material was manufactured by using two layers of vegetable sponge fibers, disposed as one in the transverse direction and the other in the longitudinal direction; the lamination was performed in a mold with two glass plates pressed. Based on the properties found in the tests, it was verified that the material has a low density; this property makes it to be lightweight and viable due to the using of a natural fiber reinforcement. However, during the tensile test, the deformation was very small, so this is a fragile material, and in flexion it presented a better behavior than in traction, resisting a higher tension and presenting a bigger deformation.

KEYWORDS: Polymeric composite. Vegetable fiber. Mechanical tests.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema para classificação de vários tipos de compósitos.	20
Figura 2 - Classificação dos materiais compósitos.....	21
Figura 3 - Estrutura básica do processo de cura da resina poliéster. (a) Poliéster insaturado; (b) Monômero de estireno; (c) Poliéster curado.	26
Figura 4 - Anel epóxi.....	27
Figura 5 - Anel epóxi de 3 membros.	27
Figura 6 - Classificação das fibras.....	29
Figura 7 - Constituição estrutural de uma célula de fibra vegetal natural.	32
Figura 8 - Planta <i>luffa cylindrica</i>	34
Figura 9 - Bucha vegetal (<i>luffa cylindrica</i>).	34
Figura 10 - Comportamento da curva tensão – deformação de engenharia até a fratura.	37
Figura 11 - Representação esquemática do ensaio de flexão em 3 pontos.....	38
Figura 12 - Fluxograma de representação das etapas desenvolvidas no trabalho.	40
Figura 13 - Materiais utilizados na produção da matriz. (a) Resina poliéster ortoftálica cristal; (b) Monômero de estireno; (c) Catalizador.	41
Figura 14 - Local de colheita da bucha vegetal. (a) Planta <i>Luffa Cylindrica</i> encontradas nos quintais das casas; (b) Bucha vegetal.	42
Figura 15 - (a) Bucha vegetal sendo colhida na planta <i>luffa cylindrica</i> ; (b) Dimensões aproximadas da bucha vegetal colhida.	42
Figura 16 - Processo de limpeza e transformação da bucha em mantas.	43
Figura 17 - Processo de lavagem e secagem da manta.....	43
Figura 18 - Processo de prensagem e corte da manta.....	44
Figura 19 - (a) Tabua plana de madeira; (b) Placa plana de vidro; (c) Raio de roda de bicicleta.....	44
Figura 20 - Configuração e organização da manta utilizada como reforço no compósito.	45
Figura 21 - Resina poliéster ortoftálica cristal com monômero de estireno nas concentrações. (a) 0%; (b) 5%; (c) 10%.	45
Figura 22 - Molde com o material compósito posicionado na prensa hidráulica.....	46
Figura 23 - Compósito fabricado. (a) Placa com dimensões de 30 x 30 cm; (b) Placa com dimensões de 30 x 20 cm.....	46
Figura 24 - Amostras confeccionadas para realização dos ensaios de densidade volumétrica.	47

Figura 25 - Estufa com as amostras a temperatura de aproximadamente 100°C.	47
Figura 26 - Amostras resfriando em um dessecador a temperatura ambiente.....	48
Figura 27 - Processo de pesagem para determinação de densidade. (a) Afundador parcialmente imerso em água; (b) Afundador parcialmente imerso junto com amostra.	48
Figura 28 - Etapas de colagem do gabarito, corte e acabamento final das amostras de tração.	49
Figura 29 - Corpos de prova para ensaios de tração.....	50
Figura 30 - Máquina de ensaio universal.	50
Figura 31 - Corpo de prova tracionado até a fratura.	51
Figura 32 - Corpos de prova para ensaios de flexão.	52
Figura 33 - Etapas do ensaio de flexão em 3 pontos.	53
Figura 34 - Gráfico Tensão x Deformação do compósito com reforço da bucha vegetal submetido a tração.	56
Figura 35 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP de resina pura submetidos a tração. ..	58
Figura 36 - Gráfico Tensão x Deformação do compósito com reforço da bucha vegetal submetido a flexão.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.	22
Tabela 2 - Principais tipos de resina de poliéster.	25
Tabela 3 - Composição da fibra de bucha vegetal (<i>Luffa Cylindrica</i>).	35
Tabela 4 - Densidade volumétrica do compósito fabricado.	55
Tabela 5 - Propriedades mecânicas de tração.	57
Tabela 6 - Propriedades mecânicas da resina pura.	58
Tabela 7 - Propriedades mecânicas de flexão.	59
Tabela 8 - Caracterização do compósito polimérico com reforço da bucha vegetal a partir dos ensaios realizados.	60

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	16
2 - OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	19
3.2 COMPÓSITOS COM MATRIZ POLIMÉRICA	22
3.2.1. Resina poliéster	24
3.2.2 Resina epóxi	27
3.3 REFORÇO COM FIBRAS NATURAIS	28
3.3.1 Reforço de fibra vegetal	31
3.3.2 Caracterização da bucha vegetal (<i>Luffa Cylindrica</i>)	33
3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE VOLUMÉTRICA	35
3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS	36
3.5.1 Ensaios de tração	36
3.5.2 Ensaios de flexão	38
4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
4.1. MATERIAIS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DO COMPÓSITO.....	41
4.1.1. Matriz polimérica	41
4.1.2. Reforço natural	41
4.2. MÉTODOS UTILIZADOS	42
4.2.1. Processo de preparo do reforço	42
4.3.2. Confecção do molde de laminação	44
4.3.3. Fabricação do compósito.....	44
4.3.4. Confecção dos corpos de prova de densidade volumétrica e realização de ensaios	47
4.3.5. Confecção dos corpos de prova e realização de ensaios tração	49
4.3.6. Confecção dos corpos de prova e realização de ensaios de flexão em 3 pontos	52
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1. ENSAIOS DE DENSIDADE VOLUMÉTRICA	55

5.2. ENSAIOS DE TRAÇÃO UNIAXIAL	56
5.3. ENSAIOS DE FLEXÃO EM 3 PONTOS.....	58
5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DENSIDADE, TRAÇÃO E FLEXÃO	60
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 - INTRODUÇÃO

Os compósitos são originários das primeiras sociedades agrícolas e de certa forma foram esquecidos durante séculos. O verdadeiro reaparecimento destes materiais começou com o uso de estruturas compósitas leves para muitas soluções técnicas durante a segunda metade do século XX. Inicialmente eram utilizados em aplicações eléctricas como dieléctricos e cúpulas de radar pelas suas propriedades eletromagnéticas. Nas décadas de 80 e 90, o uso de compósitos tornou-se muito comum para melhorar o desempenho de veículos espaciais e aviões militares (VENTURA, 2009).

O emprego de materiais compósitos como materiais de engenharia tem ganhado cada vez mais espaço em vários segmentos da indústria. Isso ocorre pelo fato desses materiais possibilitarem uma boa sinergia na interação entre os diferentes componentes que o formam, dando como resultado uma gama de propriedades inerentes ao material, e atribuições económicas, ambientais e etc (CASARIL et al., 2006).

Segundo Ventura (2009), têm sido desenvolvidas técnicas de fabrico destes materiais de modo a substituir as ligas metálicas, cerâmicas e poliméricas que atendam às novas exigências tecnológicas. O seu fabrico implica a combinação das duas fases (matriz e reforço) para formar um material que de certa forma tem um melhor desempenho que os seus constituintes numa situação particular, dando origem a uma nova geração de materiais com melhores propriedades mecânicas.

A aplicação de novos materiais compósitos incentiva o crescimento de novos mercados nos seguintes setores: transporte, construção, corrosão-resistência, infraestrutura, eléctrico, aeronáutico e aeroespacial. As vantagens de usar materiais compósitos incluem: Resistência mecânica elevada, leveza, resistência a corrosão, flexibilidade e durabilidade (ZANGIACOMI e BITTENCOURT, 2006).

Na actualidade, os materiais compósitos de matriz polimérica usados nas mais variadas aplicações industriais, utilizam reforços de fibras sintéticas, tendo as de carbono, vidro e aramida como as mais usadas. De acordo com Leite (2014), a fibra de carbono tem uma densidade baixa, um baixo coeficiente de expansão térmica e é condutora. A fibra de vidro por sua vez, possuem um bom equilíbrio de propriedades mecânicas, alta densidade, boa resistência à corrosão, e as fibras de aramida (comercialmente conhecidas como Kevlar) é uma fibra orgânica que apresenta uma baixa densidade e é extremamente dura, exibindo excelente tolerância ao dano. Já Ligowski, Santos e Fujiwara (2015), afirma que os

compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais têm sido alvo de grande interesse acadêmico e industrial por substituírem, geralmente com vantagens de custo e leveza, as peças feitas de compósitos poliméricos convencionais ou mesmo peças feitas inteiramente de plásticos.

Silva et al. (2008), expõe que o atual interesse nos compósitos com fibras naturais deve-se, entre outros fatores, a crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente e utilização de matéria prima renovável. Muitos compósitos de fibras naturais são biodegradáveis e vêm de fontes renováveis, e outras vantagens são que eles são leves e relativamente baratos. A emergente economia “verde” é baseada na eficiência energética, estoques renováveis de ração em produtos de polímeros, processos industriais que reduzem as emissões de carbono (AKIL e ZAMRI, 2014).

Para Carvalho (2011), é importante destacar que a resistência a tração das fibras naturais é significativamente menor do que as fibras sintéticas como vidro e carbono. Por outro lado, estas fibras podem ser usadas como reforço em compósitos que exigem uma resistência moderada, ou onde a resistência mecânica não seja determinante. Os grandes atrativos destes materiais incluem o fato de as fibras serem biodegradáveis, serem um recurso natural renovável, terem geralmente baixo custo e produzirem menor desgaste nos equipamentos de fabricação quando comparadas com as fibras sintéticas (L.F.S.D. ALMEIDA et al., 2003).

Os compósitos poliméricos com reforços de fibras naturais tem sido objeto de muitos estudos realizados por pesquisadores, que de acordo com Pires (2009), esse interesse de utilização das fibras vegetais como agente de reforço está relacionado ao seu baixo custo, densidade menor do que as fibras de vidro, além de serem fontes renováveis, não abrasivas, biodegradáveis e amplamente disponíveis em território nacional.

As fibras naturais, em comparação com as fibras de vidro, são muito eficientes na absorção de som, tem baixo custo, são leves, não se fragmentam em casos de acidentes, são biodegradáveis e podem ser obtidas utilizando menos energia que as fibras de vidro. Entre as mais diversas fibras naturais existentes, a bucha vegetal (*Luffa Cylindrica*) é uma fibra natural que possui diferentes propriedades (isolante térmico e acústico, pouco inflamável e de grande compactação), e se apresenta como esponjas nas diferentes formas dos frutos da planta *Luffa Aegyptiaca* (MOTA, 2016).

2 - OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver de um compósito natural utilizando uma matriz polimérica de resina poliéster ortoftálica e como reforço a manta da bucha vegetal retirada na planta *Luffa Cylindrica*, com o intuito de determinar as suas propriedades mecânicas a partir de ensaios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir um compósito utilizando uma matriz polimérica de resina poliéster ortoftálica com reforço de duas camadas de manta da bucha vegetal no sentido longitudinal e transversal;
- Confeccionar corpos de prova e realizar ensaio de densidade volumétrica, tração e flexão seguindo os parâmetros estabelecidos pelas normas de cada ensaio;
- Caracterizar as propriedades mecânicas do compósito.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos, em geral, se apresentam como uma combinação de duas ou mais fases insolúveis e distintas quimicamente, e cujas propriedades e desempenho são superiores às desses constituintes quando atuando isoladamente. Através da adição de reforços na forma de fibras de vidro, carbono (grafite), kevlar, entre outros, se obtém uma melhoria apreciável de algumas das principais propriedades dos materiais poliméricos, tais como resistência mecânica, rigidez e resistência à fluência (GUTIÉRREZ et al, 2014).

A crescente exigência das novas tecnologias, sobretudo no que se refere à combinação de diferentes propriedades de variados materiais, como a resistência mecânica e tenacidade têm levado ao surgimento de novos materiais. Os materiais compósitos são uma classe de materiais que permitem unir diferentes propriedades mecânicas que individualmente os materiais não teriam como atender, possibilitando assim, diversas aplicações na indústria, com a finalidade de diminuir os custos e permitir diferentes propriedades aos materiais. Os compósitos são cada vez mais utilizados como substitutos dos materiais convencionais dado que apresentam inúmeras vantagens (SANTOS et al., 2016).

Para Mota (2016), os materiais compósitos surgem da necessidade incessante de materiais com melhores desempenhos, buscando-se a redução de peso, maiores resistências mecânica, térmica e acústica, maior resistência ao desgaste e melhor estabilidade térmica, dentre outras propriedades.

De um modo geral, os materiais, podem ser divididos em quatro categorias: metais, polímeros, cerâmicos e compósitos. Os compósitos constituem uma classe de materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, em que um dos componentes, descontínuo, dá a principal resistência ao esforço (componente estrutural ou reforço), e o outro, contínuo, é o meio de transferência desse esforço (componente matricial ou matriz) (MANTOVANI, 2017).

Os materiais compósitos são, por definição, dois ou mais componentes que juntos formam um material resultante diferente. É a combinação entre duas ou mais propriedades químicas e físicas (matriz e reforço). A matriz é o material principal, que reúne a maior parte dos componentes químicos e tem melhor concentração para absorver outro tipo de material, já o reforço é um material que completa a matriz, suas propriedades são suportar o esforço

mecânico e aliviar a tensão sofrida pela matriz, trabalhando em conjunto para que os dois materiais consigam expelir as melhores qualidades que tem para oferecer (SOUZA et al., 2018).

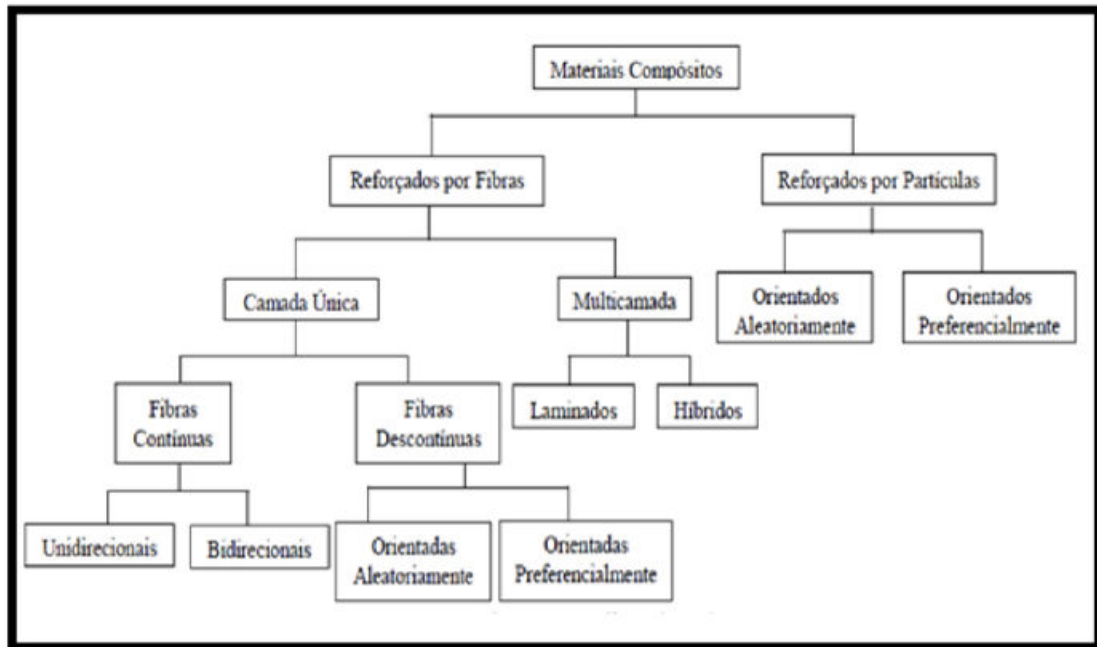
De acordo com Callister (2012), um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades. A classificação dos compósitos evidencia 3 divisões principais: os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os compósitos reforçados estruturais; além disso, existem pelo menos duas divisões para cada divisão, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Esquema para classificação de vários tipos de compósitos.



Fonte: Callister, 2012.

Segundo Matthews e Rawlings (1994), os compósitos são classificados em função do tipo de matriz, da natureza e da geometria do elemento de reforço. Em relação ao componente matricial pode ser classificada como polimérica, cerâmica ou metálica. Em função do elemento de reforço/carga, os compósitos podem ser classificados como reforçados por partículas ou por fibras, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 - Classificação dos materiais compósitos.

Fonte: Matthews e Rawlings, 1994.

O uso de compósitos possui uma série de vantagens quando comparados com materiais tradicionais como metais (aço, alumínio, etc) ou termoplásticos (polipropileno, poliestireno, polietileno, etc.), pois os materiais compósitos podem ser projetados para atender requerimento específico para cada aplicação, e essa flexibilidade de projeto ou construção de compósito é alcançada através da escolha adequada da matriz e do reforço, já que existem tecnologias de processamento disponíveis no mercado para atender praticamente todos os setores industriais, como aeroespacial, automotivo, elétrico ou em aplicação geral, e eles podem ser projetados em geometrias extremamente complexas, sem incorrer em custos elevados de ferramentas e dispositivos, como é o caso dos metais (GIACOMINI, 2003).

O sucesso de compósitos nas diversas aplicações depende da facilidade de acesso e aplicação das técnicas de fabrico exigidas por cada setor industrial. Cada vez mais, o fabrico de compósitos constitui um procedimento que pretende atingir valores ótimos de parâmetros como a forma, massa, força, durabilidade, rigidez, custos, etc. Assim, o crescente desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico de compósitos é acompanhado pela alteração e melhoramento destes mesmos parâmetros (VENTURA, 2009).

A natureza também tem os seus próprios compósitos, a madeira apresenta suas células envoltas em lignina, que confere propriedades como elevada resistência ao impacto, à

compressão e à dobra, fazendo com que a sua utilização pelo homem seja plena. Sendo um material multifásico, um compósito exhibe além das propriedades inerentes de cada constituinte, propriedades intermediárias decorrentes da formação de uma região interfacial (SILVA, 2014).

3.2 COMPÓSITOS COM MATRIZ POLIMÉRICA

Os compósitos com matriz polimérica (PMC – *polymer-matrix composites*) consiste em uma resina polimérica como a fase matriz, com fibras como meio de reforço. Esses materiais são usados na maior diversidade de aplicações dos compósitos, assim como nas maiores quantidades, como consequências das suas propriedades à temperatura ambiente, da facilidade de fabricação e do seu custo (CALLISTER, 2012).

De acordo com Santos (2006), os compósitos poliméricos podem ser termoplásticos ou termorrígidos. A principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando há um decréscimo de temperatura. Por outro lado, os termorrígidos não se tornam fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares (reticulação). A Tabela 1 apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

Tabela 1 - Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.

Termoplásticos	Termorrígidos
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo ilimitado de armazenamento
Alta viscosidade	Baixa viscosidade durante o processo
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura de uso ilimitada a T _g e T _m	-
Baixa estabilidade térmica e dimensional	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: Santos, 2006.

Os polímeros termorrígidos são mais utilizados para uso estrutural em materiais compósitos por apresentarem algumas vantagens em relação aos termoplásticos, tais como alta estabilidade térmica, elevada rigidez, alta estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico, resistência à fluência e à deformação sob carregamento.

Esses materiais podem também ser misturados fisicamente com fibras em métodos de processamento bastante simples (SANTOS, 2006). Já Oliveira (2013), expõe que as características mais atrativas oferecidas pelos compósitos termoplásticos são o potencial de produção a baixo custo, boa resistência ao impacto, boa resistência à propagação de micro trincas, fácil controle de qualidade e a possibilidade de reciclagem de matéria prima.

Apesar dos materiais poliméricos reforçados (compósitos de matriz poliméricas) serem empregados em aplicações de engenharia desde a primeira década do século XX, foi a partir da década de 40 que a sua utilização pela indústria voltada para o setor militar passou a apresentar crescimento acentuado, seguida mais tarde por outros diversos segmentos da indústria de bens de consumo, a partir do momento em que o custo desses materiais deixou de ser proibitivo. Aplicações típicas desses materiais incluem componentes aeronáuticos, automotivos e náuticos, estruturas marítimas, tubulações, componentes eletrônicos e ainda equipamentos militares e esportivos, particularmente em situações onde elevada relação entre resistência mecânica (ou rigidez) e massa é desejada (GUTIÉRREZ et al 2014).

Os materiais compósitos, em geral, se apresentam como uma combinação de duas ou mais fases insolúveis e distintas quimicamente, e cujas propriedades e os compósitos poliméricos, portanto, possuem um grande potencial para construções de baixo peso e elevada resistência e, além disso, possui uma variada gama de propriedades isotrópicas e anisotrópicas dependentes dos tipos de fibra e matrizes a serem utilizadas e da geometria da utilização (GUTIÉRREZ et al 2014).

Os materiais poliméricos e os compósitos poliméricos podem apresentar uma variedade de comportamentos em razão das condições de trabalho, tais como carga, temperatura, umidade e tempo. Para a utilização destes materiais considerados como dependentes do tempo, além do conhecimento das propriedades mecânicas, térmicas e higroscópicas instantâneas é necessária uma predição confiável da evolução destas propriedades com o tempo, incluindo as propriedades de resistências e desenvolvimento de dano (FARINA, 2009).

Nos compósitos reforçados por fibras, tanto sintéticas quanto vegetais, vários tipos de polímeros têm sido utilizados como matrizes sejam eles termoplásticos ou termorrígidos. Quanto aos compósitos reforçados por fibras vegetais, os mais comumente empregados são polímeros termorrígidos (poliéster, epóxi e fenólico), devido à capacidade da polimerização poder ser realizada a baixas temperaturas, reduzindo o risco de deterioração das fibras (SILVA, 2011).

De acordo com Mota (2016), as matrizes termorrígidas poliméricas são as mais utilizadas no processamento de compósitos. Isto se deve ao fato de serem fáceis de processar, promovendo uma boa molhabilidade dos reforços/cargas, por apresentarem um bom balanço de propriedades, além de estarem disponíveis em uma ampla variedade de tipos a um custo relativamente baixo.

3.2.1. Resina poliéster

As resinas poliésteres podem ser saturadas ou insaturadas, onde as saturadas são obtidas pela reação entre um diol e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono, elas possuem moléculas longas e lineares, e não são sujeitos a reações de reticulação, podendo ser encontrados em forma de fibras ou filmes. Já os poliésteres insaturados são obtidos a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol, resultando num produto termofixo, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos de carbono. É diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização (CAVALCANTI, 2006).

De acordo com Silva (2010), as resinas de poliéster são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anídrico maleico ou ftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácido influencia as propriedades finais da resina e poliésteres ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contém uma ligação dupla reativa entre os átomos de carbono, a resina resultante é insaturada. Os principais tipos de resinas de poliéster são representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais tipos de resina de poliéster.

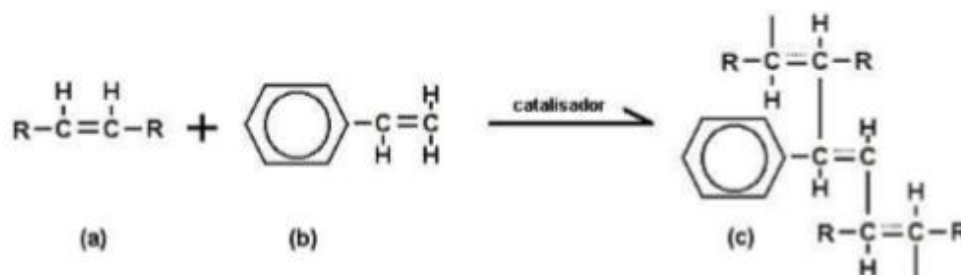
Tipos	Comentários
Ortoftálica	Resina mais comum, de menor custo, para uso básico.
Tereftálica	Possui resistência física um pouco superior à ortoftálica porém baixa resistência à UV.
Isoftálica	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores.
Isoftálica c/ NPG	O NPG melhora a resistência à hidrólise.
Bisfenólica	Possui as melhores características químicas e térmicas.

Fonte: Silva, 2010.

Segundo Rodrigues (2008), as principais resinas poliésteres são as ortoftálicas, as teraftálicas, as isoftálicas e as bisfenólicas. As resinas ortoftálicas são aquelas que, na sua composição, são utilizadas como ácidos modificadores oftálico ou seu anidrido, e suas propriedades mecânicas e químicas são inferiores às demais devido à dificuldade de obter polímeros de alto peso molecular. As resinas tereftálicas partes dos ácidos são substituídos por ácido tereftálico, apresentando desempenho similar as resinas isoftálicas, quanto a resistência e química, hidrólise e térmica, porém possuem baixa resistência UV. Nas resinas isoftálicas, o ácido isoftálico não forma anídrico cíclico e não sofre desvantagens de regeneração, como no caso das ortoftálicas e consequentemente, podem ser obtidos poliésteres de alto peso molecular, ou seja, com cadeias mais longas. As resinas bisfenólicas são produtos da reação simplificada do óxido de propileno e o bisfenol A, resultando no bisfenol A propoxilado que depois reagirá com o ácido insaturado, por isso esse tipo de resina possui pouco pontos sujeitos a hidrólise.

Como há um grande número de ácidos e glicóis disponíveis, há a possibilidade de se obter um grande número de variações de resina. Se empregados apenas biácidos insaturados na fabricação das resinas poliéster, o espaçamento entre as duplas ligações seria curto, resultando em um material frágil e quebradiço. Sendo assim, é necessário que a formação básica do poliéster tenha sua composição biácido saturado que atuam como extensores de cadeia. Quanto maior a quantidade e quanto maior a proporção de ácido saturado, mais tenaz será a resina de poliéster após polimerizada, e menor encolhimento na cura será observado. A Figura 3 ilustra esquematicamente a estrutura básica do processo de cura da resina poliéster (RODRIGUES, 2008).

Figura 3 - Estrutura básica do processo de cura da resina poliéster. **(a)** Poliéster insaturado; **(b)** Monômero de estireno; **(c)** Poliéster curado.



Fonte: Rodrigues, 2008.

Santos (2006), expõe que as resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas; as quais são usadas principalmente para compor compósitos reforçados com fibras de vidro. Poliésteres insaturados são extremamente versáteis em propriedades e aplicações e tem sido um popular termofixo usado como a matriz do polímero em compósitos. Eles são amplamente produzidos industrialmente como possuem muitas vantagens em comparação com outras resinas termoendurecíveis, incluindo capacidade de cura a temperatura ambiente, boas propriedades mecânicas e transparência. Cura de poliéster insaturado é devido a uma reação de polimerização que causa a interligação linear individual entre cadeias poliméricas. Em contraste com outras resinas termoendurecíveis, nenhum subproduto é formado durante a reação de cura, daí as resinas podem ser moldadas, fundidas e laminadas a baixa pressões e temperaturas. O reforço de poliésteres com fibras celulósicas tem sido amplamente divulgado (AZIZ et al., 2005).

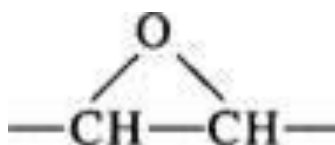
Segundo Silva (2011), as resinas de poliéster são fornecidas ao moldador na forma de um líquido viscoso e se transforma em um sólido infusível por meio de uma reação de reticulação ou cura. Entretanto, essa cura se processaria muito lentamente, porque as moléculas constituem a resina de poliéster têm pequena mobilidade. De forma a agilizar a cura pode-se usar aquecimento da resina ou mesmo a adição de um catalisador (peróxido de metil-etil-cetona + nafteno cobalto ou dimetilnilina) quebrando as duplas reações (insaturações).

Mota (2016) expõe que as resinas poliéster apresentam uma gama de vantagens, entre elas: boa estabilidade dimensional, ótima resistência a ambientes quimicamente agressivos, excelentes propriedades elétricas, fácil pigmentação, cura a frio e utilização de moldes simples e baratos.

3.2.2 Resina epóxi

De acordo com Brydson (1999), as resinas epóxicas (também conhecidas como resinas epóxi e, ocasionalmente, como resinas etoxiladas) são caracterizadas pela posse de mais de um grupo 1,2-epoxi por molécula (Figura 4). Este grupo pode estar no corpo da molécula, mas geralmente é terminal.

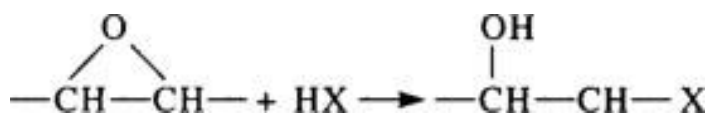
Figura 4 - Anel epóxi.



Fonte: Brydson, 1999.

O anel epóxi de três membros é altamente tenso e é reativo a muitas substâncias, particularmente pelos doadores de prótons, de modo que as reações da seguinte forma esquemática podem ocorrer de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Anel epóxi de 3 membros.



Fonte: Brydson, 1999.

Tais reações permitem que a extensão da cadeia e / ou reticulação ocorram sem a eliminação de pequenas moléculas como a água, ou seja, elas reagem por um tipo de reação de polimerização de rearranjo. Em consequência, estes materiais exibem uma menor contração de cura do que muitos outros tipos de plásticos termoendurecíveis (BRYDSON, 1999).

As resinas epóxi são as resinas mais usadas, elas são líquidos orgânicos de baixo peso molecular contendo grupos epóxido. O epóxido tem três membros em seu anel: um oxigênio e dois átomos de carbono. A reação da epícloridrina com fenóis ou aminas aromáticas produz a maioria dos epóxidos. Endurecedores, plastificantes e enchimentos também são adicionados

para produzir epóxis com uma ampla gama de propriedades de viscosidade, impacto, degradação, etc. Embora o epóxi seja mais caro do que outras matrizes poliméricas, é a matriz de PMC mais popular, sendo mais de dois terços das matrizes poliméricas usadas em aplicações aeroespaciais. As principais razões pelas quais o epóxi é o material de matriz polimérica mais utilizado são: alta resistência; baixa viscosidade e baixas taxas de fluxo, que permitem um bom molhamento das fibras e evitam o desalinhamento das fibras durante o processamento; baixa volatilidade durante a cura; baixas taxas de encolhimento, que reduzem a tendência de ganhar grandes tensões de cisalhamento entre epóxi e seus reforço; disponível em mais de 20 graus para atender a requisitos específicos de propriedade e processamento (KAW, 2006).

Santos (2006) expõe que as resinas epóxi são mais caras e além das aplicações estruturais, também são muito utilizadas em aplicações aeroespaciais por possuírem melhores propriedades mecânicas e melhores resistências à umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas. Em aplicações de altas temperaturas, são empregadas as resinas poliimidas, seu limite superior de temperatura para utilização em regime contínuo é de aproximadamente 230°C.

Segundo Farina (2009), as resinas epoxídicas são utilizadas em revestimentos, circuitos impressos, encapsulamentos elétricos, adesivos, pisos e compósitos estruturais, podendo ser formuladas para os mais diversos processos, tais como enrolamento filamentar, pultrusão, moldagem por transferência de resina, infusão a vácuo, estruturas sanduíche e prepreg. Com relação a outras resinas termofixas apresentam um maior custo, mas muitas características superiores às resinas poliésteres e esterevinílicas, por exemplo, a boa adesão com as diversas cargas e esforços; grande variedade de resinas e agentes de cura; ausência de formação de água e com pouca liberação de produtos voláteis na reação de cura com o endurecedor propiciando uma menor contração em relação às resinas fenólicas e poliéster; alta resistência química e bom isolamento elétrico após a cura.

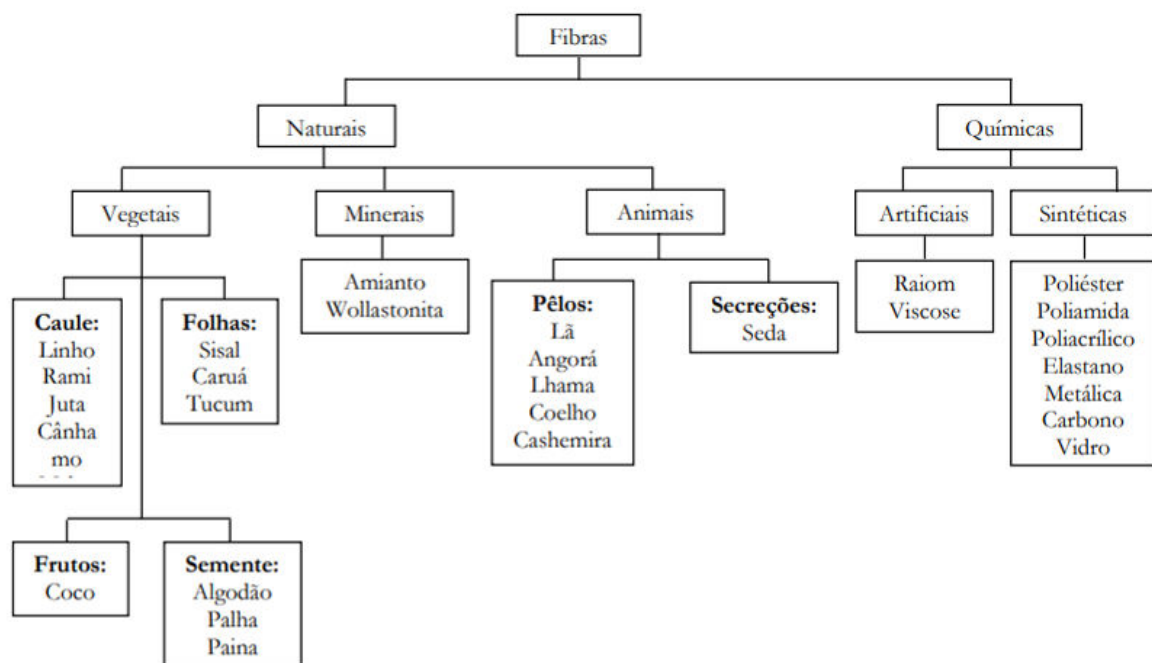
3.3 REFORÇO COM FIBRAS NATURAIS

Uma das mais importantes formas de materiais poliméricos são as fibras, que podem ser descritas como flexíveis, macroscopicamente homogêneas, com alta relação entre comprimento e seção transversal. As fibras podem ser classificadas de acordo com sua origem em fibras naturais e sintéticas. As fibras naturais são derivadas de animais, vegetais e

minerais. As propriedades físicas de uma fibra dependem de sua estrutura química e cada uma tem seu próprio aspecto quando analisada e submetida ao microscópio. As fibras vegetais são bastante heterogêneas, pois dependem do tipo de solo, das condições climáticas, dos fertilizantes utilizados, do tipo de colheita, das folhas, dos frutos ou do caule dos vegetais (SANTOS, 2006).

Zangiacomi e Bittencourt (2006) expõem que fibra é um termo geral usado para se referir a materiais filamentosos. Frequentemente, a palavra fibra é utilizada como sinônimo de filamento. As fibras podem ser classificadas como: - Sintéticas: rayon, aramidas e vidro; - Naturais: asbesto, algodão e lã. Apresentam importantes propriedades mecânicas, tais como: resistência a rupturas, dureza, recuperação de tensões impostas e alongação à ruptura. As fibras podem ser classificadas de acordo com a Figura 6.

Figura 6 - Classificação das fibras.



Fonte: Milanese, 2008.

Segundo Martinelli, Monteiro e Ambrósio (2008), 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. Destaque deve ser dado à utilização de fibras naturais de origem vegetal, em razão da enorme

variedade de plantas disponíveis na biodiversidade, passíveis de serem pesquisadas, e por ser uma fonte de recurso renovável.

As vantagens de materiais compósitos de fibras naturais como a madeira, ossos, ramos finos de plantas têm vindo a ser exploradas durante séculos, tal como demonstra o exemplo dos Egípcios que usavam materiais compósitos de fibras naturais como o papiro para fazer barcos, velas e cordas desde o ano 4000 a.C. A palha é outro exemplo usado para reforço de tijolos há mais de 2000 anos sendo este método ainda hoje utilizado. Os compósitos de fibras sintéticas são originários do século XIX quando o homem fez o primeiro polímero, fenol-formaldeído (VENTURA, 2009).

O crescimento contínuo no consumo de recursos minerais no mundo, como petróleo, é um tema que tem recebido atenção constante da sociedade científica. As taxas de crescimento populacionais atuais, associadas ao estilo de vida moderno, cujo consumo de matéria sintético por capita é elevado, destacam a necessidade de introduzir a utilização de recursos de origem renovável na fabricação de componentes. Dentre os produtos provenientes de fonte renovável, destacam-se as fibras naturais, que são produzidas em praticamente todos os países e usualmente são designadas por materiais lignocelulósicos. Particularmente no Brasil, existe uma grande variedade de fibras naturais com diferentes propriedades físicas, mecânicas e químicas (GIACOMINI, 2003).

Para Santos et al. (2010), o crescente interesse no uso de fibras naturais na preparação de compósitos poliméricos constitui uma alternativa de obtenção de novos e interessantes materiais com menor impacto ambiental porque permite substituir parte dos polímeros obtidos a partir de material fóssil por fibras de origem agrícola, de caráter renovável e biodegradável. Estudos científicos destacam a natureza biodegradável e renovável das fibras naturais, tornando o novo modo de vida ambientalmente correta, buscando, desta maneira, com que se tenha um relacionamento com o meio ambiente menos devastador onde o homem e a natureza convivam harmonicamente usufruindo das suas benesses (MACÊDO NETO, 2016).

Giacomini (2003), expõe que os reforços aplicados em materiais compósitos, as fibras naturais apresentam algumas vantagens como: são recursos provenientes de fontes renováveis; possuem boas propriedades mecânicas; possui baixa densidade quando comparados a materiais similares neste campo de aplicação; são biodegradáveis e apresentam baixo custo. E como desvantagens apresentam: baixa estabilidade adimensional; baixa resistência biológica; requerem baixas temperaturas de processamento (compósitos); possuem incompatibilidade com termoplásticos (compósitos), devido caráter polar de seus principais

componentes (celulose, hemicelulose, lignina) e o caráter apolar da maior parte dos polímeros termoplásticos.

Para Santos (2006), uma das mais importantes formas de materiais poliméricos são as fibras, que podem ser descritas como flexíveis, macroscopicamente homogêneas, com alta relação entre comprimento e seção transversal. As fibras podem ser classificadas de acordo com sua origem em fibras naturais e sintéticas. As fibras naturais são derivadas de animais, vegetais e minerais, e as propriedades físicas de uma fibra dependem de sua estrutura química e cada uma tem seu próprio aspecto quando analisada e submetida ao microscópio. As fibras vegetais são bastante heterogêneas, pois dependem do tipo de solo, das condições climáticas, dos fertilizantes utilizados, do tipo de colheita, das folhas, dos frutos ou do caule dos vegetais.

3.3.1 Reforço de fibra vegetal

As fibras vegetais são constituídas por células individuais que, por sua vez, compõem-se de microfibrilas dispostas em camadas de diferentes espessuras e ângulos de orientação. As microfibrilas são ricas em celulose, polímero vegetal de cadeias longas (grau de polimerização da ordem de 25000), e estão aglomeradas por hemicelulose amorfa (grau de polimerização entre 50 a 200) (SAVASTANTO JÚNIOR, 2000).

De acordo com Santos (2006), as fibras vegetais são formadas basicamente de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose, um polissacarídeo linear de alta massa molecular, é o principal constituinte estrutural, sendo responsável pela estabilidade e resistência das fibras. São lignocelulósicas com caráter hidrofílico incompatível com a maioria dos polímeros predominantemente hidrofóbicos. Essa incompatibilidade resulta em baixa adesão entre a matriz polimérica e as fibras vegetais, sendo este o principal problema apresentado pelos compósitos reforçados por essas fibras (SILVA, 2011).

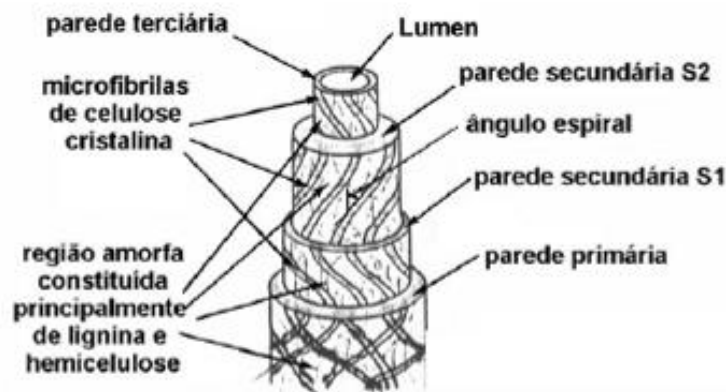
Fibras vegetais vêm sendo utilizadas por diferentes civilizações e nas mais diversas aplicações. Inúmeros artefatos são manufaturados e comercializados no mundo a centenas de anos, como bolsas, mantas, cordas, redes, pinceis, cestos, além de outros produtos. Mais recentemente, as fibras vegetais começaram a ser investigadas e aplicadas como reforços em materiais compósitos (MOTA, 2016).

Em geral, as fibras são as principais responsáveis pela resistência às cargas, enquanto a matriz circundante as mantém no local desejado e as orienta, atuando também como meio de transferência de cargas entre elas, e ainda as protege de danos causados por intempéries,

umidade e agentes químicos. O conjunto das fibras reforço podem ser utilizadas de diversas formas, dentre as quais pode-se destacar algumas, como por exemplo: fibras descontínuas, fibras contínuas unidirecionais, fibras contínuas em tecidos com vários tipos de arranjos (GARCIA, 2013).

Cada fibra vegetal, denominada de fibra técnica, é constituída de várias fibras elementares fortemente ligadas entre si por um material de cementação, constituído principalmente por lignina. A constituição estrutural de uma fibra elementar é mostrada na Figura 7, está possui uma parede espessa formada por várias microfibrilas que formam espirais ao longo do eixo da fibra, tendo um lumen no centro. Cada fibra elementar é, em essência, um compósito no qual as rígidas microfibrilas de celulose estão envolvidas por uma matriz de lignina e hemicelulose, onde a lignina atua como material de cementação, unindo as microfibrilas e a hemicelulose como interface entre a microfibrilade celulose e a lignina (SILVA, 2003).

Figura 7 - Constituição estrutural de uma célula de fibra vegetal natural.



Fonte: Rong et al. 2001.

De acordo com Silva (2011), os materiais compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais vêm sendo investigados, nos últimos anos, pela comunidade científica e industrial na busca de novos materiais que possam substituir eficientemente os materiais sintéticos em diversas aplicações, principalmente nas indústrias da construção civil, automobilística, aeronáutica e naval. Características inerentes aos compósitos naturais, tais como moderadas resistências mecânicas associada ao baixo peso específico, baixo custo,

aliada às exigências por matérias-primas sustentáveis e renováveis têm estimulado a realização de novas pesquisas nessa área.

A utilização de fibras vegetais em produtos comerciais contribui para gerar riquezas e reduzir o impacto ambiental causado pela produção e descarte de bens de consumo já que são materiais abundantes, de fonte renovável e contribuem para o melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro. As fibras vegetais podem ser utilizadas como reforços em polímeros termoplásticos, termorrígidos e borrachas (SANTOS, 2006).

De acordo com Sousa (2013), as fibras vegetais ou celulósicas, utilizadas como elemento de reforço dos compósitos são formadas por microfibras e apresentam importantes vantagens em relação aos materiais inorgânicos, como baixa densidade alta deformabilidade, baixa abrasividade aos moldes e aos equipamentos de mistura, baixo custo e são derivados de recursos renováveis. No entanto, apresentam também algumas desvantagens, como baixa resistência ao impacto, baixa resistência à umidade e baixa durabilidade.

Para Carvalho e Cavalcanti (2006), as fibras vegetais apresentam vantagens importantes como: baixo custo, baixa densidade, boa resistência mecânica, baixa abrasividade aos equipamentos de processo e também por serem provenientes de fontes renováveis de matéria-prima, disponíveis em todo o mundo. Além disto, as fibras vegetais são biodegradáveis e não são tóxicas ou poluentes, de modo que o seu descarte não acarreta problemas ambientais.

3.3.2 Caracterização da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*)

De acordo com Mota (2016), originária da Ásia e trazida ao Brasil com a cultura africana, a bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é uma herbácea, pertencente a ordem das Curbubitales e a família das Cucurbitáceas (Figura 8). É uma trepadeira de regime anual perene, rastejantes ou escandentes que podem chegar até 5 metros, de folhas grandes ásperas e verde-escuras, que lembram a forma de mão aberta e que produz flores grandes e amarelas. No Nordeste brasileiro, de modo bastante frequente em muitos locais, as plantas de bucha aparecem de forma espontânea nos quintais, próximo de residências, em beiras de cerca e margens de rios, sem serem cultivadas pelo homem, ou seja, as plantas de bucha se propagam sem a ajuda do homem, caracterizando-as como um tipo feral (MEDEIROS, 2015).

Figura 8 - Planta *luffa cylindrica*.



Fonte: Guimarães et al., 2009.

Segundo Siqueira (2007), a fibra do fruto da bucha vegetal (Figura 9) é utilizada para limpeza geral e higiene pessoal, artesanato (tapetes, cestas, chinelos, bolsas, cintos), na indústria como filtros para piscinas, água e óleo. Trata-se de um produto biodegradável, orgânico, de baixo custo energético, com ótima adaptabilidade tanto às condições climáticas brasileiras quanto aos hábitos culturais da nossa população.

Figura 9 - Bucha vegetal (*luffa cylindrica*).



Fonte: Querido, 2017.

De acordo com Zampieri et al. (2006), os suportes desta esponja natural são caracterizados por uma micro celular arquitetura com microcanais e poros contínuos que formam feixes e produzem um sistema de poros hierárquicos multimodais. A morfologia específica faz com que a sua composição química (teores de hemicelulose e lignina, por exemplo) dependa de vários fatores, como a origem das plantas, condições meteorológicas a que foram impostas durante o tempo, natureza do solo, etc. (QUERIDO, 2017).

Os resultados das quantidades medidas de lignina, celulose, hemicelulose encontram-se na Tabela 3 (SIQUEIRA; BRAS; DUFRESNE, 2010).

Tabela 3 - Composição da fibra de bucha vegetal (*Luffa Cylindrica*).

Componentes	Porcentagem em peso (%)
Lignina	15,2 ± 1,0
Celulose	65,5 ± 0,5
Hemicelulose	17,5 ± 0,5
Cinza	0,7 ± 0,2

Fonte: Siqueira; Bras e Dufresne., 2010.

O uso das fibras da bucha vegetal em compósitos forma uma esteira natural que desvia o trajeto da rachadura, conduzindo a uma modalidade controlada da fratura de um composto e aumentando a dureza do composto. O uso da bucha vegetal sozinho para reforçar uma matriz de poliéster é, no entanto, restrito por ser muito fraca na interface fibra matriz (BOYNARD; MONTEIRO e ALMEIDA, 2003).

Mota (2016), verificou-se através da sua pesquisa que o compósito utilizando as buchas vegetais e resina ortoftálica apresentou uma densidade menor que a da matriz, o que apresenta um potencial de aplicabilidade amplo; o compósito pode ser classificado como isolante térmico, por apresentar k menor que 0,21 W/m.k, podendo apresentar uma opção de aplicabilidade do compósito como, por exemplo, para fabricação de tubos para condução de água quente; o compósito pode apresentar viabilidade para a fabricação de peças, estruturas com baixas solicitações de esforços mecânicos, tais como embalagens, objetos de decoração e peças de artesanato.

3.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE VOLUMÉTRICA

Mota (2016), expõem que a importância da verificação da densidade visa indicar ao projetista quanto ao peso da peça fabricada nas dimensões reais para a aplicação no projeto, e em alguns casos a densidade pode indicar o grau de cristalinidade do material.

De acordo Panzera (2007), a densidade volumétrica pode ser determinada através da relação massa e volume do corpo de prova seco. Dependendo da geometria do corpo de prova, a densidade volumétrica pode ser facilmente calculada pela expressão:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: ρ é densidade volumétrica (g/cm³); m é massa do corpo de prova (g); V é volume do corpo de prova (cm³).

3.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

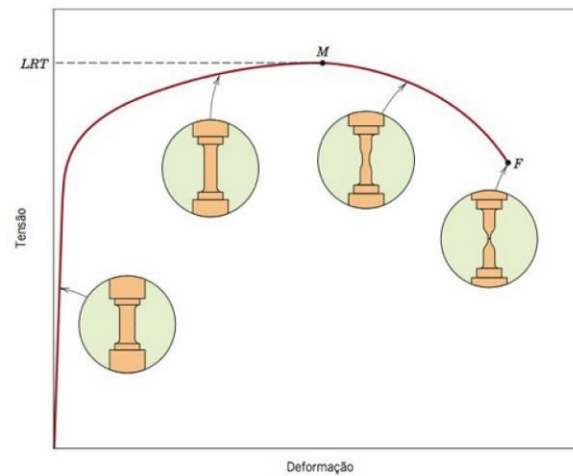
Um dos objetivos da realização de pesquisas na área de compósitos é o desenvolvimento de novas tecnologias que possuam boas propriedades mecânicas. As propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais dependem das propriedades de seus componentes originais, que no caso são: o polímero que é a matriz e a fibra que é o reforço, além de contar com uma afinidade entre eles para que suas propriedades sejam preservadas e aprimoradas, pois esta afinidade é verificada criteriosamente em laboratórios por meio da realização de ensaios que reproduzem fielmente as possíveis solicitações mecânicas de condição de serviço na qual esse material possa ser submetido, sendo as principais propriedades mecânicas observadas são: resistência à tração e à flexão, e as propriedades elásticas são características importantes da resistência dos materiais (OLIVEIRA, 2013).

3.5.1 Ensaios de tração

Um dos testes mais importantes é o ensaio de tração, e embora seja possível determinar muitas propriedades mecânicas importantes de um material por esse teste, ele é usado primariamente para determinar a relação entre a tensão normal média e a deformação normal média em muitos materiais usados na engenharia, como metais, cerâmicas, polímeros e compósitos (HIBBELER, 2010).

Um dos ensaios de tensão-deformação mais comuns é conduzido sob tração. Esse ensaio pode ser empregado para caracterizar várias propriedades mecânicas dos materiais que são importantes para o projeto. Nesse ensaio uma amostra é deformada, geralmente até a sua fratura, por uma carga de tração que é aumentada gradativamente e é aplicada uniaxialmente ao longo do eixo de um corpo de prova (Figura 10) (CALLISTER, 2012).

Figura 10 - Comportamento da curva tensão – deformação de engenharia até a fratura.



Fonte: Callister, 2012.

O ensaio mecânico de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. Trata-se de um ensaio amplamente utilizado na indústria de componentes mecânicos, devido às vantagens de fornecer dados quantitativos das características mecânicas dos materiais. Pode-se afirmar que, praticamente, neste tipo de ensaio, as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas em todo o seu corpo, pelo menos até ser atingida uma carga máxima próxima, ponto de ruptura, do final do ensaio e, como é possível fazer com que a carga cresça numa velocidade razoavelmente lenta durante todo o teste. O ensaio de tração permite obter um gráfico tensão-deformação, no qual é possível analisar satisfatoriamente o comportamento do material (MACÊDO NETO, 2016).

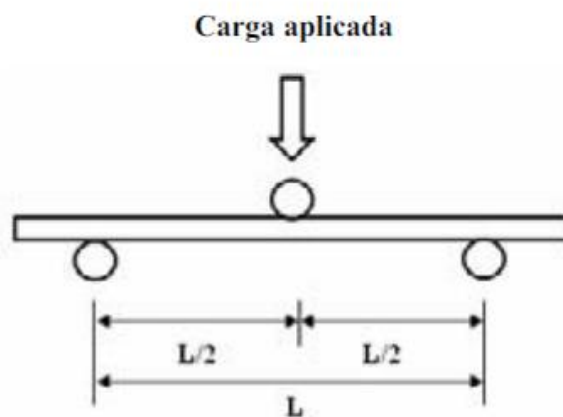
Segundo Silva (2003), no ensaio de tração são determinadas as propriedades de resistência a tração uniaxial, módulo de elasticidade, alongamento e coeficiente de Poisson. A resistência a tração é avaliada pela carga aplicada ao material por unidade de área, no momento da ruptura. O alongamento representa o aumento percentual do comprimento da peça sobre tração, no momento da ruptura. O módulo de elasticidade representa é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do regime elástico, onde a deformação é totalmente reversível e proporcional a tensão. O coeficiente de Poisson é definido como a razão negativa entre a deformação transversal e a correspondente deformação longitudinal de um corpo de prova sob tensão uniaxial, abaixo do limite de proporcionalidade do material.

3.5.2 Ensaio de flexão

Em um ensaio de flexão, uma barra fina é simplesmente apoiada em cada extremidade como uma viga e carregada transversalmente no centro de seu comprimento até a falha ocorrer. Se o material for dúctil, a falha será por escoamento. Se o material for frágil, a viga se romperá e os diagramas de tensão-deformação não são gerados a partir deste ensaio porque a distribuição de tensões na seção transversal não é uniforme. A curva σ - ϵ do ensaio de tração é usada para prever a falha na flexão, pois as tensões de flexão são de tração no lado convexo e de compressão no lado côncavo da viga (NORTON, 2013).

De acordo com Macêdo Neto (2016), o ensaio de flexão em três pontos pode ser utilizado para a caracterização do compósito. Esse ensaio consiste na aplicação de uma carga no centro de um corpo de prova específico, padronizado e apoiado em dois pontos, e a carga aplicada aumenta gradativamente até a ruptura do corpo de prova (Figura 11). O valor da carga aplicada versus o deslocamento do ponto central é a resposta do ensaio, e os principais resultados são o módulo de elasticidade, tensão a flexão, deformação e flecha.

Figura 11 - Representação esquemática do ensaio de flexão em 3 pontos.



Fonte: Santos, 2007.

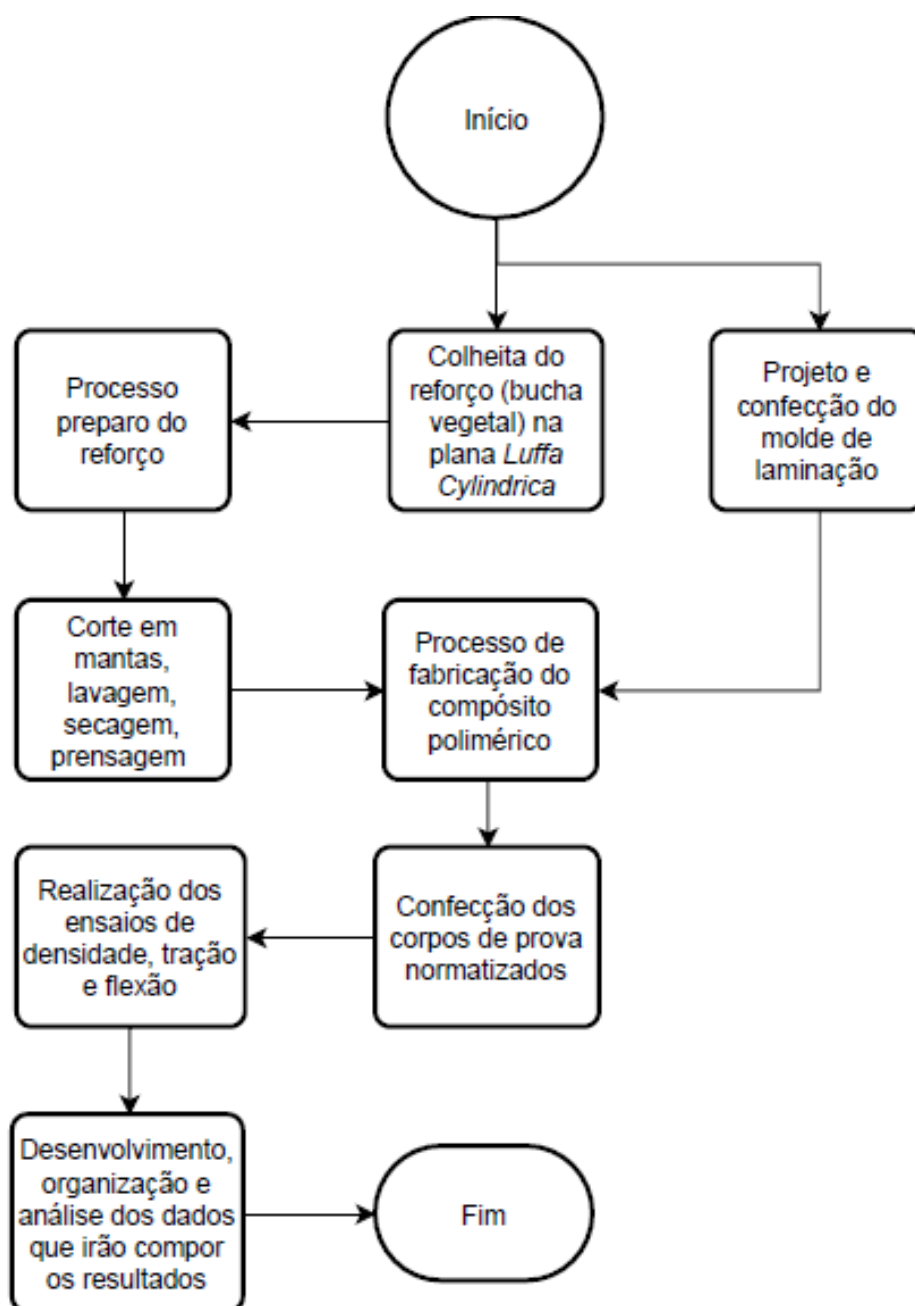
O ensaio de flexão longitudinal permite a determinação da tensão de ruptura, do módulo de elasticidade à flexão e da deformação do elemento quando submetido a esforços de flexão. A resistência representa a tensão máxima suportada pelas fibras externas do elemento no momento de ruptura ou a queda brusca da carga resistente devido à falha pelo cisalhamento interlaminar. O módulo de elasticidade é definido, igualmente ao ensaio de tração, como a razão entre a tensão e a deformação dentro do regime elástico. O ensaio pode

ser configurado com três ou quatro pontos de carregamentos. As principais diferenças ocorrem na localização do momento fletor máximo e da tensão de flexão máxima, que na configuração de quatro pontos o momento de flexão é constante entre os pontos centrais de carregamento, fazendo com que a tensão de flexão máxima seja uniforme entre esses pontos, já na configuração de três pontos, a tensão de flexão máxima está localizada diretamente sob o ponto de aplicação da carga central (SOUZA, 2017).

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados na fabricação do compósito, bem como os ensaios normatizados de densidade, tração e flexão, foram desenvolvidos nos laboratórios de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Campus Caraúbas e Campus Sede - Mossoró). As etapas desenvolvidas nesse trabalho seguem o fluxograma representado na Figura 12.

Figura 12- Fluxograma de representação das etapas desenvolvidas no trabalho.



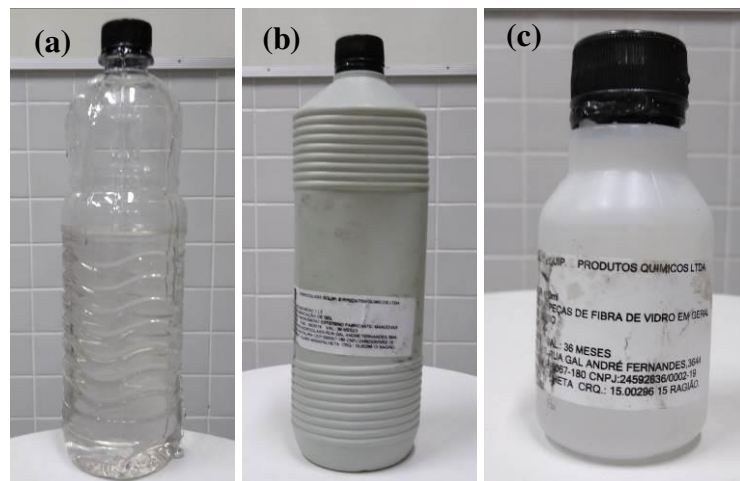
Fonte: Autor, 2019.

4.1. MATERIAIS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DO COMPÓSITO

4.1.1. Matriz polimérica

Para a fabricação do material compósito foi utilizado como matriz polimérica a resina poliéster ortoftálica cristal (Figura 13a), com adição de monômero de estireno para diluição e catalizador para a acelerar o processo de secagem (Figuras 13b e 13c).

Figura 13 - Materiais utilizados na produção da matriz. (a) Resina poliéster ortoftálica cristal; (b) Monômero de estireno; (c) Catalizador.



Fonte: Autor, 2019.

4.1.2. Reforço natural

O reforço utilizado na fabricação do material compósito foi a fibra natural da bucha vegetal extraída da planta *Luffa Cylindrica* (Figura 14a). As amostras de bucha foram retiradas de plantações do município de Governador Dix-Sept Rosado, localizado no interior do Estado do Rio Grande do Norte. A bucha vegetal adequada para a ser usada como reforço nesse trabalho, deve-se apresentar na natureza coberta por uma casca seca, como mostra a (Figura 14b).

Figura 14 - Local de colheita da bucha vegetal. (a) Planta *Luffa cylindrica* encontradas nos quintais das casas; (b) Bucha vegetal.



Fonte: Autor, 2019.

4.2. MÉTODOS UTILIZADOS

4.2.1. Processo de preparo do reforço

A etapa inicial para o processo de fabricação do compósito, se deu com o preparo do material a ser utilizado como reforço. A bucha vegetal foi colhida na planta *luffa cylindrica* em sua forma natural madura coberta por uma casca seca, com as dimensões de aproximadamente 30 cm de comprimento e 9 cm de largura (Figuras 15a e 15b).

Figura 15 - (a) Bucha vegetal sendo colhida na planta *luffa cylindrica*; (b) Dimensões aproximadas da bucha vegetal colhida.



Fonte: Autor, 2019.

Após a etapa de colheita, a bucha vegetal passou pelo processo de limpeza, onde foram retiradas as cascas e sementes, e em seguida foram abertas para retirada do núcleo e transformação da manta, que apresenta a configuração de suas fibras continuas e aleatórias. O processo é mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Processo de limpeza e transformação da bucha em mantas.



Fonte: Autor, 2019.

Transformadas em mantas, as fibras da bucha vegetal passaram por um processo de lavagem em água corrente e em seguida foram colocadas para secagem por 24 horas em uma estufa de secagem na temperatura de 80 °C para acelerar o processo de retirada de umidade da fibra (Figura 17).

Figura 17 - Processo de lavagem e secagem da manta.



Fonte: Autor, 2019.

Posteriormente a etapa de secagem, as mantas foram retiradas da estufa e submetidas a um processo de prensagem, para garantir uma melhor homogeneidade da fibra. Nesse processo, as mantas foram organizadas entre duas tábuas de madeira nas dimensões 30 x 30 cm, e em seguida foram levadas para uma prensa hidráulica, onde foi estabelecido para prensagem um carregamento 7 toneladas durante o tempo de 5 minutos. Depois de prensadas, as mantas foram cortadas nas dimensões de aproximadamente 20 x 10 cm, e assim ficaram prontas para serem utilizadas como reforço do material compósito. As etapas realizadas nesse processo são mostradas na Figura 18.

Figura 18 - Processo de prensagem e corte da manda.



Fonte: Autor, 2019.

4.3.2. Confeção do molde de laminação

O molde de laminação consistia em uma configuração de sanduiche entre duas tábuas planas de madeira nas dimensões 25 x 25 cm na parte externa e duas placas planas de vidro nas dimensões 35 x 30 cm, colocadas na parte interna das tábuas. o modelo da tábua e da placa de vidro são mostradas na (Figuras 19a e 19b). As tábuas atuavam de forma da diminuir as tensões nas superfícies externas do vidro, durante a prensagem. A laminação era realizada na superfície plana das placas de vidro, separadas entre si por raios de roda e bicicleta de forma a garantir ao material as espessuras embelecidas pelas normas (Figura 19c). Após a laminação, as placas de vidro foram posicionadas entre as tábuas e levadas para a prensa hidráulica.

Figura 19 - (a) Tabua plana de madeira; (b) Placa plana de vidro; (c) Raio de roda de bicicleta.



Fonte: Autor, 2019.

4.3.3. Fabricação do compósito

Com as etapas de preparação do reforço e confecção do molde finalizadas, iniciou-se a fabricação do compósito com a aplicação de 3 camadas de desmoldante da marca Tec Glane-N na superfície do molde de vidro e em seguida posicionou-se o reforço em duas camadas de

manta, sendo uma no sentido longitudinal e outra no transversal da fibra (Figura 20), com o intuito de garantir uma melhor eficiência do compósito durante os ensaios.

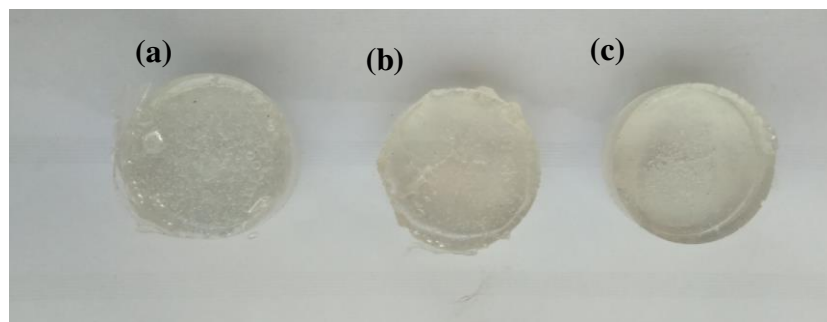
Figura 20 - Configuração e organização da manta utilizada como reforço no compósito.



Fonte: Autor, 2019.

Antes do preparo da matriz polimérica, foi realizado testes da resina poliéster ortoftálica cristal com concentrações de 0%, 5% e 10% de monômero de estireno (Figura 21a, 21b e 21c) para verificar qual concentração deixava a resina menos viscosa e com uma menor quantidade de bolhas. A partir disso, optou-se por utilizar a concentração de 10% por apresentar os melhores resultados.

Figura 21 - Resina poliéster ortoftálica cristal com monômero de estireno nas concentrações. (a) 0%; (b) 5%; (c) 10%.



Fonte: Autor, 2019.

Posteriormente pesou-se aproximadamente 450g de resina, em uma balança analítica em duas etapas por conta da capacidade da balança, e em seguida adicionou-se 10% de monômero de estireno e 1% em massa de catalizador para massa de resina, e misturou-se até a matriz ficar totalmente homogênea. Aplicou-se a resina, espalhando-a no molde junto as mantas da bucha vegetal, e em seguida fechou-se o molde e posicionou-se o mesmo na prensa hidráulica, aplicando um carregamento de 1,3 tonelada (Figura 22).

Figura 22 - Molde com o material compósito posicionado na prensa hidráulica.



Fonte: Autor, 2019.

Após o tempo de 24 horas de cura, a prensa foi aliviada e o molde contendo o material compósito retirado e desmoldado. Através do processo exposto, foram confeccionadas duas placas, uma nas dimensões de 30 x 30 cm para confecção dos corpos de prova de tração e outra 30 x 20 cm para confecção dos corpos de prova de flexão e densidade (Figuras 23a e 23b). As dimensões de comprimento e largura das placas produzidas foram estabelecidas de forma a melhor se adequarem as dimensões da prensa hidráulica.

Figura 23 - Compósito fabricado. (a) Placa com dimensões de 30 x 30 cm; (b) Placa com dimensões de 30 x 20 cm.

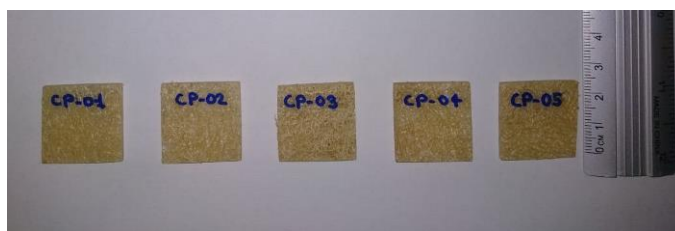


Fonte: Autor, 2019.

4.3.4. Confeção dos corpos de prova de densidade volumétrica e realização de ensaios

As amostras utilizadas para os ensaios de densidade volumétrica foram confeccionadas seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D792 (2008). Para a realização do corte das amostras, foi confeccionado um gabarito nas dimensões 25 x 25 mm, posteriormente realizou-se o corte com a utilização de uma esmerilhadeira e realizou-se um acabamento superficial com lixas de granulometria 80, 220, 400 e 1200. Após o acabamento todas as amostras foram medidas com a utilização de um paquímetro digital para garantir uma melhor precisão dimensional. Para esse ensaio foram produzidas 5 amostras (Figura 24).

Figura 24 - Amostras confeccionadas para realização dos ensaios de densidade volumétrica.



Fonte: Autor, 2019.

Para a realização dos ensaios, as amostras passaram por um processo de limpeza e pesagem em uma balança analítica. Posteriormente foram levadas para uma estufa de secagem, onde permaneceram por 1 hora a uma temperatura de aproximadamente 100 °C, para a retirada da umidade (Figura 25). Após o tempo estabelecido as amostras foram retiradas da estufa e levadas para resfriamento até a temperatura ambiente, processo realizado dentro de um dessecador (Figura 26).

Figura 25 - Estufa com as amostras a temperatura de aproximadamente 100°C.



Fonte: Autor, 2019.

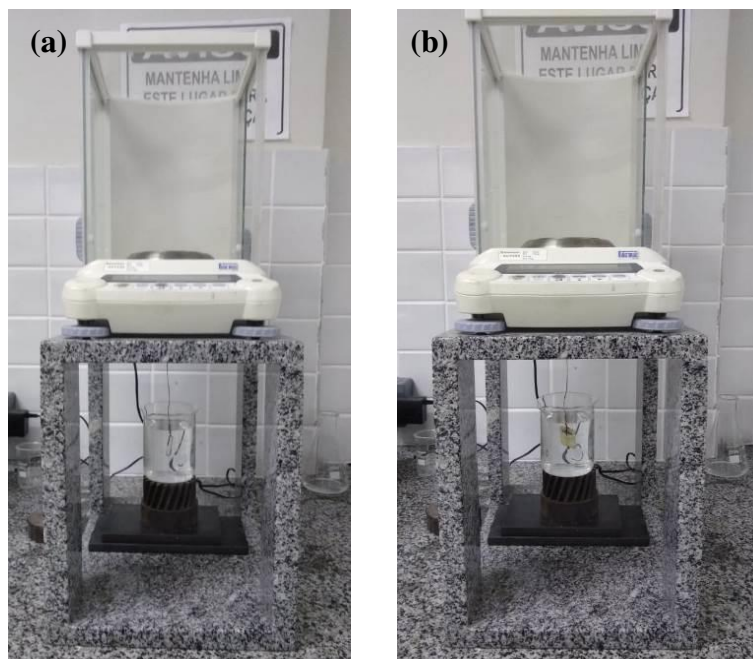
Figura 26 - Amostras resfriando em um dessecador a temperatura ambiente.



Fonte: Autor, 2019.

Depois do processo de resfriamento das amostras até a temperatura ambiente, as mesmas foram novamente pesadas em uma balança analítica para a determinação do peso de amostra seca. Na etapa seguinte do experimento, foi realizado a pesagem do afundador parcialmente imerso em um becker com 200 ml de água a temperatura de 25 °C (Figura 27a), posteriormente realizou-se 5 vezes o mesmo processo de pesagem imerso em água, para o afundador parcialmente imerso, junto com cada uma das 5 amostras (Figura 27b).

Figura 27 - Processo de pesagem para determinação de densidade. (a) Afundador parcialmente imerso em água; (b) Afundador parcialmente imerso junto com amostra.



Fonte: Autor, 2019.

A partir dos valores obtidos através do experimento e dos parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D792 (2008), pode-se determinar a densidade volumétrica pela Equação 2:

$$\rho = \frac{a \cdot \eta}{(a + w - b)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: ρ é a densidade volumétrica (g/cm^3); a é o peso da amostra seca (g); η é a densidade da água na temperatura de ensaio a 25°C ($0,9971 \text{ g/cm}^3$); w é o peso do afundador parcialmente imerso em água (g); e b é o peso da amostra imersa com o afundador em água (g).

4.3.5. Confeção dos corpos de prova e realização de ensaios tração

Os corpos de prova utilizados para o ensaio de tração, foram confeccionados seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D3039 (2014), e assim como as amostras de densidade, também foi produzido um gabarito para o corte das amostras de ensaios de tração. Os corpos de prova foram cortados com a utilização de uma esmerilhadeira e também se utilizou para um melhor acabamento lixas com granulometria de 80, 220, 400 e 1200 (Figura 28), após o acabamento todos os corpos de prova foram medidos com um paquímetro digital, a fim de garantir uma maior precisão dimensional.

Figura 28 - Etapas de colagem do gabarito, corte e acabamento final das amostras de tração.

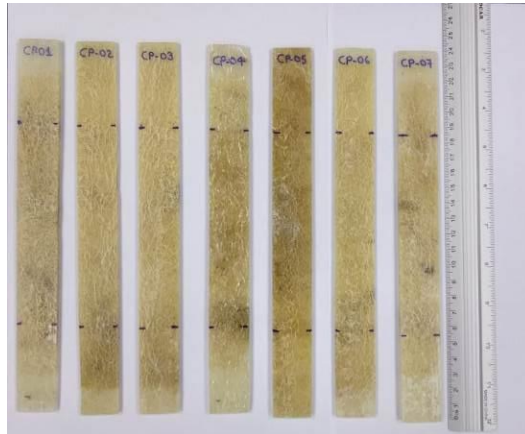


Fonte: Autor, 2019.

Os corpos de prova de tração foram confeccionados com base nas dimensões estabelecidas pela norma utilizada, com a mudança do comprimento total de 250 mm exposto na norma, para 240 mm, em virtude de a máquina universal de ensaios não possuir garras para

prender o comprimento de 250 mm estabelecidos pela norma. Logo, foram confeccionados 7 corpos de prova com as dimensões de 25 x 240 x 2,7 mm (Figura 29).

Figura 29 - Corpos de prova para ensaios de tração.



Fonte: Autor, 2019.

Os ensaios de tração foram praticados no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – (Campus Sede) na cidade de Mossoró - RN. Para o procedimento experimental utilizou-se a máquina de ensaio universal DL-10000, da EMIC com a célula de carga de 100 KN (Figura 30).

Figura 30 - Máquina de ensaio universal.



Fonte: Autor, 2019.

A norma regulamenta para esse ensaio a velocidade de 2 mm/min. Porém, por conta do reforço se tratar de uma fibra natural, optou-se pela realização de um ensaio mais lento, utilizando a velocidade de 1 mm/min, a fim de se obter um melhor análise e precisão nos

resultados. Todos os corpos de provas submetidos ao ensaio foram tracionados até a fratura (Figura 31), sendo validado um total 5 amostras, fator que de acordo com a norma utilizada, torna o ensaio válido.

Figura 31 - Corpo de prova tracionado até a fratura.



Fonte: Autor, 2019.

Após a realização dos ensaios, a máquina universal forneceu os valores de força e deformação em cada intervalo de tempo do ensaio. A partir dos valores fornecidos e das dimensões do corpo de prova, calculou-se a tensão máxima de tração (MPa) dada a partir da Equação (3):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde F é a força máxima (N) fornecida pela máquina de ensaio e A é a área de seção transversal do corpo de prova em (mm^2). Calculou-se a deformação (%) a partir da Equação 4:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde ΔL (mm) é o valor da deformação fornecido pela máquina universal e L_0 (mm) é o valor do comprimento útil do corpo de prova, que foi de 150 mm. Com os valores de tensão e deformação obtidos, calculou-se módulo de elasticidade (MPa) a partir da Equação 5:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{Eq. 5})$$

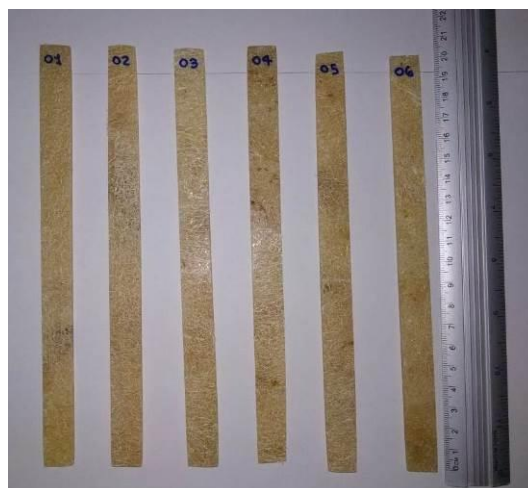
Onde σ é a variação da tensão aplicada (MPa) e ε (%) é a deformação elástica longitudinal do corpo de prova.

Com os valores de tensão, deformação e módulo de elasticidade para o material compósito sob tração, realizou-se a plotagem dos gráficos tensão x deformação.

4.3.6. Confeccção dos corpos de prova e realização de ensaios de flexão em 3 pontos

Os corpos de prova para os ensaios de flexão em 3 pontos foram confeccionados seguindo os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D7264 (2015). Para o corte dos corpos de prova, também se utilizou de um gabarito nas dimensões expostas na norma para flexão, com exceção da espessura, que não foi atingida na placa produzida. Os corpos de prova foram cortados com uma esmerilhadeira, e para um melhor acabamento e controle dimensional, utilizou-se lixas com granulometria de 80, 220, 400 e 1200. No total, foram confeccionados 6 corpos de prova para flexão nas dimensões 13 x 200 x 3,6 mm (Figura 32).

Figura 32 - Corpos de prova para ensaios de flexão.



Fonte: Autor. 2019.

Assim como nos ensaios de tração, os ensaios de flexão também foram praticados no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – (Campus Sede) na cidade de Mossoró - RN, e também se utilizou a máquina de ensaio universal DL-10000 com a célula de carga de 100 KN. Os ensaios foram feitos utilizando a

velocidade de 2 mm/min estabelecidos pela norma do ensaio, e cada corpo de prova era flexionado até o decaimento da curva no gráfico Tensão x Deformação, haja visto que os corpos de prova não sofreram a fratura, apresentou apenas uma queda acentuada no gráfico tensão deformação. No total foram validados 5 das 6 amostras confeccionadas, o ensaio é representado na Figura 33.

Figura 33 - Etapas do ensaio de flexão em 3 pontos.



Fonte: Autor. 2019.

Após a realização dos ensaios, a máquina universal forneceu os valores de força e deformação em cada intervalo de tempo do ensaio. Esses valores junto com as dimensões dos corpos de prova, subsidiaram o cálculo da tensão máxima de flexão (MPa) através da Equação 6:

$$\sigma = \frac{3 P L}{2 b h^2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde P é a carga máxima aplicada (N), L é a distância entre os pontos (mm), b é a largura do corpo de prova (mm) e h é a espessura do corpo de prova em (mm).

Em seguida, calculou-se a deformação máxima (%) durante a flexão, através da Equação 7:

$$\varepsilon = \frac{6 \delta h}{L^2} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde δ é a deflexão no centro do corpo de prova (mm), h é a espessura do corpo de prova (mm) e L é a distância entre os pontos.

Posteriormente calculou-se o módulo de elasticidade (MPa) do corpo de prova sobre flexão através da Equação 8:

$$E = \frac{L^3 m}{4 b h^3} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde L é a distância entre os pontos (mm), m é a inclinação linear da curva tensão x deformação (N/mm), b é a largura do corpo de prova (mm) e h é a espessura do corpo de prova (mm).

Com os valores de tensão, deformação e módulo de elasticidade para o material compósito sob flexão, realizou-se a plotagem dos gráficos tensão x deformação.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa parte do trabalho serão expostos e discutidos todos os resultados obtidos nos ensaios de densidade volumétrica, tração e flexão em 3 pontos para a caracterização das propriedades mecânicas do compósito fabricado.

5.1. ENSAIOS DE DENSIDADE VOLUMÉTRICA

Os ensaios de densidade volumétrica realizados com base nos parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D792 (2008), caracterizaram resultados interessantes para a densidade do compósito polimérico com reforço da bucha vegetal. A Tabela 4 expõe os resultados obtidos para 5 amostras do compósito.

Tabela 4 – Densidade volumétrica do compósito fabricado.

Amostras	Densidade volumétrica (g/cm³)
01	1,1615
02	1,1523
03	1,1544
04	1,1680
05	1,1628
Média	1,1598
Desvio padrão amostral	0,0064

Fonte: Autor, 2019.

Os resultados da Tabela 4 apontaram uma densidade de $1,1598 \pm 0,0064 \text{ g/cm}^3$, valor que se torna baixo, quando comparados com a densidade da matriz pura de $1,24 \text{ g/cm}^3$ resultado obtido por Mota (2017), e também quando comparados com os valores de $1,164 \text{ g/cm}^3$ do compósito com fibra de juta e $1,270 \text{ g/cm}^3$ do compósito com fibra de vidro (OLIVEIRA, 2013). Para Freitas (2018), os resultados de desvio padrão baixo do compósito fabricado, podem estar associados a uniformidade dos corpos de prova.

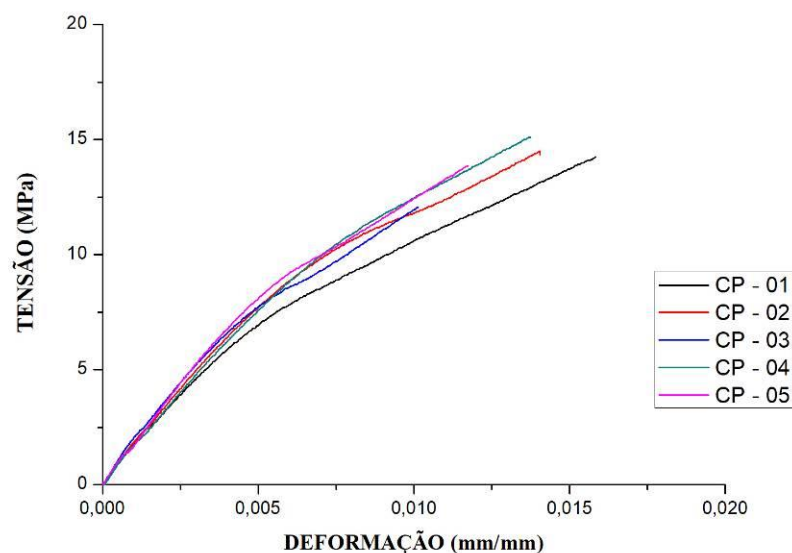
A partir dos resultados, verificou-se aspectos positivos no material compósito com relação a sua densidade, tendo em vista que a utilização do reforço da fibra natural da bucha

vegetal é biodegradável e apresenta um valor de densidade menor quando comparados com a resina pura, compósito com fibra de juta e com fibra de vidro, fator que torna o material leve. Mota (2016), expõe que se pode, portanto, utilizar a carga da bucha vegetal em compósitos e ter-se uma leveza maior que a proporcionada pela matriz, isso representa uma boa vantagem do compósito em relação à matriz em custo e leveza. Essa propriedade é a que dá maior potencial de utilização do compósito proposto aliado ao comportamento térmico, podendo-se fabricar estruturas leves e resistentes para algumas aplicabilidades, principalmente para as indústrias moveleiras e automotivas, além de artesanato e boa estética.

5.2. ENSAIOS DE TRAÇÃO UNIAXIAL

Os resultados obtidos nos ensaios de tração uniaxial realizado utilizando os parâmetros da norma ASTM D3039 (2014), apresentou o gráfico de Tensão (MPa) x Deformação (mm/mm) ilustrado na Figura 34, e as propriedades mecânicas expostas na Tabela 5.

Figura 34 - Gráfico Tensão x Deformação do compósito com reforço da bucha vegetal submetido a tração.



Fonte: Autor, 2019.

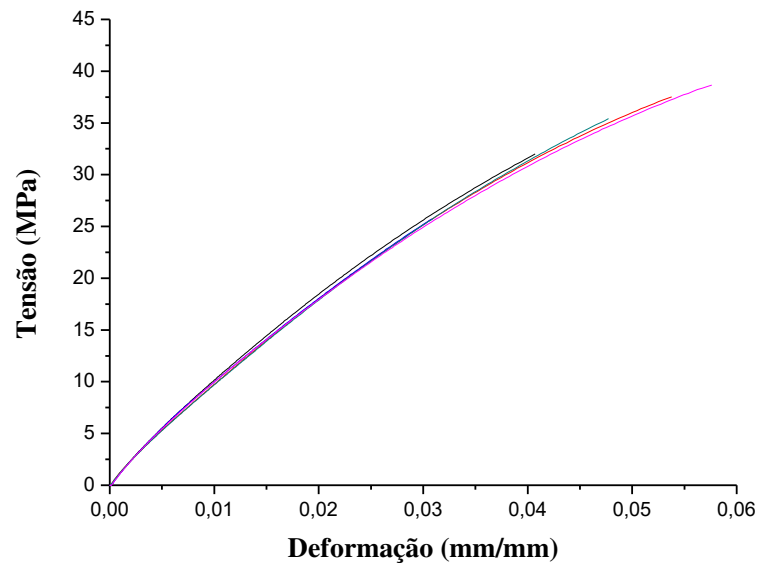
Tabela 5 - Propriedades mecânicas de tração.

Corpo de Prova	Deformação máxima (mm/mm)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
CP - 01	0,0158	14,2346	0,8989
CP - 02	0,0141	14,3373	1,0200
CP - 03	0,0101	12,0383	1,1863
CP - 04	0,0138	15,1011	1,0969
CP - 05	0,0117	13,8517	1,1807
Média	0,0131	13,9126	1,0766
Desvio Padrão Médio	0,0022	1,1416	0,1205

Fonte: Autor, 2019.

Através da análise do gráfico ilustrado na Figura 34 e das propriedades mecânicas representadas na Tabela 5, identificou-se as seguintes propriedades mecânicas do compósito: resistência a tensão máxima média de $13,9126 \pm 1,1446$ MPa, deformação máxima média de $0,0131 \pm 0,0022$ mm/mm e módulo de elasticidade de $1,0766 \pm 0,1205$ GPa. Durante o ensaio de tração foi possível verificar uma fraca aderência entre a fibra e a matriz, e também um comportamento frágil do material.

Ao comparar os resultados obtidos do compósito com reforço da bucha vegetal (Tabela 5) com os resultados de $33,90 \pm 5,23$ MPa para tensão máxima, $0,05 \pm 0,01$ mm/mm para deformação máxima e $1,13 \pm 0,04$ GPa para o módulo de elasticidade da resina pura representados na Figura 35 e Tabela 6 (NASCIMENTO, 2015). Observa-se que as propriedades mecânicas do compósito com reforço da bucha vegetal apresentam valores bem menores, fator o torna inviável em aplicações que necessitem de uma boa resistência a tração.

Figura 35 - Gráfico Tensão x Deformação para os CP de resina pura submetidos a tração.

Fonte: Nascimento, 2015.

Tabela 6- Propriedades mecânicas da resina pura.

Propriedade Mecânica	Valor Médio	Desvio Padrão (%)
Tensão Máxima (Mpa)	33,90	±5,23
Deformação Normal (mm/mm)	0,05	±0,01
Módulo de Elasticidade (Gpa)	1,13	±0,04

Fonte: Nascimento, 2015.

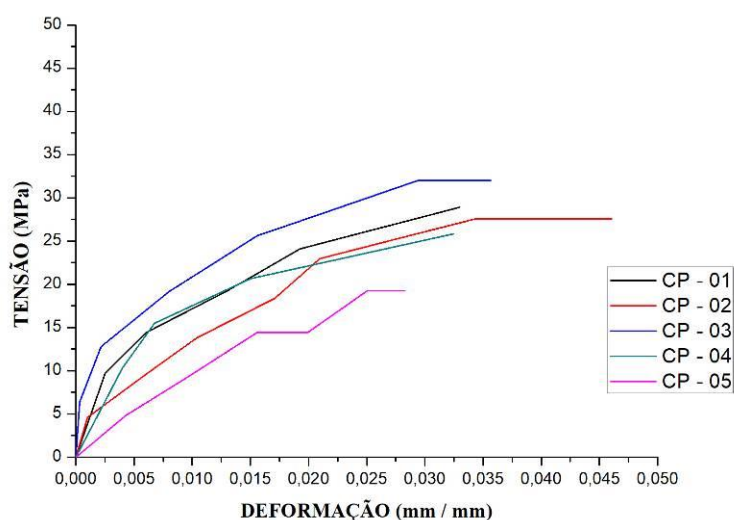
O comportamento frágil do compósito com reforço da bucha vegetal nos ensaios de tração e as suas baixas propriedades mecânicas quando comparados com os resultados obtidos para resina pura, pode ser explicado por fatores como: a fraca aderência entre a matriz e o reforço da bucha vegetal, e imperfeições como bolhas e espaços vazios decorrente do processo de fabricação. De acordo com Silva (2010), as propriedades mecânicas dos compósitos são determinadas, entre outros fatores, pelas propriedades da matriz e do reforço, pelo processo utilizado e também pelos parâmetros do processo. A capacidade de transferência dos esforços da matriz para o reforço, que depende diretamente da qualidade da adesão reforço/matriz, é outro fator crucial no desempenho do compósito.

5.3. ENSAIOS DE FLEXÃO EM 3 PONTOS

Os ensaios flexão em 3 pontos realizados com base nos parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D7264 (2015), apresentou o gráfico Tensão (MPa) x Deformação (mm/mm)

para 5 corpos de prova com as características das curvas pouco definidas, em virtude da célula de carga utilizada durante o ensaio ter um valor muito maior que a resistência do material, apresentado poucos pontos para os parâmetros presentes no gráfico (Figura 36).

Figura 36 - Gráfico Tensão x Deformação do compósito com reforço da bucha vegetal submetido a flexão.



Fonte: Autor, 2019.

As propriedades mecânicas obtidas durante os ensaios de flexão em três pontos apresentadas nas curvas do gráfico na Figura 36, expõe seus valores máximos e médios de tensão, deformação, módulo de elasticidade e seus respectivos desvios padrões no Tabela 7.

Tabela 7 - Propriedades mecânicas de flexão.

Corpo de Prova	Deformação máxima (mm/mm)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
CP - 01	0,0330	28,9089	0,8764
CP - 02	0,0461	27,5726	0,5991
CP - 03	0,0357	31,9787	0,8962
CP - 04	0,0325	25,8051	0,8123
CP - 05	0,0283	19,2590	0,6809
Média	0,0351	26,7048	0,7730
Desvio Padrão Médio	0,0046	3,3382	0,1064

Fonte: Autor, 2019.

Através dos resultados expostos no gráfico da Figura 36 e na Tabela 7, observa-se que o material compósito fabricado apresentou um melhor comportamento quando submetidos a esforços de flexão. Os valores mostram que o CP – 02 apresentou a maior deformação entre os corpos de prova, sendo de 0,0461mm, e o CP – 03 suportou a maior tensão, sendo ela de 31,9787 MPa. Os valores médios encontrados, também refletem o melhor comportamento do material sobre a flexão, sendo os valores médios são de: $0,0351 \pm 0,0046$ mm/mm para deformação, $26,7048 \pm 3,3382$ para tensão e de $0,7730 \pm 0,1064$ GPa para o módulo de elasticidade, esse valor se apresenta com uma variação, sendo menor que o valor do módulo encontrado na tração. Isso se deve em virtude dos corpos de prova de flexão terem sido de uma segunda placa com as mesmas configurações, confeccionadas pelo mesmo processo de fabricação, porém esse fator pode ter influenciado nas diferenças entre os valores, visto que de acordo com Leão (2008) o processo de fabricação de laminação manual utilizado na obtenção do compósito pode produzir regiões em rica em resina (face em contato com o molde), quando regiões ricas em fibras (face oposta), isso significa que a resposta à flexão do compósito passa a depender de qual face é selecionada para a aplicação da carga.

5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE DENSIDADE, TRAÇÃO E FLEXÃO

A Tabela 8 caracteriza as propriedades mecânicas do compósito polimérico com reforço da bucha vegetal a partir dos ensaios realizados.

Tabela 8 – Caracterização do compósito polimérico com reforço da bucha vegetal a partir dos ensaios realizados.

Propriedades	ρ (g/cm ³)	Deformação máxima (mm/mm)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Densidade	1,1598	-	-	-
Resistência a tração	1,1598	0,0131	13,9126	1,0766
Resistência a flexão	1,1598	0,0351	26,7048	-

Fonte: Autor, 2019.

Através dos resultados obtidos nos ensaios realizados (Tabela 8), verificou-se que o compósito polimérico confeccionado com a utilização da manta da bucha vegetal apresentou uma densidade baixa, sendo de $1,1598 \pm 0,0064$ g/cm³, fator que promove leveza ao material

em virtude de sua fibra. Quando submetidos a flexão o compósito apontou resultados interessantes, resistindo a uma tensão máxima média de $26,7048 \pm 3,3382$ MPa, não apresentando comportamento frágil durante o ensaio. Diferentemente do comportamento do compósito sob tração, tendo em vista, que o mesmo apresentou uma resistência a tração média de $13,9126 \pm 1,1446$ MPa e falhou de forma frágil durante o ensaio, apresentado baixas deformações, com valores médios de $0,0131 \pm 0,0022$ mm/mm. Também identificou-se nos ensaios de tração uma fraca aderência entre a matriz e o reforço da bucha vegetal, em virtude fácil separação da mesma após o rompimento do corpo de prova.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados encontrados a partir dos ensaios mecânicos realizados com o compósito polimérico com reforço da manta da bucha vegetal, pode-se caracterizar as seguintes propriedades material:

- O compósito apresenta uma baixa densidade, quando comparados com a densidade da resina pura, compósitos com fibra de juta e compósito com fibra de vidro. Essa característica promove uma viabilidade importante para o compósito fabricado, visto que a fibra utilizada é biodegradável e possui um baixo custo, além de proporcionar uma maior leveza ao material.
- Quando submetidos a tração, o material compósito apresenta uma menor resistência e uma menor deformação, quando comparado com a resina pura. Durante os ensaios, o material mostrou comportamento frágil e uma baixa aderência fibra/matriz, fator que o torna inviável para situação que requeiram boa resistência a tração.
- Quando submetidos a flexão, o material mostrou uma maior resistência e uma maior deformação, quando comparados aos resultados obtidos nos ensaios de tração. Essas características promovem ao material uma viabilidade para serem utilizados em situações de flexão que não ultrapasse seus limites de resistência do material.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIL, H; ZAMRI, M. H. Performance of natural fiber composites under dynamic loading. **Natural Fibre Composites**, p. 323–344. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D792 – 08**. Standard test method for density and specific gravity (Relative Density) of plastics by displacement, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3039/D3039M-14**: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D7264/D7264M – 15**: Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. 2015.

AZIZ, S. et al. Modified polyester resins for natural fibre composites. **Composites Science and Technology**, v. 65, n. 3-4, p. 525 - 535. 2005.

BOYNARD, C.A; MONTEIRO, S. N; ALMEIDA, J. R. M. Aspectos do tratamento alcalino de fibras de esponja (*Luffa cylindrica*) sobre as propriedades de flexão de compósitos com matriz de poliéster. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 87, n. 12, p. 1927 - 1932. 2003.

BRYDSON, J. A. **Epoxide Resins**: Plastics Materials. p.744–777, 1999. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978075064132650067X>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.

CARVALHO, L. F. M. **Tratamento de fibra de carnaúba [Copernicia Prunífera (Miller) H. E. Moore] para o desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de polihidroxibutirato**. 2011. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12780/1/TratamentosFibrasCarnaúba_Carvalho_2011.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2019.

CARVALHO, L. H.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 16, n. 1, p.33-37, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v16n1/v16n1a09>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

CASARIL, A. et al. Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas. **RMAT**, Ouro Preto, v. 12, n. 2, out. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/revistas/rmat/v12n2/v12n2a18.html>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

CAVALCANTI, W. S. **Compósito poliéster/tecidos tramados vegetal-vidro**: Caracterização mecânica e simulação da sorção de água. 2006. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. Disponível em:

<<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/2072/1/WILMA%20SALES%20CAVALCANTI%20-%20TESE%20%28PPGEP%29%202006.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

DA SILVA, R. V. et al. Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1. 2008. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10974/>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

FARINA, L. C. **Caracterização viscoelástica por meio de ensaios de fluência e ruptura por fluência de compósitos poliméricos de matriz de resina epoxídica e fibra de carbono**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FREITAS, F. B. A. **Estudo da viabilidade na utilização de cinzas de macrófitas aquáticas em compósitos poliméricos particulados**. 2018. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018.

GARCIA, A. Z. **Desenvolvimento de compósitos de matriz epóxi reforçada com fibras de vidro e nanopartículas de borracha para aplicação na área de blindagem**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013.

GIACOMINI, N. P. **Compósitos reforçados com fibras naturais para a indústria automobilística**. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GUIMARÃES, J. L. et al. Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 30, n. 3, p. 407–415. 2009.

GUTIÉRREZ, J. C. H. et al. Usinabilidade de materiais compósitos poliméricos para aplicações automotivas. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 6, p.711-719, fev. 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v24n6/a12v24n6.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

KAW, A. K. **Mechanics of composite Materials**. 2. ed. Boca Raton: Crc, 2006. 457 p. Disponível em: <https://sarrami.iut.ac.ir/sites/sarrami.iut.ac.ir/files/files_course/01-mechanics_of_composite_materials_sbookfi.org_.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

L.F.S. D'ALMEIDA, A. et al. Desenvolvimento de um tratamento químico superficial para aumentar a adesão da interface fibra de bucha (*Luffa Cylindrica*) - resina poliéster. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 7., 2003, Belo Horizonte. **Anais do 7 o Congresso Brasileiro de Polímeros**. Belo Horizonte, 2003. p. 25 - 26. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2003/Document/032.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

LEÃO, M. A. **Fibras de licuri: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em:

<<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15549/1/MirtaniaAL.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

LEITE, V. R. Estado da arte dos materiais compósitos na indústria aeronáutica. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 20, n. 2, p.16-28, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/2014/1418>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

LIGOWSKI, E; SANTOS, B. C; FUJIWARA, S. T. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. **Polímeros**, São Carlos, v. 25, n. 1, p.70-75, 2015. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/html/470/47038354009/>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

MACÊDO NETO, M. C. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de palha de aço**. 2016. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MANTOVANI, D. P. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de Hemp e biotratamento**. 2017. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2017. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Dissertação-final-1.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 18, n. 2, p.92-99, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v18n2/a05v18n2>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

MATTHEWS, R L; RAWLINGS, R D. **Composite Materials: Engineering and Science**. New York: Crc Press, 1994. 457 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=dVGkAgAAQBAJ&pg=PA1&hl=pt-BR&source=gbbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 08 abr. 2019.

MEDEIROS, M. G. **Caracterização e avaliação de acessos de bucha vegetal**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015. Disponível em: <<https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Dissertação-2015-MARCELO-GURGEL-MEDEIROS.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

MILANESE, A. C. **Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibras de sisal e de vidro**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94401/milanease_ac_me_guara.pdf?sequence=1>. Acesso em: 06 jul. 2019.

MOTA, M. K. F. **Obtenção e caracterização de um compósito de matriz polimérica com carga de bucha vegetal (Luffa Cylindrica)**. 2016. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21147/1/MariaKalionaraDeFreitasMota_TESE.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2019.

NASCIMENTO, E. R. M. **Propriedades mecânicas à tração em compósitos de matriz poliméricas com cargas minerais**. 2015. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciências e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2015.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, H. N. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos para aplicação em deck**. 2013. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2013. Disponível em: <http://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/helingtonoliveira.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

OLIVEIRA, R. M. **Compósito de poliuretano elastômero reforçado com fibra de juta: estudo das propriedades dinâmico-mecânicas e viscoelásticas**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1188/OLIVEIRA_Robson_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 ago. 2019.

PANZERA, T. H. **Desenvolvimento de um material compósito cerâmico para aplicação em mancais porosos**. 2007. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/SBPS-7B5N3W/monografia_final.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 jul. 2019.

PIRES, E. N. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93192/266454.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

QUERIDO, V. A. **Estudo da Inserção de Fibra de Bucha Vegetal como Reforço Estrutural em Matrizes Cimentícias**. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/34972/34972.PDF>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

RODRIGUES, J. S. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por um sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/5091/1/Dissertacao_ComportamentoMecanicoMaterial.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

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

RONG, M. Z. et al. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. **Composites Science and Technology**, v. 61, n. 10, p1437–1447, 2001.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_078_alexandresantos.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SANTOS, D. G. et al. Análise experimental da absorção de água em compósito de matriz poliéster reforçados com fibras de sisal. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 9, 2016, Fortaleza. **Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Fortaleza: 2016. Disponível em: <<https://ssl4799.websiteseuro.com/swge5/PROCEEDINGS/PDF/CON-2016-0402.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

SANTOS, E F. et al. Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento. **Polímeros**, São Carlos. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/2010nahead/aop_0539.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SANTOS, E. A. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.usp.br/constrambi/producao_arquivos/materiais_a_base_de_cimento.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SILVA, H. S. P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibra de vidro**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25437/000752517.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SILVA, I. L. A. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de junta**. 2014. 95 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Tese-de-Doutorado_Isabela-Leao.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SILVA, L. J. **Estudo experimental e numérico das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos laminados com fibras vegetais**. 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João Del-rei, São João del Rei, 2011. Disponível em: <https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppmec/Leandro_da_Silva_1.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2003.

SIQUEIRA, G; BRAS, J; DUFRESNE, A. Luffa cylindrica as a lignocellulosic source of fiber, microfibrillated cellulose, and cellulose nanocrystals. **Bioresources**, v. 5, n. 2, p.727-740, 2010. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_05/BioRes_05_2_0727_Siqueira_BD_Luffa_Source_Fiber_mFCellulose_Nanocryst_754.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SIQUEIRA, R. G. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em bucha vegetal (Luffa Cylindrica)**. 2007. 48 f. Dissertação (Magister Scientiae) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4459/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

SOUSA, L. K. **Produção e Caracterização mecânica de compósitos de resina poliuretana à base de óleo de mamona e fibras de rami, sisal e bucha vegetal**. 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14190/1/ProducaoCaracterizacaoMecanica.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SOUZA, A. H. S. et al. Materiais compósitos na aeronáutica: uma análise da tendência na fuselagem das aeronaves. **Pesquisa e Ação**, Mogi das Cruzes, v. 4, n. 1, p.240-246, maio 2018. Disponível em: <<https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/407/499>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

SOUZA, F. S. **Influência de temperaturas elevadas no comportamento à flexão de compósitos poliméricos pultrudados reforçados com fibra de vidro (PRFV)**. 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/31462/31462.PDF>>. Acesso em: 06 jul. 2019.

SOUZA, J. D. G. T. et al. Modificação química superficial de fibras de bucha vegetal visando à compatibilização e aplicação como reforço em matriz cimentícia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 269-283, abr./jun. 2017. <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v17n2/1678-8621-ac-17-02-0269.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

VENTURA, A. M. F. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, v. 21, n. 3/4, p.10-19, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/ctm/v21n3-4/v21n3-4a03.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

ZAMPIERI, A. et al. Biomemplificação de esponjas de *Luffa cylindrica* em macroestruturas de zeólitas hierarquizadas auto-sustentadas para reatores catalíticos estruturados bio-inspirados. **Ciência e Engenharia de Materiais**, v. 26, n. 1, p. 130–135. 2006.

ZANGIACOMI, M. H; BITTENCOURT, E. Compósitos poliméricos reforçados com fibras de PANox e fibra de aramida. **Recie**, Uberlândia, v. 1/2, n. 15, p.55-61, dez. 2006. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/issue/view/108>>. Acesso em: 06 jul. 2019.