



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS



EDGLEY ALVES DE OLIVEIRA PAULA

**USO DA BUCHA VEGETAL (*Luffa cylindrica*) COMO REFORÇO EM
COMPÓSITOS COM RESINA DE POLIÉSTER**

MOSSORÓ – RN

2022

EDGLEY ALVES DE OLIVEIRA PAULA

**USO DA BUCHA VEGETAL (*Luffa cylindrica*) COMO REFORÇO EM
COMPÓSITOS COM RESINA DE POLIÉSTER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Linha de Pesquisa: Aplicações tecnológicas de materiais regionais.

Orientador: Rafael Rodolfo de Melo, Prof. Dr.

Coorientador: Manoel Quirino da Silva Júnior, Prof. Dr.

MOSSORÓ – RN

2022

© 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 tomar-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.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

P324u Paula, Edgley Alves de Oliveira .
USO DA BUCHA VEGETAL (Luffa cylindrica) COMO
REFORÇO EM COMPÓSITOS COM RESINA DE POLIÉSTER /
Edgley Alves de Oliveira Paula. - 2022.
71 f. : il.

Orientador: Rafael Rodolfo de Melo.
Coorientador: Manoel Quirino da Silva Júnior.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais, 2022.

1. Fibras lignocelulósicas. 2. Processo híbrido.
3. MEV. 4. Sustentabilidade. I. Melo, Rafael
Rodolfo de , orient. II. Silva Júnior, Manoel
Quirino da , co-orient. III. 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

**USO DA BUCHA VEGETAL (*Luffa cylindrica*) COMO REFORÇO EM
COMPÓSITOS COM RESINA DE POLIÉSTER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Linha de Pesquisa: Aplicações tecnológicas de materiais regionais.

Defendida em: 31 / 01 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Assinado de forma digital por RAFAEL RODOLFO DE
MELO:04988176444
Dados: 2022.02.02 15:27:46 -03'00'

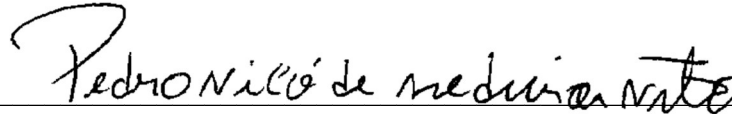
Rafael Rodolfo de Melo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente (Orientador)

MANOEL QUIRINO DA
SILVA JÚNIOR:
04045779469

Assinado digitalmente por MANOEL QUIRINO DA SILVA JÚNIOR:
04045779469
DN: CN=MANOEL QUIRINO DA SILVA JÚNIOR, O=UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2022.02.02 17:06:05
Foxit Reader Versão: 10.0.1

Manoel Quirino da Silva Júnior, Prof. Dr. (UFERSA)
Coorientador


Adriano Lincoln Albuquerque Mattos, Prof. Dr. (EMBRAPA)
Membro Externo à Instituição


Pedro Nicó de Medeiros Neto, Prof. Dr. (UFCG)
Membro Externo à Instituição

DEDICATÓRIA

In Memoriam

EDNOR ALVES DE PAULA

VALTERLANDIO ALVES DE OLIVEIRA

MARIA VERONICE DE OLIVEIRA MARCIANO.

Presentes

MARIA VERONILDE DE OLIVEIRA ALVES

EDJANE ALVES DE OLIVEIRA PAULA

EDUARDA ALVES DE OLIVEIRA PAULA

VALDIR ALVES DE OLIVEIRA.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido essa oportunidade e por toda a força que me passou nos momentos dificuldades.

À minha família, em especial a Maria Veronilde de Oliveira Alves (mãe), Ednor Alves de Paula (pai), Edjane Alves de Oliveira Paula (irmã), Eduarda Alves de Oliveira Paula (irmã), Valdir Alves de Oliveira (tio), por todo investimento, apoio, atenção e incentivo durante essa trajetória.

Ao orientador professor Dr. Rafael Rodolfo de Melo por toda ajuda, confiança e contribuições no desenvolvimento desse trabalho.

Ao coorientador professor Dr. Manoel Quirino da Silva Júnior por toda ajuda, confiança e contribuições no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA – Campus Mossoró), em especial a técnica de laboratório Lidianne Martins, e as minhas amigas e colegas de trabalho Alice Galdino, Yara Lemos e Ramona Amaro por toda disponibilidade e ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA – Campus Mossoró), em especial ao técnico de laboratório Dr. Fabricio Almeida, e aos colegas Erbenia Fernandes e Ricardo Alan pela execução dos ensaios mecânicos.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LAB-MEV) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA – Campus Mossoró), em especial ao professor responsável Dr. Jeferson Dombroski e ao técnico de laboratório Dr. Bruno Caio por toda disponibilidade e execução da Microscopia Eletrônica de Varredura.

A todos os meus primos e primas, em especial a Edilberto Rêgo, Luiz Alberto, Simone Alves de Paula, Francisco Natalício, Eliene França, Nadja França, Lisandra Alves, Igor Alves, Jorge Medeiros, Jadson Medeiros e Jackson Medeiros pela amizade e/ou companheirismo.

Às Professoras: Dra. Pollyanna Freire Montenegro Agra, Dra. Edna Lúcia da Rocha Linhares e Dra. Ana Cláudia de Melo Caldas Batista, por toda amizade, disponibilidade e ajuda.

Aos colegas (Filipi Marquês, Vinicius Bessa, Cláudia Yanara, Allan Maia, Samir Adson, Jessica Rafaelly, Fernanda Beatriz, Daniele Amâncio, Caroline Alves, Rosemary Coringa, Carolina Ramirez, Kaline Souza, Magna Rosângela), pela amizade e/ou companheirismo e/ou auxílio no desenvolvimento dos trabalhos.

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

Obrigado!

“A verdadeira coragem é ir atrás de seu sonho mesmo quando todos dizem que ele é impossível. O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher.”

(Cora Coralina)

RESUMO

A preocupação da humanidade com a preservação do meio ambiente e a utilização dos recursos renováveis, tem proporcionado um grande interesse nos compósitos reforçados com fibras naturais, principalmente para serem utilizados na substituição de fibras sintéticas. Diante disso, o objetivo da pesquisa foi desenvolver um compósito com matriz polimérica de poliéster ortoftálico reforçadas com fibras da bucha vegetal e híbrido com fibras de vidro. Para isso, caracterizou-se as propriedades físicas (densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicas (resistência à tração, resistência à flexão e dureza Rockwell) dos compósitos produzidos. O processo de fabricação foi realizado por prensagem à frio em um molde fechado. Aplicou-se um Delineamento Inteiramente Casualizado com duas repetições para cada tratamento avaliado, e comparação de médias de Tukey (95% de confiança). Os resultados mostraram que o reforço da bucha vegetal promoveu uma diminuição na densidade do compósito, sendo o valor 1,01 g/cm³. Nos testes de resistência à tração, o compósito reforçado com a bucha apresentou um valor de 10,29 MPa. Já nos testes de resistência à flexão, apresentou um valor de 18,04 MPa. Quando o reforço de bucha é utilizado na formação do compósito híbrido, os resultados apresentaram ótimo desempenho quando submetidos à flexão, com um valor de 105,12 MPa. De modo geral, os compósitos reforçados com a bucha vegetal e híbrido, apresentam propriedades físicas e mecânicas distintas que os possibilitam para serem utilizados em diferentes aplicações, de acordo com as suas características. Esses materiais ainda tem a vantagem de possuir um componente biodegradável, sustentável e leve.

Palavras-chave: Fibras lignocelulósicas. Processo híbrido. MEV. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Humanity's concern with the preservation of the environment and the use of renewable resources has provided a great interest in composites reinforced with natural fibres, mainly to be used in the replacement of synthetic fibres. Therefore, the objective of the research was to develop a composite with a polymer matrix of orthophthalic polyester reinforced with fibres from vegetable bushing and a hybrid with glass fibres. For this, the physical (density, moisture content, water absorption and swelling in thickness) and mechanical properties (tensile strength, flexural strength and Rockwell hardness) of the produced composites were characterized. The manufacturing process was carried out by cold pressing in a closed mould. A completely randomized design was applied with two replications for each treatment evaluated, and Tukey's means were compared (95% confidence). The results showed that the reinforcement of the loafah promoted a decrease in the density of the composite, being the value 1.01 g/cm³. In the tensile strength tests, the composite reinforced with the bushing showed a value of 10.29 MPa. In the flexural strength tests, it presented a value of 18.04 MPa. When the bushing reinforcement is used in the formation of the hybrid composite, the results showed excellent performance when subjected to bending, with a value of 105.12 MPa. In general, composites reinforced with vegetable and hybrid bushings have different physical and mechanical properties that allow them to be used in different applications, according to their characteristics. These materials still have the advantage of having a biodegradable, sustainable and lightweight component.

Keywords: Lignocellulosic fibres. Hybrid process. SEM. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos compósitos quanto ao tipo de reforço.	19
Figura 2 – Processo de prensagem a quente ou a frio.	21
Figura 3 – Classificação dos diferentes tipos de fibras.	22
Figura 4 – Classificação dos diferentes tipos de fibras vegetais.	23
Figura 5 – Constituição estrutural de uma célula de fibra vegetal natural.	24
Figura 6 – Planta <i>Luffa cylindrica</i>	25
Figura 7 – Parte interna da bucha vegetal (<i>Luffa cylindrica</i>).	26
Figura 8 – Tipos de matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas.....	28
Figura 9 – Reação básica do processo de cura da resina poliéster: Poliéster insaturado (a); Monômero de estireno (b); Poliéster curado (c).	29
Figura 10 – Fluxograma de apresentação das etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho.	31
Figura 11 – Matéria-prima utilizada na fabricação dos compósitos: Bucha vegetal sendo coletada da plana (<i>Luffa cylindrica</i>) em Governador Dix–Sept Rosado – RN (a); Resina poliéster, catalisador, monômero de estireno e cera de carnaúba (b).	32
Figura 12 – Etapas de triagem e limpeza da bucha vegetal (<i>Luffa cylindrica</i>): Aparência das buchas selecionadas (a); Comprimento aproximado das buchas vegetais selecionadas (b); Retirada de cascas e sementes (c); Corte no sentido longitudinal (d); Buchas após a lavagem em água corrente (e); Secagem a 60 ± 2 °C (f); Prensagem a 0,2 MPa (g); Buchas vegetais após a prensagem (h).	32
Figura 13 – Projeto e desenvolvimento do molde de laminação: Desenhos e dimensões dos componentes do molde laminação (a); Molde de laminação fabricado (b).	34
Figura 14 – Processo de fabricação do compósito de matriz poliéster e reforços de bucha vegetal e fibra de vidro: Pesagem da bucha vegetal (a); Pesagem da fibra de vidro (b); Pesagem da resina poliéster (c); Retirada de bolhas da resina poliéster (d); Adição da resina poliéster no molde laminação (e); Laminação das camada de bucha vegetal / fibra de vidro (f); Prensagem do compósito (g); Desmoldagem do painel (h).	35
Figura 15 – Etapas de marcação e cortes das amostras: Gabarito para as marcações nos painéis (a); Corte das amostras para a realização dos ensaios físicos e mecânicos (b).	37
Figura 16 – Procedimentos de realização dos ensaios de densidade básica: Secagem em estufa à 50 ± 2 °C (a); Resfriamento em um dessecador (b); Pesagem das amostras (c); Medições das dimensões das amostras com a utilização de um paquímetro (d).	38

Figura 17 – Procedimentos de realização do ensaio de teor de umidade: Pesagens das amostras úmidas (a); Secagem em estufa à 50 ± 2 °C (b); Resfriamento em um dessecador (c); Pesagem das amostras secas (d).....	39
Figura 18 – Procedimentos de realização dos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura: Marcações das amostras para as medições de espessuras (a); Secagem em estufa à 50 ± 2 °C (b); Resfriamento em um dessecador (c); Pesagem das amostras seca (d); Imersão em água destilada à aproximadamente 30 ± 2 °C (e); Pesagem das amostras úmidas (f); Medições de espessuras das amostras (g).	40
Figura 19 – Realização dos ensaios de resistência à tração: Corpo de prova sendo tracionado em uma Máquina de ensaios universal DL-10000 (EMIC) com célula de carga de 100 KN (a); Fratura do corpo de prova após a realização do ensaio destacado em vermelho (b).....	41
Figura 20 – Realização dos ensaios de resistência à flexão em três pontos: Corpo de prova sendo flexionado em uma Máquina de ensaios universal DL-10000 (EMIC) com célula de carga de 100 KN (a); Fratura do corpo de prova após a realização do ensaio destacado em vermelho (b).	43
Figura 21 – Realização dos ensaios de resistência à dureza Rockwell R: Penetrador esférico de aço na dimensão de 0,5 polegadas utilizado nos ensaios (a); Aplicação da pré-carga no corpo de prova (b); Realização dos ensaios em um durômetro digital Mitutoyo (HR-300) (c).....	44
Figura 22 – Etapas de preparo das amostras e realização da Microscopia Eletrônica de Varredura: Secagem das amostras em estufa à 50 ± 2 °C (a); Realização do processo de metalização das amostras (b); Amostras metalizadas (c); Realização da Microscopia Eletrônica de Varredura (d).....	45
Figura 23 – Densidade básica (a) e teor de umidade (b) dos tratamentos avaliados.....	47
Figura 24 – Gráfico das curvas de absorção de água x tempo de imersão.....	49
Figura 25 – Gráfico das curvas de inchamento em espessura x tempo de imersão.....	50
Figura 26 – Gráfico das tensões máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de tração.....	52
Figura 27 – Gráfico das deformações máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de tração.....	53
Figura 28 – Gráfico dos módulos de elasticidade dos tratamentos avaliados durante os ensaios de tração.....	54
Figura 29 – Gráfico das tensões máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de flexão.....	55

Figura 30 – Gráfico das deformações máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de flexão.....	57
Figura 31 – Gráfico dos módulos de elasticidade dos tratamentos avaliados durante os ensaios de flexão.	58
Figura 32 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza Rockwell R para os tratamentos avaliados.	59
Figura 33 – Imagens microscópica das regiões de fratura: RPSR com aproximação de 150 x (a); RBV com aproximação de 150x (b); RFV com aproximação de 150x (c); RBV + RFV com aproximação de 90x (d).	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composições utilizadas na confecção dos painéis com as diferentes proporções de resina poliéster, bucha vegetal e fibras de vidro.....	36
Tabela 2 – Tipo de ensaio, norma técnica e dimensões dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2. Objetivos Específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1. Materiais compósitos	19
3.2. Processos de fabricação dos compósitos	20
3.3. Reforço de fibras naturais.....	21
3.4. Fibras vegetais.....	22
3.5. Bucha vegetal (<i>Luffa cylindrica</i>)	25
3.6. Matriz polimérica	27
3.7. Resina de Poliéster	28
3.8. Aplicações dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. Matéria-prima	32
4.2. Molde de laminação	33
4.3. Manufatura dos compósitos	34
4.4. Confeção dos corpos de prova.....	36
4.5. Caracterização dos compósitos.....	37
4.5.1. Densidade básica	37
4.5.2. Teor de umidade.....	38
4.5.3. Absorção de água e inchamento em espessura.....	39
4.5.4. Ensaios de resistência à tração	41
4.5.5. Ensaios de resistência à flexão em três pontos.....	42
4.5.6. Dureza Rockwell	44
4.6. Caracterização da região de fratura por MEV	44
4.7. Delineamento experimental	46

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. Densidade e teor de umidade	47
5.2. Absorção de água e inchamento em espessura.....	48
5.3. Resistência à tração	51
5.4. Resistência à flexão	55
5.5. Dureza Rockwell	58
5.6. Caracterização da região de fratura por MEV	59
6. CONCLUSÕES.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1. INTRODUÇÃO

Os compósitos poliméricos mais usados no setor industrial, utilizam como reforço as fibras sintéticas de vidro, carbono e aramida (SILVA, 2010). Essas fibras são as mais convencionais no mercado e conferem ao compósito fabricado boas propriedades de resistência à tração, flexão, impacto, rigidez e fadiga, que contribui para a substituição de materiais tradicionais em projetos estruturais, tendo em vista que proporciona resistência e versatilidade (KODALINGAM; SENTHILKUMAR; BABU, 2020). Porém, o descarte inadequado de materiais sintéticos pode gerar poluição das águas, do solo e do ar, causando impactos negativos ao meio ambiente (SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007; SILVA; SILVA; SANTOS, 2019).

De acordo com Da Silva et al. (2008), a preocupação da humanidade com a preservação do meio ambiente e a utilização dos recursos renováveis, tem motivado o uso dos compósitos reforçados com fibras naturais, principalmente para serem utilizado na substituição de compósitos com fibras sintéticas. O uso das fibras naturais pode representar uma excelente viabilidade econômica, além de proporcionar uma redução na utilização dos materiais de difícil decomposição (MOTA et al., 2018).

Entre as grandes variedades de materiais renováveis existentes na natureza, as fibras naturais surgem como uma alternativa para o reforço em compósitos poliméricos, pois apresenta um baixo custo e biodegradabilidade (MOTA et al., 2018; BRESSIANI JR et al., 2020).

De acordo com Begum, Fawzia e Hashmi (2020), a utilização de fibras naturais de origem vegetal na fabricação de compósitos poliméricos apresentam vantagens como baixa densidade, alta resistência específica, que além de proporcionar uma renovabilidade ao material desenvolvido, também promove uma maior leveza em comparação as fibras sintéticas de vidro, carbono e aramida (KEVLAR).

As fibras provenientes de espécies vegetais vêm sendo utilizadas em diversos setores das indústrias automobilísticas, aeroespaciais, construção civil e alimentos. Em cada departamento industrial existe uma maneira adequada para o processamento e fabricação de produtos a partir das fibras vegetais, tornando essa matéria-prima viável economicamente e de fácil uso e aplicação (OUTA; CHAVARETTE; LOUZADA, 2016).

A utilização dessas fibras na produção dos compósitos gera uma série de benefícios socioambientais resultantes da diminuição no descarte desses materiais orgânicos na natureza, tais como resíduos de madeiras nos lixões, aterros sanitários e áreas urbanas. Também

provocam uma redução nas quantidades de materiais industrializados que possam liberar poluentes nas áreas urbanas e rurais, de forma a causar danos aos ecossistemas (RIBEIRO; ALVES; HENRIQUE, 2019).

Assim, uma alternativa de fibras vegetais encontradas na natureza é a bucha vegetal (*Luffa cylindrica*), que de acordo com DU et al. (2006) são frutas frescas conhecidas popularmente como cabeça de esponja, cultivada nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia. Essa espécie pertence à família Cucurbitaceae e vem sendo amplamente cultivada no Brasil, pois apresenta um potencial para a produção de materiais de isolamento e biocombustíveis, além de tratamentos de águas residuais (SAEED; IQAL, 2013; MORÃO; DILARRI; CORSO, 2017).

Na região Nordeste do Brasil, a bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) é muito utilizada na produção de artefatos manufaturados que vem sendo comercializados a centenas de anos, tais como: cordas, bolsas, redes, pinceis, cestos, mantas, além de outros produtos utilizados para higiene, como as buchas de banho e de lavar louça (MOTA, 2016).

As características e propriedades da bucha vegetal viabilizam a sua utilização como reforço em compósitos poliméricos. Pois, os núcleos presentes na bucha vegetal permitem a penetração da resina, favorecendo um ótimo preenchimento na formação do material, e configuração natural proporciona leveza e uma ótima propriedade de rigidez, fatores esses que tornam esse material vantajoso para a confecção de painéis delgados e com grandes dimensões (MOTTA et al., 2016).

De acordo Alhijazi et al. (2020) a fibra da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) surge como uma alternativa interessante para a utilização como reforço em materiais compósitos, pois é uma fibra leve devido à sua estrutura poli porosa, e a sua morfologia superficial pode contribuir para uma boa adesão à matriz.

Segundo Lima (2014), a bucha é um material biodegradável de origem vegetal e fonte renovável, que ao ser descartada não causa danos ao meio ambiente. Ela apresenta um tecido fibroso, resistente e durável, que proporciona uma esbeltes aos compósitos para utilização como painéis decorativos e forros (FERREIRA, 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Produzir e avaliar um compósito com matriz polimérica de poliéster insaturada reforçados com fibras da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*).

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos fabricados;
- Avaliar a influência da adição das fibras de bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos poliméricos;
- Analisar o potencial da fibra de bucha vegetal como elemento para reforço de compósitos poliméricos;
- Atribuir indicações de uso para os compósitos poliméricos reforçados com fibra de bucha vegetal.

3. REVISÃO DE LITERATURA

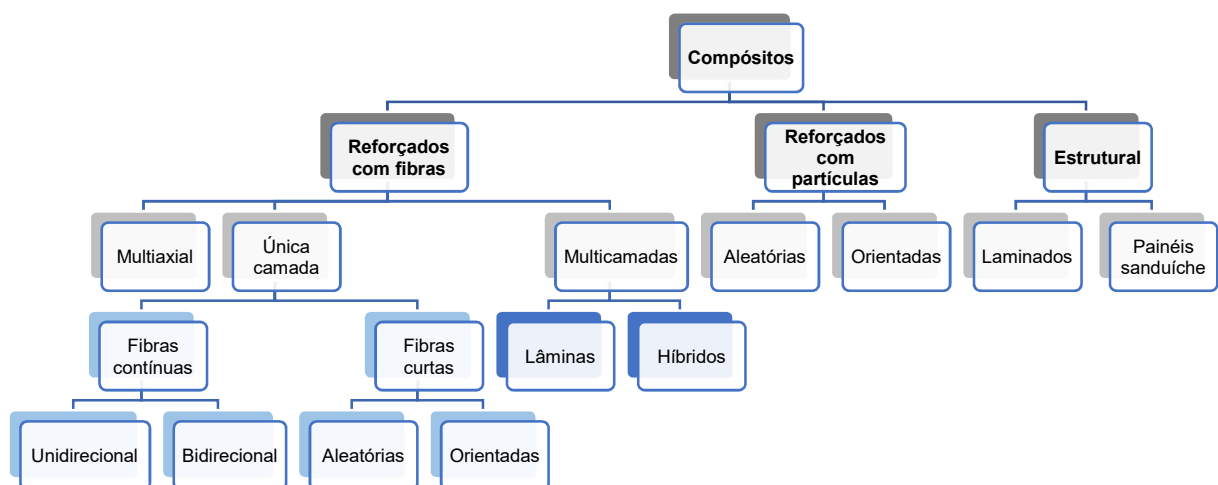
3.1. Materiais compósitos

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* D 3878 – 98 (ASTM, 1999), o compósito é uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material útil à engenharia, com certas propriedades não encontradas nos materiais constituintes, isoladamente. Muitos materiais compósitos são formados por apenas duas fases, sendo uma contínua denominada matriz, responsável por envolver a outra fase, chamada de fase dispersa (reforço) (CALLISTER, 2012).

Existem vários tipos de materiais compósitos, e dentre os principais tipos de matrizes utilizadas em sua composição, destacam-se as poliméricas, metálicas e cerâmicas. Já como material reforço, destacam-se os apresentados na forma de fibras, partículas, lâmina, camada, floco ou carga (DOS SANTOS; SANTANA; KIELING, 2019).

De acordo com Ferreira, Oliveira Jr e Souza (2017) a matriz tem a função de promover um comportamento mecânico de absorver e transferir as solicitações mecânicas para os reforços, contribuindo para que os materiais tenham uma resistência de forma associada. Já os reforços atuam como componentes estruturais na parte interna do material e são fundamentais para determinar a classificação do tipo de compósito (Figura 1).

Figura 1 – Classificação dos compósitos quanto ao tipo de reforço.



Os compósitos apresentam uma região interfacial que é muito importante para as condições de aderência entre a fibra e a matriz. Nessa região as ligações que garantem a aderência entre os constituintes de formação do compósito podem ser fortes ou fracas, e estão diretamente associadas às características e propriedades de cada material (TANG; YAN, 2020).

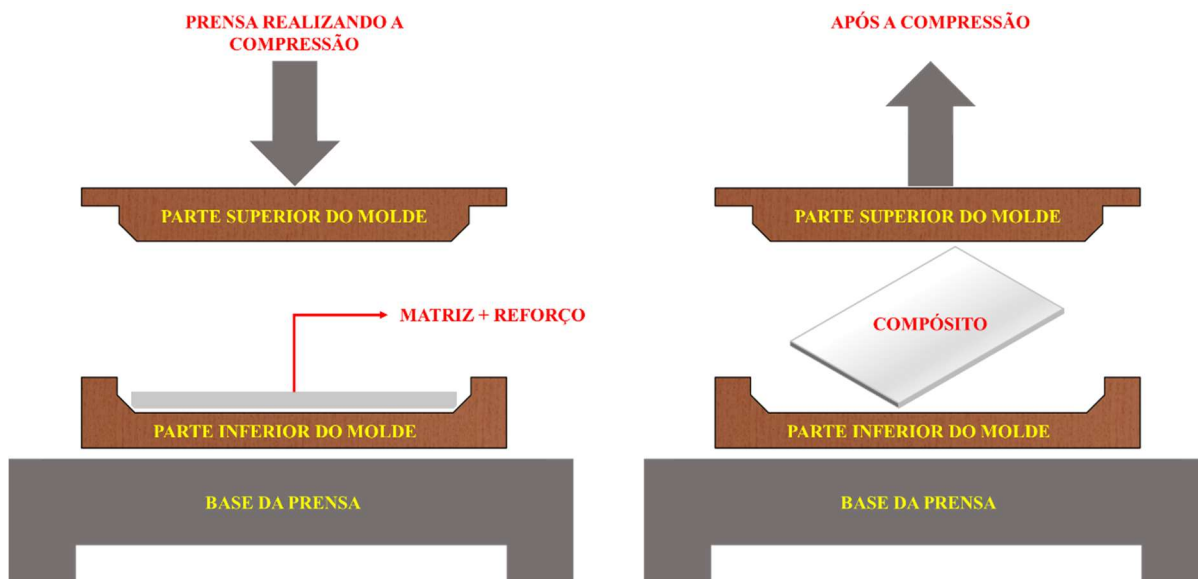
3.2. Processos de fabricação dos compósitos

Os processos de fabricação dos materiais compósitos de matriz polimérica termofixa, podem ser classificados em processos de molde aberto e processos de molde fechado. No de molde aberto é necessário apenas um molde, e esse fator proporciona a peça fabricada um acabamento liso e uniforme em apenas uma das faces (KERSTING, 2004). Já para laminação em molde fechado é necessário um par de moldes (macho e fêmea) que se encaixam entre si, e proporcionam um acabamento liso e uniforme nas duas faces da peça (PINTO, 2002).

Os principais processos de fabricação de compósitos que utilizam moldes abertos são os de laminação manual (*hand lay-up*), laminação por projeção (*spray-up*), enrolamento filamentar (*filament winding*) e a infusão. Já para os processos em moldes fechados, os principais são a moldagem por transferência de matriz (*RTM / RTM Light*), moldagem por prensagem (SMC e BMC), salientando que o BMC também pode ser utilizado para o processo de injeção (MARINUCCI, 2011). Segundo Fuqua et al. (2012), os mecanismos de processamentos desenvolvidos para a fabricação de compósitos termofixos com reforços de fibras lignocelulósicas são análogos aos mecanismos utilizados para fabricação de compósitos com fibras sintéticas ou minerais.

Entre as diferentes formas de processamento para materiais compósitos, à compressão a quente e a frio também são muito utilizadas. O procedimento de aplicação dessa técnica consiste na acomodação do material reforço na cavidade do molde no formato da peça e seguidamente aplica-se a resina sobre o reforço. Posteriormente é aplicado sobre o molde uma compressão com valor determinado de forma a comprimir os materiais dentro da cavidade do molde (Figura 2), salientando que essa compressão pode ser realizada tanto no processo a frio quanto no a quente (MOTA, 2016).

Figura 2 – Processo de prensagem a quente ou a frio.



Fonte: Autoria própria, 2021.

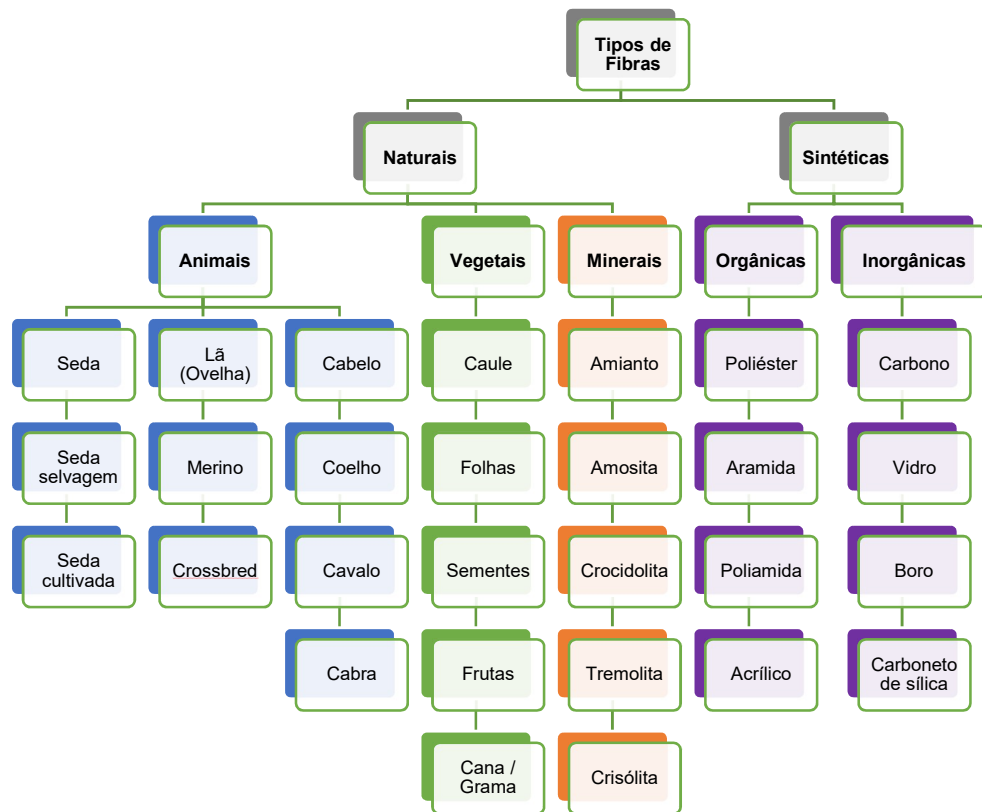
3.3. Reforço de fibras naturais

As fibras naturais são biodegradáveis e abundantes na natureza. Por serem materiais renováveis, disponíveis e apresentarem um baixo custo econômico, tem seu uso motivado em muitas aplicações. Pois, quando não têm uma destinação adequada, esses materiais viram resíduos causadores de problemas ambientais, sendo necessário a busca por soluções viáveis para o seu aproveitamento (DA SILVA et al., 2015).

As fibras são classificadas de acordo com a sua origem de formação, podendo ser sintéticas ou naturais provenientes de origem animal, vegetal e mineral, conforme o fluxograma apresentado na Figura 3. Elas são materiais importantes na constituição de compósitos poliméricos, pois são caracterizadas como flexíveis, macroscopicamente homogêneas e apresentam uma alta relação entre o comprimento e a seção transversal (SANTOS, 2006).

As fibras naturais apresentam boas propriedades térmicas e de isolamento acústico, além de ter um grande potencial para a fabricação de painéis estruturais e vigas sanduiches para projetos habitacionais. A utilização de fibras naturais como materiais na construção civil tem apresentado um alto crescimento por conta desses materiais proporcionarem um ótimo desempenho em termos de durabilidade, manutenção e eficácia nos custos (SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018).

Figura 3 – Classificação dos diferentes tipos de fibras.



Fonte: Adaptado de Eichhorn et al., 2009; Ramamoorthy, Skrifvars e Persson, 2015; Jamir, Majid e Khasri (2018). Puttegowda et al., 2018.

3.4. Fibras vegetais

As fibras naturais de origem vegetal podem ser consideradas como compostos desenvolvidos pela natureza que possuem fibrilas ocas de celulose unidas por lignina e uma matriz de hemiceluloses. A composição química e a estrutura física das fibras vegetais são relativamente complexas, pois apresentam em sua composição um material rígido proveniente da lignina amorfa reforçada como microfibrilas de celulose cristalina ou hemicelulose, ligninas, pectinas, ceras e vários compostos solúveis em água (LOUREIRO; ESTEVES, 2018). O fluxograma da Figura 4 mostra a classificação das principais fibras vegetais utilizadas como reforço em materiais compósitos poliméricos.

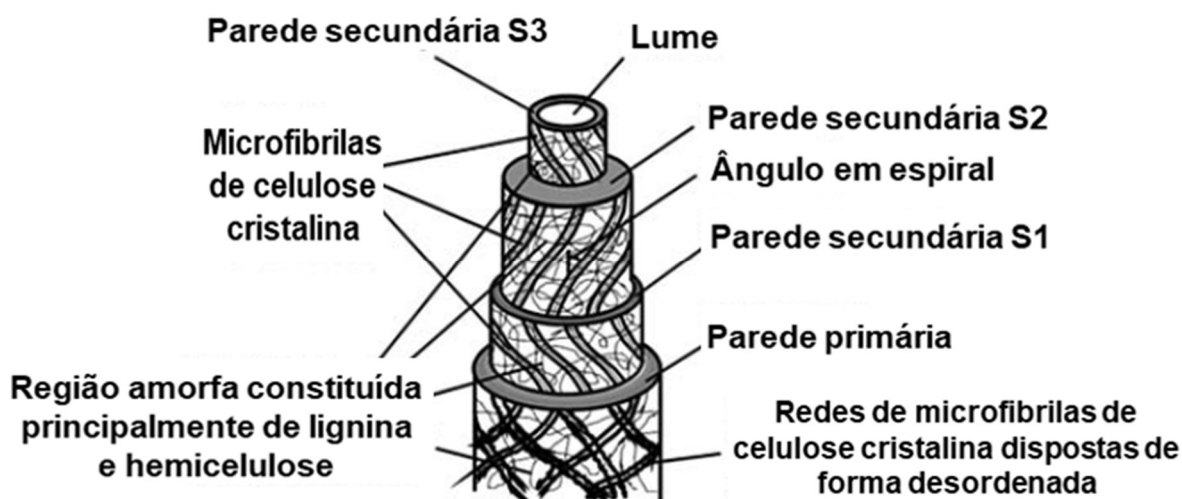
Figura 4 – Classificação dos diferentes tipos de fibras vegetais.



Fonte: Adaptado de Jakubowska, Bogacz e Zimnieszka, 2012; Gurunathan et al., 2015; Puttegowda et al., 2018.

As fibras vegetais são formadas pela união de várias fibras elementares interligadas fortemente entre si por um componente de cementação, em especial a lignina. A formação estrutural de uma fibra elementar apresenta componentes como as redes de microfibrilas em forma de espiral formando uma parede espessa ao longo do eixo da fibra, contendo na parte central o lume (Figura 5). Em sua essência, a fibra elementar é um material compósito que tem as microfibrilas de celulose como reforço e a lignina e hemicelulose como matriz, em que a lignina é a principal responsável por unir as microfibrilas e hemicelulose na interface entre as microfibrilas, celulose e a lignina (SILVA, 2003).

Figura 5 – Constituição estrutural de uma célula de fibra vegetal natural.



Fonte: Adaptado de Rong et al., 2001.

As fibras vegetais utilizadas na confecção de produtos comerciais contribuem positivamente para a geração de receitas e redução de impactos causados ao meio ambiente por conta do descarte inadequado desses materiais que já se apresentam em abundância na natureza (SANTOS, 2006).

Com base nas características individuais dos diferentes tipos de fibras naturais existentes, novos produtos vêm sendo desenvolvidos e outros já estão sendo utilizados em muitas aplicações, tais como a utilização das fibras vegetais com uma baixa resistência mecânica na confecção de embalagens e componentes internos, e as com alta resistência mecânica usadas em aplicações de suporte de carga (SATYANARAYANA; SAHAGUN; BOWMAN, 2018).

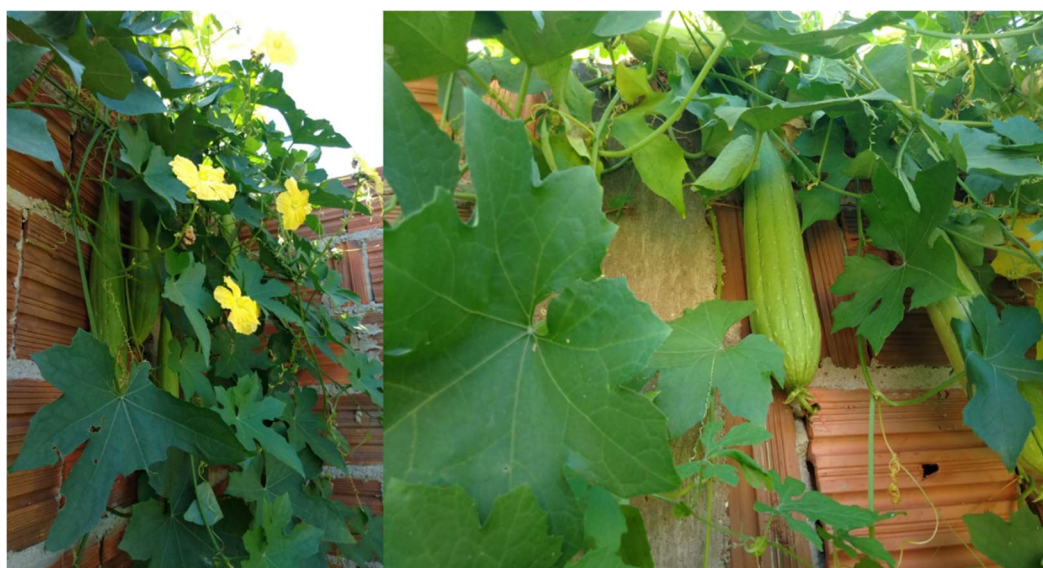
No Brasil, as fibras vegetais proporcionam um melhor aproveitamento no potencial agrícola, e mostram-se úteis quando utilizadas como reforços em matrizes poliméricas termoplásticas, termorrígidas e borrachas. A aplicação destas proporcionam uma série de vantagens ao material, tais como um baixo custo de aquisição e processamento, baixa densidade, boa resistência a esforços mecânicos, baixa abrasividade em equipamentos utilizados para o processamento, além de ser uma matéria-prima biodegradável, sem toxidade ou agentes poluentes (CARVALHO; CAVALCANTI, 2006).

A utilização das fibras vegetais também tem proporcionado grandes aplicabilidades em situações de usos não convencionais. Por serem materiais de baixo custo e apresentarem uma grande diversidade, o uso dessas fibras são utilizadas no campo das obras de arte e também se tornam incentivos para seu uso na confecção de redes, embalagens fios, cobertores e tapetes (SATYANARAYANA; SAHAGUN; BOWMAN, 2018).

3.5. Bucha vegetal (*Luffa cylindrica*)

De origem Asiática e trazida ao Brasil pela cultura africana, a *Luffa cylindrica* é uma planta pertencente à ordem das Curbubitales e a família das Cucurbitaceas. É uma planta perene e se apresenta na natureza como uma trepadeira de folhas grandes, largas, ásperas, de coloração verde-escuras e que podem chegar até 5 metros de forma rastejantes ou ascendentes. Estas produzem grandes flores amarelas que se assemelham a uma mão aberta (Figura 6) (MOTA, 2016).

Figura 6 – Planta *Luffa cylindrica*.



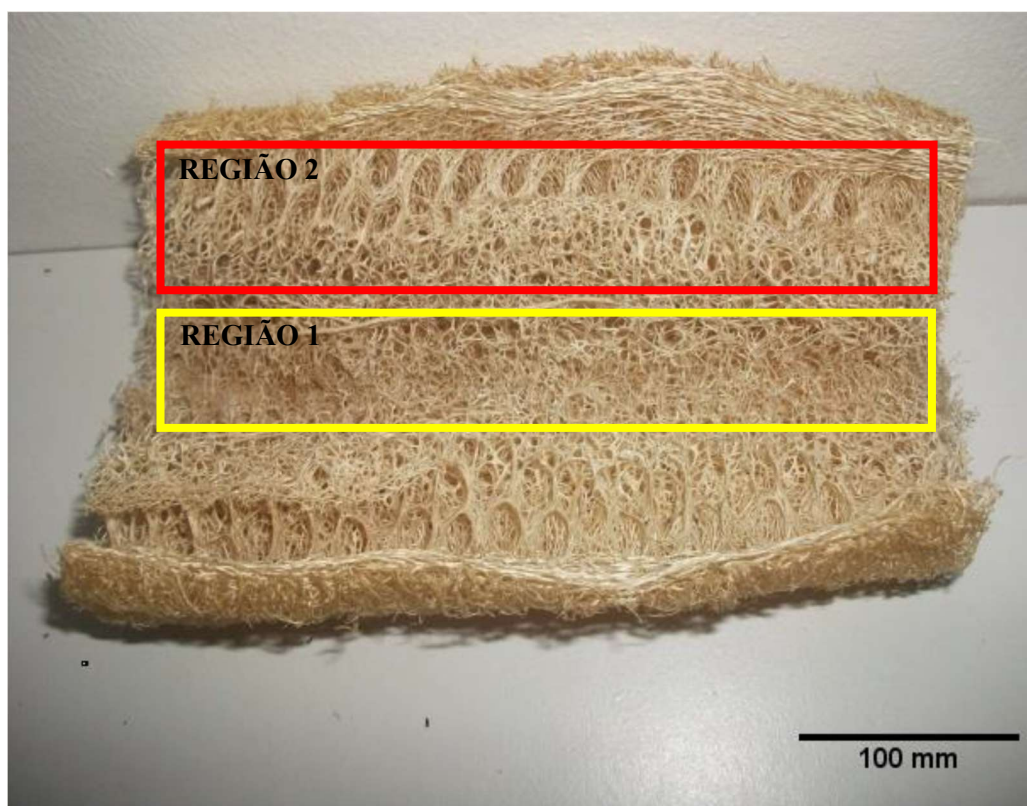
Fonte: Autoria própria, 2021.

No nordeste brasileiro, essas plantas nascem de forma espontânea e são encontradas com facilidades em diversos locais, tais como quintais de residências, terrenos baldios, próximas de cercas de madeira ou muros de alvenaria, e também em margens de rios e lagos (MEDEIROS, 2015).

Assim como as demais fibras de origem vegetal, a bucha apresenta como elementos químicos principais em sua estrutura a celulose, lignina e hemicelulose. De acordo com Tanobe et al. (2005), a composição química da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) apresenta 63,0% para celulose, 11,2% para lignina, 19,4% para hemicelulose, 3,2% para extrativos e 0,4% de cinzas.

Segundo Papanicolaou, Psarra e Anastasiou (2020), a parte interna da bucha vegetal expõe uma superfície em forma de coluna que pode ser caracterizada em duas regiões, sendo a primeira composta por uma ordem total de fibras, na qual se apresenta paralela à direção longitudinal da lâmina, e a segunda composta por uma ordem de fibras aleatórias interconectadas entre si por diversas direções (Figuras 7).

Figura 7 – Parte interna da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*).



Fonte: Adaptado de Querido, 2018.

Essas características evidenciadas pela morfologia da bucha vegetal, podem ser

justificadas pelo método utilizado no processamento do material no decorrer da mudança de sua geometria global de cilindro para forma de manta. Essa transformação necessita de uma seção longitudinal em algum ponto da circunferência do cilindro que passe em toda espessura da parede da bucha vegetal (PAPANICOLAOU; PSARRA; ANASTASIOU, 2020).

Segundo Premalatha et al. (2021) a *Luffa cylíndrica* é uma espécie trepadeira de crescimento rápido, com gênero de videiras tropicais e subtropicais da família do pepino. O fruto originado dessas espécies é cultivado pela população para ser consumido como legume, e quando o mesmo está totalmente amadurecido, apresenta uma estrutura fibrosa com boa resistência e rigidez, além de proporcionar uma ótima capacidade para absorção de energia (ASHOK et al, 2020).

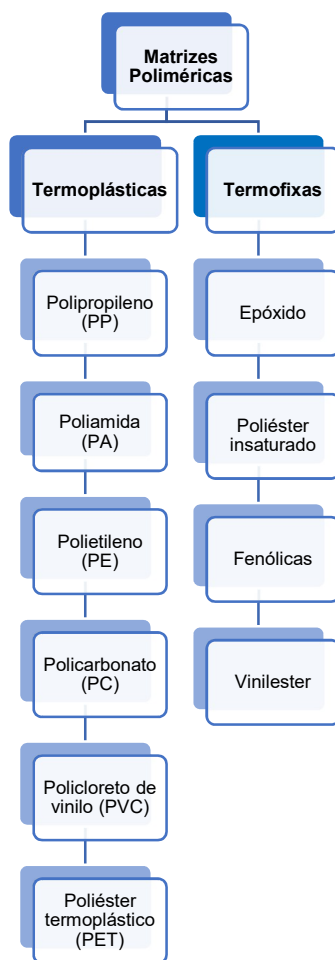
Segundo Mota (2016), a utilização do reforço da bucha vegetal em matriz de resina poliéster ortoftálica proporciona ao compósito uma densidade menor que a matriz de forma individual, e a fibra também contribui para a ampliação na aplicabilidade do compósito, podendo ser uma alternativa para a fabricação de peças, estruturas com baixas solicitações mecânicas, tubos para o transporte de água quente, embalagens, objetos de decoração e artesanatos.

3.6. Matriz polimérica

Os diferentes tipos de matrizes poliméricas utilizadas na fabricação dos materiais compósitos, podem ser divididas em dois grupos: as matrizes termoplásticas e as matrizes termofixas (Figura 8) (CASTRO, 2013). A diferença principal entre essas duas matrizes está no comportamento característico quando são aquecidas, pois os termoplásticos são polímeros com a capacidade de serem moldado várias vezes, em virtude das suas características de se tornarem fluídos sob ação do aumento de temperatura. Já os termofixos não se tornam fluídos com o aumento da temperatura, e esse fator é decorrente da presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares (reticulação) (PAULA, 2011).

Embora as matrizes termoplásticas e termofixas apresentem uma ampla gama de benefícios e obstáculos, evidencia-se que as termofixas apresentam boas propriedades de umectação de fibra, baixa viscosidade, e apresenta uma excelente estabilidade térmica quando são polimerizadas e são quimicamente funcionalizadas (MAHMUD et al., 2021).

Figura 8 – Tipos de matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas.



Fonte: Adaptado de Castro, 2013.

Segundo Sanchez et al. (2010), as resinas mais utilizadas no mercado consumidor são as termofixas, pois apresentam diversas vantagens como: baixo custo econômico, boa estabilidade térmica e dimensional, resistência química quando submetidas a altas temperaturas, e facilidades no processo de modelagem de peças com grandes dimensões. No entanto, para que estas resinas apresentem uma boa resistência à fratura o uso de reforços é fundamental.

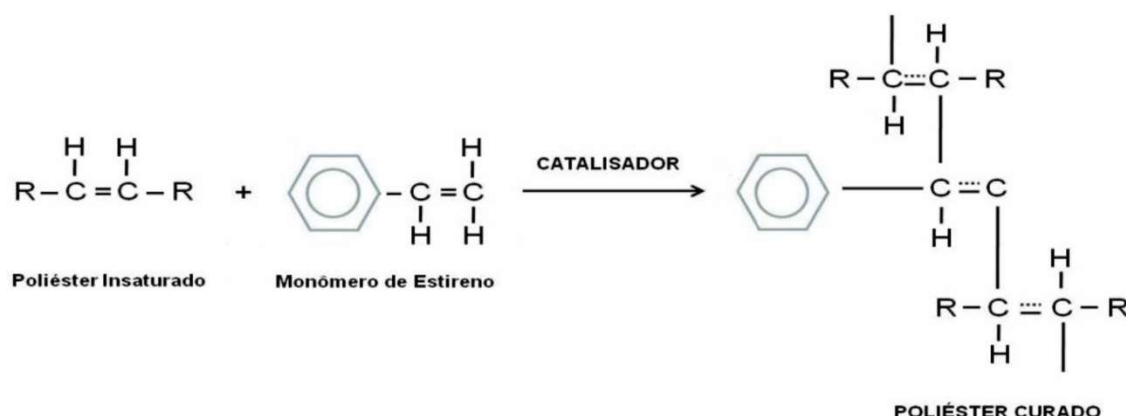
3.7. Resina de Poliéster

No desenvolvimento de materiais compósitos, as resinas termofixas são as matrizes mais utilizadas. Entre elas se destacam as resinas insaturadas de poliéster, pois são as que apresentam a maior taxa de aplicação entre os diferentes tipos de resinas existentes nas indústrias (RAJAE et al., 2019).

De acordo com Rodrigues (2008), os principais tipos de resinas poliéster comercializadas são a orto-ftálica, tera-ftálica, iso-ftálica e bisfenólica. Por apresentar um baixo custo para aplicações básicas, a iso-ftálica é mais comum entre as apresentadas (SILVA, 2010).

As resinas de poliéster pertencem a família de polímeros originados a partir da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos anídrico maleico ou ftálico, que ao serem reagidos com glicóis formam moléculas de cadeias longas e lineares. O tipo de resina poliésteres orto-ftálicas, iso-ftálicas e tera-ftálicas são determinadas pelo tipo de ácido, e esse fator também influencia nas propriedades finais da resina produzida. Se um ou ambos os componentes principais forem insaturados, ou seja, apresentem uma dupla ligação reativa entre átomos de carbono, a resina formada é insaturada (SILVA, 2010). A Figura 9 mostra a reação durante o processo de cura do material.

Figura 9 – Reação básica do processo de cura da resina poliéster: Poliéster insaturado (a); Monômero de estireno (b); Poliéster curado (c).



Fonte: Rodrigues, 2008.

Os materiais desenvolvidos a partir de resinas poliéster, apresenta uma boa resistência ao impacto, boa abrasão, boa resistência à fadiga e alta temperatura de rigidez. Esses materiais também apresentam características como baixa estabilidade dimensional, alta absorção de água, altos coeficientes de expansão térmica, e baixas condutividades térmicas que o tornam sensíveis a mudanças de temperaturas (BABU et al., 2021).

3.8. Aplicações dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais

Com os avanços tecnológicos muitos tipos de materiais vêm passando por um processo de diversificação em suas aplicações. Esse fator impulsionou o desenvolvimento de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos materiais com propriedades que atendam as expectativas do mercado. Esse desafio motivou os pesquisadores a buscarem na união de diferentes materiais, propriedades finais satisfatórias não alcançadas em um único material (LEÃO, 2008).

No cenário das indústrias automobilísticas e aeroespacial, os compósitos verdes são materiais muito impressionantes e apropriados para a utilização como por adesivos usados para fixação dos componentes de aviões. Outras aplicações interessantes são a utilização dos compósitos reforçados com fibra natural de kenaf e juta no campo da manufatura, onde vêm sendo globalmente utilizadas para aplicações de design em interiores, como painéis domésticos e móveis (KHAN; HAMEED SULTAN; ARIFFIN, 2018).

Nas indústrias automotivas, os motivos técnicos e comerciais são as bases que impulsionam o desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras naturais. Entre os principais materiais fabricados estão os painéis das portas, encostos, forro do porta-bagagens, cobertura de rodas suplentes, apoios de cabeça, painéis para o chão e painel de instrumentos (CASTRO, 2013).

Silva (2018) concluiu através de sua pesquisa que compósitos reforçados com a fibra natural da alga vermelha (*Gelidium corneum*) apresentam propriedades para aplicações térmicas, tais como candeeiros e suportes para eletrodomésticos. Também expõe que além de sustentável, a utilização dessa fibra promove um bom acabamento e a redução na aplicação de tintas.

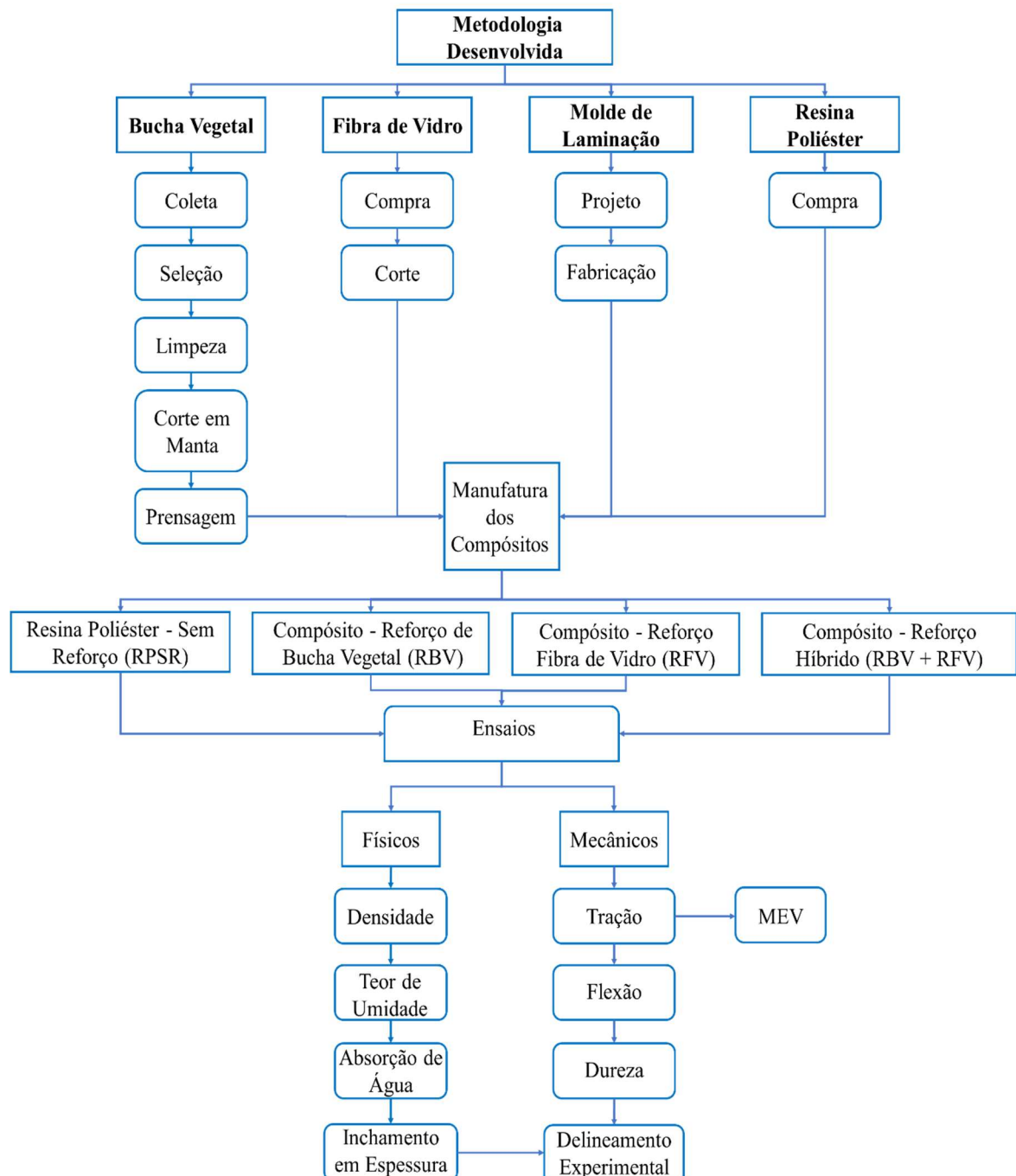
Bressiani Jr et al. (2020) destaca a utilização das fibras de coco e palmeira para produção de peças veiculares, a soja para confecção de espumas de bancos e estofados, e o cânhamo na produção de suportes internos para retrovisores.

A partir de suas pesquisas, Costa (2016) comprovou através de seus estudos científicos que a utilização das fibras de sisal, malva e juta como reforços em compósitos poliméricos proporciona boas propriedades mecânicas, térmicas, retardação a chama e baixo impacto ambiental. Essas propriedades promovem esses materiais a aplicações como paredes divisórias, forros, calhas residenciais, revestimento interno de veículos automotivos e outras aplicações que não causem danos as propriedades dos materiais.

4. MATERIAL E MÉTODOS

As etapas de coleta e compra da matéria-prima, a manufatura dos compósitos poliméricos reforçados com bucha vegetal (*Luffa cylindrica*), bem como os ensaios normatizados para a caracterização físico-mecânicas desses materiais, são apresentadas no fluxograma da Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma de apresentação das etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho.



4.1. Matéria-prima

Para manufatura dos compósitos foram utilizadas a bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) e resina de Poliéster. As buchas vegetais que compuseram o reforço do material compósito, foram coletadas na sua forma seca em áreas urbanas e rurais do município de Governador Dix–Sept Rosado – RN. A resina comercial utilizada foi a insaturada de poliéster ortoftálica. Como catalizador foi empregado o peróxido de metil-etil-cetona. O monômero de estireno foi adotado para diminuir a viscosidade da resina. E como desmoldante dos painéis, utilizou-se a cera de carnaúba (Figura 11).

Figura 11 – Matéria-prima utilizada na fabricação dos compósitos: Bucha vegetal sendo coletada da plana (*Luffa cylindrica*) em Governador Dix–Sept Rosado – RN (a); Resina poliéster, catalisador, monômero de estireno e cera de carnaúba (b).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Após a coleta, ainda com as cascas e sementes, as buchas vegetais passaram por um processo de triagem onde foram selecionadas seguindo como critérios a aparência visual (sem danos) e o comprimento mínimo de 20 cm. Posteriormente realizou-se a etapa de limpeza, onde as buchas passaram pelo processo de retirada das cascas e sementes, corte longitudinal, lavagem em água corrente, secagem e esterilização em estufa com circulação forçada de ar (60 ± 2 °C por 24h) e prensagem em prensa hidráulica manual (0,2 MPa). A pressão utilizada no processo foi determinada após a realização de alguns testes, onde se avaliou a integridade de resistência do molde e o estado final da bucha prensada (Figura 12).

Figura 12 – Etapas de triagem e limpeza da bucha vegetal (*Luffa cylindrica*): Aparência das buchas selecionadas (a); Comprimento aproximado das buchas vegetais selecionadas (b); Retirada de cascas e sementes (c); Corte no sentido longitudinal (d); Buchas após a lavagem

em água corrente (e); Secagem a 60 ± 2 °C (f); Prensagem a 0,2 MPa (g); Buchas vegetais após a prensagem (h).

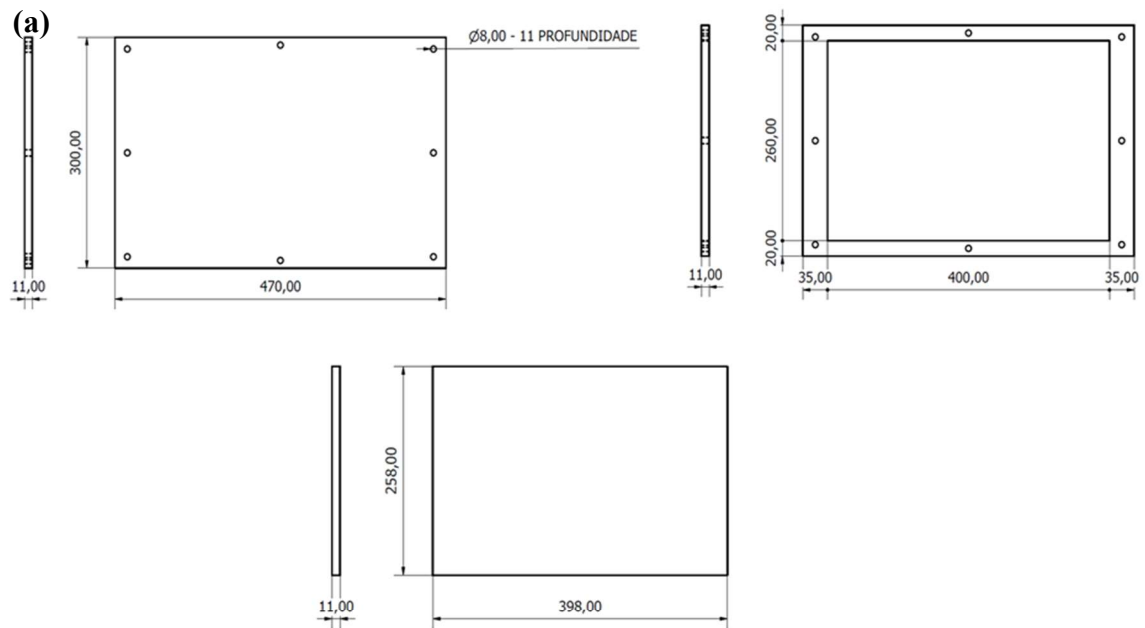


Fonte: Autoria própria, 2021.

4.2. Molde de laminação

Para a realização do processo de laminação, foi projetado com a utilização do software *Autodesk Inventor*, um molde fechado para laminação por prensagem a frio, onde todos componentes foram dimensionados e modelados a fim de garantir uma melhor acuracidade nas dimensões do material produzido. E também um bom acabamento superficial, de forma a minimizar fatores como bolhas e trincas provenientes do processo. Foram fabricados 3 moldes idênticos compostos por painéis compensados unidos por parafusos de 8 mm com porcas e arruelas. Os moldes foram fabricados com o formato semelhante ao de um caixote, e neles eram possíveis fabricar painéis com dimensões de até 400 mm X 260 mm X 10 mm (Comprimento X Largura X Espessura) (Figura 13).

Figura 13 – Projeto e desenvolvimento do molde de laminação: Desenhos e dimensões dos componentes do molde laminação (a); Molde de laminação fabricado (b).



(b)



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.3. Manufatura dos compósitos

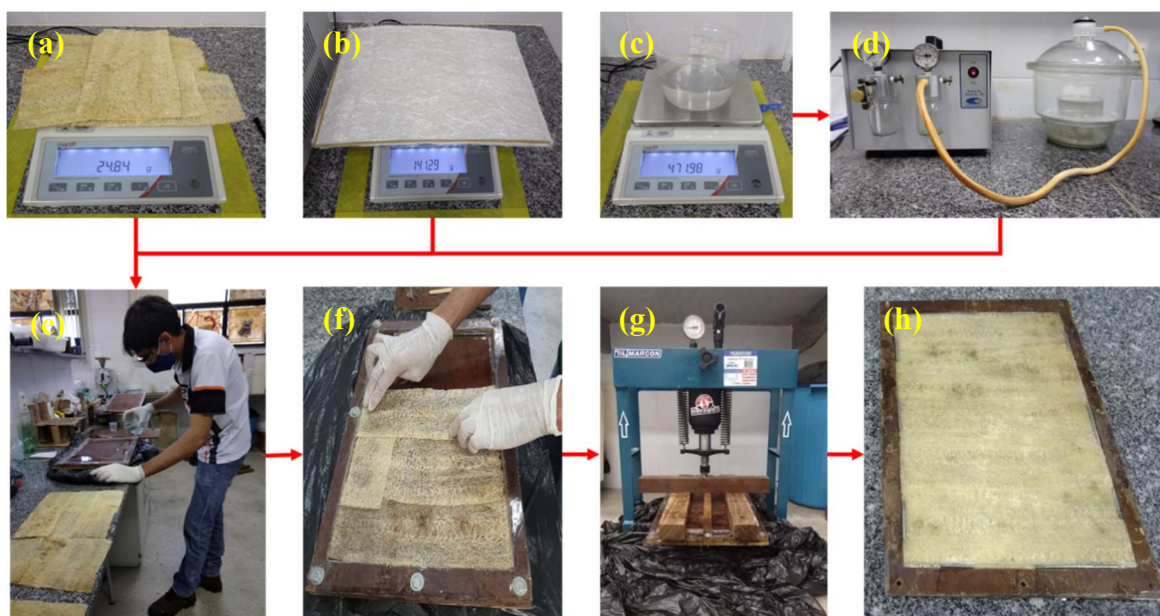
O processo de fabricação dos compósitos reforçados com a bucha vegetal foi iniciado com a aplicação de três camadas alternadas de desmoldante (cera de carnaúba) nas superfícies superior e inferior do molde de laminação, sendo uma camada a cada 5 minutos. Seguidamente foi realizado a pesagem do material de reforço (bucha vegetal) e depois determinou-se e pesou-

se as quantidades de resina, catalisador e monômero de estireno em uma balança analítica (Figuras 14a, 14b e 14c).

Posteriormente o recipiente com a resina foi levado para uma câmara acoplada a uma bomba de vácuo, que forneceu uma pressão vácuo de aproximadamente 600 mmHg durante um período de 30 minutos para retirada de bolhas presentes no material (Figura 14d). Seguidamente foi misturado junto a resina poliéster 1 % em massa de monômero de estireno para diminuir a viscosidade e 1 % em massa de catalisador.

A laminação foi iniciada com adição de forma alternada dos constituintes no molde, sendo uma camada de resina e outra de fibra até atingir o total de 3 camadas (Figuras 14e e 14f). Com o fim da laminação, o molde foi fechado e posicionado em uma prensa hidráulica manual, onde foi aplicado uma pressão de 0,15 MPa durante um período de 24 horas para a cura total do material (Figura 14g). Após o período de cura, os painéis foram desmoldados e encaminhados para a etapa de confecção das amostras (Figura 14h).

Figura 14 – Processo de fabricação do compósito de matriz poliéster e reforços de bucha vegetal e fibra de vidro: Pesagem da bucha vegetal (a); Pesagem da fibra de vidro (b); Pesagem da resina poliéster (c); Retirada de bolhas da resina poliéster (d); Adição da resina poliéster no molde laminação (e); Laminação das camada de bucha vegetal / fibra de vidro (f); Prensagem do compósito (g); Desmoldagem do painel (h).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para garantir a espessura de 4 mm nos painéis produzidos, antes da laminação é fixado na parte internado do molde de laminação pequenos esbarros de aço nas dimensões de 4 mm de

diâmetro. A pressão de 0,15 MPa utilizada no processo de laminação foi determinada após a realização de alguns testes, onde se avaliou a integridade de resistência do molde durante a prensagem e os vazamentos de resina e da fibra de vidro pelos espaços de acoplamento entre a parte superior e inferior do molde de laminação.

Para avaliar o potencial da bucha vegetal como reforço nos compósitos produzidos com resina de poliéster e híbridos junto ao reforço de fibras de vidro, foram produzidos dois tratamentos controle: um primeiro utilizando exclusivamente a resina; e, um segundo utilizando o material padrão adotado como reforço, manta sintética de fibra de vidro tipo “E”. As etapas desenvolvidas no processo de fabricação foram as mesmas para todos os materiais, e as composições e proporções de cada constituinte utilizado na confecção de cada painel são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composições utilizadas na confecção dos painéis com as diferentes proporções de resina poliéster, bucha vegetal e fibras de vidro.

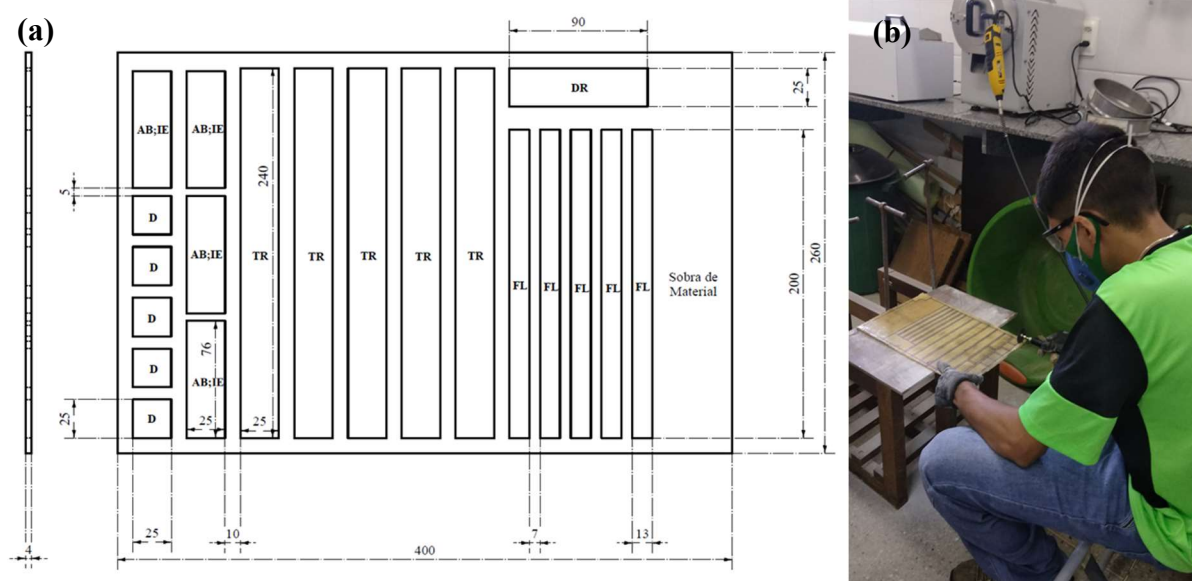
Tratamentos	Bucha Vegetal (%)	Fibra Vidro (%)	Resina Poliéster (%)
RPSR controle 1	0	0	100
RBV	20	0	80
RFV controle 2	0	20	80
RBV + RFV	10	20	70

Legenda: RPSR – Resina Poliéster Sem Reforço; RBV – Reforço de Bucha Vegetal; RFV – Reforço de Fibras de Vidro; RBV + RFV – Reforço de Bucha Vegetal mais Reforço de Fibras de Vidro (RBV + RFV), esse compósito é composto por duas camadas de fibras de vidro nas partes externas e uma camada de bucha vegetal no centro.
Fonte: Autoria própria, 2021.

4.4. Confecção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova foi desenvolvido um gabarito com a utilização do software *Autodesk Inventor* para as marcações dos painéis desenvolvidos (Figura 15a). As dimensões dos corpos de prova referentes aos ensaio físico-mecânicos foram marcadas seguindo as normas técnicas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Tabela 1).

Figura 15 – Etapas de marcação e cortes das amostras: Gabarito para as marcações nos painéis (a); Corte das amostras para a realização dos ensaios físicos e mecânicos (b).



Legenda: FL – Flexão em Três Pontos; D – Densidade Básica; DR – Dureza Rockwell; AB – Absorção de Água / Teor de Umidade; IE – Inchamento em Espessura; TR – Tração.

Fonte: Autor, 2021.

Tabela 2 – Tipo de ensaio, norma técnica e dimensões dos corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos.

Ensaio	Normas Técnicas	Dimensões das Amostras (mm)
Densidade básica	NBR 14810-3	25 x 25 x 4
Teor de Umidade	NBR 14810-3	76 x 25 x 4
Absorção de Água	ASTM D570-98	76 x 25 x 4
Inchamento em Espessura	ASTM D570-98	76 x 25 x 4
Resistência a Tração	ASTM D3039	240 x 25 x 4
Resistência a Flexão em três pontos	ASTM D7264	200 x 13 x 4
Dureza Rockwell	ASTM D785	100 x 25 x 4

Fonte: Autoria própria, 2021.

Após as marcações, os painéis foram cortados com utilização de um disco de corte feito de aço rápido acoplado a um eixo flexível ligado a uma Micro Retífica (Figura 15b). Posteriormente, realizou-se manualmente acabamentos na região de corte dos corpos de prova com a utilização lixas com a granulometria partindo da numeração de 50 (mais grossa), seguindo para as de 100, 220, 400 e 1200 (mais fina).

4.5. Caracterização dos compósitos

4.5.1. Densidade básica

Os ensaios para determinação da densidade básica foram realizados seguindo a Norma Brasileira 14810-3 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013). Inicialmente as amostras foram levadas para uma estufa de secagem e esterilização com circulação forçada de ar, onde ficarão por 24 horas a uma temperatura de 50 ± 2 °C para a perda de umidade. Posteriormente cada amostra foi pesada com a utilização de uma balança analítica (precisão de 0,01 g). Seguidamente realizou-se a medição das dimensões de comprimento, largura e espessura com a utilização de um paquímetro analógico (resolução de 0,05 mm). Todas as etapas realizadas para a obtenção da densidade básica são apresentadas na Figura 16.

Figura 16 – Procedimentos de realização dos ensaios de densidade básica: Secagem em estufa à 50 ± 2 °C (a); Resfriamento em um dessecador (b); Pesagem das amostras (c); Medições das dimensões das amostras com a utilização de um paquímetro (d).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para determinação da densidade básica, utilizou-se a da Equação 1 fornecida pela norma.

$$\rho = \frac{m}{v} \times 1000 \quad \text{Equação 1}$$

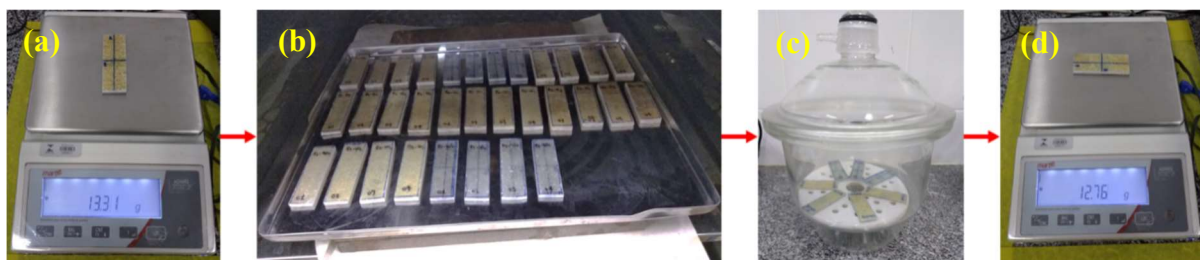
Em que: ρ – densidade do corpo de prova (g/cm^3); m – massa do corpo de prova (g); v – volume do corpo de prova (cm^3).

4.5.2. Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, os ensaios foram realizados seguindo a NBR 14810-3 (ABNT, 2013). Inicialmente as amostras foram pesadas em uma balança analítica para a obtenção da massa úmida. Seguidamente foram levadas para uma estufa de secagem e esterilização com circulação forçada de ar, onde permaneceram por 24 horas a uma temperatura

de 50 ± 2 °C para a perda de umidade. Posteriormente, pesou-se as amostras para a obtenção dos valores de massa seca. Todas as etapas realizadas para a obtenção do teor de umidade são apresentadas na Figura 17.

Figura 17 – Procedimentos de realização do ensaio de teor de umidade: Pesagens das amostras úmidas (a); Secagem em estufa à 50 ± 2 °C (b); Resfriamento em um dessecador (c); Pesagem das amostras secas (d).



Fonte: Autor, 2021.

Os respectivos valores do teor de umidade foram calculados através da Equação 2 fornecidas pela norma.

$$U = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que: U – umidade residual do corpo de prova (%); mu – massa úmida do corpo de prova (g); ms – massa seca do corpo de prova (g).

4.5.3. Absorção de água e inchamento em espessura

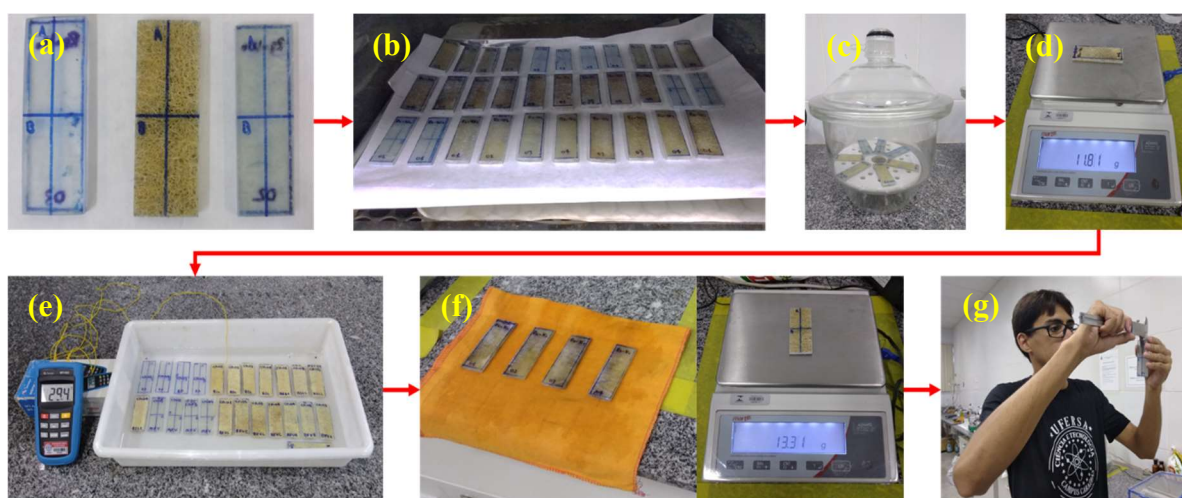
Os ensaios para determinação da absorção de água e inchamento em espessura foram realizados com as mesmas amostras utilizadas para os ensaios de teor de umidade, porém, os ensaios seguiram os parâmetros estabelecidos pela norma *American Society for Testing and Materials* – (ASTM) D570-98 (2010). Para a as medições de espessuras, antes da realização dos ensaios marcou-se com um pincel de tinta permanente duas linhas cortando as amostras no sentido longitudinal (A) e transversal (B) (Figura 18a).

Logo depois, colocou-se as amostras em estufa de secagem e esterilização com circulação forçada de ar durante 24 horas a uma temperatura de 50 ± 2 °C para perda de umidade (Figura 18b). Seguidamente as amostras foram inseridas por 30 minutos em um dessecador para atingir a temperatura ambiente (Figura 18c). Posteriormente, pesou-se as amostras com uma

balança analítica e coletou-se os valores de massa seca (Figura 18d). Com a utilização de um paquímetro realizou-se as medições iniciais para as espessuras das amostras nas regiões onde foram traçadas as linhas A e B. Adiante, as amostras foram imersas em uma bandeja retangular de polipropileno com 1500 ml de água destilada a 30 ± 2 °C (Figura 18e).

Após o período de 2 horas, retirou-se as amostras da água, e com a utilização de uma flanela de algodão, enxugou-se o excesso de água e realizou-se as pesagens de massa e as medições de espessuras nas regiões marcadas (Figuras 18f e 18g). Depois das etapas de pesagens e medições de espessuras, as amostras foram inseridas na água e procedimento foi repetido a cada 24 horas durante um período de 8 dias.

Figura 18 – Procedimentos de realização dos ensaios de absorção de água e inchamento em espessura: Marcações das amostras para as medições de espessuras (a); Secagem em estufa à 50 ± 2 °C (b); Resfriamento em um dessecador (c); Pesagem das amostras seca (d); Imersão em água destilada à aproximadamente 30 ± 2 °C (e); Pesagem das amostras úmidas (f); Medições de espessuras das amostras (g).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os respectivos valores de absorção de água e inchamento em espessura foram calculados através das Equações 3 e 4 fornecidas pela norma.

$$\text{Abs \%} = \frac{\mu - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$\text{IE \%} = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

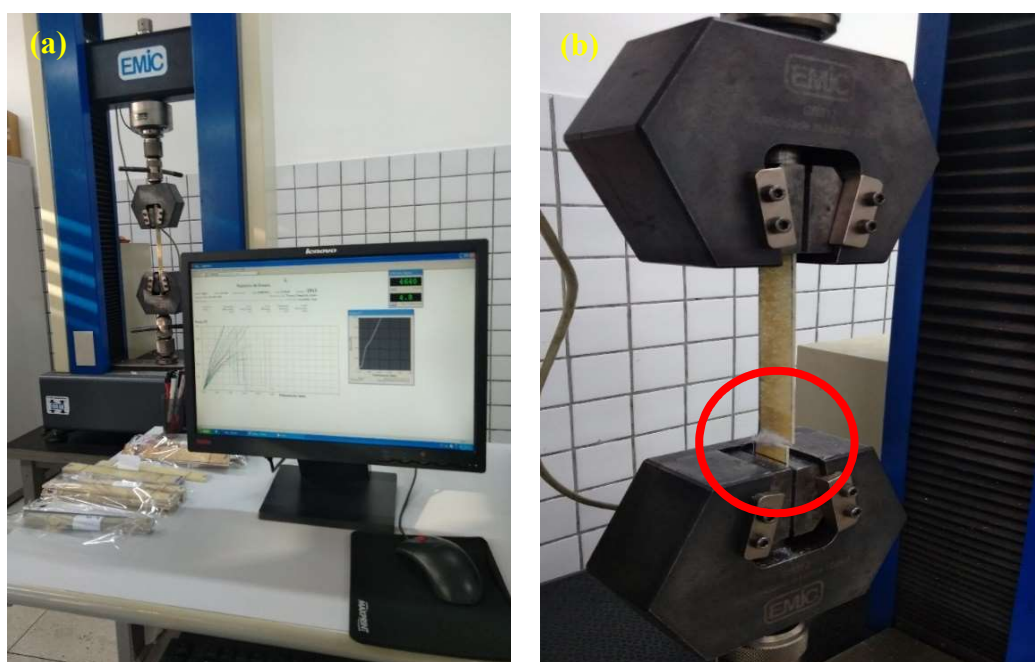
Em que: Abs – porcentagem de umidade absorvida (%); μ – massa úmida (g); m_s – massa seca (g); IE – inchamento em espessura do corpo de prova (%); E1 – inchamento em espessura do corpo de prova após período de imersão (mm); E0 – inchamento em espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

4.5.4. Ensaio de resistência à tração

Os ensaios de resistência à tração foram realizados no Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA – Campus Mossoró). Os parâmetros de ensaios foram estabelecidos pela norma ASTM D3039 (2014) e utilizou-se uma máquina de ensaios universal DL-10000 (EMIC) com célula de carga de 100 KN (Figura 19a). Para a realização dos ensaios, posicionou-se o corpo de prova individualmente na orientação vertical e em seguida realizou-se a fixação com um par de mordentes planos acoplados a um par de garras auto travantes (GR012) por efeito cunha para ensaios de tração até 100 KN.

Adicionou-se ao computador as dimensões dos corpos de prova e a velocidade de 2 mm/min para realização dos ensaios. Todos os testes foram iniciados e finalizados após a fratura total de cada amostra (Figura 19b).

Figura 19 – Realização dos ensaios de resistência à tração: Corpo de prova sendo tracionado em uma Máquina de ensaios universal DL-10000 (EMIC) com célula de carga de 100 KN (a); Fratura do corpo de prova após a realização do ensaio destacado em vermelho (b).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os valores fornecidos pela máquina universal foram coletados, e a partir das equações fornecidas pela norma calculou-se a tensão máxima (Equação. 5), deformação máxima (Equação. 6) e o módulo de elasticidade (Equação. 7).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Equação. 5}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Equação. 6}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{Equação. 7}$$

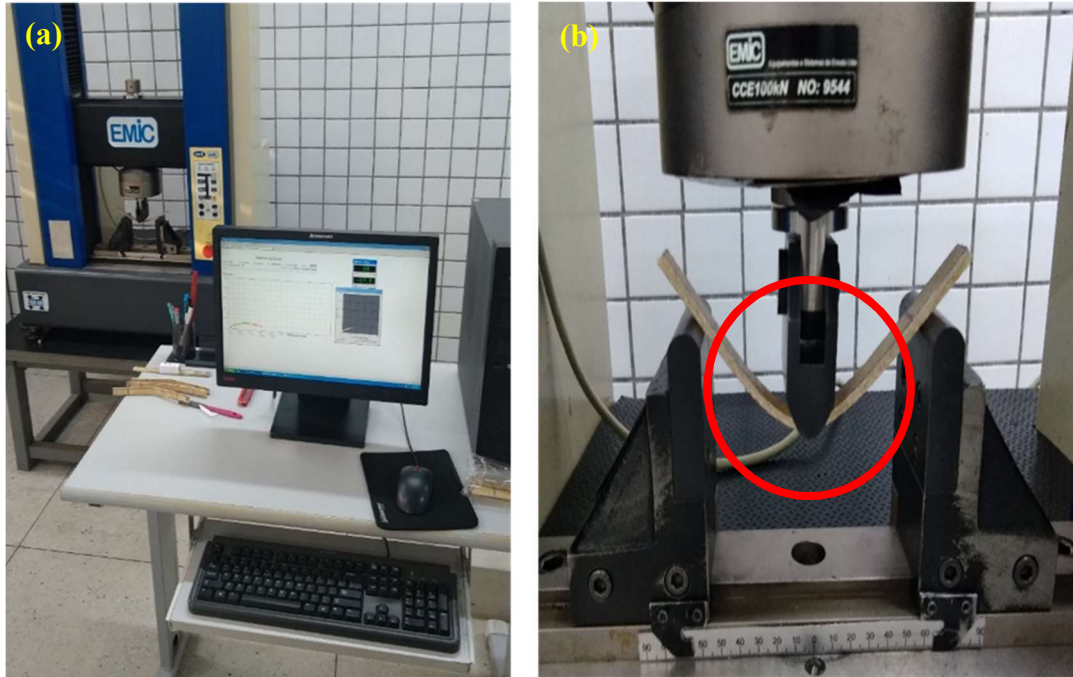
Em que: σ – tensão na tração (MPa); F – força (N); A – área de seção transversal do corpo de prova em (mm²); ε – deformação na tração (%); ΔL – valor da deformação fornecido pela máquina universal (mm); L_0 – valor do comprimento útil do corpo de prova (mm); ϵ – módulo de elasticidade (MPa); σ – variação da tensão aplicada (MPa); ε – deformação elástica longitudinal do corpo de prova (%).

4.5.5. Ensaio de resistência à flexão em três pontos

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados adotando os parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D7264 (2015). Assim como nos ensaios de tração, nos de flexão também se utilizou uma máquina de ensaios universal DL-10000 (EMIC) com célula de carga de 100 KN (Figura 20a). Inicialmente o corpo de prova foi posicionado individualmente na orientação horizontal a uma distância 130 mm entre dois apoios do tipo DP5.02 projetado para garantir uma boa precisão na distância de apoios.

Adicionou-se ao computador as dimensões dos corpos de prova e a velocidade de 6 mm/min para realização dos ensaios. Um cutelo de aplicação de carga com raio de curvatura de 3,5 mm foi encostado levemente no material e o ensaio foi iniciado e finalizado após a fratura de cada corpo de prova (Figura 20b).

Figura 20 – Realização dos ensaios de resistência à flexão em três pontos: Corpo de prova sendo flexionado em uma Máquina de ensaios universal DL-10000 (EMIC) com célula de carga de 100 KN (a); Fratura do corpo de prova após a realização do ensaio destacado em vermelho (b).



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os valores fornecidos pela máquina universal foram coletados, e a partir das equações fornecidas pela norma calculou-se a tensão máxima durante a flexão (Equação. 8), deformação máxima (Equação. 9) e o módulo de elasticidade (Equação. 10).

$$\sigma = \frac{3 P L}{2 b h^2} \quad \text{Equação. 8}$$

$$\varepsilon = \frac{6 \delta h}{L^2} \quad \text{Equação. 9}$$

$$E = \frac{L^3 m}{4 b h^3} \quad \text{Equação. 10}$$

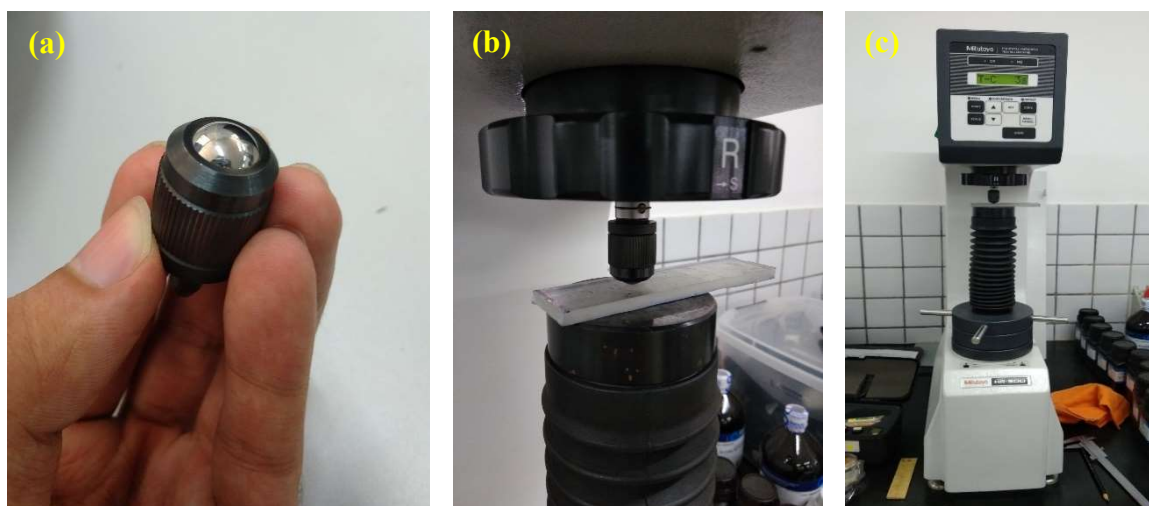
Em que: σ – tensão na flexão (MPa); P – carga máxima aplicada (N), L – distância entre os pontos (mm); b – largura do corpo de prova (mm); h – espessura do corpo de prova em (mm); ε – deformação na flexão (%); δ – deflexão no centro do corpo de prova (mm); h – espessura

do corpo de prova (mm); L – distância entre os pontos; E – módulo de elasticidade (MPa); m – inclinação linear da curva tensão x deformação; b – largura do corpo de prova (mm).

4.5.6. Dureza Rockwell

Os parâmetros de ensaios foram estabelecidos pela norma ASTM D785-08 (2015) e utilizou-se um durômetro digital Mitutoyo (HR-300) com um penetrador esférico de aço na dimensão de 0,5 polegadas (Figuras 21a). Antes de iniciar os ensaios, utilizou-se um paquímetro para a determinação dos locais de penetração, sendo eles marcados a uma distância de 8 mm do centro do diâmetro para as bordas, e 8 mm de centro a centro do diâmetro entre as marcações. Após as marcações, ajustou-se as cargas de ensaios no equipamento e posicionou-se o corpo de prova individualmente e horizontalmente no equipamento, em seguida aplicou-se uma pré-carga de 10 kgf (Menor carga), e posteriormente aplicou-se uma carga de 60 kgf (Maior carga) (Figuras 21b e 21c). Depois do tempo de ensaio, o equipamento forneceu o resultado de dureza em HR na escala R de dureza. No total foram realizadas 8 penetrações em cada amostra ensaiada.

Figura 21 – Realização dos ensaios de resistência à dureza Rockwell R: Penetrador esférico de aço na dimensão de 0,5 polegadas utilizado nos ensaios (a); Aplicação da pré-carga no corpo de prova (b); Realização dos ensaios em um durômetro digital Mitutoyo (HR-300) (c).



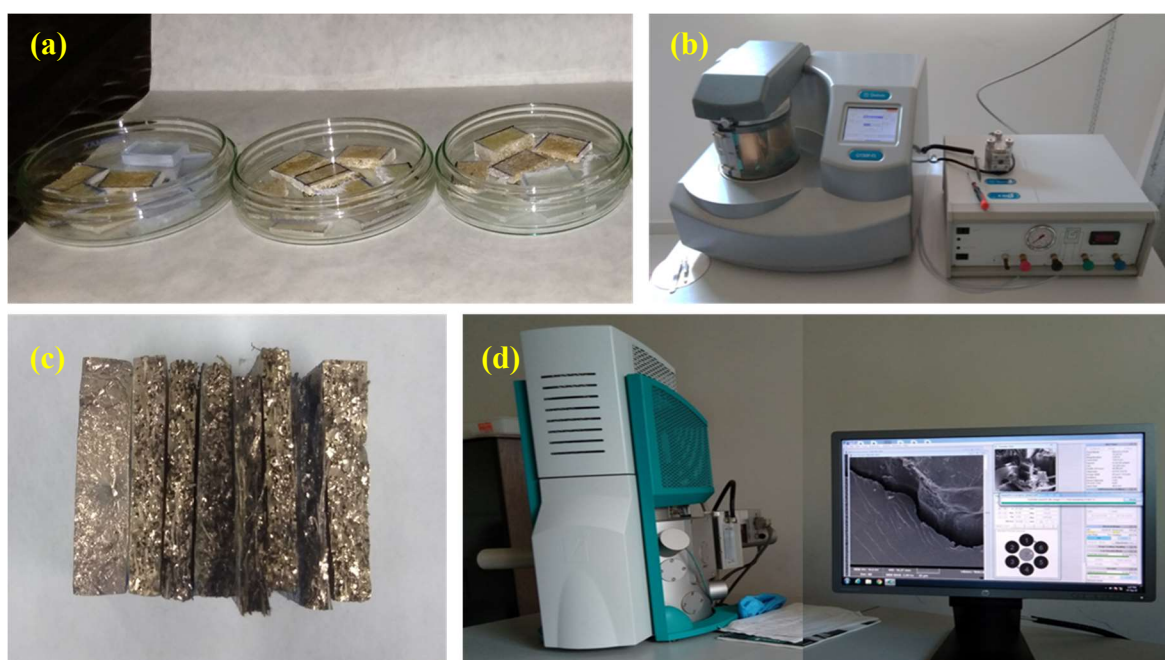
Fonte: Autoria própria, 2021.

4.6. Caracterização da região de fratura por MEV

Após a realização dos ensaios de resistência à tração, selecionou-se dois corpos de prova de cada tratamento e com a utilização de um disco de corte feito de aço rápido acoplado a um eixo flexível ligado a uma Micro Retífica HAMMER-GYMI150, cortou-se a região de fratura para serem analisadas. Seguidamente as amostras foram colocadas em placas de Petri e levadas para uma estufa de secagem e esterilização com circulação forçada de ar durante 24 horas a uma temperatura de 50 ± 2 °C para perda de umidade (Figura 22a).

Em virtude de as amostras não serem condutoras de elétrons, antes da realização da microscopia, as mesmas foram fixadas em um porta amostra metálico e colocadas por 8 minutos em um metalizador Q150R ES (Quorum Technologies) (Figura 22b), onde foi aplicado uma fina camada de ouro com espessura de 9 nm na região de fratura (Figura 22c). Após metalização, as amostras foram inseridas em uma câmara dentro do Microscópio Eletrônico de Varredura (TESCAN VEGA 3 LMU) e em seguida foi regulada a tensão para 10.0 KV. Posteriormente foi aplicado um vácuo e após um tempo de 10 minutos, iniciou-se a captura das imagens na região de fratura do material (Figura 22d). As imagens foram capturadas seguindo como padrão uma aproximação de 150x, com exceção do tratamento híbrido que a melhor imagem foi obtida a uma aproximação de 90x.

Figura 22 – Etapas de preparo das amostras e realização da Microscopia Eletrônica de Varredura: Secagem das amostras em estufa à 50 ± 2 °C (a); Realização do processo de metalização das amostras (b); Amostras metalizadas (c); Realização da Microscopia Eletrônica de Varredura (d).



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.7. Delineamento experimental

Aplicou-se um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 4 tratamentos e 2 repetições. Ao todo, foram confeccionados 8 painéis nas dimensões 400 mm X 260 mm X 4 mm (Comprimento X Largura X Espessura), sendo dois painéis para cada tratamento avaliado. Seguindo os parâmetros para validação dos ensaios, foi retirado de cada painel uma quantidade de corpos de prova estabelecido pelas normas utilizadas.

Os dados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos foram organizados em planilhas do software Excel, e posteriormente foi realizado um teste de Shapiro-Wilk para verificação de normalização dos dados (software XrealStats). Depois realizou-se um teste de Análise de Variância (ANOVA) e seguidamente comparação de médias de Tukey (95% de confiança) (software Sisvar). Após as análises, os resultados foram expostos na forma de gráficos.

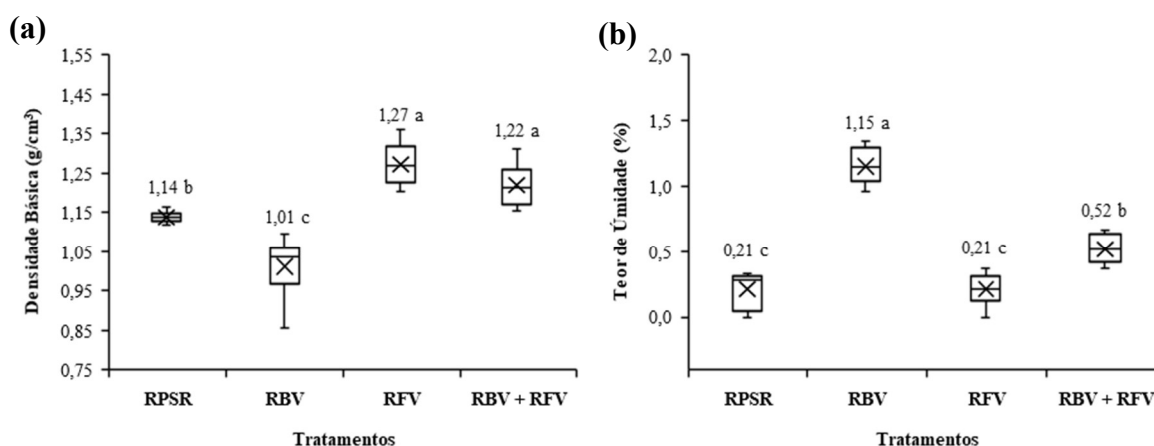
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Densidade e teor de umidade

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de densidade básica, mostraram que o compósito reforçado com as fibras de vidro (RFV) foi o que apresentou o maior valor, sendo $1,27 \text{ g/cm}^3$, contudo, esse tratamento não diferiu estatisticamente do compósito híbrido reforçados com a bucha vegetal e fibras de vidro (RBV + RFV). O compósito reforçado com bucha vegetal (RBV) foi o tratamento que apresentou o menor valor de densidade, sendo $1,01 \text{ g/cm}^3$ (Figura 23a). Os maiores valores de densidade básica apresentado pelos compósitos reforçados com as fibras de vidro, em comparação ao reforçado totalmente com a bucha vegetal. Pode ser decorrente da maior densidade das fibras de vidro, que possuem um valor $2,54 \text{ g/cm}^3$ (OLIVEIRA; BECKER; AMICO, 2014), enquanto a bucha vegetal apresenta um valor de $0,92 \text{ g/cm}^3$ (SAEED; IQBAL, 2013).

A baixa densidade apresentada pelas fibras vegetais em relação às fibras sintéticas é uma das propriedades mais vantajosas do material. A aplicação dessas fibras de baixa densidade na fabricação de compósitos, além de proporcionar uma redução no consumo de combustível em aplicações automotivas, também introduz um material biodegradável para o crescimento sustentável do meio ambiente (PAPPU; PICKERING; THAKUR, 2019). Essas fibras vegetais são neutras em carbono e ecologicamente corretas, e por serem à base de celulose, apresentam uma baixa densidade, fator esse que gera uma redução de peso na fabricação dos compósitos e ainda proporciona vantagens diretas no transporte (SHEKAR; RAMACHANDRA, 2018).

Figura 23 – Densidade básica (a) e teor de umidade (b) dos tratamentos avaliados.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os ensaios para determinação dos teores de umidade, mostraram que a resina poliéster (RPSR) e o compósito (RFV) apresentaram o menor valor para absorção de umidade, sendo 0,21%. Já o compósito (RBV) foi o tratamento que apresentou a maior absorção entre os avaliados, sendo o valor de 1,15% (Figura 23b). A partir dos resultados, verifica-se que a adição da bucha vegetal como reforço, proporciona um aumento na propriedade de absorção dos compósitos. As características químicas dos constituintes que compõe a bucha vegetal é um fator que pode contribuir diretamente para o aumento no valor do teor de umidade dos compósitos reforçados com esse material natural.

A maior porcentagem para o teor de umidade dos tratamentos com reforço da bucha vegetal, pode ser explicado através dos estudos realizados por Hamdan et al. (2019), que ao utilizar tecidos de fibras naturais de juta, rami e roselle na fabricação de compósitos, percebeu que o maior teor de celulose e hemicelulose gerava um aumento na porcentagem de hidroxila (-OH) e de grupos acetil (C_2H_3O) que são os principais responsáveis pelo aumento da absorção de umidade.

As hemiceluloses, as frações de celulose amorfa, lignina e a superfície da celulose cristalina presente nos materiais lignocelulósicos são os principais responsáveis pela absorção de umidade. A parede celular desses materiais contém grupos hidroxila e outros grupos contendo oxigênio, que interagem com a água formando pontes hidrogênio, e assim favorecem a absorção de umidade (CARASCHI; RAMOS; LEÃO, 2002).

As fibras lignocelulósicas tem como característica uma baixa resistência à absorção de umidade, e quando são aplicadas como reforço em compósitos, essas características são passadas para o material final, que por sua vez apresentam efeitos indesejáveis na estabilidade dimensional e nas propriedades mecânicas (SANJEEVI et al., 2021).

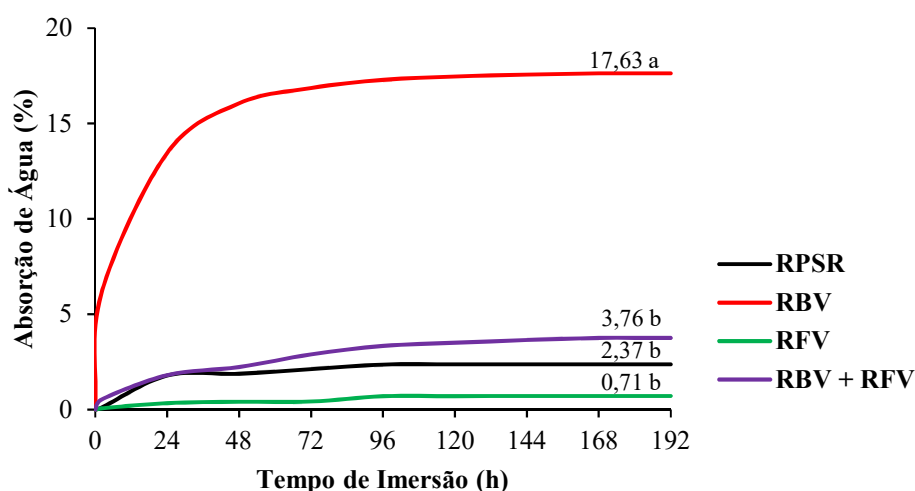
5.2. Absorção de água e inchamento em espessura

Através dos resultados apresentados no gráfico das curvas de absorção de água x tempo de imersão (Figura 24), verifica-se que os tratamentos (RPSR), (RFV) e (RBV + FRV) são estatisticamente semelhantes, e apresentaram os menores valores para absorção de água. Já o maior valor de absorção de água foi apresentado pelo compósito (RBV), sendo 17,63% (Figura 24). A partir dos resultados, verificou-se que a adição da bucha vegetal proporcionou um aumento na propriedade de absorção de água do compósito (RBV), mas não aumentou significativamente a absorção do compósito híbrido (RBV + FRV). Esse comportamento pode

ser decorrente do reforço da bucha estar na camada central do compósito, entre duas camadas de fibras sintéticas de vidro.

Analisando o comportamento das curvas e absorção de água x tempo de imersão até tornarem-se constantes. Verificou-se que o tratamento (RPSR) atingiu a estabilidade em um menor período de tempo (120 horas), seguido pelo tratamento (RFV) (144 horas) e os tratamentos (RBV) e (RBV + RFV) que levou um maior período tempo (168 horas) (Figura 24).

Figura 24 – Gráfico das curvas de absorção de água x tempo de imersão.



Fonte: Autoria própria, 2021.

A maior porcentagem de absorção de água apresentado no tratamento com bucha vegetal (RBV), pode ser explicado de acordo com os estudos realizados por Paula, Trianoski e Azevedo (2020), ao avaliarem compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais de sisal, verificaram que a absorção pode estar diretamente ligada a presença de espaços vazios dentro dos compósitos com maior quantidade de fibras. Já em suas pesquisas com materiais compósitos reforçados com fibras da *Luffa*, Bera et al. (2019), expõem que a natureza hidrofílica da *Luffa*, a baixa adesão fibra / matriz e os espaços vazios são responsáveis por esse comportamento devido a composição da *Luffa* conter um grupo (-OH) livre na celulose, que ocasiona ligações de hidrogênio com a molécula da água.

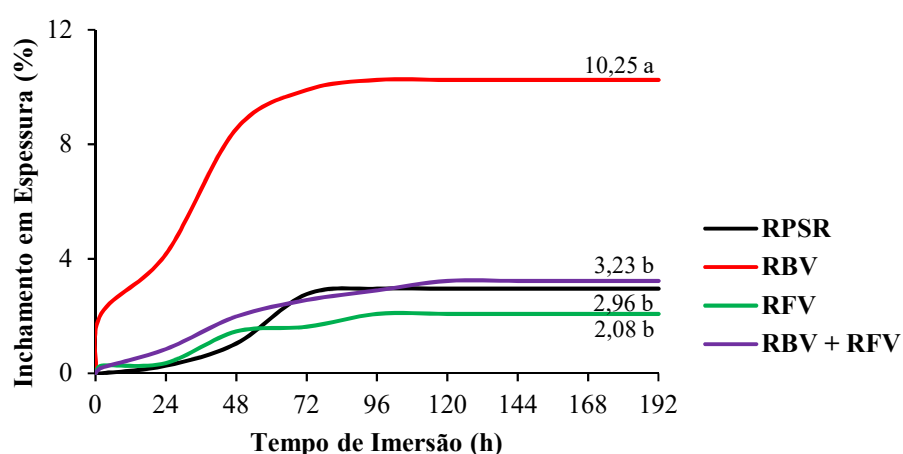
O baixo valor de absorção apresentado pelo compósito híbrido (RBV + RFV), pode ser explicado de acordo com as pesquisas de Da Silva et al (2008), que ao avaliarem materiais compósitos poliméricos híbridos (Fibra de vidro / Curauá), e verificaram que este

comportamento está relacionado a fatores como o bom desempenho da configuração adotada, e a simetria quanto a distribuição das camadas. Ainda segundo Da Silva et al (2008), as fibras de vidro nas camadas externas atuam como uma barreira protegendo as fibras de carauá da ação da água.

Para o inchamento em espessura dos materiais ensaiados, verificou-se, que assim como na absorção de água, os tratamentos (RPSR), (RFV) e (RBV + RFV) são estatisticamente semelhantes e também apresentaram os menores valores de inchamento em espessura. O padrão também seguiu para o tratamento (RBV), onde o mesmo apresentou o maior valor de inchamento, sendo 10,25% (Figura 25). Diante dos resultados obtidos para os tratamentos analisados, verificou-se que o reforço da bucha vegetal além de proporcionar um aumento na porcentagem de absorção de água do compósito (RBV), também influencia diretamente no aumento da porcentagem de inchamento em espessura do mesmo.

Analisando o comportamento das curvas e inchamento em espessura x tempo de imersão até tornarem-se constantes. Verificou-se que os tratamentos (RPSR), (RBV) e (RFV) foram os primeiros a atingiram a estabilidade (96 horas). Já o tratamento (RBV + RFV) atingiu a estabilidade em um maior período de tempo (120 horas) (Figura 25).

Figura 25 – Gráfico das curvas de inchamento em espessura x tempo de imersão.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Resultante da absorção de água, o aumento em espessura é decorrente da alta porosidade e da presença de espaços vazios nas superfícies dos compósitos, fatores esses que causam mudanças na estabilidade dimensional do material (THIAGAMANI et al., 2019). A bucha vegetal apresenta em sua composição 19,4% de hemicelulose, 11,2% de lignina, 63,0% de

celulose com um índice de 43,0% de cristalinidade e 57,0% amorfa (TANOBE et al, 2005; QUERIDO, 2018). A presença desses elementos na composição da bucha são fatores que favorecem a absorção de água e consequentemente o inchamento em espessura do material compósito.

Em sua pesquisa avaliando um compósito polimérico reforçado com fibra vegetal de juta, Masoodi e Pillai (2012), expõem que o aumento na espessura dos compósitos reforçados com fibras vegetais também é proveniente da absorção de água causado pela afinidade da molécula de celulose, que ao apresentar um grupo polar, atrai as moléculas de água através de ligações de hidrogênio. E esse fator ocasiona o acúmulo de umidade na parede celular das fibras vegetais, causando assim o inchamento (MASOODI; PILLAI, 2012).

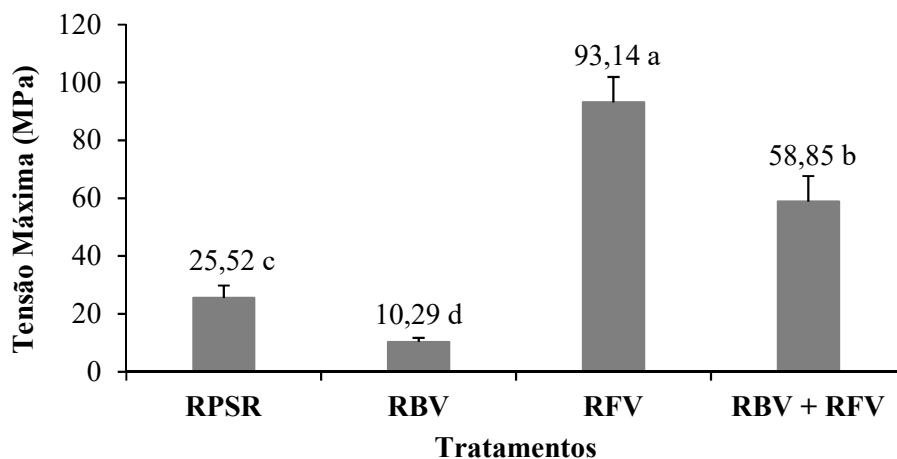
Apesar dos compósitos reforçados com as fibras da bucha vegetal apresentarem uma maior tendência a absorção de água e ao inchamento em espessura, é possível diminuir esse comportamento. De acordo com Santos et al. (2010), a adição de agentes de acoplamento junto ao material pode favorecer aspectos relacionados à absorção de umidade, pois, esses agentes reduzem a absorção de água interagindo com os grupos hidrofílicos da superfície das fibras, diminuindo os espaços vazios nas interfaces.

5.3. Resistência à tração

Os ensaios de resistência à tração para os tratamentos estudados, mostraram que o compósito (RFV) apresentou o maior valor de resistência à tração, com uma tensão máxima de 93,14 MPa. Já o compósito (RBV) foi o que apresentou o menor valor, sendo 10,29 MPa (Figura 26). Os resultados mostram que a adição do reforço de bucha vegetal na fabricação do compósito polimérico (RBV) proporciona uma menor resistência à tração, quando comparado ao tratamento sem reforço (RPSR) e aos compósitos (RFV) e (RBV + RFV). A adição do reforço da bucha vegetal na formação do compósito híbrido (RBV + RFV) também gerou uma diminuição na propriedade de resistência à tração, quando comparado ao compósito sintético (RFV), mas apresentou um valor maior em comparação ao tratamento sem reforço (RPSR) (Figura 26).

As diferenças entre as propriedades mecânicas de tração dos compósitos reforçados com fibras naturais e fibras sintética, estão atreladas as variáveis presentes em cada reforço. De acordo com Begum, Fawzia e Hashmi (2020), as propriedades das fibras naturais dependem da região da fibra, do diâmetro e dos seus constituintes, tais como a celulose, e devido essas características serem variáveis, tornam as propriedades dos compósitos também variáveis.

Figura 26 – Gráfico das tensões máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de tração.



Fonte: Autoria própria, 2021.

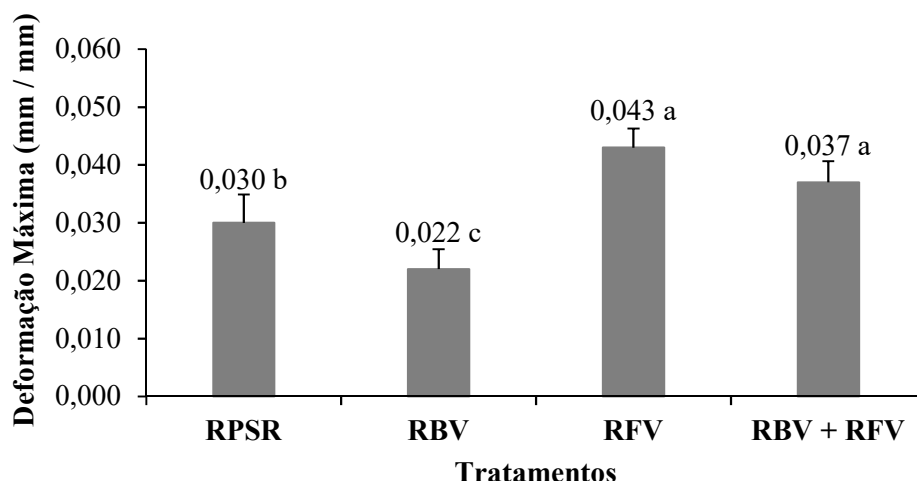
Segundo Benkhelladi, Laouici e Bouchoucha (2020), as propriedades de resistência à tração de um material compósito dependem de fatores como a resistência e orientação das fibras, das cargas, do módulo, comprimento e da ligação interfacial entre a fibra e a matriz. Para Farias et al. (2019), outro fator que influencia diretamente nas propriedades mecânicas de tração, é o processo de fabricação manual (*lay-up*), pois o mesmo proporciona uma maior quantidade de bolhas e espaços vazios no material fabricado.

A bucha vegetal é um material natural que apresenta uma porcentagem de 3,2% de extrativos (ceras, óleos e resinas) (TANOBE et al, 2005). A presença desses constituintes também é um fator que pode causar uma baixa aderência na região (fibra / matriz), e assim reduzir a resistência dos compósitos reforçados com a bucha. Segundo Marinelli et al. (2008), a presença de resíduos na superfície das fibras causa a diminuição da adesão quando essas fibras são empregadas como reforço em compósitos ou laminados.

Para a análise da deformação dos tratamentos estudados, verificou-se que o compósito (RFV) apresentou o maior valor de deformação, sendo 0,043 mm/mm, contudo, esse tratamento não diferiu estatisticamente do compósito híbrido (RBV + RFV). Já o menor valor foi apresentado pelo compósito (RBV), com deformação de 0,022 mm/mm (Figura 27). Esses resultados mostram que a adição do reforço da bucha vegetal na fabricação do compósito (RBV) promover uma diminuição da deformação, quando comparado ao tratamento sem reforço (RPSR) e aos compósitos (RFV) e (RBV + RFV). Porém, quando adicionada na formação do

compósito híbrido (RBV + RFV), a bucha não promoveu uma diminuição estatisticamente significativa de deformação, em relação compósito sintético (RFV) (Figura 27).

Figura 27 – Gráfico das deformações máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de tração.



Fonte: Autoria própria, 2021.

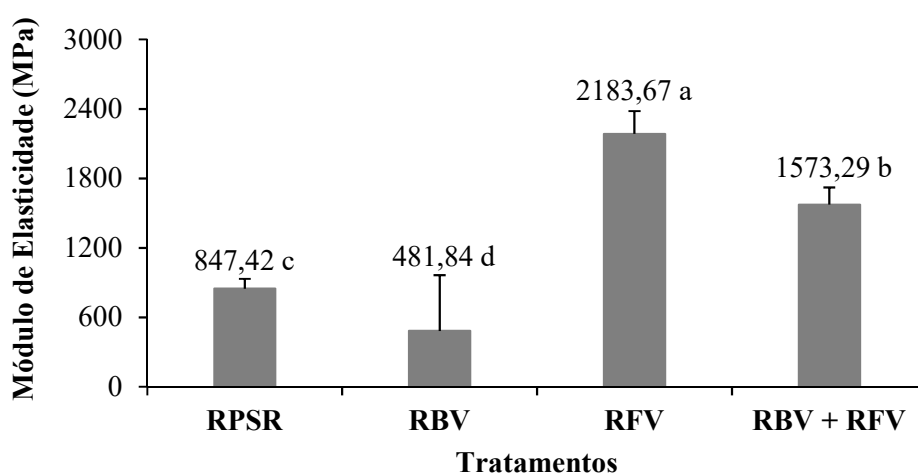
A baixa deformação apresentada pelo tratamento (RBV), pode ser resultante da quantidade de reforço natural da bucha utilizada na confecção desse compósito. Ao avaliarem durante ensaios de tração, o comportamento de deformação do compósito polimérico reforçado com fibras de coco até tensão máxima, os pesquisadores Wearn, Montagna e Passador (2020), verificaram que a adição da fibra proporcionava uma redução na ductilidade do material, fator esse, decorrente de uma maior quantidade de reforço dispersos pela matriz polimérica.

A deformação de um material é uma propriedade muito importante, pois o conhecimento de resposta à deformação pode gerar dados capazes de monitorar a saúde estrutural dos materiais compósitos e assim proporcionar uma maior segurança na prevenção de acidentes, permitir um aumento ou uma diminuição no ciclo de trabalho, verificar a necessidade da diminuição das quantidades de materiais, e assim promover compostos estruturais mais econômicos e leves (RIFAIE-GRAHAM et al., 2018).

Quanto ao módulo de elasticidade dos tratamentos avaliados, verificou-se que o compósito (RFV) apresentou o maior valor, sendo 2183,67 MPa. Já o menor valor de módulo foi apresentado pelo compósito (RBV), sendo 481,84 MPa (Figura 28). Esses resultados mostram que assim como na tensão máxima, a adição da bucha vegetal também proporciona uma diminuição na rigidez do compósito (RBV), em comparação ao tratamento sem reforço

(RPSR) e aos compósitos (RFV) e (RBV + RFV). Quando utilizadas na formação do compósito híbrido (RBV + RFV), a bucha também promoveu uma diminuição de rigidez em relação ao compósito sintético (RFV), mas apresentou um valor maior que o tratamento sem reforço (RPSR) (Figura 28).

Figura 28 – Gráfico dos módulos de elasticidade dos tratamentos avaliados durante os ensaios de tração.



Fonte: Autoria própria, 2021.

No desenvolvimento de pesquisas com materiais compósitos poliméricos reforçado com fibras de vidro e curauá, Almeida et al. (2013) percebeu que a resistência dos compósitos reforçados com fibras de vidro apresentava uma maior resistência a tração e um maior módulo de elasticidade quando comparados aos compósitos reforçados somente com fibras vegetais curauá, concluindo assim, que esse comportamento é devido as fibras de vidro apresentarem uma maior resistência, rigidez e melhor adesão com a resina poliéster.

O maior valor de rigidez apresentado pelo compósito (RBV + RFV) em comparação ao tratamento sem reforço (RPSR) e ao compósito (RBV), é decorrente da hibridização utilizada na fabricação. O processo de hibridização na confecção dos materiais compósitos poliméricos, proporciona melhores propriedades mecânicas de resistência à tração e módulo de elasticidade, quando comparados aos compósitos inteiramente reforçados com fibras naturais. Essas propriedades não estão relacionadas somente à composição química da fibra, mas também a sua estrutura interna (anatomia da fibra) (PEREIRA et al., 2020).

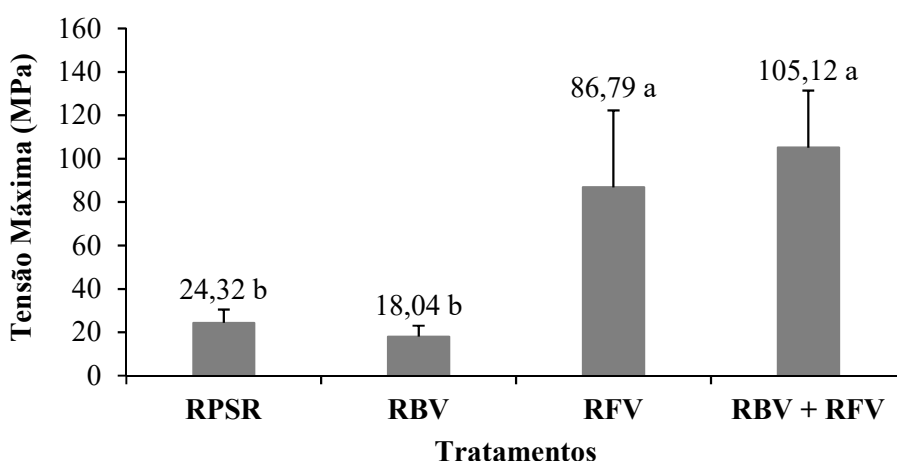
O conhecimento sobre a estrutura interna (anatomia) das fibras lignocelulósicas é muito importante, pois fornece informações como: a rugosidade, tamanho de poros (vasos) e

comprimento das fibras. Esses fatores estão diretamente ligados a capacidade de adesão na região de interface (fibra / matriz polimérica), e também na capacidade de homogeneização, e consequentemente nas propriedades mecânicas do compósito (MARINELLI et al., 2008).

5.4. Resistência à flexão

Os ensaios de resistência à flexão para os tratamentos avaliados, mostraram que o compósito (RBV + RFV) apresentou o maior valor de tensão máxima, sendo 105,12 MPa, contudo, esse tratamento não diferiu estatisticamente do compósito sintético (RFV). O compósito (RBV) foi o que apontou o menor valor tensão máxima, sendo 18,04 MPa, no entanto, não apresentou uma diferença estatisticamente significativa em relação ao tratamento (RPSR) (Figura 29). Os tratamentos contendo o reforço da bucha vegetal apresentaram bons resultados quando submetidos esforços de flexão, pois é possível verificar que a adição da bucha vegetal não reduziu a resistência do compósito híbrido (RBV + RFV) em relação ao compósito sintético (RFV). E a adição do reforço de bucha vegetal na formação do compósito (RBV) também não reduziu significativamente a propriedade de resistência à flexão do material, quando comparado a resina poliéster sem reforço (RPSR).

Figura 29 – Gráfico das tensões máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de flexão.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O valor de resistência à flexão apresentado pelo compósito híbrido (RBV + RFV), pode ser decorrente do reforço de bucha vegetal está localizado na camada central do compósito,

entre duas camadas de fibra de vidro. Em compósitos híbridos, os tipos de fibras utilizadas e a sequência de empilhamento influenciam diretamente nas propriedades de resistência à flexão. O uso de fibras mais fortes nas partes externas proporciona uma maior resistência e um maior módulo de elasticidade aos compósitos, pois nessas regiões as fibras estão submetidas a esforços de deformação mais significativos do que nas camadas de fibras nas partes internas (KRISHNASAMY et al, 2019).

O comportamento durante os testes de flexão apresentado pelos materiais compósitos contendo a bucha vegetal, mostraram um potencial dessa fibra para utilização como reforço em compósitos poliméricos com resina poliéster, e também para utilização na formação compósitos poliméricos híbridos com fibras de vidro. De acordo com Ravishankar, Nayak e Kader (2019), a utilização de fibras naturais apresenta algumas vantagens sobre as fibras sintéticas e minerais, tais como a baixa densidade, não toxicidade, renovável, não abrasiva, alta resistência específica, módulo específico e facilidade de processamento.

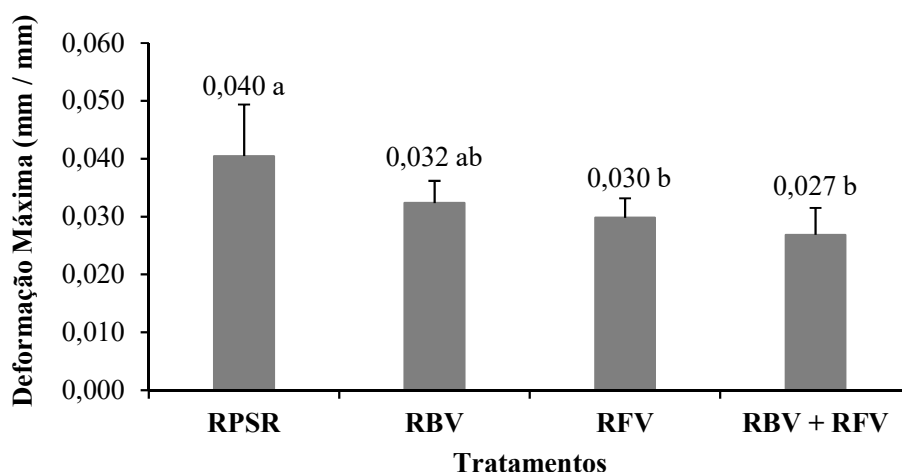
De acordo com Ouarhim et al. (2020), a utilização de dois tipos de fibras (natural / sintética) em uma matriz polimérica permite a obtenção de um compósito mais ecologicamente correto e também com boas propriedades mecânicas, pois a combinação de fibras naturais e sintéticas ocasiona a diminuição do peso dos materiais compósitos, quando comparados com materiais compósitos inteiramente sintéticos.

Analizando os resultados para a deformação dos materiais estudados, verificou-se que o tratamento (RPSR) foi o que apresentou o maior valor para deformação máxima, sendo 0,040 mm/mm. O compósito híbrido (RBV + RFV) foi o tratamento que apresentou o menor valor, sendo 0,027 mm/mm, não diferindo estatisticamente do valor apresentado pelo compósito sintético (RFV). Já o compósito (RBV) apresentou um valor de 0,032 mm/mm para deformação máxima, ficando em uma faixa entre os tratamentos (RPSR) e (RFV) (Figura 30). A partir dos resultados apresentados, verificou-se que a adição de ambos os tipos reforços promove uma diminuição na deformação dos compósitos submetidos a esforços de flexão, contudo, a maior redução é causada quando o reforço pelo híbrido.

A diminuição no valor de deformação durante a flexão em virtude da adição dos reforços de bucha vegetal e fibras de vidro, pode ser explicado de acordo com as pesquisas de Paula (2011), que estudando compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais do bagaço da cana de açúcar, constatou que o alongamento dos compósitos diminuía com o aumento no teor de fibras, quando comparado a matriz de PP sem reforço. Essa diminuição é um fator decorrente do aumento de rigidez e da diminuição de mobilidade das cadeias poliméricas, que acabam

resultando na diminuição da capacidade da matriz de se deformar plasticamente (PAULA, 2011).

Figura 30 – Gráfico das deformações máximas de ruptura dos tratamentos avaliados durante os ensaios de flexão.



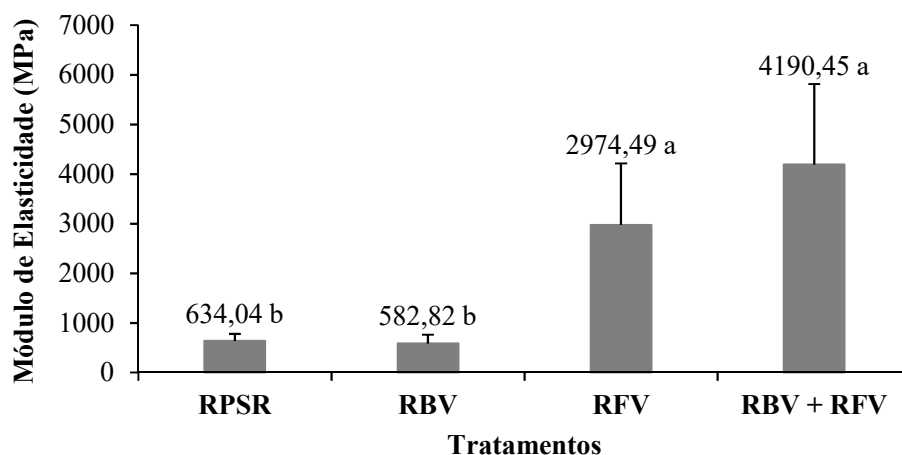
Fonte: Autoria própria, 2021.

Para os resultados de módulos de elasticidade dos tratamentos analisados, observou-se que o compósito híbrido (RBV + RFV) foi o tratamento que apresentou o maior valor para o módulo de elasticidade, sendo 4190,45 MPa, não diferindo estatisticamente do valor apresentado pelo compósito (RFV). Já o compósito (RBV), foi o que apresentou o menor valor, sendo 582,82 MPa. No entanto, não apresentou uma diferença estatisticamente significativa em relação ao tratamento (RPSR) (Figura 31). Os tratamentos reforçados com a bucha vegetal apresentaram bons resultados de rigidez quando submetidos aos esforços de flexão. Pois a utilização da bucha não reduziu módulo de elasticidade do compósito (RBV + RFV), em relação ao compósito sintético (RFV). E também não reduziu significativamente o módulo de elasticidade do compósito (RBV), quando comparado a resina poliéster sem reforço (RPSR).

A rigidez apresentada pelos materiais compósitos, podem está diretamente ligadas a quantidade de fibras da bucha vegetal e fibras de vidro utilizadas como reforço. Um comportamento semelhante foi apontado nos estudos realizados com materiais compósitos poliméricos reforçados fibras de bananeira, em que os pesquisadores Kusić et al. (2020) verificaram a ocorrência de um aumento no módulo de elásticidade com o aumento do teor de fibras de banana. Já os pesquisadores Neto, Carvalho e Araújo (2007), verificaram que a incorporação das fibras de juta à matriz polimérica resultava no aumento do módulo de

elasticidade, associando esse fator as diferentes propriedades mecânicas presentes na matriz polimérica e nas fibras.

Figura 31 – Gráfico dos módulos de elasticidade dos tratamentos avaliados durante os ensaios de flexão.



Fonte: Autoria própria, 2021.

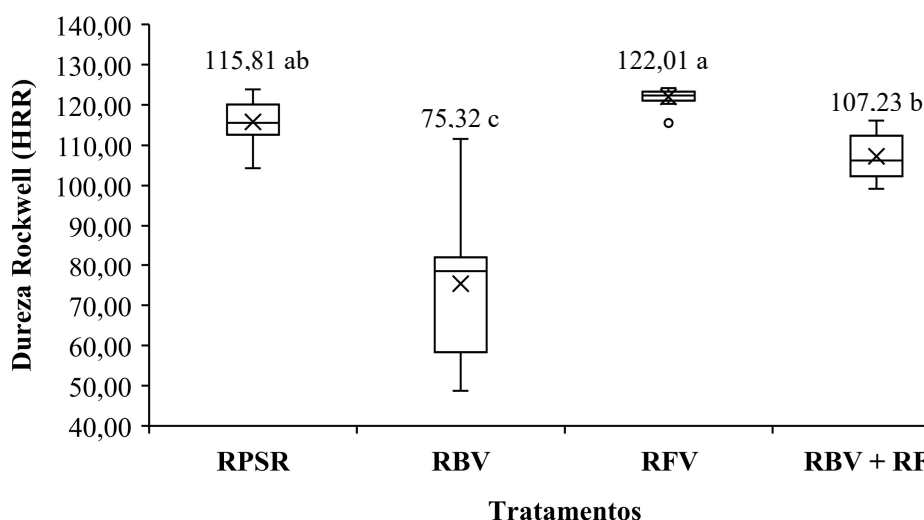
5.5. Dureza Rockwell

O teste para a determinação da dureza Rockwell é considerado um dos métodos mais simples, e pode ser aplicado a todos os tipos de materiais com diferentes espessuras (RAJ; YOGANANDAM; VICTOR, 2020). Os resultados obtidos a partir dos ensaios de dureza Rockwell R, mostraram que o compósito (RFV) foi o que apresentou o maior valor de dureza entre os analisados, sendo 122,01 HRR. Já o menor valor foi apresentado pelo compósito (RBV), sendo 75,32 HRR (Figura 32). Diante disso, verificou-se que a adição do reforço de fibra de vidro proporciona um aumento na dureza no compósito (RFV), enquanto a adição do reforço da bucha vegetal promove uma diminuição dessa propriedade nos compósitos (RBV) e (RBV + RFV). Essa diminuição de dureza ocasionada pela adição da bucha vegetal, pode ser resultante da quantidade do reforço da bucha vegetal utilizada nos compósitos, e também da baixa aderência entre o reforço da bucha vegetal e a matriz de poliéster.

Os pesquisadores Madnasri, Astika e Maworto (2020), encontraram um comportamento semelhante para dureza Rockwell em compósitos reforçados com diferentes frações volumétricas de fibras de casca noz de bétule, fibra da folha do abacaxi e fibras de coco, em que a partir das análises, verificaram que o aumento do volume de fibra natural é inversamente

proporcional ao valor de dureza do material compósito. Já Kenned et al. (2019), no desenvolvimento de pesquisas em compostos reforçados com resina poliéster e fibras de bananeira, percebeu que o aumento na porcentagem de fibras proporcionava uma diminuição da dureza, devido a baixa aderência entre a fibra e a matriz.

Figura 32 – Resultados obtidos nos ensaios de dureza Rockwell R para os tratamentos avaliados.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Ainda que o compósito (RBV) tenha apresentado um valor de dureza Rockwell R menor que os tratamentos (RPSR), (RFV) e (RBV + RFV), quando comparado com os valores de dureza Rockwell R do polipropileno sem reforço (58.90 ± 6.37) e polipropileno / fibra de vidro (68.93 ± 4.46) determinados por Nikmatin et al. (2017), verifica-se que o compósito reforçado com a bucha vegetal apresentar valores maiores.

Em seus estudos utilizando compósitos híbridos reforçados com fibras da *Luffa* e carbono, Ashok et al. (2020) verificou que o aumento da dureza Rockwell pode ser decorrente do maior volume de fibras sintéticas de carbono junto as fibras da *Luffa*, fator esse que proporciona um aumento na rigidez dos compósitos e consequentemente contribui para maiores valores de dureza.

5.6. Caracterização da região de fratura por MEV

A imagem obtida na região de fratura do tratamento (RPSR), mostraram regiões características de deformações plásticas, como também a presença de fissuras e espaços vazios

na microestrutura do material (Figura 33a). Esses defeitos são comuns em resinas poliméricas, e sua presença pode ter influenciado diretamente nas propriedades de absorção de água, inchamento em espessura, resistência à tração, resistência à flexão e na dureza da matriz de poliéster. O processo de fabricação é um fator que provavelmente tenha ocasionado o surgimento dessas avarias nos painéis confeccionados.

A matriz polimérica é a principal responsável pela transferência de tensão uniforme, e os espaços vazios de ar presente dentro da resina são uma das principais causas para a redução da resistência do material com reforço e sem reforço (GOPINATH, SENTHIÇKUMAR; BABU, 2018).

O compósito referente ao tratamento (RBV), apresentou na imagem microscópica da região de fratura alguns elementos como: arrancamento e rasgamento das fibras de bucha vegetal, presença de impurezas nas fibras, fissuras na matriz de poliéster, além de regiões de baixa aderência fibra / matriz e espaços vazios na parte interna das fibras da bucha (Figura 33b). Durante os ensaios realizados para a caracterização do compósito (RBV), esses fatores provavelmente influenciaram negativamente nas propriedades físicas e mecânicas.

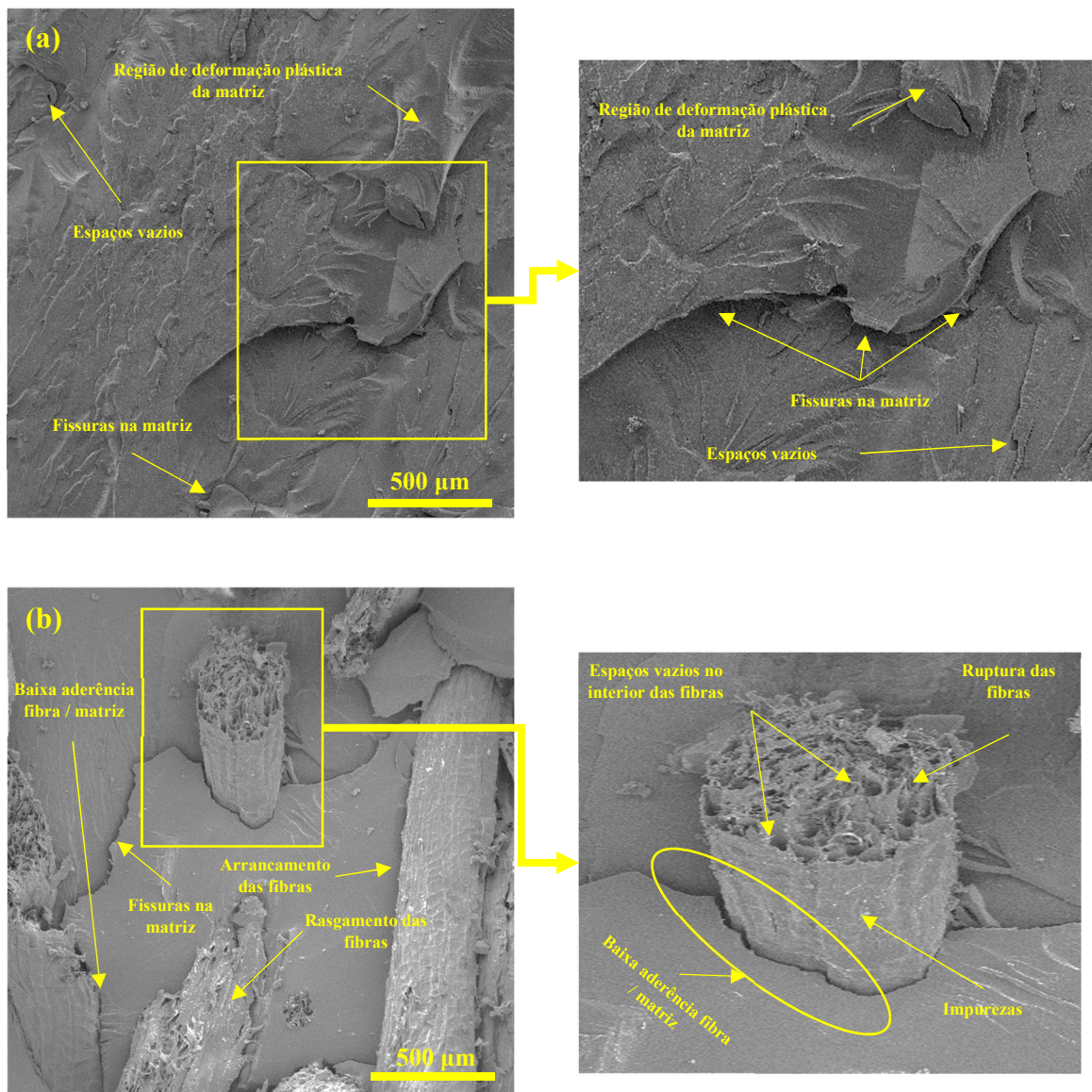
O compósito sintético (RFV), apresentou na imagem microscópica da região de fratura, elementos como: arrancamento e rompimento das fibras de vidro, espaços vazios e fissuras presentes na matriz de poliéster, além de regiões tanto com alta quanto com baixa aderência fibra / matriz (Figura 33c). Apesar das avarias apontadas na microscopia, o compósito sintético (RFV) apresentou regiões de alta aderência que explicam o bom desempenho nos ensaios físicos e mecânicos.

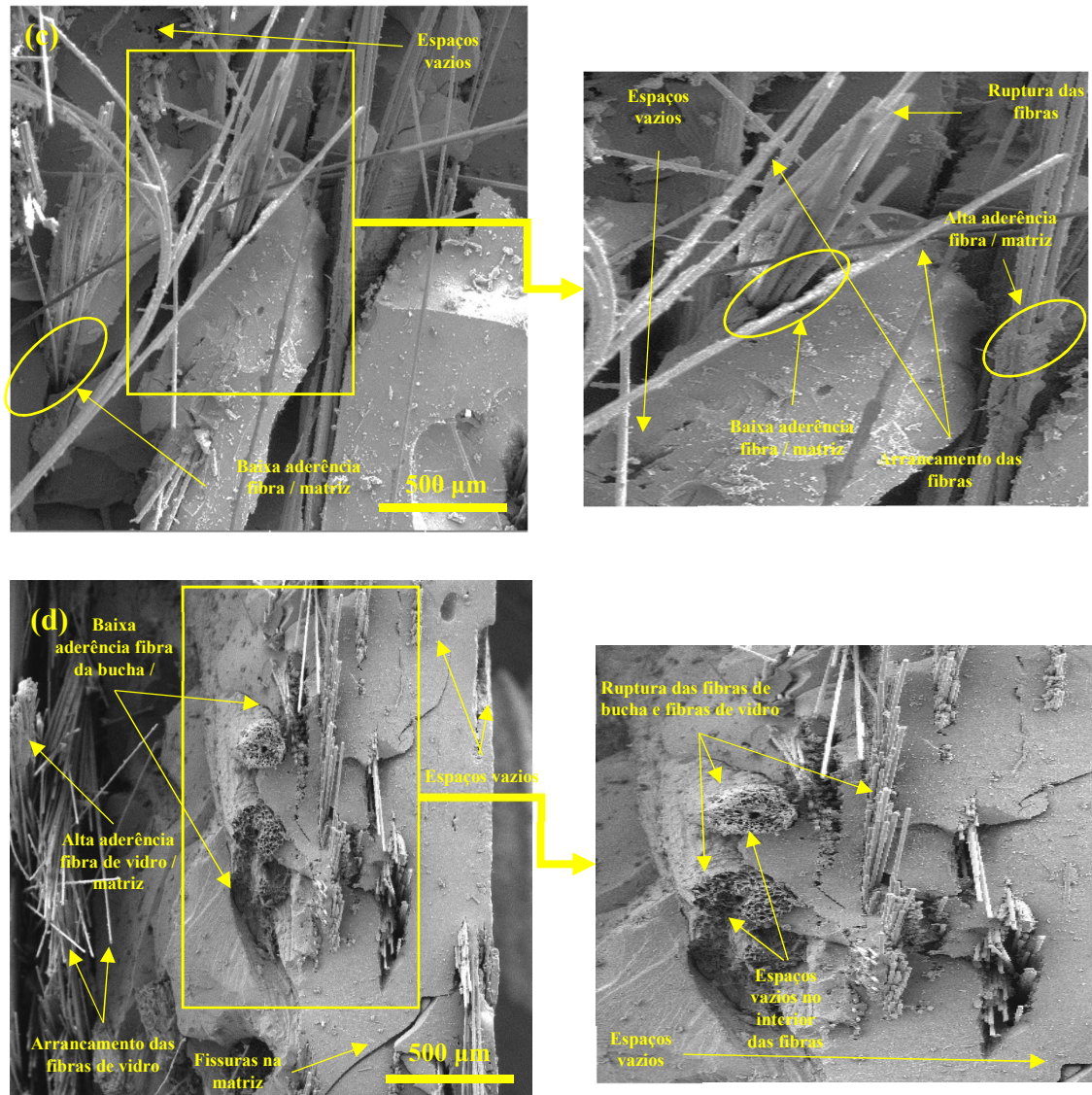
Os compósito híbridos (RBV + RFV), apresentou na imagem microscópica da região de fratura algumas características semelhantes aos tratamentos (RBV) e (RFV), tais como: arrancamento das fibras de vidro, rompimento das fibras de vidro e da bucha vegetal, espaços vazios no interior das fibras da bucha vegetal, fissuras e espaços vazios presentes na matriz de poliéster, regiões com baixa aderência entre as fibras de vidro e da bucha vegetal com a matriz de resina poliéster (Figura 33d). O compósito híbrido apontou a presença de avarias, mas também regiões de alta aderência proporcionada pelo reforço da fibra sintética de vidro com a matriz. Essa alta aderência provavelmente influenciou no bom desempenho do compósito durante a realização nos ensaios físicos e mecânicos.

Como não foi realizado nenhum tipo de tratamento físico-químico nas buchas vegetais utilizadas. O arrancamentos das fibras de buchas ocorridas nos compósitos (RBV) e (RBV + RFV) são de acordo com Farias et al. (2019), decorrentes da diferença de polaridade, e também das possíveis substâncias presentes na superfície, tais como ceras, graxas e gomas, que reduzem

a aderência fibra / matriz. Outro fator que ocasiona a fraca aderência é a característica hidrofílica da fibra vegetal, pois, como a maior parte das matrizes são hidrofóbicas, ocorre uma incompatibilidade causando o enfraquecimento na interface do compósito (FOGORASI; BARBU, 2017).

Figura 33 – Imagens microscópica das regiões de fratura: RPSR com aproximação de 150 x (a); RBV com aproximação de 150x (b); RFV com aproximação de 150x (c); RBV + RFV com aproximação de 90x (d).





Fonte: Autoria própria, 2021.

6. CONCLUSÕES

A utilização da bucha vegetal como reforço na formação do compósito polimérico proporcionou uma baixa densidade. Contudo, promoveu um aumento nas porcentagens de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura.

Quanto as propriedades mecânicas do compósito, o reforço da bucha vegetal promoveu uma diminuição na resistência à tração e na dureza. Porém, apresentou um bom resultado de resistência à flexão, não reduzindo de forma significativa as propriedades da matriz de poliéster.

Esse compósito polimérico reforçado com a bucha vegetal, apresenta um potencial para aplicações no desenvolvimento de produtos como: artesanatos, recipiente para armazenamento de materiais sólidos, embalagens, painéis divisórios para ambientes internos e placas de forros para ambientes internos.

Quando usadas para formação de um compósito híbrido com fibras sintéticas de vidro, a bucha não proporcionou uma redução significativa na densidade. No entanto, não apresentou um aumento significativo nas porcentagens de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura.

Quanto as propriedades mecânicas do compósito híbrido, a bucha vegetal promoveu uma resistência à tração e dureza intermediária entre os materiais avaliados. Já quando submetidos a esforços de flexão, o material apresentou um ótimo desempenho com valores superiores ao compósito reforçados com fibras sintéticas de vidro.

Esse compósito polimérico híbrido reforçado com a bucha vegetal e fibras de vidro, apresenta um potencial para aplicações no desenvolvimento de produtos como: artesanatos, recipiente para armazenamento de materiais sólidos, embalagens, painéis divisórios para ambientes internos e externos, e placas de forros para ambientes internos e externos, telhas, encostos para moveis, carenagens hidráulicas, carenagens e componentes internos de veículos.

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) apresenta um potencial interessante para produção de compósitos polimérico e compósitos poliméricos híbridos. Pois, é um material leve, sustentável e biodegradável, e a sua utilização promove a redução dos constituintes sintéticos do compósito. E assim, contribuindo para um menor impacto ambiental após o descarte, ao final da vida útil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALHIJAZI, M.; SAFAEI, B.; ZEESHAN Q.; ASMAEL, M.; EVAZIAN, A.; QIN, Z. Recent developments in luffa natural fiber composites: review. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 18, p. 1–25, 2020.

ALMEIDA, J. H. S.; AMICO, S. C.; BOTELHO, E.C.; AMADO, F. D. R. Hybridization effect on the mechanical properties of curaua/glass fiber composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 55, p. 492–497, 2013.

ASHOK, K. G. KALAICHELVAN, K.; ELANGO, V.; DAMODARAN, A.; GOPINATH, B.; RAJU, M. Mechanical and morphological properties of luffa/carbon fiber reinforced hybrid composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 33, p. 637–641, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3039/D3039M – 14. **Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**. ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2014. DOI: 10.1520/D3039–D3039M–14.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3878. **Standard Terminology for Composite Materials**. ASTM Internacional, West Conshohocken, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D570 – 98. **Standard test method for water absorption of plastics**. ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 1998. DOI: 10.1520/D057098R–18.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D7264/D7264M – 15. **Standard test method for flexural properties of polymer matrix composite materials**. ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2015. DOI: 10.1520/D7264–D7264M–15.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D785 – 08. **Standard test method for rockwell hardness of plastics and electrical insulating materials**. ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2015. DOI: 10.1520/D0785–08R15.

BABU, B. G.; WINSTON, D. P.; BHASKAR, P. V. A.; BASKARAN, R.; NARAYANASAMY, P. Exploration of Electrical, Thermal, and Mechanical Properties of Phaseolus vulgaris Fiber/Unsaturated Polyester Resin Composite Filled with Nano-SiO₂. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 12, p. 2156–2172, 2021.

BEGUM, S.; FAWZIA, S.; HASHMI, M. S. J. Polymer matrix composite with natural and synthetic fibres. **Advances in Materials and Processing Technologies**, v. 6, n. 3, p. 547–564, 2020.

BENKHELLADI, A.; LAOUICI, H.; BOUCHOUCHA, A. Tensile and flexural properties of polymer composites reinforced by flax, jute and sisal fibres. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 108, n. 3, p. 895–916, 2020.

BERA, T.; MOHANTA, N.; PRAKASH, V.; PRADHAN, S.; ACHARA, S. K. . Moisture absorption and thickness swelling behaviour of luffa fibre/epoxy composite. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 38, n. 19–20, p. 923–937, 2019.

BRESSIANI JUNIOR, I.; KEINERT, A. C.; ELLENBERGER, A.; BELINI, U. L. Fibras vegetais e compósitos na indústria automotiva. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 129–138, 2020.

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

CARASCHI, J. C.; RAMOS, U. M.; LEÃO, A. L. Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1609-1614, 2002.

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.

CASTRO, B. F. M. **Estudo e caracterização mecânica de compósitos reforçados com fibras naturais**. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013.

COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais**. 2016. 227 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7601>. Acesso em: 11 set. 2021.

DA SILVA, E. J.; MARQUES, M. L.; VELASCO, F. G.; FORNARI JUNIOR, C. C. M.; LUZARDO, F. H. M. Degradation of coconut fiber immersed in cement and NaOH alkaline solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 981–988, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p981-988.

DA SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. Desenvolvimento de um compósito laminado híbrido com fibras natural e sintética. **Revista Matéria**, v. 13, n. 1, p. 154–161, 2008.

DOS SANTOS, M. C.; SANTANA, G. P.; KIELING, A. C. Compósitos de madeira plástica: considerações gerais. **Scientia Amazonia**, v. 8, n.1. 2019.

DU, Q.; XU, Y.; LI, L.; ZHAO, Y.; GEREZ G.; WINTERHALTER, P. Antioxidant constituents in the fruits of *Luffa cylindrica* (L.) Roem. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 12, p. 4186–4190, 2006.

EICHORN, S J; HEARLE, J W; JAFFE, M; KIKUTANI, T. **Handbook of fibre structure: natural, regenerated, inorganic and specialist fibres**. 2. ed. Elsevier, 2009. 536 p.

FARIA, D. L.; MESQUITA JÚNIOR, L.; MESQUITA, R. G. A.; GUIMARÃES JÚNIOR, M.; PIRES, N. J.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. Production of castor oil-based

polyurethane resin composites reinforced with coconut husk fibres. **Journal of Polymer Research**, v. 27, n. 9, 2020.

FERREIRA, J. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. I.; DE SOUZA, J. R. P. Comparação das resistências mecânicas do compósito resina poliéster/fibra de coco e madeiras brasileiras de usos estruturais. **Engevista**, v. 19, n. 5, p. 1364, 2017. DOI: 10.22409/engevista.v19i5.979.

FERREIRA, M. R. S. **Estudo de painéis sanduíches de poliéster com fibras vegetais para aplicações como forro**. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

FLAMÍNIO, L. N.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia** – 1. ed. – São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

FOGORASI, M. S.; BARBU, I. The potential of natural fibres for automotive sector - review. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 252, n. 1, 2017.

FUQUA, M. A.; HUO, S.; ULVEN, C. A. Natural fiber reinforced composites. **Polymer Reviews**, v. 3, n. 52, p. 259–320, 2012.

GOPINATH, A.; SENTHILKUMAR, M.; BABU, A. Evaluation of Mechanical Properties and Microstructure of Polyester and Epoxy Resin Matrices Reinforced with Jute, E-glass and coconut Fiber. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 9, p. 20092–20103, 2018.

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 77, p. 1-25, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>.

HAMDAN, M. H. M.; SINEGAR, J. P.; CIONITA, T.; JAAFAR, J.; EFRIYHADI, A.; JUNID, R.; KHOLIL, A. Water absorption behaviour on the mechanical properties of woven hybrid reinforced polyester composites. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 104, n. 1–4, p. 1075–1086, 2019.

JAKUBOWSKA, A. K.; BOGACZ, E.; ZIMNIEWSKA, M. Review of natural fibers. Part I-Vegetable Fibers. **Journal of Natural Fibers**, v. 9, n. 3, p. 150–167, 2012.

JAMIR, M. R. M.; MAJID, M. S. A.; KHASRI, A. **Natural lightweight hybrid composites for aircraft structural applications**. Elsevier Ltd, 2018.

KENNED, J. J.; SANKARANARAYANASAMY, K.; BINOJ, J. S.; KUMAR, C. S. Thermo-mechanical and morphological characterization of needle punched non-woven banana fiber reinforced polymer composites. **Composites Science and Technology**, v. 185, p. 107890, 2019.

KERSTING, D. F. **Avaliação de resinas epóxi para a fabricação de materiais compósitos pelo processo de pultrusão**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

KHAN, T.; HAMEED SULTAN, M. T. BIN; ARIFFIN, A. H. The challenges of natural fiber in manufacturing, material selection, and technology application: A review. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 37, n. 11, p. 770–779, 2018.

KOODALINGAM, B.; SENTHILKUMAR, P.; BABU, S. R. Study of mechanical properties of the polymer matrix composite materials using pistachio shells. **Materials Today: Proceedings**, v. 33, n. xxxx, p. 2912–2916, 2020.

KRISHNASAMY, S.; THIAGAMANI, S. M. K.; MUTHUKUMAR, C.; TENGSUTHIWAT, J. T.; NAGARAJAN, R.; SIENGCHIN, S.; ISMAIL, S. O.; BRINTHA, N. C. Effects of stacking sequences on static, dynamic mechanical and thermal properties of completely biodegradable green epoxy hybrid composites. **Materials Research Express**, v. 6, n. 10, 2019.

KUSIĆ, D.; BOZIC, U.; MONZÓN, M.; PAZ, R.; BORDÓN, P. Thermal and mechanical characterization of banana fiber reinforced composites for its application in injection molding. **Materials**, v. 13, n. 16, 2020.

LEÃO, M. A. **Fibras de Licuri: um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15549/1/MirtaniaAL.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

LIMA, C. J. **Potencial de produção de néctar de (*Luffa cylindrica* Roemer) em cultivo convencional na cidade de Sousa-PB**. 2014. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB, 2014.

LOUREIRO, N. C.; ESTEVES, J. L. **Green composites in automotive interior parts: A solution using cellulosic fibers**. Elsevier Ltd, 2018.

MADNASRI, S.; ASTIKA, G.; MARWOTO, P. The effects of natural fiber orientations on the mechanical properties of brake composites. **Journal of Natural Fibers**, v. 00, n. 00, p. 1–12, 2020.

MAHMUD, S.; HASAN, K. M. F.; JARID, M. A.; MOHIUDDIN, K.; ZHANG, R.; ZHHU, J. Comprehensive review on plant fiber-reinforced polymeric biocomposites. **J Mater Sci**, v. 56, n. 12, p. 7231-7264, 2021.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBASHI, M.; NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 92-99, 2008.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos**. 1ªed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2011.

MASOODI, R.; PILLAI, K. M. A study on moisture absorption and swelling in bio-based jute-epoxy composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 31, n. 5, p. 285–294, 2012.

MEDEIROS, M. G. **Caracterização e avaliação de acessos de bucha vegetal**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2015.

MORÃO, L. G.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. Immobilization of *saccharomyces cerevisiae* cells on *luffa cylindrica*: a study of a novel material for the adsorption of textile dye. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 228, n. 7, 2017.

MOTA, C. L. P.; GOMES, S.; VILHENA, E. S.; PEREIRA, L. C. O.; ROCHA, T. O. S.; NASCIMENTO, A. S.; CARDOSO, R. L. B.; FUJIYAMA, R. T. Brazilian Applied Science Review, Curitiba. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 2, p. 532–549, 2018.

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) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MOTTA, L. A. C.; GONÇALVES, L. K. S.; SILVA, M. R.; CUNHA, J.; DANTAS, M. E. Painéis sanduíches de poliéster reforçado com fibras de rami para aplicação na construção civil **Revista Matéria**, v. 21, p. 796–806, 2016. DOI: 10.1590/S1517-707620160003.0074.

NETO, J. R. A.; CARVALHO, L. H.; ARAÚJO, E. M. Influência da adição de uma carga nanoparticulada no desempenho de compósitos poliuretano/fibra de juta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Sl, v. 17, n. 1, p. 10-15, 2007.

NIKMATIN, S.; SYAFI UDDIN, A.; KUEH, A. B. H.; MADDU, A. Physical, thermal, and mechanical properties of polypropylene composites filled with rattan nanoparticles. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 15, n. 4, p. 386–395, 2017.

OLIVEIRA, A.; BECKER, C. M.; AMICO, S. C. Efeito de aditivos desaerantes nas características de compósitos de epóxi/fibras de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 1, p. 117-122, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.059>.

OUARHIM, W.; ESSABIR, H.; BENSALAH, M. O.; RODRIGUE, D.; BOUHFID, R.; QAISS, A. K. Hybrid composites and intra-ply hybrid composites based on jute and glass fibers: A comparative study on moisture absorption and mechanical properties. **Materials Today Communications**, v. 22, n. March 2019, 2020.

OUTA, R.; CHAVARETTE, F. R.; LOUZADA, M. J. Q. Resistência mecânica da fibra vegetal mercerizada da cana de açúcar e bambu. **Revista Brasileira de Ergonomia**, v. 9, n. 2, 2016. DOI: 10.5151/cidi2017-060.

PAPANICOLAOU, G. C.; PSARRA, E.; ANASTASIOU, D. Otimização de resposta mecânica e de fabricação de resina epóxi / compósito *Luffa Cylindrica*. **Jornal da ciência aplicada do polímero**, v. 132, p. 1–35, 2020.

PAPPU, A.; PICKERING, K. L.; THAKUR, V. K. Manufacturing and characterization of sustainable hybrid composites using sisal and hemp fibres as reinforcement of poly (lactic acid) via injection moulding. **Industrial Crops and Products**, v. 137, n. May, p. 260–269, 2019.

PAULA, C. R. P.; TRIANOSKI, R.; AZEVEDO, E. Development and characterization of sawdust and sisal fiber reinforced vegetable based polyurethane foam hybrid composites. **Journal of Natural Fibers**, v. 00, n. 00, p. 1–10, 2020.

PAULA, P. G. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.

PEREIRA, A. L.; BENEIA, M. D.; NETO, J. S. S.; CAVALCANTI, D. K. K. Mechanical and thermal characterization of natural intralaminar hybrid composites based on sisal. **Polymers**, v. 12, n. 4, 2020.

PINTO, K. N. C. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro**. 2002. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PREMALATHA, N.; SARAVANAKUMAR, S. S.; SANJAY, M. R.; SIENGCHIN, S.; KHAN, A. Structural and thermal properties of chemically modified *Luffa cylindrica* Fibers. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 7, p. 1038–1044, 2021.

PUTTEGOWDA, M.; RANGAPPA, S. M.; JAWID, M.; SHIVANNA, P.; BASAVEGOWDA, Y.; SABA, C. **Potential of natural/synthetic hybrid composites for aerospace applications**. Elsevier Ltd, 2018.

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, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

RAJ, B. R. A.; YOGANANDAM, K.; VICTOR, D. P. M. Evaluation of mechanical properties of arecanut and kevlar fiber with epoxy resins. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, n. xxxx, p. 4250–4253, 2020.

RAJAEI, P.; GHASEMI, F. A.; FASIHI, M.; SABERIAN, M. Effect of styrene-butadiene rubber and fumed silica nano-filler on the microstructure and mechanical properties of glass fiber reinforced unsaturated polyester resin. **Composites Part B: Engineering**, v. 173, 2019.

RAMAMOORTHY, S. K.; SKRIFVARS, M.; PERSSON, A. A review of natural fibers used in biocomposites: Plant, animal and regenerated cellulose fibers. **Polymer Reviews**, v. 55, n. 1, p. 107–162, 2015.

RAVISHANKAR, B.; NAYAK, S. K.; KADER, M. A. Hybrid composites for automotive applications – A review. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 38, n. 18, p. 835–845, 2019.

RIBEIRO, K.; ALVES, C.; HENRIQUE, L. Ecodesign via biocompósitos poliméricos: envelhecimento, análise estrutural e reciclagem. **Mix Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 35–42, 2019.

RIFAIE-GRAHAM, O.; APEDENDE, E. A.; BAST, L. K.; BRUNS, N. Self-reporting fiber-reinforced composites that mimic the ability of biological materials to sense and report damage. **Advanced Materials**, v. 30, n. 19, p. 1–16, 2018.

RODRIGUES, J. S. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçados por 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://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/5091>. Acesso em: 11 set. 2021.

RODRIGUES, J.; SOUZA, J. A.; FUJIYAMA, R. Compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais da Amazônia fabricados por infusão. **Polimeric composites reinforced with natural fibers from Amazon manufactured by infusion. Revista Matéria**, v. 20, p. 946–960, 2015.

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, p. 1437–1447, 2001.

SAEED, A.; IQBAL, M. Loofa (*Luffa cylindrica*) sponge: Review of development of the biomatrix as a tool for biotechnological applications. **Biotechnology Progress**, v. 29, n. 3, p. 573–600, 2013.

SAEED, A.; IQBAL, M. Loofa (*Luffa cylindrica*) sponge: review of development of the biomatrix as a tool for biotechnological applications. **Biotechnology Progress**, v. 29, n. 3, p. 573–600, 18 abr. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/btpr.1702>.

SANCHEZ, E. M. S.; CAVANI, C. S.; LEAL, C. V.; SANCHEZ, C. G. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana de açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 194–200, 2010.

SANJEEVI, S.; SHANMUGAN, V.; KUMA, S.; GANESAN, V.; SAS, G.; JOHNSON, D. P.; SHANMUGAN, M.; AYYANAR, A.; NARESH, K.; NEISIANY, R. E.; NEISIANY, R. E.; DAS, O. Effects of water absorption on the mechanical properties of hybrid natural fibre/phenol formaldehyde composites. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–11, 2021.

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.

SANTOS, E. F.; MORESCO, M.; ROSA, S. M. L.; NACHTIGALL, S. M. B. Extrusion of PP composites with short coir fibers: Effect of temperature and coupling agents. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 3, p. 215–220, 2010.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: source, production, morphology, properties and applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, n. 7, p. 1694–1709, 2007.

SATYANARAYANA, K. G.; SAHAGUN, T. H. S. F.; BOWMAN, P. **Lignocellulosic materials of brazil: their characterization and applications in polymer composites and art Works**. Springer International Publishing AG, 2018.

SHEKAR, H. S. S.; RAMACHANDRA, M. Green composites: a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 1, p. 2518–2526, 2018.

SILVA, G. S. **Desenvolvimento e aplicação de compósitos de fibras naturais e biopolímeros no design de aparelhos tecnológicos**. 2018. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Concepção e Desenvolvimento de Produto, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Leiria, 2018. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/3861>. Acesso em: 11 set. 2021.

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.

SILVA, M. R. F. DA; SILVA, L. F. DA; SANTOS, E. L. B. DOS. Produção, consumo e destinação de resíduos: a percepção dos discentes do curso de gestão ambiental da uern sobre sacolas plásticas. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 7, n. 16, p. 98–109, 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.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F.; RODRIGUES, L. P. S.; BARROS, A. R. F. Curaua/glass hybrid composite: the effect of water aging on the mechanical properties. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 28, n. 15, p. 1857–1868, 2009.

TANG, X.; YAN, X. A review on the damping properties of fiber reinforced polymer composites. **Journal of Industrial Textiles**, v. 49, n. 6, p. 693–721, 2020. DOI: 10.1177/1528083718795914.

TANOBE, V. O. A.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; MUNARO, M.; AMICO, S. C. A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourds (*Luffa cylindrica*). **Polymer Testing**, v. 24, n. 4, p. 474–482, jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2004.12.004>.

THIAGAMANI, S. M. K.; KRISHNASAMY, S.; MUTHUKKUMAR, C.; TENG SUTHIWAT, J.; NAGARAJAN, R.; SIENGCHIN, S.; ISMAIL, S. O. Investigation into mechanical, absorption and swelling behaviour of hemp/sisal fibre reinforced bioepoxy hybrid composites: effects of stacking sequences. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 140, p. 637–646, 2019.

WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, 2020.