



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ADRIANE PIMENTEL OLIVEIRA

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS COMPRIMENTOS E FRAÇÕES MÁSSICAS DAS
FIBRAS SINTÉTICAS E NATURAIS (VIDRO E JUTA) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS**

ANANINDEUA/PA

2019

ADRIANE PIMENTEL OLIVEIRA

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS COMPRIMENTOS E FRAÇÕES MÁSSICAS DAS
FIBRAS SINTÉTICAS E NATURAIS (VIDRO E JUTA) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Universitário de Ananindeua, como requisito para obtenção do título de Bacharela em Ciência e Tecnologia com ênfase em Tecnologia Mineral.

Orientador: Prof. Dr. Deibson Silva da Costa

Coorientador: Bela. Karla Suellen Lino Barbosa

ANANINDEUA/PA

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistemas de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)**

P644a

Pimentel Oliveira, Adriane

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS COMPRIMENTOS E
FRAÇÕES MÁSSICAS DAS FIBRAS SINTÉTICAS E
NATURAIS (VIDRO E JUTA) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS / Adriane Pimentel Oliveira. –
2019

54 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Deibson Silva da Costa

Coorientador(a): Bela. Karla Suellen Lino Barbosa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Ciência
e Tecnologia, Campus Universitário de Ananindeua, Universidade
Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

1. Materiais Compósitos. 2. Fibras Naturais. 3. Fibras Sintéticas.
I. Título

CDD 610.1

ADRIANE PIMENTEL OLIVEIRA

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS COMPRIMENTOS E FRAÇÕES MÁSSICAS DAS
FIBRAS SINTÉTICAS E NATURAIS (VIDRO E JUTA) NAS PROPRIEDADES
MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Universitário de Ananindeua, como requisito para obtenção do título de Bacharela em Ciência e Tecnologia com ênfase em Tecnologia Mineral.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
(FEMAT/CANAN/UFPA – Orientador)

Bela. Karla Suellen Lino Barbosa
(PPGEQ/ITEC/UFPA – Coorientadora)

Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa
(FaCT/CANAN/UFPA – Examinador interno)

Ma. Eng. Clerys Rodrigues Pereira
(PPGEQ/ITEC/UFPA – Examinadora externa)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao senhor Deus por ter me concedido sabedoria e paciência para concluir essa etapa com sucesso. *Todá lecha Elohim al col.* À NS. de Nazaré por me acolher com seu abençoado manto e proteger-me em todos os momentos. *Sancta Maria, Mater Dei, ora pro nobis peccatoribus, nunc et in hora mortis nostrae.*

Aos meus pais, Adriana e Alencar, pelo apoio em todos os momentos e principalmente por serem os maiores alicerces da minha educação. O amor e cuidado incondicional de ambos também foi um suporte no quesito emocional, pois essa etapa de conclusão é cheia de consequências, agradeço demais por priorizarem a nossa educação (Lucas e eu).

Aos meus avós, Vó Maria, Vó Terezinha e Vô Bento pela dedicação na minha formação. E todos os familiares, que de certa forma me auxiliam quando necessito, desde as viagens que fiz para participar dos congressos até mesmo para concluir esse trabalho, a família deu o suporte necessário.

Ao meu irmão Lucas que esteve ao meu lado, que me ensinou sobre assuntos nos quais não conhecia, pois me cedeu conhecimento que foi um diferencial na minha vida acadêmica.

As colegas, Gabrilly e Ingrid, que ajudaram na confecção dos compósitos, em especial ao meu amigo Willam (*Elohim ivarech otách*) que esteve presente desde o início do curso e neste trabalho. Aos amigos que fiz na faculdade, Larissa Esquerdo, Sávio, Nai, Jackeline e todos os outros que foram parceiros nessa etapa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Deibson Silva da Costa que compartilhou do seu conhecimento de forma paciente. A minha coorientadora Bela. Karla Barbosa que foi uma parceira nesse trabalho, também compartilhou do seu conhecimento e experiência acadêmica. A orientação de ambos será um grande diferencial na minha vida profissional.

Ao secretário do curso Josivan Franca pelo empenho em ajudar no que fosse possível durante esses anos de curso e principalmente na reta final desta conclusão.

Ao LAMPS e a Faculdade de Engenharia Química por disponibilizar as ferramentas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho. Ao Laboratório de Ensaios Mecânicos (LABEM) da Faculdade de Engenharia Mecânica – UFPA pelos ensaios de tração. Ao PRODERNA pelas análises de fraturas.

A Companhia Têxtil de Castanhal – CTC por ceder os fios de juta.

Por fim, aos amigos (do estágio, de faculdade, da igreja, da infância e da vida) que me deram suporte nessa fase e que torceram por esta conclusão.

RESUMO

A indústria atualmente vem cada vez mais buscando materiais novos que apresentem resistência e menor custo. Os materiais compósitos são planejados para aperfeiçoar os desempenhos em determinadas aplicações, nesse sentido os materiais reforçados com fibras apresentam propriedades atraentes. Este trabalho tem por objetivo verificar a influência do comprimento e frações mássicas de compósitos com a inserção de fibras sintéticas de vidro e fios naturais de juta (*Corchorus capsularis*). O processo de fabricação dos compósitos foi por laminação manual *hand lay up* associada à prensagem em molde metálico. A matriz polimérica utilizada foi a resina poliéster isoftálica insaturada em conjunto com catalisador (1 %) e acelerador de cobalto (1,5 %) em v/v. As proporções de fibras inseridas nos compósitos foram de 2,5 % e 5 % em massa e nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm. O fio de juta e a fibra de vidro foram analisados morfológicamente através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), para verificar as características que os compõem. Os compósitos foram avaliados de acordo com as propriedades físicas através da massa específica aparente - MEA (ASTM D-792), porosidade aparente - PA (ASTM D-2734), e absorção de água - AA (ASTM D-570), além do comportamento mecânico de resistência à tração (ASTM D-3039). As fraturas dos compósitos foram analisadas através do MEV. A análise morfológica apresentou uma fibra de vidro com áreas lisas e contínuas, e o fio de juta com um emaranhado de fibras e superfícies rugosas, características que influenciaram nos desempenhos físicos e mecânicos. As propriedades físicas de MEA, PA e AA aumentaram de 5 % a 60 % com a adição de fibra de vidro (FV) e 4 % a 98 % com adição de fibra de juta (FJ). A maior variação das caracterizações físicas foram as composições de FV 60 - 2,5 % e FJ 45 - 5 %. Os melhores resultados de caracterização mecânica à tração mostraram que as composições de FV 30 - 5 % e FJ 45 - 2,5 % apresentaram limite de resistência a tração de aproximadamente 28 MPa e 20 MPa, respectivamente. As frações de 5 % (FV) e 2,5 % (FJ) foram as que obtiveram melhores desempenhos mecânicos. As análises das superfícies de fratura determinaram os mecanismos de falhas presentes nos materiais, como ocorrência de fibras rompidas, “marcas de rios” e trincas. No geral, as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos foram superiores em relação à matriz plena, tornando-os aptos a possíveis aplicações, como revestimentos internos em gerais.

Palavras – Chave: Materiais Compósitos. Fibras Naturais. Fibras Sintéticas.

ABSTRACT

The industry is now increasingly looking for new materials that have strength and lower cost. Composite materials are designed to improve performance in certain applications, so fiber reinforced materials have attractive properties. This work aims to verify the influence of the length and mass fractions of composites with the insertion of synthetic glass fibers and natural jute yarn (*Corchorus capsularis*). The manufacturing process of the composites was by manual lamination associated with metal mold pressing. The polymeric matrix used was unsaturated isophthalic polyester resin homogenized with catalyst (1 %) and cobalt accelerator (1,5 %) in v/v. The proportions of fibers inserted in the composites were 2,5 % and 5 % by mass and in the lengths of 30 mm, 45 mm, 60 mm. Jute yarn and fiberglass were morphologically analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM) to verify their characteristics. The composites were evaluated according to their physical properties through apparent density – MEA (ASTM D-792), apparent porosity – PA (ASTM D-2734), and water absorption – AA (ASTM D570), in addition to the mechanical behavior of tensile strength (ASTM D3039). The fractures of the composites were analyzed by SEM. The morphological analysis showed a fiberglass with smooth and continuous areas, and the jute yarn with a tangle of fibers and rough surfaces characteristics that influenced the physical and mechanical performances. The physical properties of MEA, PA and AA increased from 5 % to 60 % with the additions of fiberglass (FV) and 4 % to 98 % with the addition of jute fiber (FJ). The greatest variation of the physical characterizations were the compositions of FV 60 – 2,5 % and FJ 45 – 5 %. The best results of mechanical tensile characterization showed that the FV 30 – 5 % and FJ 45 – 2,5 % composition presented tensile strength limit of approximately 28 MPa and 20 MPa respectively. The 5 % (FV) and 2,5 % (FJ) fractions had the best mechanical performances. Fracture surface analysis determined the failure mechanisms present in the materials such as occurrence of broken fibers, “river marks” and cracks. Generally, the physical and mechanical properties of the composites were superior to the full matrix making them suitable for possible applications such as general internal coatings.

Keywords: Composite Materials, Natural Fibers, Synthetic Fibers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos compósitos	16
Quadro 1 – Características das resinas poliésteres	18
Figura 2 – Resina poliéster isoftálica	18
Figura 3 – Esquema de classificação das fibras	20
Figura 4 – Juta: (a) planta de juta; b) extração da fibra de juta	22
Figura 5 – Processo de desfibramento da juta	23
Figura 6 – Equipamentos: (a) balança; (b) estufa; (c) molde metálico; (d) prensa hidráulica ..	24
Figura 7 – Materiais sintéticos: (a) resina; (b) MEK-P; (C) CAT MET	25
Figura 8 – Manta de fibras vidro	25
Figura 9 – Manta de fios de juta	26
Figura 10 – Fibras (a) vidro e (b) juta nos tamanhos de 30 mm, 45 mm e 60 mm	27
Figura 11 – Sequência de produção dos compósitos	29
Figura 12 – Máquina de corte	30
Figura 13 – Equipamento (MEV)	31
Figura 14 – Ensaio físicos: (a) CPs nos tamanhos de 25 mm x 25 mm; (b) aparato para os ensaios físicos	32
Figura 15 – CPs seguindo a norma ASTM D3039	33
Figura 16 – Máquina universal de tração	34
Figura 17 – Amostras para análise do MEV	35
Figura 18 – MEV da fibra de vidro	36
Figura 19 – MEV do fio de juta	37
Figura 20 – Comportamento dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de vidro	39
Figura 21 – Comportamento dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de juta	40
Figura 22 – Comportamento de resistência à tração dos compósitos de fibras de vidro	42
Figura 23 – Gráfico força vs deslocamento	43
Figura 24 – MEV do compósito de fibra de vidro: (a) Aumento 30x; (b) Aumento 40x	43
Figura 25 – Comportamento de resistência à tração dos compósitos de fibras de juta	45
Figura 26 – Gráfico força vs deslocamento	46
Figura 27 – MEV do compósito de fibra de juta: (a) Aumento 60x; (b) Aumento 60x	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades de algumas fibras vegetais e sintéticas da literatura	20
Tabela 2 – Valores para confecção dos compósitos	27
Tabela 3 – Quantidade de placas fabricadas.....	30
Tabela 4 – Resultados dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de vidro	37
Tabela 5 – Resultados dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de juta	39
Tabela 6 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos com fibras de vidro	41
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos com fibras de vidro	44
Tabela 8 – Comparação das propriedades mecânicas dos compósitos deste trabalho com a literatura	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
ASM	American Society for Metals
ASTM	American Society Testing Materials
CAT MET	Catalisador metálico
CTC	Companhia Têxtil de Castanhal
CPs	Corpos de prova
FJ	Fibra de juta
FJ 30	Fibra de juta no comprimento de 30 mm
FJ 45	Fibra de juta no comprimento de 45 mm
FJ 60	Fibra de juta no comprimento de 60 mm
FJ 30 – 2,5 %	Fibra de juta no comprimento de 30 mm e fração mássica de 2,5 %
FJ 30 – 5 %	Fibra de juta no comprimento de 30 mm e fração mássica de 5 %
FJ 45 – 2,5 %	Fibra de juta no comprimento de 45 mm e fração mássica de 2,5 %
FJ 45 – 5 %	Fibra de juta no comprimento de 45 mm e fração mássica de 5 %
FJ 60 – 2,5 %	Fibra de juta no comprimento de 60 mm e fração mássica de 2,5 %
FJ 60 – 5 %	Fibra de juta no comprimento de 60 mm e fração mássica de 5 %
FJ/Pol.	Fibra de juta com resina poliéster
FPC/Pol.	Fibra de palha da costa com resina poliéster
FV	Fibra de vidro
FV 30	Fibra de juta no comprimento de 30 mm
FV 45	Fibra de juta no comprimento de 45 mm
FV 60	Fibra de juta no comprimento de 60 mm
FV 30 – 2,5 %	Fibra de juta no comprimento de 30 mm e fração mássica de 2,5 %
FV 30 – 5 %	Fibra de juta no comprimento de 30 mm e fração mássica de 5 %
FV 45 – 2,5 %	Fibra de juta no comprimento de 45 mm e fração mássica de 2,5 %
FV 45 – 5 %	Fibra de juta no comprimento de 45 mm e fração mássica de 5 %
FV 60 - 2,5 %	Fibra de juta no comprimento de 60 mm e fração mássica de 2,5 %
FV 60 - 5 %	Fibra de juta no comprimento de 60 mm e fração mássica de 5 %
FV/Pol.	Fibra de vidro com resina poliéster
LTDA	Limitada

MEA	Massa específica aparente
MEK-P	Peróxido de metil etil cetona
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
Mi	Massa imersa
MP	Matriz plena
Ms	Massa seca
Mu	Massa úmida
NBR	Norma Técnica Brasileira
NPG	Neo pentil glicol
PA	Porosidade aparente
PRODERSA	Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da
Amazônia	
UFPA	Universidade Federal do Pará
UV	Ultravioleta

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Massa específica aparente
Equação 2	Porosidade aparente
Equação 3	Absorção de água
Equação 4	Tensão Exercida
Equação 5	Deformação
Equação 6	Módulo de elasticidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problemática e justificativa	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Compósitos	16
2.1.1 Classificação dos compósitos	16
2.2 Matrizes poliméricas	17
2.2.1 Resina poliéster isoftálica	17
2.3 Compósitos reforçados com fibras	19
2.4 Fibras	20
2.4.1 Fibras de vidro	21
2.4.2 Fibras de juta	22
3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	24
3.1 Equipamentos utilizados	24
3.2 Materiais	24
3.2.1 Matriz polimérica	24
3.2.2 Fibra de vidro	25
3.2.3 Fibras de juta	26
3.3 Procedimentos experimentais	26
3.3.1 Preparação das fibras (vidro e juta)	26
3.3.2 Produção dos compósitos	27
3.3.3 Morfologia das fibras	30
3.3.4 Caracterização física	31
3.3.5 Caracterização mecânica de tração	33
3.3.6 Fractografia.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 Morfologia das fibras	36
4.2 Ensaio físicos	37
4.3 Ensaio de tração	41
5 CONCLUSÃO	49
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50

REFERÊNCIAS	51
--------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A demanda de novos materiais para aplicações em produtos vem progredindo a cada ano, este fato ocasiona maior desenvolvimento de produtos com fibras naturais e sintéticas.

Os materiais compósitos são a combinação de dois ou mais materiais quimicamente distintos com uma interface que separa os componentes. No geral, são materiais resistentes, alguns apresentam resistência à corrosão, e algumas matrizes são resistentes ao fogo. Atualmente, são aplicados desde reforço estrutural até grandes estruturas como pontes e torres de telecomunicação (VIEIRA; VIEIRA; CARVALHO, 2016).

Segundo Oliveira (2017) as propriedades físicas e mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibras de vidro são assunto de interesse da indústria, bem como as com fibras de juta. Conforme Vieira, Vieira e Carvalho (2016) há um crescente interesse em pesquisas que possibilitem aumentar a aplicabilidade das fibras de juta na indústria.

A fibra de vidro é um material sintético muito utilizado como material de reforço em polímeros termoplásticos e termorrígidos. Apresenta propriedades como alta durabilidade, flexibilidade, transparência, dureza, resistência a ataques químicos, além de baixo custo quando comparado a outras fibras sintéticas. A fibra de juta é uma fibra de origem vegetal e, no geral, as fibras vegetais possuem benefícios por apresentarem baixo custo, baixa massa específica, não são tóxicas e não desgastam os equipamentos durante o processo (MILANESE, 2008 e MARGEM, 2013).

Portanto, esse trabalho tem como intuito estudar a variação do comprimento de fibras curtas (30 mm, 45 mm e 60 mm), utilizando duas fibras de características diferentes (fibra de vidro e fibra de juta), a fim de analisar a influência do comprimento e das frações mássicas (2,5 % e 5 %) nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos.

1.1 Problemática e justificativa

A procura por novos materiais capazes de substituir as matérias primas mais utilizadas, como a madeira, por exemplo, aumenta cada vez mais.

É notável que há um crescente aumento de pesquisas para o desenvolvimento de materiais que combinem propriedades distintas. Dentre esses materiais, destacam-se os materiais compósitos que são formados por fases contínua e dispersa. Sendo que as fases reforçadas com fibras são bastante utilizadas para melhorar a eficiência do compósito.

Os compósitos de fibras de vidro alcançaram o domínio de mercado aliando custo de produção relativamente baixo e boas propriedades físicas. Entretanto, com os avanços nas pesquisas, o campo para utilização das fibras vegetais tem aumentado, sendo assim, os conhecimentos da estrutura das fibras e de suas propriedades, podem ser utilizadas na produção de novos produtos e de novas aplicações (COSTA, 2012 e MENDES, 1992)

Estudar sobre as propriedades dos compósitos com fibras é uma necessidade no meio científico e tecnológico.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a influência do comprimento de 30, 45 e 60 mm e das frações mássicas de 2,5 e 5 % das fibras de juta e vidro nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos fabricados.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Confeccionar placas nas frações de 2,5 e 5 % de fibras de vidro e juta nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm;
- Realizar análises físicas de Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA) nos compósitos fabricados;
- Avaliar o comportamento mecânico (tração) dos compósitos das séries fabricadas, avaliando a influência das proporções e comprimentos das fibras nos compósitos fabricados;
- Analisar, por fractografia, os mecanismos de falha dominantes para cada série de compósitos produzida e correlacionar as propriedades dos compósitos com seu aspecto fractográfico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compósitos

De acordo com a norma ASTM D3878 (2019) materiais compósitos são aqueles formados pela combinação de dois ou mais materiais insolúveis entre si, no qual a combinação origina um material útil para a engenharia.

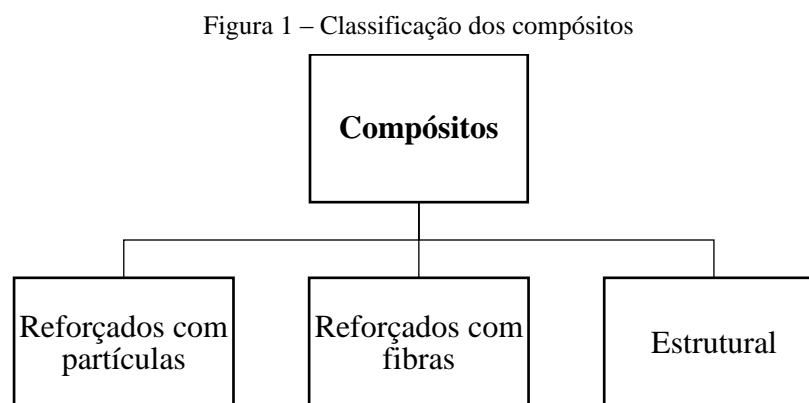
Quando compostos por duas ou mais fases, se diferenciam devido as suas propriedades químicas e físicas e são representados por uma classe de materiais compostos por uma fase continua chamada de matriz e uma fase dispersa chamada de reforço, sendo que suas propriedades são obtidas a partir da combinação dos constituintes individuais. As propriedades mecânicas dos compósitos recebem a influência de diversos fatores como a estrutura dos materiais que os compõem, frações volumétricas dos componentes e a interação físico – química das fases envolvidas (PAULA, 2011).

2.1.1 Classificação dos Compósitos

De acordo com Milanese (2008) o material matriz é responsável por verificar a estrutura do compósito, enquanto o material reforço é responsável por realçar algumas propriedades desejadas.

- 1) Exemplos de matrizes para compósitos: metais, polímeros e cerâmicas.
- 2) Exemplos de materiais de reforço para compósitos: fibras (de vidro, carbono, orgânicas, silício, entre outras), madeira, grafite e alguns minerais.

Callister Jr (2016) propõe o fluxograma mostrado na Figura 1 para classificar os vários tipos de compósitos.



Fonte: Callister Jr (2016)

Sendo que os de interesse neste trabalho são os reforçados com fibras, que de acordo com Callister Jr (2016) são divididos em contínuas e descontínuas.

Estes materiais podem ser projetados de forma a possuir as características e propriedades desejadas de acordo com os materiais selecionados, suas proporções, distribuição, morfologia, bem como a estrutura e composição da interface entre os seus componentes (BORGES, 2018).

2.2 Matrizes poliméricas

Na confecção dos compósitos, as matrizes que se destacam são as poliméricas. As matrizes poliméricas podem ser utilizadas na moldagem de vários tipos de compósitos e consistem em dois grupos principais: os termoplásticos e os termorrígidos (CUNHA, 2018).

Os polímeros termoplásticos podem ser fundidos e solidificados diversas vezes e são capazes de sofrer alterações físicas reversíveis. Já o polímero termorrígido normalmente é líquido e torna-se infusível após reação, ou seja, não podem se fundir (MORASSI, 2013).

A matriz nos materiais compósitos atua como meio de transferência de carga através do cisalhamento e protege o reforço de danos e meios de degradação (BARROS, 2006).

As propriedades das matrizes poliméricas dependem da composição da resina e conseqüentemente do tipo de polímero que as constitui (BORGES, 2018).

2.2.1 Resina poliéster isoftálica

As resinas de poliésteres são caracterizadas pela presença de grupos ésteres, que são grupos elementares nas suas cadeias moleculares. As reações de formação são resultados da condensação de um diol com um diácido e, o poliéster pode ser saturado (termoplástico) ou insaturado (termofixo), de acordo com o tipo do ácido utilizado (NÓBREGA, 2007).

O poliéster insaturado é produzido quando um dos reagentes contém insaturações, nas quais a denominação de “insaturada” é originada da presença de duplas ligações que estão em sua cadeia molecular. As resinas de poliéster insaturado são comercializadas com acelerador e apresentam um sistema reativo obtido pela mistura pré - acelerada com o catalisador. A quantidade de catalisador e acelerador controla a reação e, afetam diretamente o tempo de gel durante a reação (BENDEZÚ, 2002). Segundo Abreu *et al.*, (2007) durante a polimerização ocorre a gelificação que indica o comportamento viscoelástico do material.

Ou seja, o tempo de gel é uma reação já esperada do material (polimerização), pois apresenta a gelificação do mesmo, e o tempo de gel pode variar dependendo do tipo de material que é inserido na matriz polimérica como fibras ou resíduo. Santos (2018) confeccionou compósitos com fibras de juta e vidro nas frações de 2,5 % e 5 %, o tempo de gel em seu trabalho foi entre 8 a 10 minutos.

Os poliésteres saturados são obtidos pela reação entre um diol e um diácido saturado, e resulta em um produto termoplástico (NÓBREGA, 2000). As principais resinas poliéster são as ortoftálicas, as tereftálicas, as isoftálicas e as bisfenólicas, algumas de suas características são apresentadas no Quadro 1.

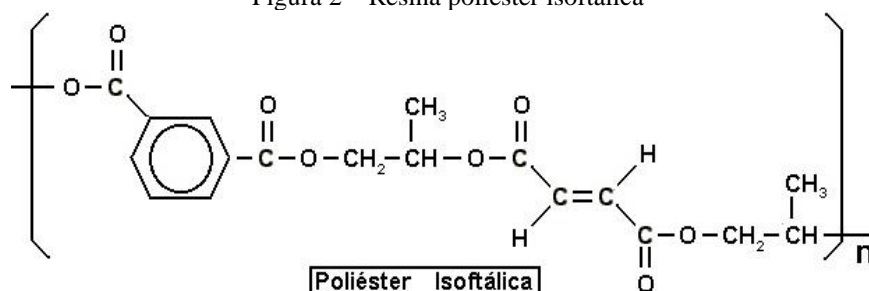
Quadro 1 – Características das resinas poliésteres

Tipos de Resinas	Características
Ortoftálica	Resinas comuns e de baixo custo.
Tereftálica	Resistência superior a ortoftálica apresenta baixa resistência a UV.
Isoftálica	Melhores características mecânicas, química e térmica.
Bisfenólicas	Melhores características térmicas e químicas.

Fonte: Silaex (2019)

Podem ser obtidos poliésteres de alto peso molecular com cadeias mais longas, essas cadeias atribuem ao produto final maior resistência mecânica devido a melhor absorção de impacto. Como resultado, formam-se polímeros de maior resistência química e térmica (SILAEX, 2019). A Figura 2 apresenta a estrutura química do polímero de poliéster isoftálico.

Figura 2 – Resina poliéster isoftálica



Fonte: Silaex (2019)

2.3 Compósitos reforçados com fibras

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras são aplicados na construção civil, em embalagens, malharias e na indústria automobilística.

Quando sua configuração se dá por uma matriz e um reforço de fibra, é chamado de material compósito reforçado com fibra. Logo, a fibra é o reforço e confere resistência mecânica e rigidez, enquanto que a matriz é responsável pela distribuição de cargas e pela resistência do material (QUEIROZ *et al.*, 2018).

O trabalho desenvolvido por Feltran (2008) mostrou que os compósitos reforçados com fibras de vidro tiveram influência na resistência ao impacto, sendo uma propriedade fortemente afetado pelo reforço com a fibra.

O trabalho desenvolvido por Silva (2014) apresenta a fibra de juta como material de reforço em compósitos. Silva (2014) afirma que os compósitos reforçados com a juta são capazes de substituir a madeira trazendo vantagens na indústria.

As fibras utilizadas em compósitos, no geral, influenciam nas suas propriedades de resistência e dureza, em função do: comprimento das fibras, ou seja, a magnitude da ligação interfacial entre as fibras e a matriz; orientação e concentração das fibras quando se apresentam alinhadas e contínuas; alinhadas e descontínuas; e aleatórias e descontínuas (MARTINS NETO, 2016).

Segundo Silva (2003) os compósitos com fibras descontínuas oferecem maior facilidade de processamento e menor custo. Nesses compósitos o carregamento da fibra é em função do seu comprimento. De acordo com Costa (2016) as propriedades mecânicas dos compósitos podem ser determinadas através de modelos como a regra da mistura.

A literatura mostra que o comprimento de 15 mm de fibras é o arranjo que sempre apresenta o melhor desempenho mecânico. Barbosa (2018) utilizou a fibra natural de bambu, nos comprimentos de 15 mm e 30 mm e proporções de 1 %, 2 % e 3 %, em seu trabalho o comprimento de 15 mm foi o que obteve melhor desempenho mecânico.

Neste trabalho, a proposta é variar acima do arranjo ideal (15 mm), a fim de verificar qual comprimento de fibras (30 mm, 45 mm e 60 mm) e frações mássicas (2,5 % e 5 %) se destacam.

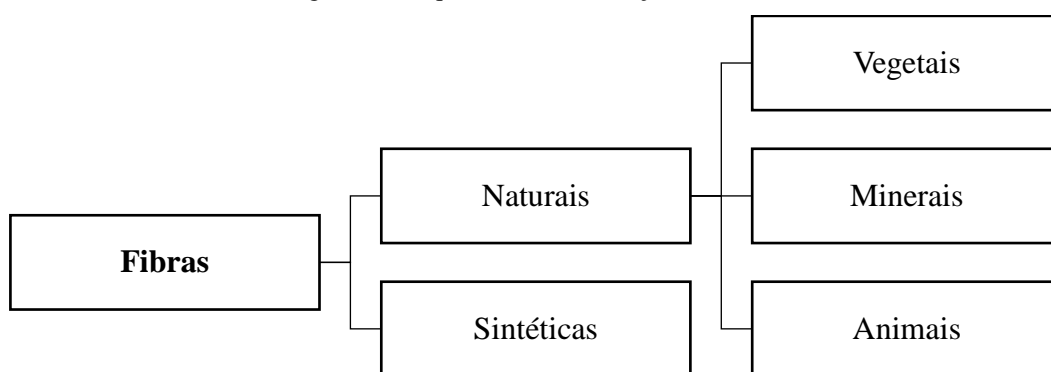
Santos (2018) utilizou fibras de juta (FJ) e vidro (FV) e, Tavares (2018) utilizou fibra de palha da costa (FPC) e vidro, ambos trabalharam com os comprimentos de 15 mm, 30 mm e 45 mm nas frações mássicas de 2,5 % e 5 %. No trabalho de Santos (2018) a composição FJ 15 – 2,5 %, e FV 45 – 2,5 % foram as composições que alcançaram os melhores desempenho

mecânico à tração. Tavares (2018) alcançou os melhores desempenhos mecânicos à tração nas composições de FPC 15 – 5 % e FV 15 – 2,5 %.

2.4 Fibras

Em termos gerais, as fibras são filamentos que possuem pequenos diâmetros variando em torno de 1 μm a 25 μm . Podem ser obtidas a partir de materiais naturais ou sintéticas com estruturas policristalinas ou amorfas (ASM INTERNATIONAL, 1993). O fluxograma mostrado na Figura 3 apresenta a classificação das fibras.

Figura 3 – Esquema de classificação das fibras



Fonte: Adaptado do Milanese (2008)

De acordo com o trabalho de Milanese (2008) a classificação das fibras se divide em duas propriedades: naturais e químicas. As fibras naturais classificam-se em fibras vegetais, minerais e animais. Já as fibras sintéticas também apresentam alguns exemplos. Os exemplos abaixo apresentam algumas fibras de acordo com essas classificações.

- 1) Vegetais: caule (juta, bambu), folhas (sisal, curauá), sementes (algodão, palha).
- 2) Minerais: amianto e basalto.
- 3) Animais: pelos (lã, cashemira), seda (secreções)
- 4) Sintéticas: poliéster, elastano, carbono e vidro.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas propriedades mecânicas e físicas de algumas fibras vegetais e sintéticas da literatura.

Tabela 1 – Propriedades de algumas fibras vegetais e sintéticas da literatura

(continua)

Literatura	Fibra	Diâmetro (μm)	M. Específica (g/cm^3)	Resist. Tração (MPa)
Soykeabkaew et al., (2004)	Juta	69, 90	0,268	425, 40

				(conclusão)
Okubo et al., (2004)	Bambu	106	-	441,00
Torres e Cublias (2008)	Sisal	223,53	-	234,30
Idicula et al., (2006)	Vidro	15	2,54	2500
Silva et al., (2006)	Carbono	7,00	1,76	3650

Fonte: Adaptado de Costa (2016)

As principais vantagens das fibras vegetais em relação às fibras sintéticas tradicionais são: abundância, baixo custo, baixa densidade, boas propriedades específicas, facilidade de obtenção e manuseio, não são tóxicas, baixa abrasão de equipamentos e moldes, absorção de dióxido de carbono do meio-ambiente, biodegradabilidade, e o aspecto ecológico e renovável. Por outro lado, também possuem desvantagens que prejudicam a sua aplicação em muitas situações e ambientes, como por exemplo: alta absorção de umidade, alta variação de propriedades, baixa resistência a micro-organismos e baixa estabilidade térmica. Apesar das propriedades mecânicas das fibras vegetais serem inferiores às de fibras sintéticas, sua densidade é aproximadamente metade da fibra de vidro (SILVA, 2003).

2.4.1 Fibras de vidro

Segundo Callister Jr (2016) a fibra de vidro é uma fibra sintética, utilizada como um material de reforço por meio da aglutinação de finíssimos filamentos flexíveis, pois é estirado na forma de fibras de alta resistência. A fibra de vidro é um dos materiais de reforços mais utilizados para a fabricação de materiais compósitos, quando a fibra de vidro é combinada com um material polimérico forma um compósito resistente e flexível.

No trabalho de Vieira, Vieira e Carvalho (2016) os autores utilizaram a fibra de vidro para analisar as propriedades de compósitos poliméricos, o trabalho concluiu aumentos nas resistências mecânicas à tração, flexão e ao impacto. Com isso, a aplicabilidade da fibra de vidro na forma estrutural demonstra leveza, não conduz corrente elétrica e total isolante estrutural. A fibra de vidro é mais comumente utilizada como reforço em compósitos poliméricos devido as suas características, tais como: baixo custo, baixo módulo de elasticidade, alta resistência mecânica, e alta massa específica.

2.4.2 Fibras de juta

As fibras vegetais são estruturas alongadas de secção transversal vazada e arredondadas que são distribuídas por todo o vegetal. As fibras podem ser classificadas de acordo com a origem anatômica como fibras de talo, fibras de folha, fibras de lenho e fibras de superfície, além de apresentarem resistência específica e baixo módulo de elasticidade (TAVARES, 2018 e TOLEDO, 2008).

A juta é proveniente da Índia, de nome científico *Corchorus capsularis*, é uma fibra vegetal resistente (SILVAN, 2018). A juta é uma planta com o cultivo concentrado na região Amazônica. No Pará um dos maiores produtores é a região nordeste do Estado, como no município de Bragança.

Segundo os trabalhos de Silvan (2018) e Pires (2009) o desfibramento das fibras ocorre com o corte dos talos e, em seguida é realizada a limpeza das hastes (fibras), que são unidas por volta de 14 a 16 feixes. Os feixes são colocados na água onde ocorre uma etapa chamada de maceração. As fibras são soltas da casca e colocadas novamente na água, realizando-se uma segunda lavagem, e então levadas para a secagem. Por fim, as fibras são armazenadas para seguirem para os processos finais como produção de tecidos. A Figura 4 mostra a planta da juta e a secagem das fibras.

Figura 4 – Juta: (a) planta de juta; b) secagem das fibras de juta



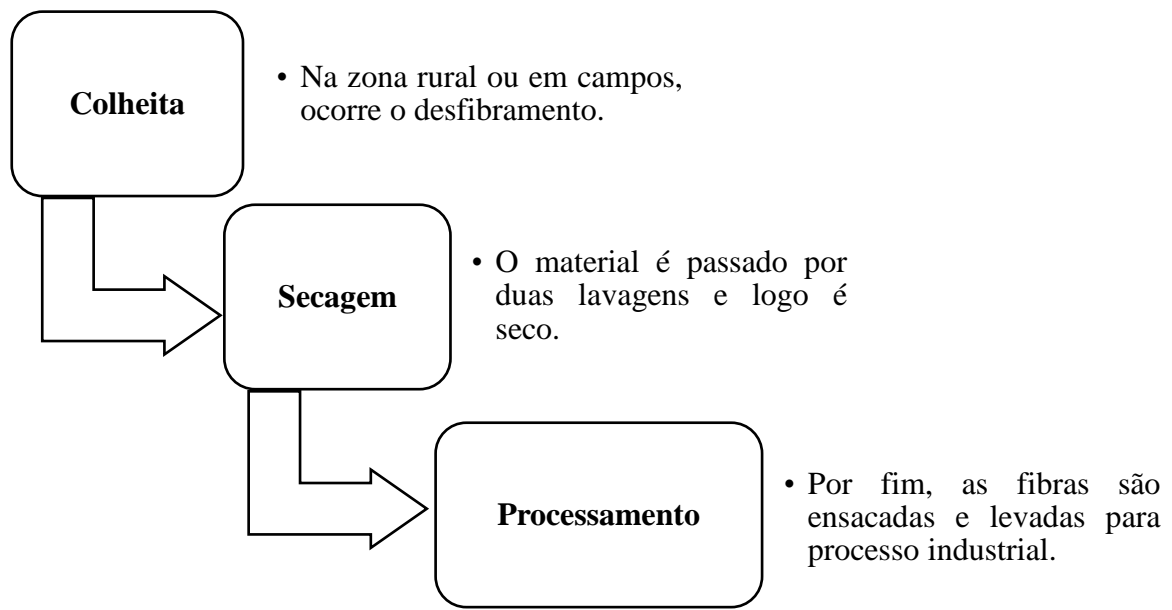
(a)

(b)

Fonte: Silva (2014)

O fluxograma mostrado na Figura 5 representa o processo do desfibramento da juta, até a etapa de processamento industrial nos quais as fibras são utilizadas para confecção de tecidos nas indústrias têxtil.

Figura 5 – Processo de desfibramento da juta



Fonte: Adaptado do Pires (2009)

A fibra de juta possuiu baixo custo entre as fibras naturais, além de apresentar resistência, quando é incorporada a um polímero, podendo originar produtos com menor densidade e serem inserida a aplicações tais como telhados de casas, painéis, mesas e dentre outros (ALBUQUERQUE NETO *et al.*,2007).

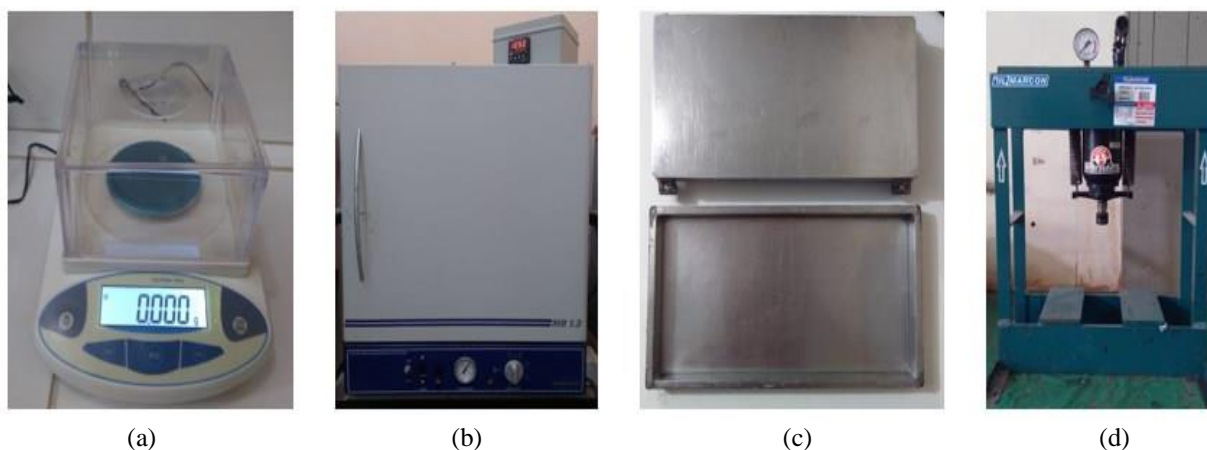
3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Equipamentos Utilizados

- Balança, SF – 400 C;
- Estufa, MD 1.3 – MEDICATE, T 250 °C;
- Máquina de corte, De WALT, modelo DW860B;
- Microscópio Eletrônico de Varredura, HITACHI, modelo TM 3000;
- Molde metálico, dimensões (320 mm x 172,5 mm x 5 mm);
- Prensa Hidráulica, Marcon, modelo MPH-15, capacidade de 15 ton.

A Figura 6 apresenta alguns dos equipamentos utilizados na produção dos materiais compósitos.

Figura 6 – Equipamentos: a) balança; b) estufa; c) molde metálico; d) prensa hidráulica



Fonte: Autora (2019)

3.2 Materiais

3.2.1 Matriz polimérica

- Resina poliéster isoftálica, CENTERGLASS, Ind. com. R e Fibras LTDA, a densidade utilizada neste trabalho é de 1,15 g/cm³;
- Catalisador (agente de cura) produto comercial BUTANOX M-50 (Peróxido de metil etil cetona, 1 %, MEK-P), empresa Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA;
- Acelerador de Cobalto (CAT MET UMEDECIDO – Solução de Octoato de Cobalto 1,5 %), empresa de Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.
- Desmoldante, empresa Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.

A Figura 7 apresenta os materiais utilizados para a matriz polimérica na produção dos compósitos.

Figura 7 – Materiais sintéticos: a) Resina; b) MEK-P; c) CAT MET



(a) (b) (c)
Fonte: Autora (2019)

3.2.2 Fibras de vidro

As fibras de vidro utilizadas foram adquiridas no formato de mantas no comércio local de Belém/PA.

Segundo Costa (2012), a densidade da fibra de vidro é de $2,40 \text{ g/cm}^3$.

A Figura 8 mostra as fibras em formato de manta.

Figura 8 – Manta de fibras de vidro



Fonte: Autora (2019)

3.2.3 Fibras de juta

As fibras de juta foram cedidas como fios de juta na forma de mantas pela Companhia Têxtil de Castanhal do Pará - CTC.

Segundo Costa (2016), a densidade da fibra de juta é de $1,10 \text{ g/cm}^3$.

O material foi colocado na estufa a uma temperatura de $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 30 minutos, essa etapa é essencial para retirada da umidade. A Figura 9 mostra os fios em formato de manta.

Figura 9 – Manta de fios de juta



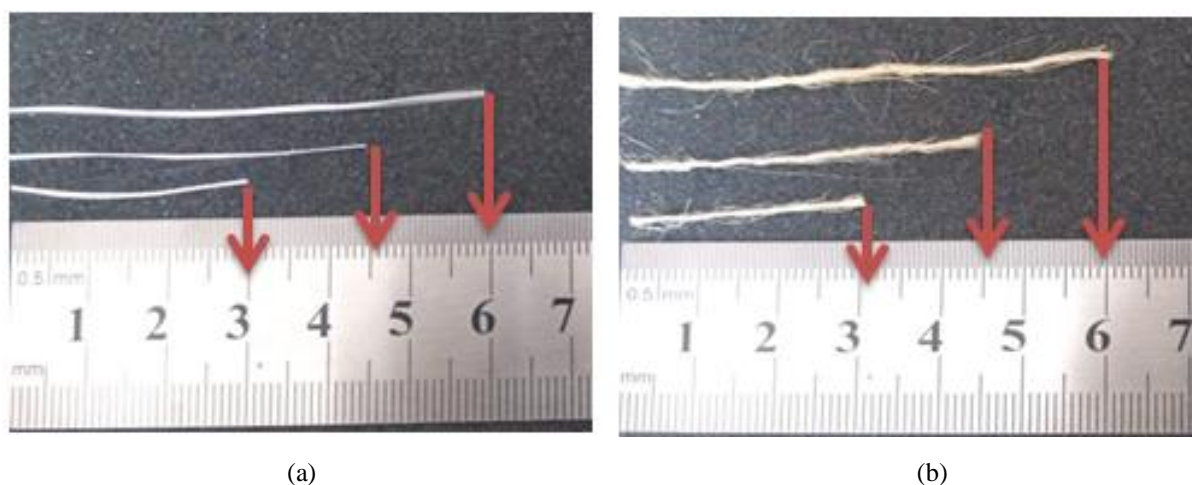
Fonte: Autora (2019)

3.3 Procedimentos Experimentais

3.3.1 Preparação das fibras (vidro e juta)

Ambos os filamentos de fibras (vidro e juta) foram obtidas por processo manual. As mantas foram cortadas para facilitar o manuseio dos materiais. Os filamentos foram separados manualmente e posteriormente unidas em feixes para serem cortados com o auxílio de papel milimetrado nos comprimentos pré-estabelecidos. As fibras não foram submetidas a nenhum tratamento químico. A Figura 10 mostra as fibras de juta e de vidro nos tamanhos de 30, 45 e 60 mm.

Figura 10 – Fibras: (a) vidro; (b) juta nos tamanhos de 30 mm, 45 mm e 60 mm



Fonte: Autora (2019)

3.3.2 Produção dos Compósitos

Na produção dos compósitos, foi utilizado um molde metálico na forma retangular nas dimensões 320 mm x 172,5 mm x 5 mm, essa etapa de fabricação requer a preparação do molde que consiste na limpeza e aplicação de desmoldante para facilitar a remoção da placa. O método utilizado foi o *hand lay-up* (método manual).

Para cada fração de fibras e de materiais se estabeleceu valores já tabelados nos quais estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores para confecção dos compósitos

Proporções (%)	Vidro (g)	Juta (g)	Resina (g)	MEK-P (ml)	Octoato (ml)
0	0	0	203,13	1,76	2,64
2,5	11,04	4,85	198,06	1,72	2,58
5,0	22,08	9,71	192,98	1,67	2,51

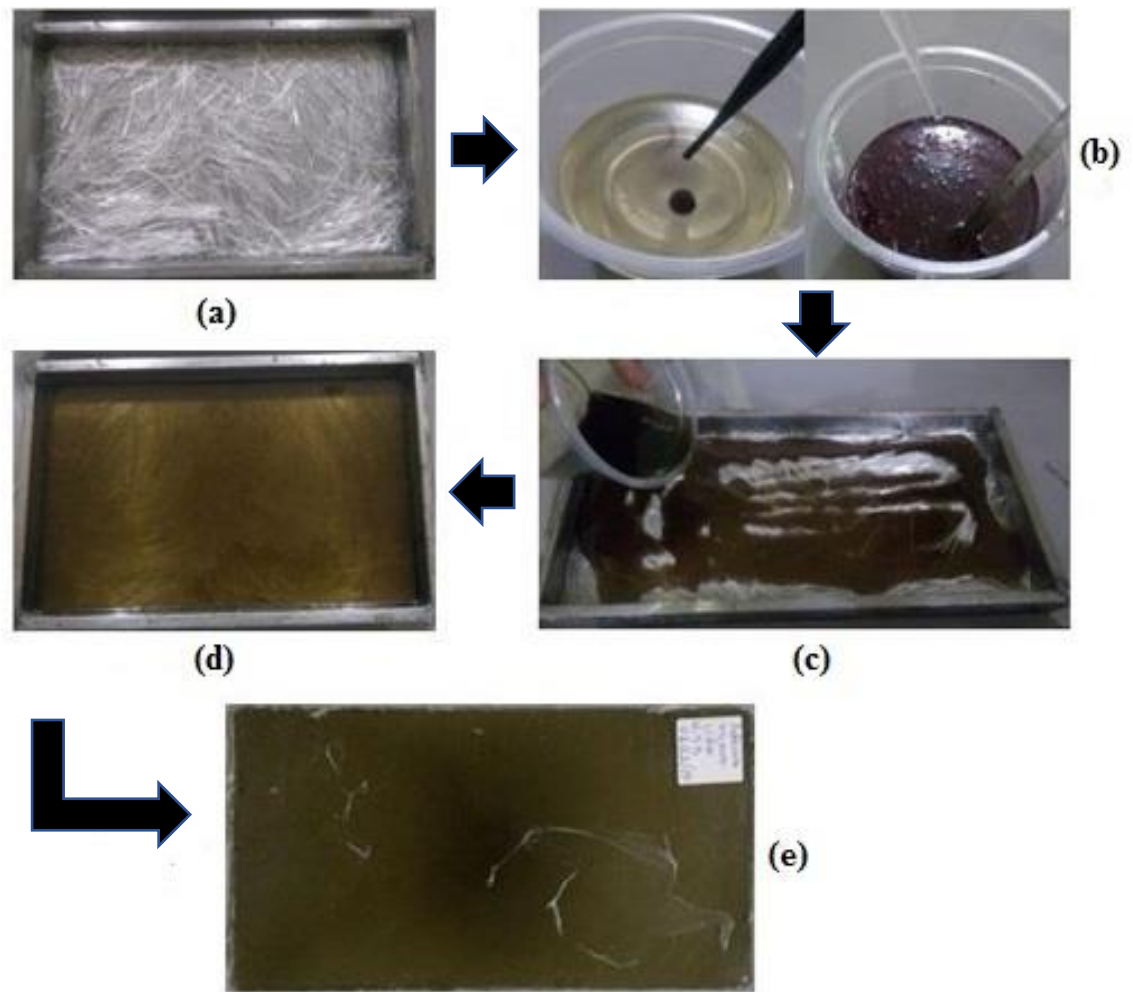
Fonte: Autora (2019)

As frações mássicas utilizadas neste trabalho para as fibras de juta e vidro foram de 2,5 % e 5 %. Essas frações foram definidas pela capacidade volumétrica do molde metálico em acomodar as fibras sem pressão ou compactação e na ausência da matriz. Sendo que, 5 % foi o valor máximo alcançado para acomodação e impregnação total das fibras randomicamente dentro do compósito

Com os valores tabelados, foi utilizada uma balança analítica a fim de determinar as massas dos materiais para utilizar na produção das placas de compósitos, de acordo com suas frações mássicas. Na sequência, foi iniciada a produção das placas de compósito. Foram confeccionadas as placas de resina poliéster isoftálica com inserção das fibras de vidro e com fibras de juta nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm, nas proporções de 2,5 e 5 %.

Para este processo, as fibras foram inseridas de maneira descontínua (aleatória) dentro do molde metálico, como mostra na Figura 11 (a), em seguida a resina, o CAT MET umedecido e o MEK-P foram homogeneizados (Figura 11 (b)), por aproximadamente 5 minutos. Em seguida a mistura é despejada sobre as fibras dispostas aleatoriamente no molde, que já havia sido devidamente preparado com película desmoldante (Figura 11 (c)). O tempo para a placa apresentar ponto de gel foi entre 4 a 6 minutos (Figura 11 (d)). Após o processo de tempo de gel, as placas produzidas foram prensadas na prensa hidráulica com carga de 2,5 toneladas durante 20 minutos. A prensagem e o tempo são ideais para que reduza os possíveis defeitos no compósito, tais como bolhas. Por fim a este processo, as placas foram removidas do molde e identificadas de acordo com a sua composição e armazenadas para o processo de cura durante 24 horas (Figura 11 (e)).

Figura 11 – Sequência de produção dos compósitos.



Fonte: Autora (2019)

Após o período de cura dos compósitos foram realizados os cortes das placas seguindo as recomendações das normas ASTM D-3039 para ensaio de tração e observar as propriedades físicas tais como porosidade aparente (ASTM D-2734), absorção de água (ASTM D-570) e massa específica aparente (ASTM D-792). Os cortes foram necessários para adequação dos corpos de prova. No total foram confeccionadas 24 placas. A Tabela 3 apresenta a quantidade de placas para cada composição.

Tabela 3 – Quantidade de placas fabricadas

Composição de fibras		Comprimento (mm)	Fração Mássica (%)	Quantidade de placas produzidas
FJ	FV	30	2,5 / 5	8
FJ	FV	45	2,5 / 5	8
FJ	FV	60	2,5 / 5	8
				Total: 24

Fonte: Autora (2019)

As placas foram cortadas com uma máquina de corte, marca DeWALT, modelo DW860B. A Figura 12 apresenta a máquina de corte.

Figura 12 – Máquina de corte



Fonte: Autora (2019)

3.3.3 Morfologia das fibras

As fibras de vidro e os fios de juta foram analisados morfológicamente, por microscopia eletrônica de varredura (MEV), no equipamento da marca HITACHI, modelo TM 3000, localizado no PRODERNA da Universidade Federal do Pará, campus Belém. Os aumentos utilizados foram de 200 vezes para FV e 100 vezes para os fios de juta a fim de observar quais as características dos materiais poderiam influenciar nos resultados mecânicos. A Figura 13 apresenta o equipamento.

Figura 13 – Equipamento (MEV)



Fonte: Autora (2019)

3.3.4 Caracterização Física

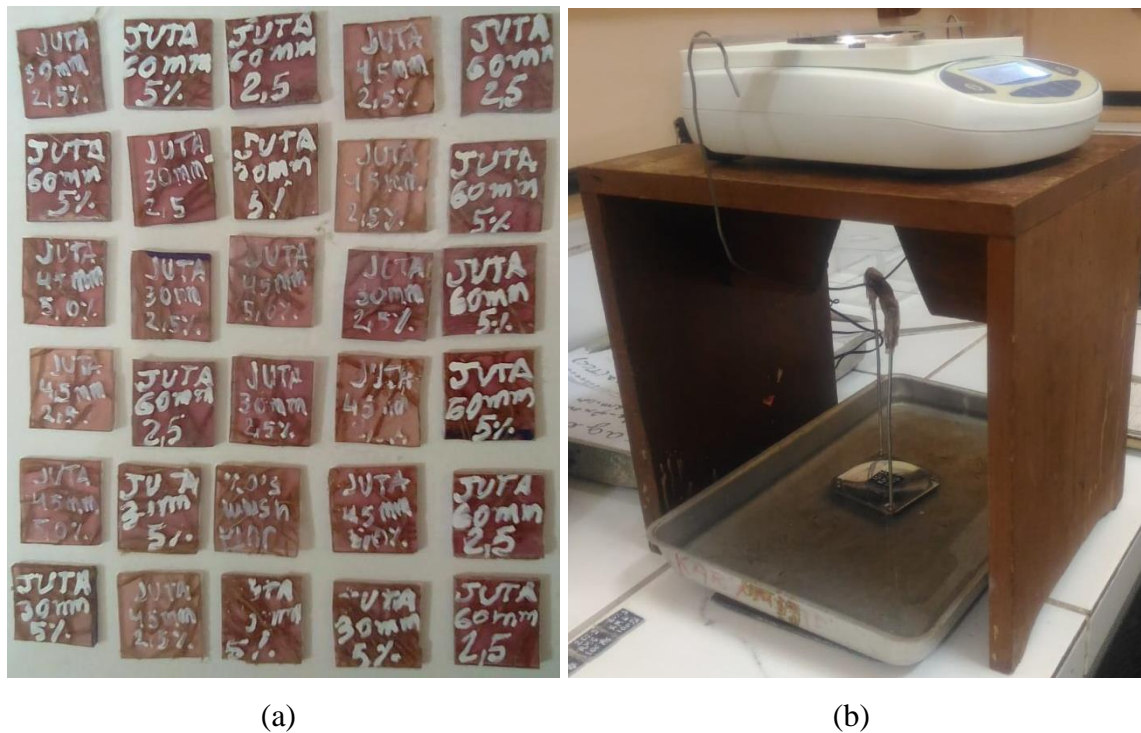
Os corpos de prova foram produzidos seguindo as recomendações das normas ASTM. Foram submetidas as seguintes análises:

- a) Massa Específica Aparente (MEA (g/cm^3)) [ASTM D-792];
- b) Porosidade Aparente (PA (%)) [ASTM D-2734];
- c) Absorção de Água (AA (%)) [ASTM D-570].

Para a realização dos ensaios de Porosidade Aparente (PA), Absorção de Água (AA) e Massa Específica Aparente (MEA), foram preparados cinco corpos de prova nos tamanhos de 25 x 25 mm para cada compósito com fibras de acordo com as suas proporções (2,5 % e 5 %), bem como os seus tamanhos (30 mm, 45 mm e 60 mm), no total foram 60 CPs.

Primeiramente os corpos de prova foram colocados em estufa a 105 °C por 24 horas, após este período os corpos de prova foram pesados em balança analítica de precisão para se a obtenção da massa seca. Logo após a pesagem, os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água destilada durante 24 horas e após esse período de imersão foram pesados individualmente para obtenção dos valores de massa úmida. Posteriormente, foram pesadas as massas imersas com um aparato adaptado para que os corpos de prova ficassem imersos em água. A Figura 14 apresenta os CPs e o aparato utilizado nos ensaios físicos.

Figura 14 – Ensaio físicos; (a) CPs nos tamanhos de 25 x 25 mm; (b) aparato para os ensaios físicos



Fonte: Autora (2019)

Com os valores obtidos para massa seca, massa úmida e massa imersa, foram calculadas as propriedades físicas de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água de acordo com as equações a seguir:

a) Massa Especifica Aparente

A massa especifica aparente foi calculada através da Equação 1.

$$MEA \text{ g/cm}^3 = \frac{M_s}{M_u - M_i} \quad (1)$$

b) Porosidade Aparente

A medida da porosidade aparente é determinada pela Equação 2.

$$PA (\%) = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100 \quad (2)$$

c) Absorção de Água

A absorção de água foi medida pela Equação 3.

$$AA (\%) = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

M_u = massa úmida (g);

M_s = massa seca (g);

M_i = massa imersa (g)

3.3.5 Caracterização Mecânica de Tração

As placas de compósitos produzidas foram submetidas aos ensaios de tração. As placas foram cortadas nas dimensões recomendadas pela norma ASTM D3039 (25 mm x 250 mm). Os suportes colocados nas extremidades dos CPs são chamados de tabs na literatura. Os tabs são usados para evitar o deslizamento dos corpos de prova em contato com a garra da máquina universal de tração, devido os tabs apresentarem uma superfície mais aderente. O cianocrilato conhecido popularmente como ou Super Bonder foi utilizado para colar os tabs nas extremidades dos CPs. A Figura 15 apresenta os CPs para os ensaios de tração.

Figura 15 – CPs seguindo a norma ASTM D-3039



Fonte: Autora (2019)

Os ensaios de tração foram realizados na máquina universal de tração, da marca KRATOS modelo IKCL3, com uma célula de carga de 5 kN em uma velocidade de 2 mm/min. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LABEM) da Faculdade de Engenharia Mecânica, na Universidade Federal do Pará, campus Belém. A Figura 16 apresenta a máquina de tração utilizada.

Figura 16 – Máquina universal de tração



Fonte: Autora (2019)

A caracterização mecânica a tração é importante, pois determina a resistência e a deformação quando uma determinada carga é aplicada. Esses resultados são expressos através de uma curva de deformação dada pelo equipamento que obedece a Equação 4.

A Equação 4 expressa a relação de tensão exercida pelo material.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4)$$

Onde:

σ = tensão

F = carga aplicada (kN);

A_0 = área da seção original.

A Equação 5 expressa a deformação.

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} \quad (5)$$

Onde:

ε = deformação;

l_0 = comprimento original;

l_i = comprimento instantâneo.

Relacionando as equações acima é possível analisar que a linearidade da curva tensão vs deformação é embasada na lei de Hooke, obtendo-se assim o módulo de elasticidade pela Equação 6.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (6)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade.

3.3.6 Fractografia

Foram realizadas as análises das superfícies de fratura dos corpos de prova, essa etapa é fundamental para observar as possíveis falhas no material que foi produzido. Essa análise ocorre por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no equipamento da marca HITACHI, modelo TM 3000. Foram realizadas na Universidade Federal do Pará, campus Belém. A Figura 17 apresenta os corpos de prova submetidos ao MEV e o equipamento de fractografia.

Figura 17 – Amostras para análise do MEV



Fonte: Autora (2019)

As análises de superfície de fraturas para os compósitos de FV foram submetidos aos aumentos de 30 e 40 vezes. Já para os compósitos com FJ as análises foram observadas com um aumento de 60 vezes.

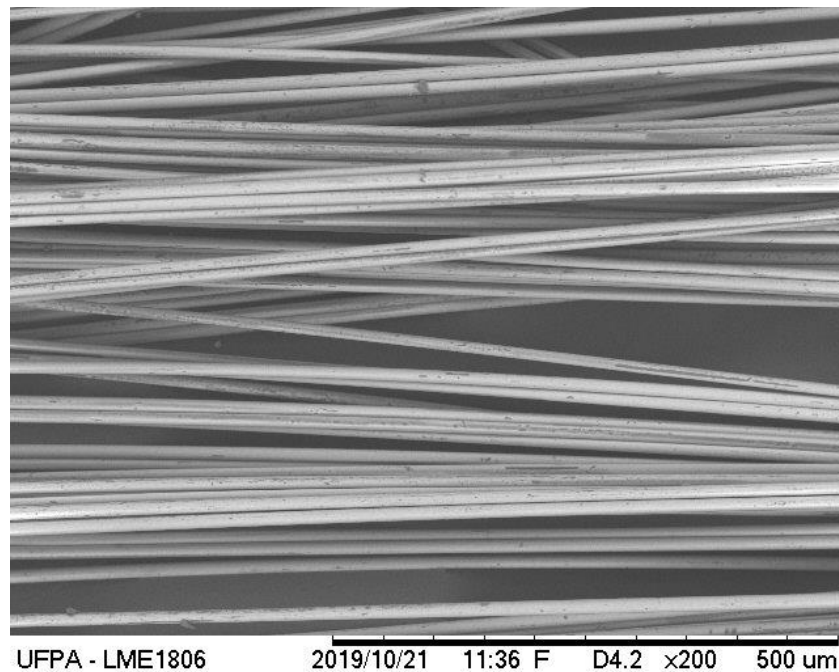
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Morfologia das fibras

- Análise da fibra de vidro

A fibra de vidro foi analisada morfológicamente através da Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV. A Figura 18 apresenta o MEV da fibra de vidro no aumento de 200 vezes.

Figura 18 – MEV da fibra de vidro



Fonte: Autora (2019)

A análise da fibra de vidro apresenta uma micrografia da fibra longa e contínua com áreas lisas. Pode-se observar também que a fibra exibe uma aglutinação de finíssimos filamentos.

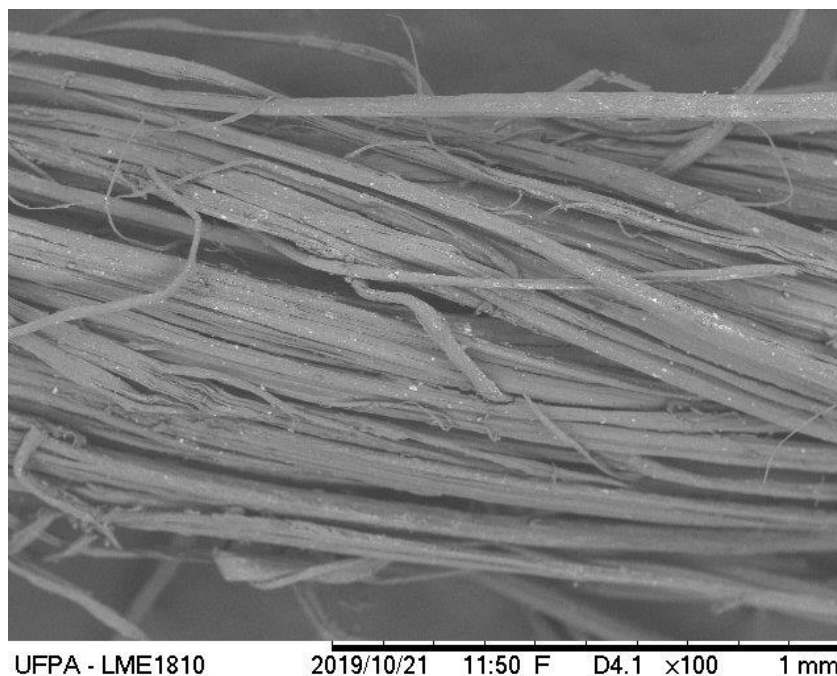
Segundo Callister Jr (2016) a fibra de vidro é um composto aglomerado de filamentos finíssimos, essa particularidade confere flexibilidade à fibra.

Segundo Vieira, Vieira e Carvalho (2016) as características morfológicas apresentadas da micrografia da fibra de vidro conferem um aumento a resistência à tração, sendo interessante a sua aplicabilidade em forma estrutural.

- Análise da fibra de juta

A fibra de juta foi analisada morfologicamente através da Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV. A Figura 19 apresenta o MEV da fibra de juta no aumento de 100 vezes.

Figura 19 – MEV da fibra de juta



Fonte: Autora (2019)

Os fios de juta são um emaranhado de fibras e, essas fibras são compostas por microfibrilas, é possível observar na micrografia as fibras e áreas rugosas.

De acordo com Pires (2009) os fios na fibra são chamados de monofilamentos que compõe cada fibra, logo, são compostos por feixes (fios). Essa característica é comum nas fibras vegetais, pois são constituídas por celulose, lignina e outros compostos orgânicos, ou seja, apresenta um alto percentual de microfibrilas além da característica de absorção de umidade.

4.2 Ensaios físicos

- Compósitos reforçados com fibras de vidro

A Tabela 4 apresenta os resultados da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água que foram obtidos dos compósitos com inserção de fibras de vidro.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de vidro

Composição	Fraç. Mássica (%)	MEA (g/cm³)	PA (%)	AA (%)
MP	0	1,2159 (±0,0052)	1,5569 (±0,5277)	1,2816 (±0,4395)
FV 30	2,5	1,2575 (±0,0134)	1,4032 (±0,1873)	1,1163 (±0,1525)
	5	1,2631 (±0,0082)	2,1171 (±0,2950)	1,6763 (±0,2348)
FV 45	2,5	1,2556 (±0,0153)	1,4556 (±0,2545)	1,1593 (±0,2021)
	5	1,2789 (±0,0445)	2,0563 (±0,3362)	1,6115 (±0,2868)
FV 60	2,5	1,2676 (±0,0249)	2,4845 (±1,1646)	1,9599 (±0,9241)
	5	1,2717 (±0,0177)	2,3731 (±0,4669)	1,8663 (±0,3708)

Fonte: Autora (2019)

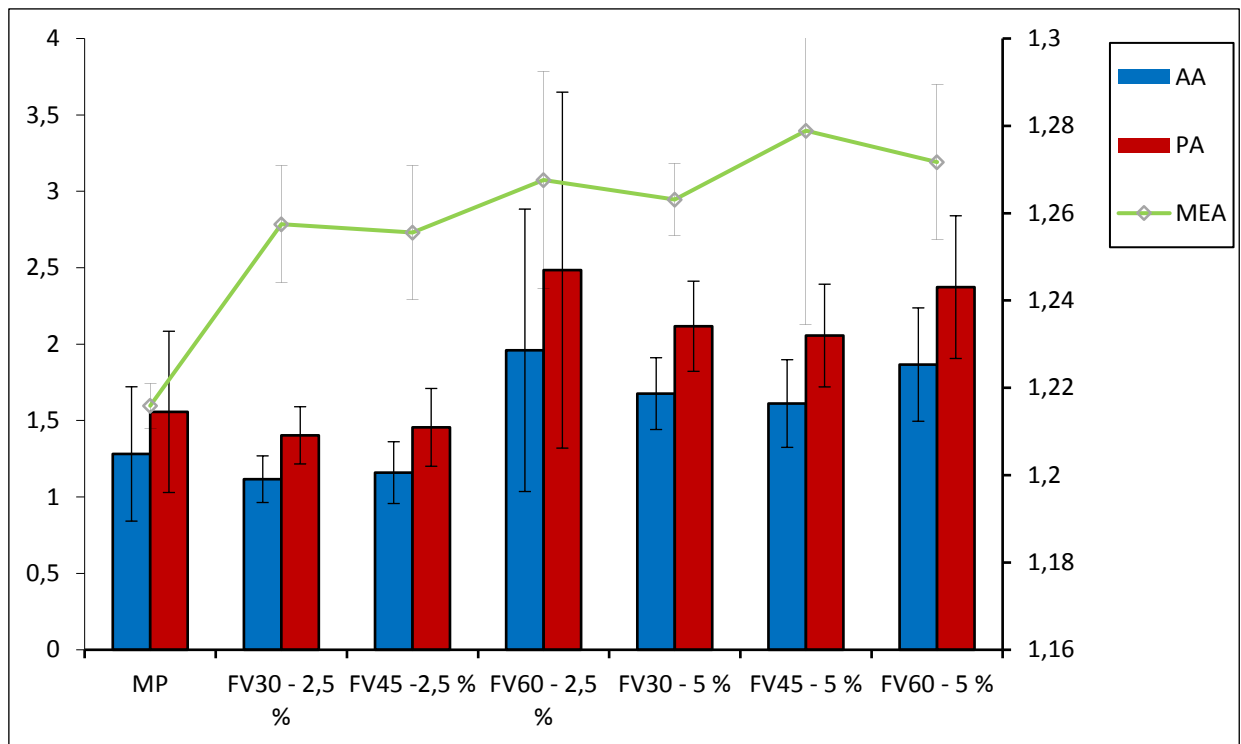
Na Tabela 4 observa-se que a massa específica aparente dos compósitos reforçados com fibras de vidro (FV) aumentou em relação à matriz plena. O aumento da MEA dos compósitos se deve à maior densidade da fibra, no qual apresenta 2,40 g/cm³ e a resina 1,15 g/cm³. Fato este é previsto pela regra da mistura, que segundo Callister Jr (2016) cada fase constituinte do compósito contribui nas propriedades efetivas do compósito.

É observado que a porosidade aparente e a absorção de água foram propriedades que sofreram aumento em relação à matriz plena, exceto pelas composições de FV 30 e FV 45 na fração mássica de 2,5 % que apresentaram menores porcentagens comparadas à matriz plena. De acordo com o trabalho de Santos (2018) isso ocorre devido o compósito fabricado apresentar poucos poros.

Em relação ao comprimento de fibra, as composições de FV 60 conferem os maiores desempenhos físicos. É observado que o arranjo de 60 mm se sobressaiu comparados à literatura para o desempenho físico nos compósitos reforçados com FV.

A Figura 20 ilustra o gráfico de barras comparativos dos resultados dos ensaios físicos da matriz plena e dos compósitos reforçados com fibras de vidro nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm nas frações mássicas de 2,5 % e 5 %.

Figura 20 – Comportamento dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de vidro



Fonte: Autora (2019)

É possível observar que a MEA aumenta gradativamente nas composições de fibras e MP, enquanto as propriedades de PA e AA variam de acordo com o comprimento e fração mássica. Vale ressaltar FV 60 (2,5 % e 5 %) apresentou o maior comportamento físico.

- Compósitos com fibras de juta

A Tabela 5 apresenta os resultados da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água que foram obtidos dos compósitos com inserção de fibras de juta.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de juta

Composição	Fraç. Mássica (%)	MEA (g/cm ³)	PA (%)	AA (%)
MP	0	1,2159 (±0,0052)	1,5569 (±0,5277)	1,2816 (±0,4395)
FJ 30	2,5	1,2455 (±0,0163)	2,7699 (±0,9984)	2,2324 (±0,8417)
	5	1,2516 (±0,0066)	1,8451 (±0,4775)	1,4755 (±0,3862)
FJ 45	2,5	1,2574 (±0,0089)	3,0744 (±0,8016)	2,4485 (±0,6553)
	5	1,2728 (±0,0067)	2,4842 (±0,5775)	1,9536 (±0,4636)
FJ 60	2,5	1,2160 (±0,0037)	1,8374 (±0,4649)	1,5118 (±0,3868)
	5	1,2083 (±0,0125)	2,1360 (±0,7879)	1,7732 (±0,6741)

Fonte: Autora (2019)

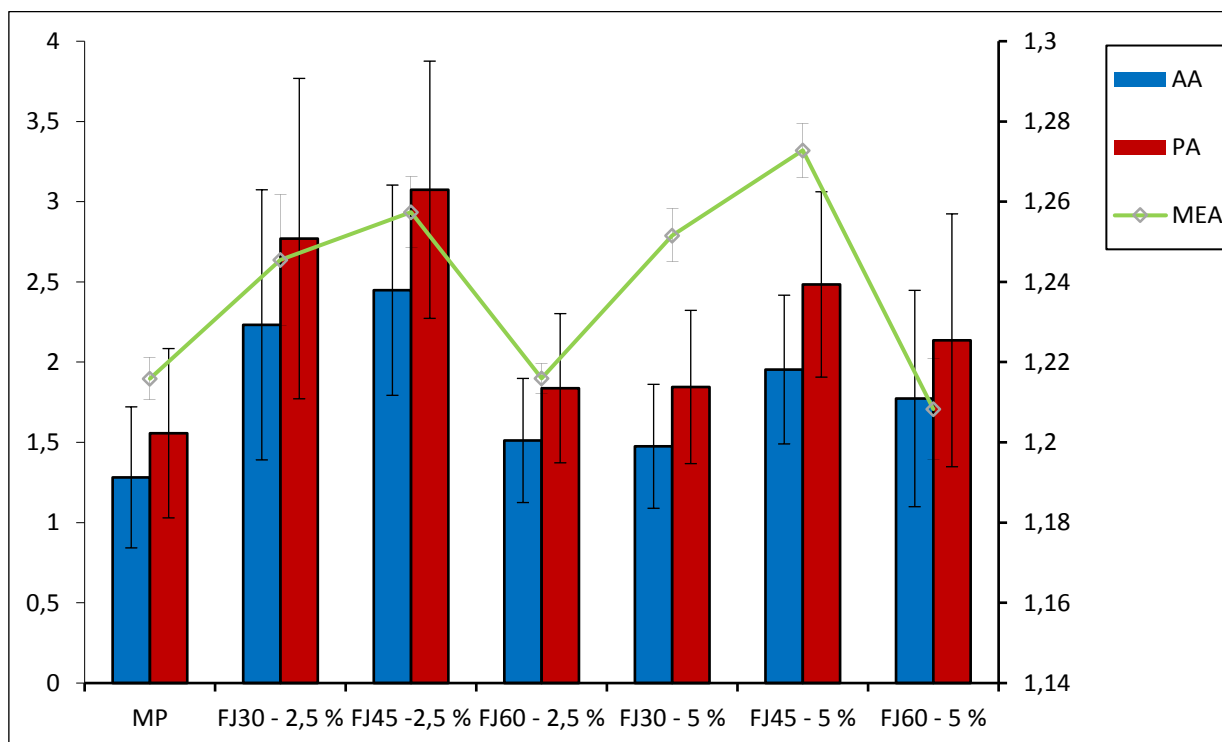
Na Tabela 5 é possível notar que a massa específica aparente dos compósitos reforçados com fibras de juta (FJ) apresentou pequena variação em relação à matriz plena. Fato este é devido à fibra de juta possuir densidade inferior ($1,10 \text{ g/cm}^3$) a densidade da resina que é de $1,15 \text{ g/cm}^3$, que de acordo com Callister Jr (2016) é previsto pela regra da mistura.

É possível observar também que a porosidade aparente e a absorção de água foram propriedades que apresentaram um aumento comparado à matriz plena, devido às fibras naturais de origem vegetal serem lignocelulósicas. Segundo Das (2000) os materiais lignocelulósicos possuem tendência a absorver umidade já que em sua composição apresentam celulose, lignina e hemicelulose, esta última é responsável pela absorção de água.

Em relação ao comprimento de fibra as composições de FJ 30 e 45 de 2,5 % conferem os maiores desempenhos físicos, sendo que FJ 45 – 2,5 % obteve o maior valor. O comprimento de 45 mm reforça o que mostra na literatura, o trabalho de Santos (2018) apresentou que a composição de FJ 45 – 5 % foi o que demonstrou o maior resultado de desempenho físico.

A Figura 21 ilustra o gráfico de barras comparativos dos resultados dos ensaios físicos da matriz plena e dos compósitos reforçados com fibras de juta nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm nas frações mássicas de 2,5 % e 5 %.

Figura 21 – Comportamento dos ensaios físicos dos compósitos de fibras de juta



Fonte: Autora (2019)

Observa-se que a massa específica aparente apresenta uma variação entre as composições e a matriz plena. Já a porosidade aparente e absorção de água sofreram uma tendência de diminuição entre as composições de fibras, esse fato está relacionado ao comprimento de fibras, pois os arranjos de 30 mm e 45 mm destacaram-se nessas propriedades.

4.3 Ensaios de tração

- Compósitos com fibras de vidro

Os compósitos reforçados com fibras de vidro foram analisados de acordo com a sua resistência mecânica por meio do ensaio de tração, nos quais foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos com fibras de vidro

Composição	Fraç. Mássicas (%)	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (mm)	Mód. Elasticidade (GPa)
MP	0	16,50 ($\pm 3,26$)	1,88	1,574
FV 30	2,5	13,67 ($\pm 5,45$)	4,94	0,541
	5	28,39 ($\pm 3,87$)	5,50	0,930
FV 45	2,5	17,77 ($\pm 5,12$)	4,71	0,645
	5	18,07 ($\pm 5,27$)	5,69	0,747
FV 60	2,5	19,44 ($\pm 2,50$)	5,25	0,695
	5	21,90 ($\pm 2,42$)	5,09	0,695

Fonte: Autora (2019)

Na Tabela 6 é possível observar que os valores da resistência à tração de compósitos com inserção de FV foram superiores a matriz plena, onde os compósitos nas frações de 5 % obtiveram os melhores resultados de resistência á tração, sugerindo assim que está composição seja a ideal em relação às composições trabalhadas.

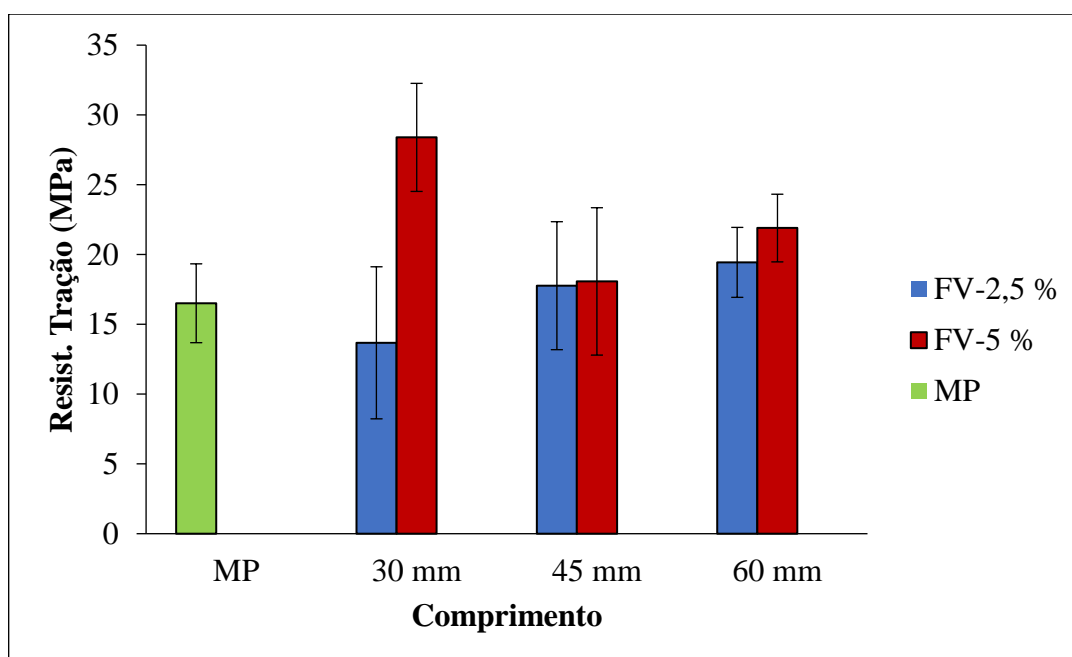
Em relação ao comprimento de fibras inseridas na matriz, é possível observar que a composição FV 30 – 5 % influenciou na resistência à tração do material sendo que esta composição foi o que resultou no melhor desempenho mecânico. Na literatura é observado que o arranjo ideal para resistência à tração seria o comprimento de 15 mm, como mostra nos trabalhos de Santos (2018) e Tavares (2018) que trabalharam com as mesmas frações mássicas (2,5 % e 5 %) e com comprimentos de 15 mm, 30 mm e 45 mm para compósitos

com fibras de vidro, sendo que o de 15 mm na fração de 5 % se sobressaiu aos demais. Porém neste trabalho, ao analisar a variação dos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm, foi visto que o arranjo de 30 mm se destacou comparado às outras composições inclusive ao da MP.

O módulo de elasticidade indica a rigidez do material, é notável que os compósitos de FV resultaram módulos inferiores em relação a matriz plena. Isso é devido à característica da fibra de vidro no qual apresenta alta resistência mecânica, além de baixo módulo de elasticidade de acordo com Vieira, Vieira e Carvalho (2016).

A Figura 22 ilustra o gráfico de barra comparativo da matriz plena e dos compósitos reforçados com fibras de vidro nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm, nas proporções de 2,5 % e 5 %.

Figura 22 – Comportamento de resistência à tração dos compósitos de fibras de vidro

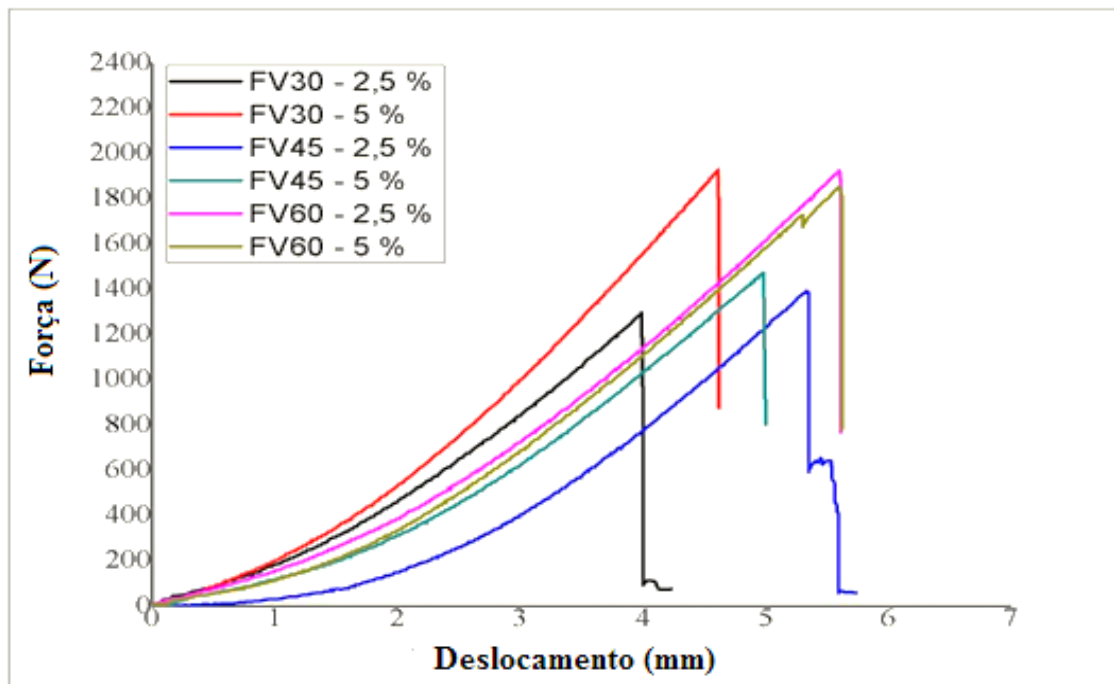


Fonte: Autora (2019)

Como é possível observar no gráfico da Figura 22 o compósito reforçado com FV 30 – 5 % obteve valor de resistência superior às demais composições. No geral, a fração de 5 % obteve o melhor comportamento mecânico à tração, resultado também mostrado na literatura.

A Figura 23 mostra o gráfico representativo da relação da força (N) e o deslocamento (mm) dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de vidro.

Figura 23 – Gráfico força vs deslocamento

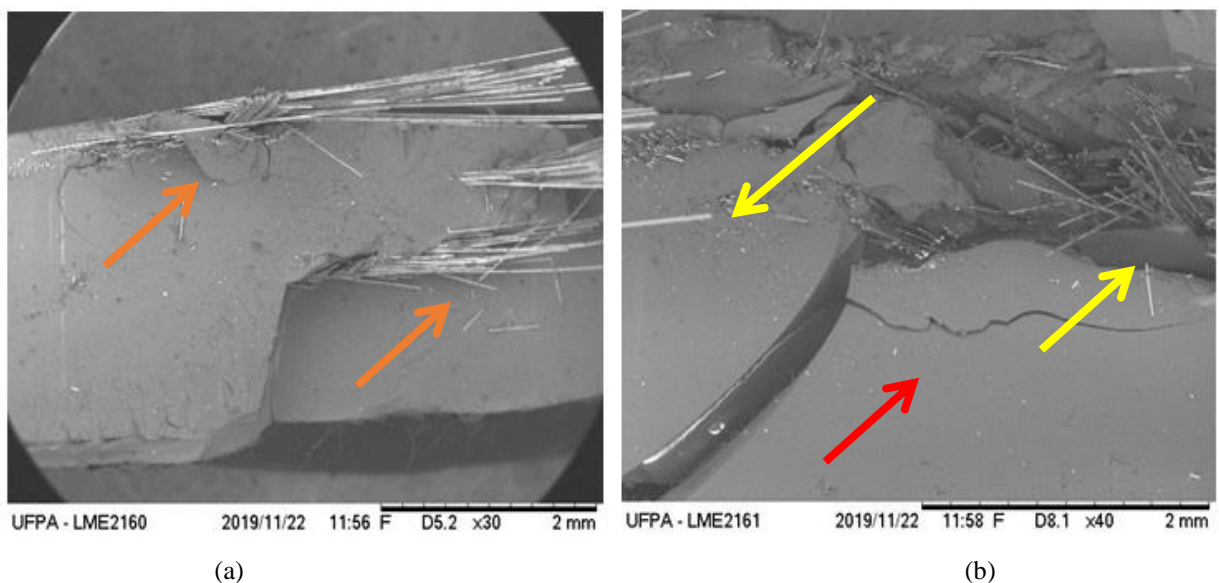


Fonte: Autora (2019)

Observa-se na Figura 23 que a composição FV 30 – 5 % e FV 60 – 2,5 % atingiram a maior força, e a composição FV 45 – 2,5 % atingiu o maior deslocamento.

Os compósitos com fibras de vidro foram analisados através da Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV. A Figura 24 apresenta a superfície de fratura do compósito com inserção de fibra de vidro que obteve o melhor comportamento mecânico à tração (FV 30 – 5 %) nos aumentos de 30 e 40 vezes.

Figura 24 – Superfície de fratura do compósito de fibra de vidro: (a) Aumento 30x; (b) Aumento 40x



Fonte: Autora (2019)

Na superfície do corpo de prova da matriz polimérica com inserção FV 30 – 5 % foi possível identificar que na Figura 24 (a) apresentou as fibras na direção transversal ao carregamento (setas laranja). Na Figura 24 (b) há ocorrência de trinca (seta vermelha) e fibras rompidas (setas amarelas), contudo não houve ocorrência de descolamento da fibra na matriz, o que segundo Santos (2018) significa que é um bom indicativo de adesão entre a fibra e a matriz.

A superfície do corpo de prova foi analisada do compósito que apresentou o melhor comportamento mecânico à tração, nota-se que as fibras foram bem dispostas, reforçando que a fração mássica de 5 % é o valor máximo para a impregnação das fibras dentro da matriz. O comprimento de fibra se acomodou na matriz de forma positiva, no qual indicou uma boa adesão na interface fibra/matriz.

- Compósitos com fibras de juta

Os compósitos reforçados com fibras de juta foram analisados de acordo com a sua resistência mecânica por meio do ensaio de tração, nos quais foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos reforçados com fibras de juta

Composição	Fraq. Mássicas (%)	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (mm)	Mód. Elasticidade (GPa)
MP	0	16,50 ($\pm 3,25$)	1,88	1,574
	2,5	20,24 ($\pm 1,82$)	5,12	0,861
FJ 30	5	11,57 ($\pm 2,60$)	4,24	0,520
	2,5	20,43 ($\pm 4,24$)	4,89	0,860
FJ 45	5	17,38 ($\pm 2,10$)	4,31	0,769
	2,5	19,37 ($\pm 3,64$)	5,10	0,822
FJ 60	5	16,58 ($\pm 1,58$)	4,58	0,721

Fonte: Autora (2019)

Observa-se na Tabela 7 que os compósitos com inserção de FJ na fração mássica de 2,5 % obtiveram os melhores desempenhos mecânicos à tração quando comparados a matriz plena.

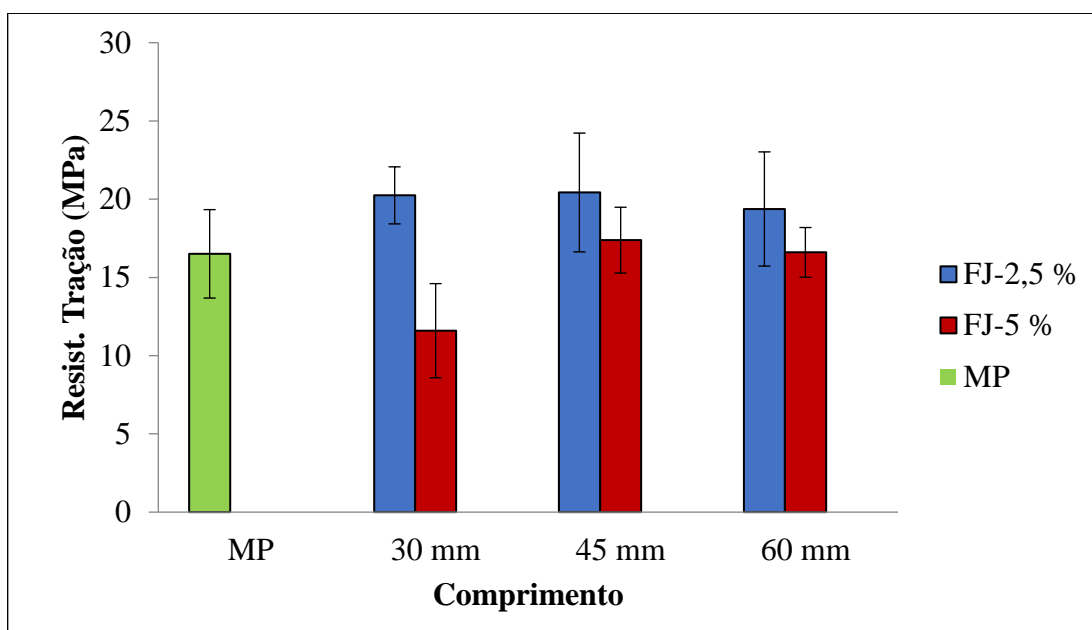
Em relação ao comprimento de fibras, é possível observar que a composição FV 45 – 2,5 % foi o que resultou no melhor desempenho mecânico. Santos (2018) e Tavares (2018)

trabalharam com as mesmas frações mássicas (2,5 % e 5 %) e com comprimentos de 15 mm, 30 mm e 45 mm para compósitos com fibras vegetais, em seus trabalhos os resultados que obtiveram melhor desempenho mecânico foram as composições de 15 mm na fração de 2,5 %. Neste trabalho a fração mássica de 2,5 % foi que apresentou o melhor desempenho mecânico, com o comprimento de 45 mm.

Em relação ao módulo de elasticidade, foi inferior à matriz plena, isso é caracterizado devido a FJ apresentar em suas características um baixo módulo de elasticidade de acordo com Toledo (2008).

A Figura 25 ilustra o gráfico de barra comparativo da matriz plena e dos compósitos reforçados com fibras de juta nos comprimentos de 30 mm, 45 mm e 60 mm, nas frações de 2,5 % e 5 %.

Figura 25 – Comportamento de resistência à tração dos compósitos de fibras de juta

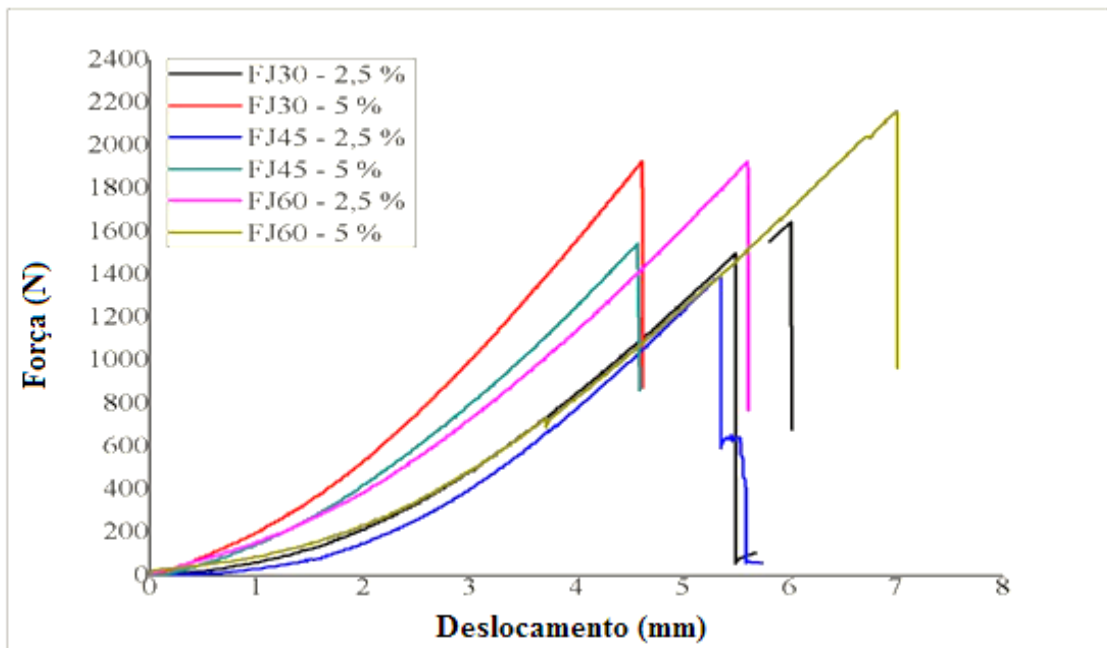


Fonte: Autora (2019)

Na Figura 25 observa-se que a composição FJ 2,5 % obteve os melhores resultados de resistência à tração em relação aos demais compósitos. Vale ressaltar que a composição FJ 45 – 2,5 % apresentou o melhor comportamento mecânico à tração.

A Figura 26 mostra o gráfico representativo da relação da força (N) e o deslocamento (mm) dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de juta.

Figura 26 – Gráfico força vs deslocamento

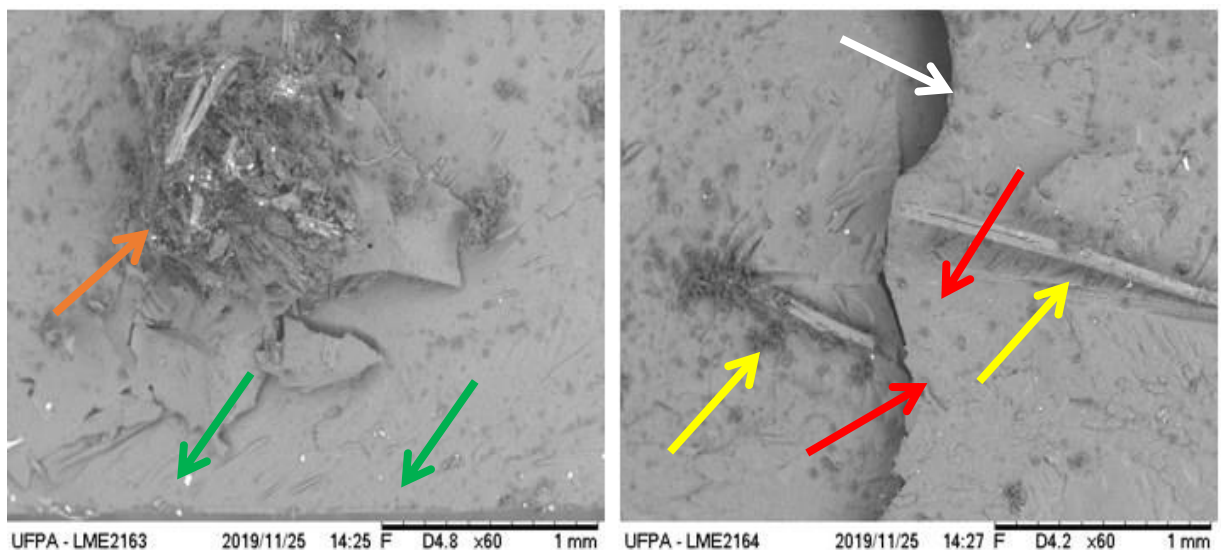


Fonte: Autora (2019)

Observa-se no gráfico da Figura 26 que a composição FJ 60 – 5 % atingiu maior força e o maior deslocamento.

Os compósitos com fibras de juta foram analisados através da Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV. A Figura 27 apresenta a superfície de fratura do compósito com inserção de fibra de juta que obteve o melhor desempenho mecânico à tração (FJ 45 – 2,5 %) nos aumentos de 60 vezes.

Figura 27 – Superfície de fratura do compósito de fibra de juta: (a) Aumento 60x; (b) Aumento 60x



(a)

(b)

Fonte: Autora (2019)

Na superfície do corpo de prova da matriz polimérica com inserção FJ 45 – 2,5 % foi possível identificar que na Figura 27 (a) algumas fibras se romperam dentro da matriz fazendo com que surgissem as microfibrilas (setas laranjas). De acordo com Costa (2016) houve uma boa adesão entre a fibra/matriz, atuando como reforço do material. Nota-se também “marcas de rios” (setas verdes) o que segundo Barbosa (2018) indica fratura frágil. As “marcas de rios” são características de materiais com fraturas frágeis.

Foi possível observar na Figura 27 (b) feixes de fibras (setas amarelas) e trinca indicada pelas setas vermelhas, além de cratera na superfície (seta branca) decorrente da trinca que se formou. Segundo Tavares (2018) quando as trincas se formam, ocorre o descolamento da fibra da matriz, é um fato característico de má adesão entre a interface fibra/matriz.

É possível observar que a fração mássica de 2,5 % foi a que se destacou no melhor desempenho mecânico, porém ao analisar as superfícies de fratura é notável que essa fração não foi positiva para a impregnação das fibras dentro da matriz. O comprimento de 45 mm apresentou os feixes de fibras dispostos na matriz.

- Comparação dos resultados obtidos com a literatura

A Tabela 8 apresenta uma comparação dos desempenhos mecânicos à tração dos compósitos reforçados com fibras sintéticas e vegetais na literatura com este trabalho.

Tabela 8 – Comparação das propriedades mecânicas dos compósitos estudados e da literatura

Composição	Fraq. Mássicas (%)	Resist. Tração (MPa)	Mód. Elasticidade (GPa)
FV/Pol.	5	28,39 (± 3,87)	0,930
30 mm (Neste trabalho)			
FV/Pol. 45 mm (Santos, 2018)	2,5	13,59 (± 2,03)	1,36
FV/Pol. 15 mm (Tavares, 2018)	5	21,25 (± 1,897)	0,68
FJ/Pol.	2,5	20,43 (±4,24)	0,860
45 mm (Neste trabalho)			
FJ/Pol. 15 mm (Santos, 2018)	2,5	13,52 (± 1,66)	2,62

Fonte: Baseado na literatura (2019)

É possível observar que as composições de FV 30 e FJ 45 alcançaram os maiores comportamentos mecânicos à tração neste trabalho. Os resultados são similares à literatura, isso reforça a influência do comprimento e das frações mássicas utilizadas.

5 CONCLUSÃO

Os materiais compósitos confeccionados apresentaram poucas falhas de fabricação, isso se deve ao fato de que o processo hand lay-up é viável, pois resultou em baixo custo e menor necessidade do uso de máquinas avançadas. De maneira geral, a produção dos compósitos com fibras de juta e de vidro foram realizados de maneira satisfatória.

As fibras de vidro apresentaram em sua morfologia fibras longas e contínuas, com áreas lisas, já os fios de juta apresentaram um emaranhado de fibras e poucas áreas lisas, tais características influenciaram nos resultados de comportamento físico e mecânico dos compósitos fabricados.

As propriedades físicas de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água aumentaram com a adição das fibras de vidro e juta, (5 % a 60 %) e (4 % a 98 %), respectivamente. Tais resultados eram esperados devido às características presentes nos materiais observados em sua morfologia, tais como a absorção de umidade da fibra vegetal e a resistência da fibra sintética. O comprimento e a fração mássica foram fatores que também influenciaram no comportamento dos ensaios físicos nas composições de fibras.

Nos ensaios de tração, os compósitos, no geral, apresentaram resultados superiores à matriz plena, onde os compósitos reforçados com fibras de vidro (FV 30 – 5 %) apresentaram limite de resistência a tração de aproximadamente 28 MPa e para os compósitos reforçados com fibras de juta (FJ 45 – 2,5 %) apresentaram limite de resistência a tração de aproximadamente 20 MPa. Ambas as fibras atuaram como reforço efetivo, no entanto o compósito de FV apresentou melhor desempenho mecânico em relação ao compósito de FJ. Em relação a fração mássica, para os compósitos de FV a fração que se resultou melhor desempenho foi a de 5 % e para FJ a fração de 2,5 % se mostrou a ideal, pois foram nessas frações que obtiveram os melhores desempenhos mecânicos a tração.

As análises das superfícies de fraturas foram eficientes na determinação dos mecanismos de falhas presentes nos materiais, onde foi possível observar fenômenos de fibras rompidas, fibras na direção transversal ao carregamento, “marcas de rios” e trincas.

Diante disso, os compósitos produzidos e caracterizados obtiveram bom desempenho físico-mecânico comparados a matriz plena, pois ambas as fibras demonstraram eficiência, o que os torna materiais com boas propriedades, podendo ser utilizados como revestimentos internos ou agregados a outros materiais.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar as propriedades mecânicas dos compósitos por meio de outros ensaios, como impacto, flamabilidade e flexão;
- Confeccionar materiais compósitos utilizando outras frações mássicas de fibras dentro da matriz polimérica;
- Fabricar compósitos com inserção de fibras tanto de juta quanto de vidro e introduzir resíduos industriais;
- Fabricar materiais híbridos através da junção das duas fibras (juta e vidro);
- Realizar tratamentos químicos nas fibras de juta, verificando as suas propriedades nos materiais compósitos.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. M. S.P. *et al.* **Determinação dos estágios de gelificação e de vitrificação na cura de um sistema epóxi – amina por análises dielétrica e dinâmico - mecânica.** In: 9º Congresso Brasileiro de Polímeros. 07 a 11 de outubro de 2007, Campina Grande, PB, 2007.

ALBUQUERQUE NETO, J. R. *et al.* Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Fibra de juta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, n.1, p.10-15, 2007.

American Society Testing Materials. **ASTM D3878: Terminologia padrão para materiais compósitos.** Annual Book of ASTM Standards, EUA, 2019.

ASM INTERNATIONAL. **Manual de Materiais de Engenharia: Compósitos.** 4. Ed. Estados Unidos da América, v.1, 983p. 1993.

BARBOSA, K. S. L. **Incorporação de fibras curtas de bambu (*bambusa vulgaris*) e resíduo industrial de caulim em compósitos de matriz polimérica: resistência à tração e fractografia,** 2018, 72f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, 2018.

BARROS, A. R. F. **Compósitos híbridos: desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação,** 2006, 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BENDEZÚ, R. J. H. **Los plásticos reforzados en fibras de vidrio (prfv), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional,** 2002, 132f. Monografía (Título profissional de Engenheiro Industrial) – Universidad Mayor de San Marcos, Peru, 2002.

BORGES, D. E. **Influência do uso de fibras de bambu (*bambusa vulgaris*) tratadas quimicamente em matrizes de polímero termofixo carregadas com resíduo da indústria do cobre,** 2018, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2018.

CALLISTER Jr.; WILLIAM D.; RETHWISCH, W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais.** 9. Ed. São Paulo: LTC Editora – GEN - Grupo Editorial Nacional, 2016.

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. 229f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2016.

COSTA, D. S. **Caracterização de materiais compósitos de matriz poliéster e fibras de bambu, sisal e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal vidro,** 2012, 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2012.

CUNHA, R. D. **Estudo do gradiente de resistência em compósito de mecha híbrida vidro/kevlar após impacto de baixa velocidade**, 2018, 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018).

DAS, S. A. K. *et al.* Efeito do pré-tratamento a vapor de fibra de juta na estabilidade dimensional de compósitos de juta. **Journal of Applied Polymer Science**. 11. Ed. v. 76. p. 1652-1661, 2000.

FELTRAN, M. B. **Compósitos de pvc reforçados com fibra de vidro: uso de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira**. 2008. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MARGEM, J. I. **Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva**. 2013. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS NETO, J. A. **Obtenção, caracterização e utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e carga de fibras de sisal**. 2016. 100f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

MENDES, T. M. F., **Propriedades de resistência à tração e ao impacto de compósitos poliéster/sisal. Um estudo comparativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 1992.

MILANESE, A. C. **Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçadas com fibras de sisal e de vidro**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, São Paulo, 2008.

MORASSI, O. J. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros**, São Paulo, Conselho Regional de Química IV Região SP, 2013.

NÓBREGA, M. M. S. **Propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados por tecidos híbridos juta/vidro**. 2000. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Curso de Mestrado em Engenharia Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba – Campus II Campina Grande, Paraíba, 2000.

NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos de matriz poliéster com fibras de *Caroá neoglaziovia variegata*: caracterização mecânica e sorção de água**. 2007. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Curso de Doutorado em Engenharia de Processos, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2007.

OLIVEIRA, M. S. **Desenvolvimento e caracterização de telhas cimentícias reforçadas com tecido de fibras vegetais da Amazônia**. 2017. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Materiais e Estruturas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2017.

PAULA, P.G. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2011.

PIRES, E.N. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**. 2009. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, Santa Catarina, 2009.

QUEIROZ, J. *et al.* **Análise da influência do processo de fabricação de compósitos de matriz poliéster reforçado com tecido plano e manta de fibra de vidro no comportamento mecânico do material**. In: 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 04 a 08 de novembro de 2018, Foz do Iguaçu, PR, 2018.

SANTOS, W. S. T. **Avaliação mecânica de tração e flexão dos compósitos com fibras curtas de juta e vidro**. 2018. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, 2018.

SILAEX. **Poliéster insaturado**. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>>. Acesso em: 03 set. 2019.

SILVA, C. D. **Influência da Presença de fibras Naturais em Compósitos Híbridos Tipo Sanduíche**. UFRN. [S.l.]. 2003.

SILVA, I.L.A. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. 110f. Tese (Doutorado) - Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2014.

SILVAN, R. *et al.* **Trabalhadores da juta na Amazônia: trajetórias de luta, suor e sofrimento**. 245f. Tese (Doutorado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 2018.

TAVARES, A. R. D. **Caracterização mecânica e morfológica de compósitos com fibras de vidro e palha da costa (*raphia taedigera mart*)**. 2018. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, Pará, 2018.

TOLEDO FILHO, R.D. **Materiais Compósitos Reforçados com Fibras Naturais**. Universidade do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande no Norte, 2008.

VIEIRA, P. R; VIEIRA, J; CARVALHO, E. M. L. **Análise das Propriedades de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Vidro**. ENGEVISTA v. 18. n.2, 2016.