



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

RAFAELA SOUZA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS REFORÇADOS
COM FIBRA VEGETAL DE MALVA (URENA LOBATA L.)**

MARABÁ
2013

RAFAELA SOUZA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS REFORÇADOS
COM FIBRA VEGETAL DE MALVA (URENA LOBATA L.)**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
de Materiais, Campus de Marabá,
Universidade Federal do Pará.
Orientador: Prof. Esp. Márcio Paulo
de Araújo Mafra.

MARABÁ

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(Biblioteca Josineide Tavares, Marabá-PA)

Oliveira, Rafaela Souza de.

Estudo do comportamento mecânico de compósitos reforçados com fibra vegetal de malva (*Urena Lobata*). / Rafaela Souza de Oliveira ; Orientador, Márcio Paulo de Araújo Mafra. – 2013.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais, 2013.

1. Engenharia de Materiais. 2. Fibras – Propriedades mecânicas. 2. Segurança nas minas. I. Título.

CDD - 22 ed.: 620.11

RAFAELA SOUZA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS REFORÇADOS
COM FIBRA VEGETAL DE MALVA (URENA LOBATA L.)**

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia
de Materiais, Campus de Marabá,
Universidade Federal do Pará.
Orientador: Prof. Esp. Márcio Paulo
de Araújo Mafra.

Data de aprovação: 16 de agosto de 2013.

Conceito: _____

Banca examinadora:

_____ - Orientador

Prof. Esp. Márcio Paulo de Araújo Mafra / UFPA

_____ - Membro interno

Prof. Dr. Edemarino Araújo Hildebrando / UFPA

_____ - Membro interno

Prof. Dr. Edinaldo Teixeira / UFPA

Dedico esse trabalho aos meus pais, Luis Henrique de Oliveira e Maria Natividade da Silva Souza, aos meus tios Sergio Paulo Silva, Antonio Alberto Silva, Francisco Silva e Luizinan Monteiro. Dedico também as minhas queridas irmãs Pamela Dias, Maira Souza e a minha sobrinha Karen Rebeca Oliveira

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente. Aos meus pais, pela dedicação e determinação na minha formação e das minhas irmãs, aos familiares pelo apoio e força.

À todos os amigos e principalmente às minhas queridas e inseparáveis amigas: Camila Konno, Juliana Santos, Juliana Rodrigues que tanto me ajudaram durante esses seis “longos” anos de convivência.

À minha tia Regina Machado e Hildejane pelo apoio. As minhas “chefas” Dorivan Sousa, Elza Cirqueira e Josina Reis (3ª dama) e todos da escola Ida Vamont.

Aos meus amigos Gustavo Ronielly, Daniel Oliveira, Leonardo, Leticia, Barbara, Adriano, Mayron, Leonardo Vilarins, Milton Adalberto, Mario Eduardo, Ronaldo enfim a todos que disporão do seu tempo pra me auxiliar nesses anos de graduação e da qual sempre vou ter orgulho de conhecido.

Aos funcionários da UFPA, aos técnicos Tatiane, Gilson e Artur pela ajuda e colaboração, aos professores da FEMAT, em especial ao meu orientador pela paciência e compreensão nesta fase final e importante da minha graduação. À casa da cultura pelo apoio no reconhecimento do nome científico da fibra vegetal no qual foi utilizada neste trabalho. Enfim, minha eterna gratidão à todos que colaboraram e fizeram parte desta inesquecível etapa da minha vida.

RESUMO

A crescente preocupação com o meio ambiente tem despertado o interesse constante na busca de alternativas viáveis para o desenvolvimento sustentável. Dentro deste contexto os materiais compósitos têm papel de destaque, pois a utilização de fibras vegetais como substituta de diversos reforços sintéticos ou cargas minerais em compósitos poliméricos tem apresentado um grande potencial de aplicação tecnológica. As fibras a serem utilizadas neste trabalho são classificadas como reforço lamelar oriundas da maceração das medulas lenhosas ou varas de malva (*Urena lobata* L.), a qual é típica das regiões tropicais do país. Neste contexto este trabalho tem como objetivo de desenvolver e caracterizar mecanicamente compósitos poliméricos à base de poliéster insaturado, reforçados por filanças de Malva (*Urena lobata* L). No qual foram dispostos na matriz polimérica em camadas alternadas em sentido unidirecional e bidirecional, antes e após o processo de mercerização para o estudo das propriedades mecânicas em flexão e impacto de acordo com as normas ASTM D-790 e D-256, respectivamente. Os compósitos foram preparados com teores variados de fibras sendo aplicado o processo de moldagem à compressão, as placas obtidas passaram por um pós-cura de 48 horas a temperatura de 80° C. Os corpos-de-prova foram serrados manualmente para a realização dos ensaios de flexão e impacto, a partir daí os resultados foram interpretados e discutidos. Foi possível concluir que o material em estudo apresentou comportamento mecânicos satisfatório e uma extraordinária viabilidade ecológica e econômica, tendo em vista sua grande abundância em nossa região.

Palavras-chave: *compósitos poliméricos; Fibras vegetais; Fibras de Malva; Propriedades mecânicas e mercerização.*

ABSTRACT

The growing concern for the environment has aroused interest in the constant search for viable alternatives for sustainable development. Within this context, composite materials have an important role, as the use of natural fibers as a substitute for various synthetic reinforcements or fillers in polymer composites has shown a great potential for technological applications. The fibers to be used in this work are classified as arising from strengthening lamellar maceration of woody marrow or sticks malva (*Urena lobata* L.), which is typical of tropical regions of the country. Therefore, this work aims to develop and characterize mechanically polymer composites based on unsaturated polyester reinforced by filanças Malva (*Urena lobata* L). In which were arranged in alternating layers in the polymeric matrix in order bidirectional and unidirectional before and after the mercerization process for the study of mechanical properties in flexural and impact according to ASTM D-790 and D-256, respectively . The composites were prepared with varying amounts of fibers being applied to compression molding process, the plates obtained underwent a post-cure of 48 hours at a temperature of 80 ° C. The bodies of the specimens were sawn manually for testing of flexural and impact, thereafter the results were interpreted and discussed. It was concluded that the material under study showed satisfactory mechanical behavior, one extraordinary ecological and economic viability in view of its great abundance in our region.

Keywords: *polymer composites; Vegetable fibers, fibers Malva; Mechanical properties and mercerizing*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Esquema de classificação para os tipos de compósitos	18
Figura 02: Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas; (c) descontínuas aleatórias...	19
Figura 03: Representação da reação de obtenção do poliéster insaturado.	22
Figura 04: Estruturas moleculares de peróxidos componentes do catalisador de metiletil cetona.	24
Figura 05: Corte das hastes de Malva.....	27
Figura 06 (a): Afogamento das fibras para o processo de maceração (b): Desfibramento das hastes dentro d'água	28
Figura 07: Diagrama esquemático ilustrando conceitos de interface e interfase de materiais compósitos.....	30
Figura 08: Interface entre a fibra e a matriz. a) Interface ideal. b) Interface real	30
Figura 09: Reação de mercerização da fibra vegetal com hidróxido de sódio.	32
Figura 10: Constituição de uma fibra vegetal elementar	33
Figura 11: Estrutura do mero da celulose	34
Figura 12: Fluxograma da metodologia empregada para obtenção e caracterização mecânica do compósito estudado.	38
Figura 13: Mantas de Malva	39
Figura 14: Fibras durante o processo químico com hidróxido de sódio (NaOH).	40
Figura 15: Molde metálico	42
Figura 16: Prensa hidráulica de 15 toneladas BONEVAU.....	42
Figura 17 (a): Corpo de prova com fibras não tratadas	43
Figura 19: Dimensão do corpo de prova para ensaio de flexão.	44
Figura 20: Máquina de ensaio universal EMIC DL 10000, utilizada para o ensaio de flexão.....	44
Figura 21: Dimensões do corpo de prova para ensaio de impacto.	45
Figura 22: Representação do ensaio de impacto Charpy	45
Figura 23: Resistência à Flexão dos compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional).....	49
Figura 24: Módulo de Elasticidade dos compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional).....	50

Figura 25: Resistência a Ruptura em compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional)	51
Figura 26: Resistência ao Impacto dos compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional)	55
Figura 27: Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Malva sem tratamento. Aumento 100x	58
Figura 28: Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Malva tratadas com NaOH 3%. Aumento 100x	58
Figura 29: Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Malva tratadas com NaOH 5%. Aumento 100x	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.	20
Tabela 02: Propriedades Físicas e Mecânicas.....	29
Tabela 03: Análise química da fibra de Malva e Juta	29
Tabela 04: Descrição do Peso/Teor, Orientação e Tratamento das fibras de Malva	41
Tabela 5: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos sem tratamento (in natura) em sentido unidirecional.....	48
Tabela 6: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos sem tratamento (in natura) em sentido bidirecional.....	48
Tabela 7: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos tratados com NaOH 3%	52
Tabela 8: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos tratados com NaOH 5%	52
Tabela 9: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos reforçados com 30 g de fibra tratadas e não tratadas.	53
Tabela 10: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos reforçados com 40 g de fibra tratadas e não tratadas	53
Tabela 11: Resistência ao impacto para compósitos sem tratamento (in natura) em sentido unidirecional.....	54
Tabela 12: Resistência ao impacto para compósitos sem tratamento (in natura) em sentido bidirecional.....	55
Tabela 13: Resistência ao impacto para compósitos tratados com NaOH 3%.....	56
Tabela 14: Resistência ao impacto para compósitos tratados com NaOH 5%.....	56
Tabela 15: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência ao Impacto em compósitos reforçados com 30 g de fibra tratadas e não tratadas	56
Tabela 16: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência ao Impacto em compósitos reforçados com 40 g de fibra tratadas e não tratadas	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVOS GERAIS	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	COMPÓSITOS	17
3.1.1	Características Gerais	17
3.1.2	Classificação dos compósitos	18
3.2	MATRIZ POLIMÉRICA	19
3.2.1	Resina Poliéster	21
3.2.2	Agente de cura	23
3.3	REFORÇO	25
3.3.1	Fibras de Malva	27
3.4	INTERFACE E INTERFASE MATRIZ-FIBRA	29
3.5	MERCERIZAÇÃO	31
3.6	FIBRAS VEGETAIS	33
3.7	COMPOSÍITOS POLÍMICOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	MATRIZ POLIMÉRICA	39
4.2	FIBRAS LONGAS DE MALVA	39
4.3	MERCERIZAÇÃO	39
4.4	PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS	40
4.5	ANÁLISE MECÂNICA DAS FIBRAS DE MALVA	44
4.5.1	Ensaio de Flexão	44
4.5.2	Teste de Impacto	45
4.6	CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA SUPERFÍCIE DAS FIBRAS TRATADAS E NÃO TRATADAS	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1	ENSAIOS MECÂNICOS	47
5.2	ENSAIO DE FLEXÃO	47
5.2.1	Fibras não tratadas (In natura) em sentido unidirecional e bidirecional	47

5.2.2	Fibras Mercerizadas em sentido Unidirecional e Bidirecional	51
5.3	IMPACTO	54
5.3.1	Fibras não tratadas (In natura) em sentido unidirecional e bidirecional	54
5.3.2	Fibras Mercerizadas em sentido Unidirecional e Bidirecional	55
5.4	MORFOLOGIA DA FIBRA DE MALVA	57
6	CONCLUSÃO.....	60
7	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
8	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

À medida que o mundo vem evoluindo, a questão ambiental é algo que está sendo discutido amplamente, desta forma vem crescendo o interesse em se utilizar o natural no lugar do sintético. Com isso, em todo mundo as pesquisas na área de novos materiais tem se tornado algo necessário, dentre estes se dá destaque aos materiais compósitos. Nesses materiais pode-se destacar que são formados por uma fase de reforço, que podem ter a forma de filamento; e outra fase, conhecida como matriz que tem a função aglutinante, que faz com que o reforço trabalhe de forma integrada suportando os esforços mecânicos [5].

Com isso as fibras vegetais foram ganhando um novo padrão de estudos, possibilitando o seu incremento a compósitos poliméricos reforçados com os mais diferentes tipos de fibras, devido à combinação do seu desempenho satisfatório e versatilidade com a vantagem de processamento simples e de baixo custo.

Segundo NÓBREGA (2007), o uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, com o objetivo de substituir total ou parcialmente as fibras sintéticas, tem recebido muita atenção dos pesquisadores. Isto porque as fibras vegetais apresentam importantes vantagens como: baixo custo, baixa densidade, resistência, baixa abrasividade aos equipamentos de processo, são biodegradáveis, não são tóxicas ou poluentes diminuindo assim problemas ambientais, além de serem originárias de fontes renováveis e serem disponíveis em todo o mundo.

Segundo TANOBE e MAZZARO (2003), além de condições climáticas extremamente favoráveis à agricultura, solos férteis e abundantes, o Brasil deve aproveitar a oportunidade de promover o desenvolvimento econômico e social auto-sustentado, através do incentivo a projetos cuja matéria-prima utilize produtos de origem vegetal, agregando valor a esses produtos. Pequenas e médias propriedades rurais podem participar de atividades cooperativas, fornecendo insumos vegetais para matérias-primas industriais nas entressafras de produtos alimentícios. É preciso considerar também o custo ambiental da disposição final de produtos convencionais quando comparados a materiais que utilizam fibras vegetais como um de seus componentes e pesar os benefícios sociais que o uso desses materiais acarretam. O

desenvolvimento auto-sustentado, relacionado ao equilíbrio dos ciclos biológicos, tem como principal preocupação não retirar da natureza mais do que ela seja capaz de produzir, o que aponta à produção agrícola e ao extrativismo não predatório.

As fibras utilizadas neste trabalho são classificadas como reforçado lamelar extraídas das medulas lenhosas ou varas de malva (*Urena Lobata L*) a qual é típica das regiões tropicais do país. A fibra de Malva assemelha-se na cor e na textura e na resistência à de juta. A Malva é uma fibra Liberiana ocorrendo entre a camada do câmbio que envolve a medula central lenhosa do caule e a camada externa da casca. Ela é classificada no grupo das fibras ligno-celulósica. A Malva produz fibras têxteis similares às tradicionalmente utilizadas na fabricação de papel, vestuário, barbantes e tecidos para estofados e tapetes. É usada, sobretudo, na confecção de sacaria para acondicionar produtos como açúcar, café, castanha de caju e cacau [6].

As principais motivações deste trabalho estão no fato da fibra de Malva ser nativas das regiões tropicais, apresentarem propriedades mecânicas que indicam boas aplicações em compósitos poliméricos, dando mais uma alternativa para fontes ecológicas, uma vez que as mesmas são renováveis e abundantes na natureza. A investigação da sua utilização como reforço em compósitos de matriz polimérica já vem sendo estudada, fornecendo assim dados importantes para desenvolver este trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Caracterizar compósitos poliméricos à base de resina poliéster, reforçados com tecidos de Malva sem tratamento químico e orientadas unidirecionalmente e bidirecionalmente na matriz e tratadas quimicamente por mercerização.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar suas propriedades mecânicas a partir do ensaio de flexão e impacto para diferentes teores fibrosos.
- Comparar os resultados obtidos com outros tipos de reforços vegetais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 COMPÓSITOS

3.1.1 Características Gerais

Segundo Callister 2002 embora não haja uma definição universalmente aceita, de maneira geral, pode-se considerar um compósito como sendo um material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem de tal de modo que é encontrada uma melhor combinação de ambas as fases e uma melhor combinação de propriedades. Sendo que as fases constituintes devem estar separadas por uma interface distinta e de escala microscópica. Geralmente são compostos por apenas duas fases, uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada de fase dispersa. De acordo com o princípio da ação combinada, propriedades podem ser obtidas pela combinação de dois ou mais materiais distintos.

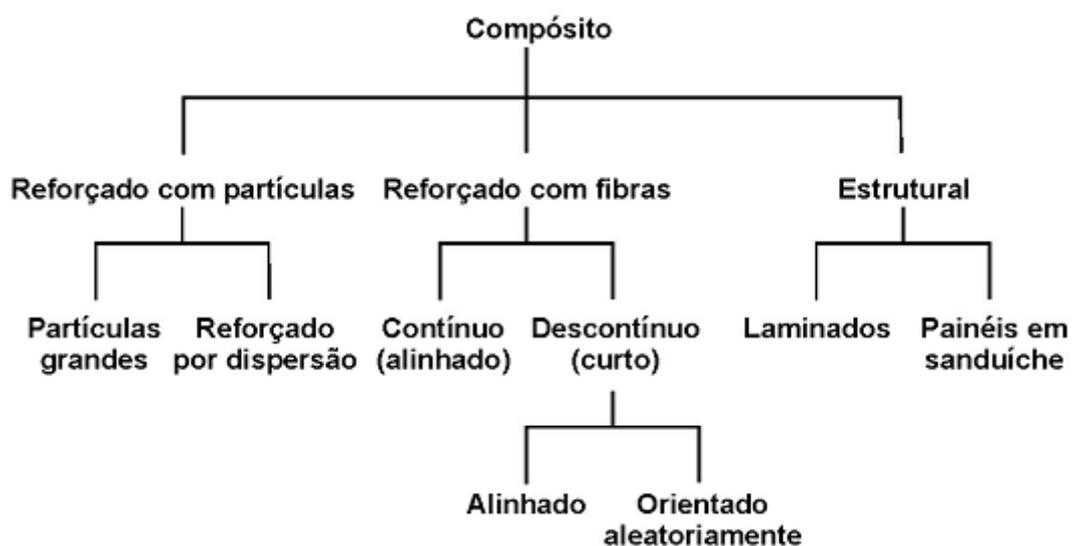
As propriedades dos compósitos são controladas, principalmente, pelas propriedades de seus materiais constituintes, teor de reforço, grau de dispersão, geometria do reforço, razão de aspecto (relação comprimento/diâmetro) e orientação das fibras. Estas propriedades controlam a homogeneidade do produto. As características de anisotropia de um compósito são influenciadas enormemente pela orientação do reforço. Compósitos longitudinalmente orientados são anisotrópicos por natureza e o máximo na resistência é obtido quando o material é testado na direção do alinhamento das fibras. Na direção transversal ao alinhamento das fibras, o reforço é virtualmente inexistente e, portanto, o material falha já em tensões muito baixas. [4]

O aumento do teor do reforço é um fator que pode promover um aumento nas propriedades mecânicas, embora um alto carregamento de reforço possa favorecer a aglomeração de fibras e a baixa dispersão destas na matriz. A fração volume máxima é de aproximadamente 80% além disso, as fibras não podem mais ser completamente envoltas pela matriz. [7]

3.1.2 Classificação dos compósitos

Os materiais compósitos podem ser classificados em três divisões principais: os compósitos reforçados com partículas, os reforçados com fibras e os estruturais, como se observa na Figura 01.

. **Figura 01: Esquema de classificação para os tipos de compósitos**

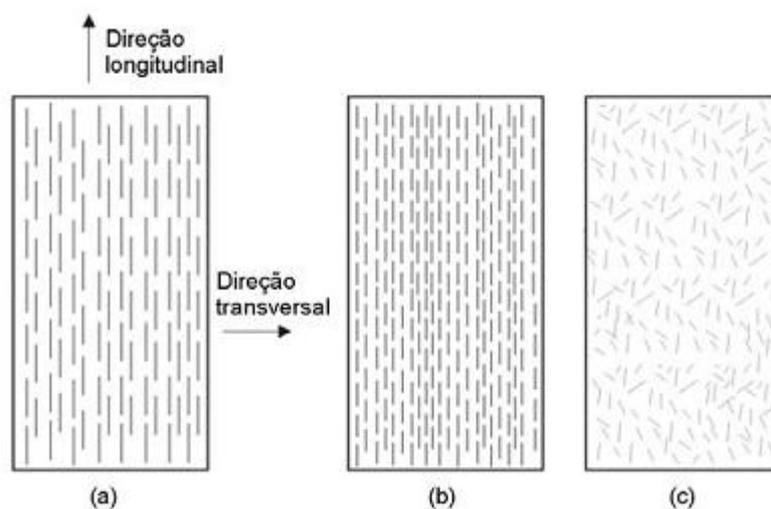


Fonte: [1]

Nos compósitos reforçados com partículas, a fase dispersa tem eixos iguais, sendo as dimensões das partículas aproximadamente as mesmas em todas as direções. Para os compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa tem a geometria de uma fibra, com uma grande razão entre o comprimento e o diâmetro; já os compósitos estruturais são combinações de compósitos e materiais homogêneos [1].

A orientação, concentração e distribuição das fibras também exercem influência na resistência e em outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras. Existem duas possibilidades de orientação: alinhamento paralelo ao eixo longitudinal das fibras e alinhamento totalmente aleatório. Normalmente, as fibras contínuas (longas) estão alinhadas e as fibras descontínuas (curtas) podem estar alinhadas ou orientadas aleatoriamente (Figura 02). A melhor combinação das propriedades dos compósitos se dá quando a distribuição das fibras é uniforme [1].

Figura 02: Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas; (c) descontínuas aleatórias.



Fonte: [1]

Os materiais compósitos também são convencionalmente classificados de acordo com a sua natureza química e física da matriz em: cerâmicos, metálicos e poliméricos. Os materiais cerâmicos são inorgânicos e têm, como características principais, elevada resistência ao calor e sua extrema fragilidade; os materiais metálicos apresentam, como características gerais, ductilidade e excelentes condutividades térmica e elétrica. A grande limitação do uso de metais em compósitos é a sua elevada densidade e custo do processo de fabricação. Os materiais poliméricos, por sua vez destacam-se pela sua baixa densidade, fácil conformação e elevada resistividade elétrica.[4]

3.2 MATRIZ POLIMÉRICA

As matrizes poliméricas podem ser termofixas, termoplásticas ou elastoméricas. Para os compósitos avançados a maior parte das matrizes poliméricas é à base de resinas termofixas, destacando-se as resinas epóxi, fenólicas e poliéster [4]. A Tabela 01 abaixo apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

Tabela 01: Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.

Termoplásticos	Termorrígidos
Reciclável mecanicamente	Não reciclável mecanicamente
Tempo ilimitado de armazenamento	Tempo limitado de armazenamento
Alta viscosidade quando fundido	Baixa viscosidade durante o processamento
Baixa resistência à fluência	Alta resistência à fluência
Temperatura limitada à Tg e Tm	-----
Baixa estabilidade térmica e dimensional.	Alta resistência térmica e dimensional

Fonte: SANTOS, 2006.

Os polímeros termoplásticos constituem a maior parte dos polímeros comerciais, tendo como principal característica a capacidade de ser fundido diversas vezes. Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em vários solventes. Logo, sua reciclagem é possível, uma característica bastante desejável nos dias de hoje. São polímeros de alta massa molar, constituídos de cadeias lineares e, em alguns casos, apresentam alguma ramificação. O emaranhamento das cadeias confere integridade física ao material, sendo passíveis, entretanto, de deformação plástica quando submetidos a tensões mecânicas. [8]

Polímeros termorrígidos, diferentemente dos termoplásticos, são rígidos e apresentam ruptura frágil, sendo muito estáveis a variações de temperatura. Após a polimerização (cura), não possuem a capacidade de se fundir novamente, apresentando decomposição quando aquecido a altas temperaturas. Esta característica torna a reciclagem desses polímeros bastante complicada. Na sua estrutura molecular as moléculas formam cadeias que estão ligadas fisicamente entre si, formando uma rede ou reticulado. Elas estão presas entre si por meio de numerosas ligações, não se movimentando com liberdade como no caso dos termoplásticos. [8]

Elastômero (borracha) é uma classe de polímeros intermediária aos termoplásticos e termorrígidos. Não são fundíveis, mas apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termorrígidos. Sua reciclagem é também complicada de forma análoga aos termorrígidos, devido à incapacidade de fusão. A estrutura

molecular é similar à do termorrígido, mas neste caso, há menor número de ligações entre as cadeias. Exemplos: vedações, mangueiras de borracha. [8]

Nos compósitos reforçados por fibras, tanto sintéticas quanto vegetais, vários tipos de polímeros têm sido utilizados como matrizes sejam eles termoplásticos ou termorrígidos. Quanto aos compósitos reforçados por fibras vegetais, os mais comumente empregados são polímeros termorrígidos (poliéster, epóxi e fenólico), devido à capacidade da polimerização poder ser realizada a baixas temperaturas, reduzindo o risco de deterioração das fibras. [8]

Ainda assim, termoplásticos (polietileno, poliestireno, polipropileno, etc.) são também utilizados como matrizes em compósitos, devido à maior tenacidade à fratura, maior resistência ao impacto, maior tolerância a danos em relação aos termorrígidos, além da capacidade de reciclagem desses materiais. O efeito de reforçamento das fibras, em geral, pode variar bastante devido a diferentes afinidades com as matrizes acompanhada das diferenças em suas estruturas químicas. [8]

3.2.1 Resina Poliéster

As resinas de poliéster são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anidro maleico ou ftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácido influencia as propriedades finais da resina e poliéster ortoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono, a resina resultante é insaturada. [9]

Os poliésteres saturados são obtidos pela reação entre um diol e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono. Possuem moléculas longas e lineares, e não são sujeitos a reações de reticulação, podendo ser encontrados em forma de fibras ou filmes. [4]

Os poliésteres insaturados são obtidos a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol, resultando num pré-polímero, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos decarbono. O pré-polímero é diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização. Inicialmente o sistema encontra-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, as ligações duplas no pré-polímero são ativadas e o monômero vinílico polimeriza formando “pontes” entre as cadeias do pré-polímero se solidificam formando uma estrutura termofixa irreversível, reticulada e infusível.[4]

Um poliéster insaturado apresenta uma estrutura composta geralmente de três componentes básicos: ácidos saturados, ácidos insaturados e glicóis. No caso de um poliéster de uso geral, estes componentes consistem de ácido ou anidrido ftálico, ácido fumárico ou anidrido maléico, propileno glicol e um monômero vinílico, comumente o estireno (Figura 3). Cada um desses componentes tem uma função básica na obtenção da resina poliéster. O ácido insaturado fornece os pontos reativos para as ligações cruzadas; o ácido saturado determina o grau de espaçamento ou concentração das moléculas do ácido insaturado ao longo da cadeia do poliéster, e o glicol, naturalmente, proporciona os meios para a esterificação e a ponte entre os ácidos para formar o polímero. O monômero vinílico dissolve o polímero formado durante a reação de esterificação e serve de ponte de ligação (reticulação) entre os pontos de insaturação presentes na cadeia do poliéster. [4]

Figura 03: Representação da reação de obtenção do poliéster insaturado.



Fonte: [4]

Muitas resinas poliéster são viscosas, consistindo de líquidos claros de uma solução de poliéster em um monômero que é normalmente estireno. A adição de

estireno em quantidades acima de 50% ajuda a produzir uma resina de fácil manuseio pela redução da viscosidade. [10]

A resina poliéster geralmente tem propriedades adesivas mais baixas em comparação com a resina vinil éster e epóxi. A resina vinil éster mostra certa superioridade em relação a poliéster, mas os sistemas epóxi apresentam melhor desempenho e são, portanto, frequentemente encontradas em muitos adesivos de alta resistência. [10]

Outro aspecto relevante para a seleção de um sistema de resina é o custo. Dados comerciais mostram que dentre as três resinas citadas como mais utilizadas em compósitos para indústria, a resina epóxi apresenta maior valor de custo, aproximadamente 1,5 vezes maior que o custo da resina vinil éster e 3,5 vezes maior que o custo da resina poliéster. [10]

3.2.2 Agente de cura

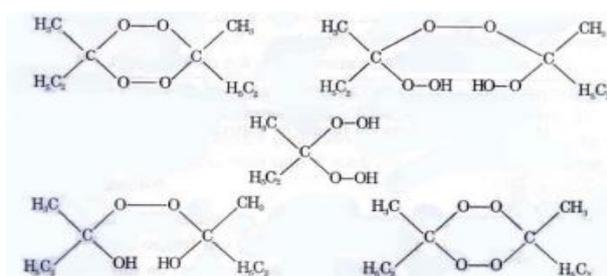
A escolha do agente de cura apropriado é tão importante quanto a escolha da resina base. O agente de cura determina o tipo de estrutura polimérica a ser formado, o grau de ligações cruzadas e a resistência química e mecânica do filme. Em muitos casos, o brilho, a fluidez, a resistência ao amarelamento e a estabilidade do produto armazenado são fortemente influenciadas pelo agente de cura. [11]

Para a cura de resinas vinil éster, os iniciadores utilizados geralmente são peróxidos orgânicos e hidroperóxidos, incluindo peróxido de metil etil cetona, peróxido de benzoila e hidroperóxido de cumeno. Porém, a cura de uma resina poliéster insaturada, como são classificadas as resinas vinil éster, em temperatura ambiente pode não ser realizada por um peróxido orgânico sozinho, a rápida decomposição dos iniciadores pode ocorrer por aquecimento ou pelo uso de promotores, tais como aminas terciárias e sais de metais como octoato ou naftanato de cobalto, ou seja, para que o peróxido desempenhe suas funções, é necessário um promotor de cura ou acelerador que promova a sua decomposição. O peróxido e metil-etil-cetona decompõe-se na presença de octoato de cobalto ou naftanato de

cobalto. Essa combinação do peróxido com seu respectivo acelerador são chamados de sistema de polimerização. [7]

Como é uma reação de adição em cadeia, não há formação de produtos adicionais. Para cura à temperatura ambiente, o catalisador mais utilizado é o peróxido de metil-etil-cetona (MEKP), utilizado juntamente com os aceleradores naftenato de cobalto (CoNap), ou Dimetilnilina (DMA), na proporção de 0 a 0,3 % em massa. O peróxido de MEKP é, na realidade, uma mistura de peróxidos, conforme mostra a Figura 4, que possibilita variar a reatividade do produto modificando as proporções de cada componente. As resinas de poliéster insaturado são comercializadas com acelerador de tal forma que o sistema reativo seja obtido pela mistura pré-acelerada com o catalisador. A quantidade de acelerador, e catalisador controla a velocidade de reação e, portanto, o tempo de gel e a temperatura máxima atingida durante a reação. Na prática, sistemas de cura à temperatura ambiente não atingem cura total, sendo necessário efetuar uma pós-cura, a uma determinada temperatura e um determinado tempo para completar a reação. [7]

Figura 04: Estruturas moleculares de peróxidos componentes do catalisador de metiletil cetona.



Fonte: [5].

3.3 REFORÇO

Reforços são os constituintes que aumentam determinadas propriedades do compósito em relação à matriz polimérica. A fase dispersa ou reforço tem uma função estrutural e é a responsável pela resistência do compósito. A geometria do reforço é um dos principais parâmetros a ser considerado, visto que as propriedades mecânicas destes materiais dependem da forma e das dimensões do reforço. De acordo com as características do reforço os materiais compósitos podem ser classificados em compósitos particulados com orientação preferencial ou aleatória, e compósitos fibrosos podendo ser constituídos por uma única camada ou por várias camadas de fibras. Estes últimos são chamados de laminados quando as camadas são constituídas pelo mesmo material. [12]

Podem ser considerados reforços desde cargas minerais, muitas vezes incorporadas aos polímeros com o intuito de reduzir custos, até fibras de ultra-alta resistência. As cargas minerais proporcionam aumentos na rigidez, dureza e, algumas vezes, na resistência e temperatura de distorção térmica; os elastômeros proporcionam aumento na resistência ao impacto de matrizes poliméricas frágeis; as fibras, pelas suas características de elevada razão L/d , são os principais responsáveis pelo aumento nas propriedades mecânicas dos compósitos. [12]

Os reforços podem ser classificados:

a) Quanto à sua natureza:

- duros para promover aumento à dureza e a resistência à abrasão;
- resistentes à ruptura para proporcionar elevada resistência à tração, à flexão e ao cisalhamento;
- rígidos para incrementar o módulo elástico;
- flexíveis para aumentar a resistência ao impacto;
- resistentes termicamente para aumentar a estabilidade térmica.

b) Quanto às características geométricas:

- particulados;
- fibrosos;
- laminados

As características do reforço que têm maior influência sobre as propriedades de compósitos são: constituição química, tamanho e razão de aspecto. A adesão entre os componentes de um compósito é de fundamental importância para que o reforço possa exercer sua função de forma efetiva e os esforços aplicados sejam divididos entre as duas fases [4].

A quantidade do reforço é uma das principais variáveis a ser considerada no desenvolvimento do compósito. A qualidade do compósito final é função, dentre outros requisitos, do comprimento, razão de aspecto e dispersão do reforço na matriz polimérica e do grau de cristalinidade do compósito. No caso de compósitos reforçados por fibras longas ou contínuas, a qualidade do produto final também depende do método e condições de moldagem dos componentes. [4]

Quando se utilizam cargas fibrosas, as tensões aplicadas ao sistema são transferidas pelo polímero à fibra por um mecanismo de transferência de tensão por cisalhamento. Para que haja transferência efetiva de tensões é necessário que a interface seja forte, ou seja, que haja boa adesão entre os componentes. [4]

Fibras podem ser usadas como reforço em plásticos sempre que há a necessidade de propriedades mecânicas elevadas combinadas com baixo peso. No que diz respeito ao uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, o interesse maior é a substituição parcial ou total das fibras de vidro, extensamente usadas, além da obtenção de vantagens do ponto de vista de peso, custo e adesão fibra-matriz, especificamente com matrizes polares. As fibras naturais apresentam menores propriedades mecânicas que as fibras de vidro, porém suas propriedades específicas são equivalentes. Elas apresentam elevada razão de aspecto e eficiente transferência de tensões e dão um incremento acentuado nas propriedades mecânicas dos compósitos. [12]

3.3.1 Fibras de Malva

A malva (*Urena Lobata* L.) é uma planta dicotiledônea pertencente à família *Malvaceae*. É uma planta anual, tropical, produtora de fibras liberianas, que são extraídas de suas hastes após a colheita e o desfibramento mecânico. A colheita é feita quando as mesmas estão com cerca de 80% floradas, isso porque nessa fase, as plantas oferecem uma fibra de melhor qualidade (mais fina, sedosa e macia) e também por facilitar a sua desagregação do lenho por ocasião da maceração biológica, a Figura 05 mostra o processo do corte das hastes de malva. [13]

Figura 05: Corte das hastes de Malva



Fonte: Alciane Matos de Paiva, 2008 (Comunidade Santo Afonso Município de Manacapuru-AM)

Como no caso da juta e de outros têxteis similares, as fibras de malva são libertadas dos tecidos que as envolvem submetendo-se os caules previamente separados do lenho por máquinas especiais, ao processo de maceração em água corrente ou parada, preferivelmente água corrente num período de 8 a 20 dias. A maceração consiste na libertação dos feixes fibrosos, após a destruição dos referidos tecidos, e na dissolução do cimento péctico que une os feixes entre, essa técnica pode ser observada através da Figura 06 (a) e (b) no qual mostra o processo de afogamento das hastes para maceração e o desfibramento dessas hastes para obtenção da fibra.

**Figura 06 (a): Afogamento das fibras para o processo de maceração (b):
Desfibramento das hastes dentro d'água**



(a)



(b)

Fonte: Alciane Matos de Paiva, 2008 (Comunidade Santo Afonso Município de Manacapuru-AM)

A secagem tem por fim, tirar o excesso d'água que se encontra nas fibras ao saírem da lavagem e é de grande importância, pois pode afetar a qualidade do produto. As fibras são colocadas em varais, ao sol, principalmente pela parte da manhã, pois se colocada a raios solares intensos podem prejudicar na sua resistência, geralmente de 2 a 3 horas são suficiente para obter uma boa secagem. Na Tabela 02 tem-se as propriedades físicas e mecânicas da fibra de malva.

Tabela 02: Propriedades Físicas e Mecânicas

	Diâmetro (μm)	Comp. (mm)	Massa Específica (kg/m^3)	Absorção máxima (MPa)	Resistência a Tração (MPa)	Along. a ruptura(%)	Mod. de Elasticidade (GPa)
Malva	42,6	23,8	1374	377	160	5,2	17,4

Fonte: [6].

Na Tabela 03 tem-se a análise química comparativa da fibra de malva e juta.

Tabela 03: Análise química da fibra de Malva e Juta

Análise química comparativa da fibra de Malva com a fibra de Juta.		
	MALVA%	JUTA%
Umidade	9,3	9,6
Cinzas	0,7	0,7
Hidrólise α	10,2	9,1
Hidrólise β	18,2	13,1
Purificação ácida	1,9	2,0
Celulose	76,0	77,7

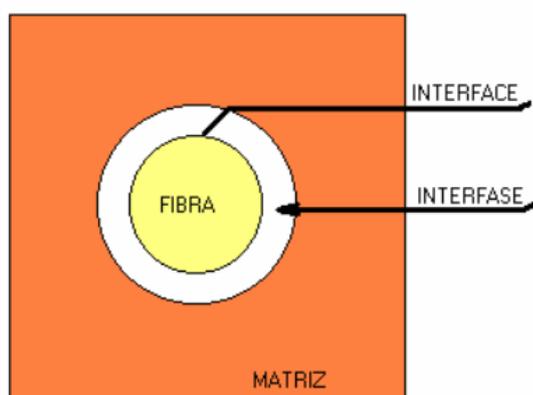
Fonte: [14]

3.4 INTERFACE E INTERFASE MATRIZ-FIBRA

Um dos principais desafios na tecnologia de processamento de materiais compósitos é a obtenção de uma adequada interface/interfase entre o reforço e a matriz. A interface corresponderia a um plano hipotético de espessura “zero” que une o reforço e a matriz por um determinado mecanismo de adesão. A região de interfase pode ser considerada como uma zona de difusão, de nucleação de reação química ou combinação entre estes parâmetros. [15]

Cahn e Reifsnider definem a interfase para materiais compósitos, como a região resultante da interação entre a fibra e a matriz, com morfologias e ou composições químicas significativamente distintas, quando comparadas aos cerne da fibra e da matriz (Figura 07). [15]

Figura 07: Diagrama esquemático ilustrando conceitos de interface e interfase de materiais compósitos.



Fonte: [15]

A Figura 08(a) mostra uma interface ideal entre a fibra e a matriz e a figura 08(b) mostra a interface que é normalmente obtida em compósitos reforçado com fibras, tanto como naturais como sintéticos. [15]

Figura 08: Interface entre a fibra e a matriz. a) Interface ideal. b) Interface real



Fonte: [15]

Apesar dos conhecimentos a respeito da região de interface não serem completos, muitos estudos apontam a aplicação de tratamentos superficiais para modificação química e estrutural das superfícies, buscando melhorar o molhamento e a proteção do reforço, para então proporcionar um melhor desempenho nas propriedades do composto. [16]

Em função da diferença significativa nas propriedades elásticas dos constituintes do compósito, caberá a interface entre os dois materiais compatibilizar estes comportamentos. A ligação de interface entre a matriz e o reforço deve ser a maior possível, de modo que a matriz seja capaz de fazer ligação mecânica e química com o reforço. Para que esta ligação seja o mais forte possível, deve haver compatibilidade química (resultante da presença de grupos funcionais na superfície da fibra com afinidade com a matriz polimérica) entre as fases para que não ocorram reações indesejáveis na interface entre ambos. [16]

A força de ligação entre a matriz e a fibra é um critério muito importante para a seleção dos materiais (fibra-matriz) dos compósitos, uma vez que a resistência final do material dependerá muito desta adesão superficial. Se a interface apresentar ótima adesão entre fibra/matriz, ao analisar a fratura ocorre elevada porcentagem de fibras fraturadas, provocando o mínimo de arrancamento de fibras da matriz, alcançando assim elevada resistência longitudinal. [16]

Com o aumento significativo da produção dos materiais compósitos, e em função da busca de propriedades cada vez melhores, muitos estudos são realizados para melhor compreender o comportamento deste tipo de material. No entanto, ainda não existe um método normalizado que permite obter a resistência da adesão no acoplamento interfacial fibra/matriz. Isto ocorre devido às dificuldades de se estabelecer na prática se as falhas ocorrem na interface ou não. No entanto, os estudos apontam três possibilidades ou modos de falha para esta situação: falha adesiva entre as matérias-primas constituintes, provocando a fratura na região da interface, falha coesiva resultando na fratura da resina junto à interface e falha coesiva resultando na fratura da fibra junto à interface. [16]

3.5 MERCERIZAÇÃO

O tratamento com solução alcalina de fibras lignocelulósicas é denominado de mercerização, este tratamento com solução de NaOH (mercerização) provoca uma diminuição do grau de agregação das fibras podendo resultar em benefícios

consideráveis para utilização das mesmas como agente de reforço em compósitos.[15]

Os principais componentes químicos das fibras vegetais são substâncias polares, tais como a celulose, a hemicelulose e a lignina, com menores percentuais de outros componentes como pectina, cera e substâncias solúveis em água; lembrando-se que esta composição poder variar ligeiramente de acordo com a região de cultivo, tipo de solo e condições climáticas. [17] Devido á natureza hidrofóbica da matriz e hidrofílica das fibras, mas esses problemas são minimizados pela modificação da superfície das fibras ou pela adição de compatibilizantes. Porém, a integridade das partículas/fibras deve ser preservada e conseqüentemente, suas propriedades mecânicas. [13]

Nos tratamentos alcalinos ocorre a quebra de ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, conferindo uma superfície mais rugosa com maior superfície de contato que auxilia no ancoramento mecânico, porém nesse processo ocorre remoção de lignina, hemiceluloses além de outros componentes além de outros componentes da partícula/fibra (Figura 09). [17]

Figura 09: Reação de mercerização da fibra vegetal com hidróxido de sódio.



Fonte: [13]

A desagregação das fibras pode ocorrer em um nível molecular devido ao rompimento de ligações hidrogênio entre as cadeias celulósicas vizinhas o que se refletem num rearranjo dos feixes de fibras, mas o tratamento alcalino exerce uma maior influência nas polioses (hemicelulose) e lignina. [15]

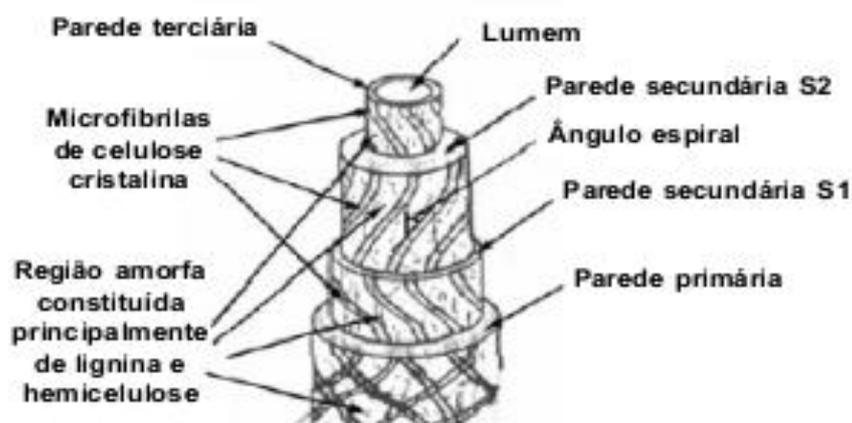
A mercerização usualmente é realizada com soluções alcalinas diluídas, para que não ocorra a degradação das fibras, pela extração excessiva de polioses e lignina. [15]

3.6 FIBRAS VEGETAIS

As fibras vegetais são, geralmente, classificadas de acordo com a sua origem e podem ser agrupadas em fibras: de semente (algodão), de caule (bananeira, juta, malva, linho, cânhamo), de folhas (sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), de fruto (coco) e de raiz (zacatão), de acordo com Morassi apud Silva (2003). Segundo Nabi Saheb e Jog (1999), as fibras de Juta, Rami e sisal são as mais utilizadas para compósitos poliméricos. [8]

A composição química e a estrutura celular das fibras vegetais são bastante complexas. A fibra é constituída de várias fibras elementares ligadas fortemente entre si por um material de cementação constituído principalmente de lignina. Uma fibra natural elementar é essencialmente um compósito natural no qual microfibrilas rígidas de celulose são envolvidas em uma matriz amorfa de lignina e hemicelulose. A lignina atua como matriz, unindo as microfibrilas, enquanto a hemicelulose age como interface entre a lignina e as microfibrilas de celulose. A Figura 10 mostra a constituição estrutural de uma fibra vegetal elementar apresentando um lúmen no centro com uma parede externa espessa formada por várias espirais de microfibrilas ao longo do eixo da fibra. [8]

Figura 10: Constituição de uma fibra vegetal elementar

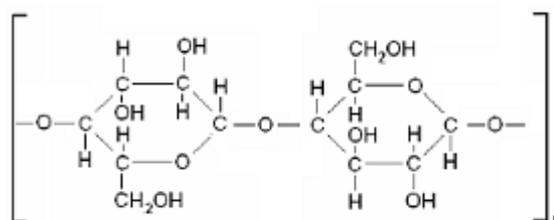


Fonte: [8]

A celulose, que é o principal componente das fibras vegetais e principal responsável pela estabilidade e resistência mecânica, é um polissacarídeo linear de alta massa molar constituído por uma cadeia molecular formada pela união de

unidades de anidro-D-glicose, ou simplesmente glicose-D. A estrutura da glicose-D é mostrada na Figura 11, sendo que cada unidade contém três grupos hidroxila (-OH). Estas hidroxilas formam ligações de hidrogênio dentro da molécula (intramolecular) e entre moléculas de celulose (intermolecular). As ligações de hidrogênio intermoleculares são as principais responsáveis pela cristalinidade da celulose. [8]

Figura 11: Estrutura do mero da celulose



Fonte: [8]

A hemicelulose é um polissacarídeo constituído por diferentes unidades de açúcares incluindo glicose, xilose, galactose, arabinose e manose. O seu grau de polimerização é de 10 a 100 vezes menor que o da celulose e as cadeias possuem um considerável grau de ramificação em relação à celulose. Normalmente, a hemicelulose atua como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina, não estando diretamente correlacionada à resistência e rigidez das fibras. Fibras contendo grande concentração de hemicelulose se tornam interessantes para a produção de açúcares e combustíveis, tal como o etanol, pelo fato da hemicelulose ser hidrolisada mais facilmente que a celulose. [8]

A lignina tem a função de unir as fibras celulósicas, formando a parede celular. É um polímero amorfo com constituintes alifáticos e aromáticos. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade e a taxa de hidrólise. Fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular e protegendo os carboidratos (açúcares) contra danos físicos e químicos. Fibras com alto teor de lignina são de excelente qualidade e flexíveis. [8]

Outros constituintes das fibras vegetais são a pectina e componentes minerais. A pectina, que tem função aglutinante, é um polissacarídeo rico em ácido

galacturônico, presente nas paredes celulares. Já os componentes minerais, após a incineração das fibras, são os responsáveis pela formação das cinzas. [8]

3.7 COMPOSÍTOS POLÍMERICOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS

Os compósitos reforçados com fibras naturais pode ser uma alternativa técnica economicamente viável, em relação àqueles que usam fibras sintéticas, como a fibras de vidro. A incorporação de materiais lignocelulósicos como componente de reforço em compósitos poliméricos tem recebido atenção crescente devido aos seus preços e volume de aplicações. Esses materiais apresentam diversas vantagens sobre materiais inorgânicos, podendo citar baixa densidade e grande deformidade. [18]

A utilização de fibras sintéticas para o reforço de plásticos e borrachas (polímeros) é uma técnica extensivamente empregada na indústria para a obtenção de materiais com melhor desempenho mecânico. A substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais é uma possibilidade bastante importante, pelo fato desta fibra ser uma fonte renovável, biodegradável e de baixo custo e por provocar menor impacto ambiental. [18]

O uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos com o objetivo de substituir total ou parcialmente as fibras sintéticas tem recebido muita atenção nos últimos anos. Isto porque as fibras vegetais apresentam vantagens importantes como: baixo custo, baixa densidade, boa resistência mecânica, baixa abrasividade aos equipamentos de processo e também por serem provenientes de fontes renováveis de matéria-prima, disponíveis em todo o mundo. Além disso, as fibras vegetais são biodegradáveis e não tóxicas ou poluentes, de modo que o seu descarte não acarrete problemas ambientais. [18]

Nos compósitos reforçados por fibras vegetais, vários tipos de polímeros têm sido utilizados como matrizes. Os mais comumente empregados são polímeros termorrígidos como poliéster, epóxi e fenólico. A reação de polimerização desses polímeros pode ser realizada em baixa temperatura o que evita a deterioração da fibra. No entanto, termoplásticos como: polietileno, poliestireno, polipropileno, etc.,

também tem sido utilizado como matrizes. Em geral, os polímeros podem apresentar diferentes afinidades com as fibras devido a diferenças em suas estruturas químicas. Como consequência, o efeito de reforçamento das fibras nessas matrizes pode variar bastante. Muitas vezes, devido à incompatibilidade entre as fibras hidrofílicas e os polímeros que são hidrofóbicos, torna-se necessária a inserção de aditivos para aumentar a capacidade de ligação química entre as fases. Os aditivos químicos podem ser utilizados para tratamentos tanto nas fibras quanto no próprio polímero. [8]

Outro problema relacionado às fibras naturais é baixa estabilidade térmica apresentada. Portanto deve-se atentar para a produção de compósitos a altas temperaturas que podem levar às fibras/partículas a degradação térmica, principalmente quando se utiliza extrusão térmica e compressão a quente. As fibras vegetais sofrem perda de massa em temperaturas em torno de 220°C, devido à degradação das hemiceluloses. Polímeros que tem somente ligações covalentes C-C e C-H, como o poli (isopreno), prolipropileno e polietileno apresentam faixas de temperaturas de decomposição térmica diferentes, 291-311° C, 336-366°C e 375-436°C respectivamente. [13]

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para substituir fibras de vidro em compósitos poliméricos para varias aplicações, principalmente no setor automotivo. Os resultados indicaram que o desempenho mecânico dos compósitos estudados foi satisfatório, mas enfatizaram que uma otimização de formulações e parâmetros do processo devem ser mais investigados. Algumas patentes também foram publicadas mostrando métodos para melhorar a dispersão, a compatibilidade das partículas vegetais com matrizes poliméricas e melhorias no processamento dos compósitos. Entretanto, as principais informações sobre as variáveis do processo de produção e das matérias-primas empregadas encontram-se protegidas por essas patentes. [13]

No Brasil, outras fibras que estão se destacando em pesquisas de biocompósitos são as de coco, sisal e curauá. A fibra de coco está sendo amplamente usada em compósitos com látex, principalmente na fabricação de assentos automobilísticos em substituição à espuma de poliuretano. Segundo Salazar et. al. (2005), este compósito apresentou várias vantagens em relação à espuma de poliuretano, entre elas ótima aeração, biodegradabilidade, reciclabilidade,

custo equivalente ao da espuma, produto renovável e combustão sem gases tóxicos.[19]

As aplicações de fibras de sisal no reforço de matrizes poliméricas apresentam-se como alternativa uma vez que seus compósitos mostram elevada resistência ao impacto, além de moderada resistência à tração e em flexão quando comparadas a compósitos reforçados com outras fibras vegetais. [19]

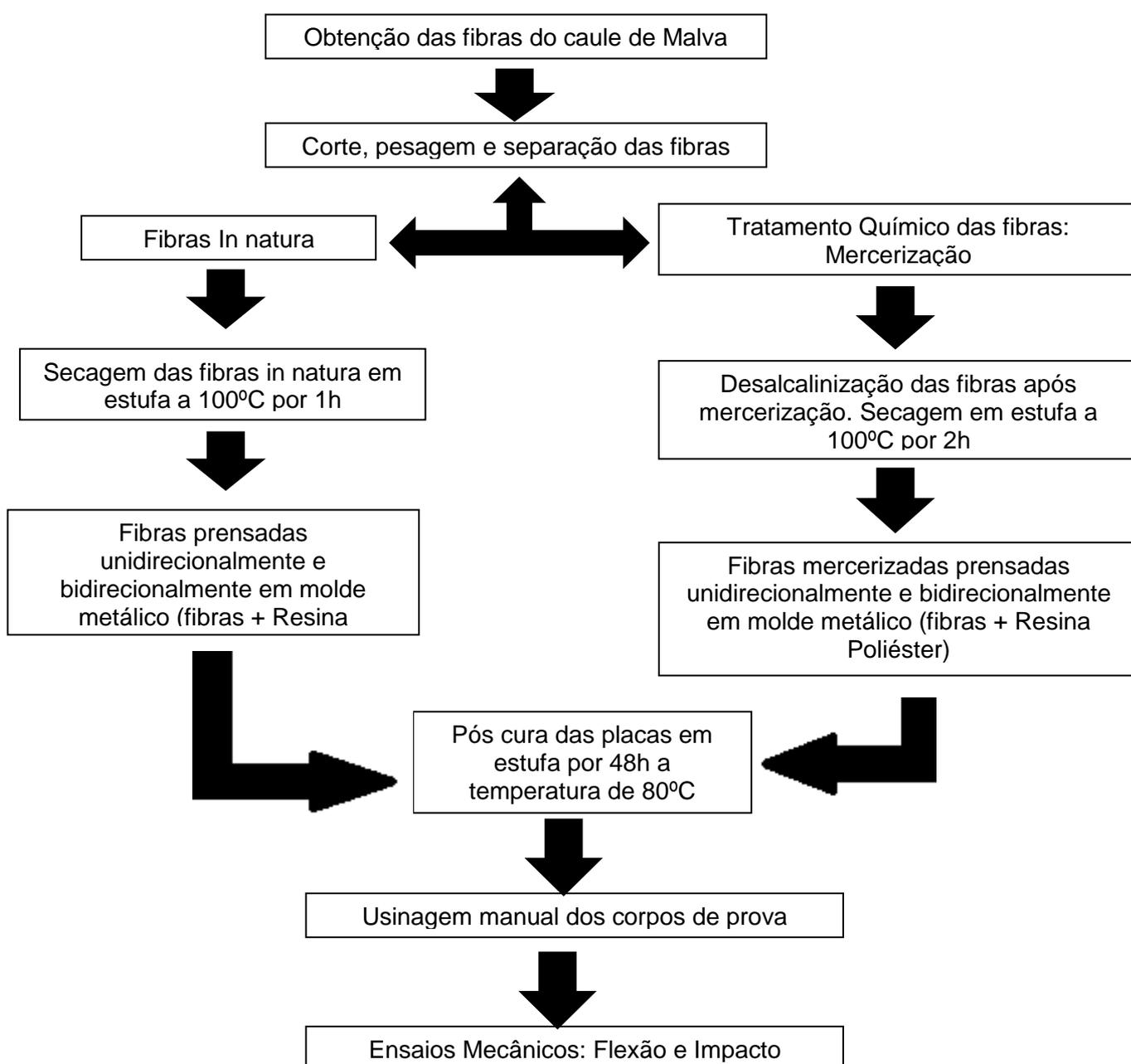
Outro material com potencial de aplicação é o curauá, que produz uma fibra de alta resistência. Segundo Mothé e Araújo (2004), quando misturada a polímeros, pode originar produtos com menor densidade, promover a diminuição de custo referente à matéria-prima, além da vantagem de se empregar uma matéria-prima de fonte renovável. [19]

Estudos mais recentes apontam a utilização de duas ou mais substâncias como reforço para uma mesma matriz, que originam os chamados compósitos híbridos. Conforme Idicula et al.(2006), é crescente o interesse pela hibridização com diferentes fibras naturais a fim de produzir materiais compósitos com maior performance. Destacam o uso de fibras de banana/sisal e fibras de folhas de abacaxi/ fibra de vidro em compósitos híbridos de poliéster. Também são apontados estudos de outros autores com híbridos de rami/tecido de algodão em matriz poliéster e sisal/fibra de dendê como reforços de compósitos com borracha natural.[19]

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 12 descreve de forma sucinta um fluxograma, o qual é possível observar toda a parte experimental para obtenção do compósito estudado, assim como sua caracterização mecânica.

Figura 12: Fluxograma da metodologia empregada para obtenção e caracterização mecânica do compósito estudado.



4.1 MATRIZ POLIMÉRICA

Para a confecção dos compósitos, foi usada como matriz polimérica uma resina poliéster insaturada GAMA 313, fabricada pela Embrapol, do tipo ortoftálicapré-acelerada, reticulada com estireno. Utilizou-se como iniciador o Peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEK-P) em concentração de 1% em peso.

4.2 FIBRAS LONGAS DE MALVA

As fibras foram obtidas por meio da maceração do caule da planta de Malva, utilizando o processo manual. Por fim as melhores fibras e sem defeitos com cerca de 100 a 150 cm foram cortadas no comprimento de 17 cm para a confecção de placas pelo método de compressão em molde de aço de dimensões internas de 140x170x3mm. As fibras foram secas em estufa a 100°C por 1 hora (Figura 13).

Figura 13: Mantas de Malva



Fonte: Autora, 2013.

4.3 MERCERIZAÇÃO

Primeiramente o tecido de Malva foi separado no seu comprimento natural e devidamente seco na estufa. Estes foram mantidos sob fervura em água destilada durante uma hora em Banho Maria, sem agitação. Em seguida as fibras foram distribuídas em erlenmeyer com a capacidade de 125 ml e acrescentado a solução

alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 3,0%, pelo mesmo tempo de fervura em uma Incubadora de Bancada Shaker-SL 222 sob agitação constante de 1500 rpm em uma temperatura de aproximadamente 40°C. A Figura 14 abaixo demonstra como foi realizado o tratamento químico.

Figura 14: Fibras durante o processo químico com hidróxido de sódio (NaOH).



Fonte: Autora, 2013.

Terminado o tratamento alcalino, as fibras foram lavadas em água destilada até ser alcançado um pH próximo do neutro e logo após, postas em estufa a uma temperatura constante de 90°C por duas horas, a fim de remover a umidade. O procedimento utilizado para tratamento da fibra de malva em uma concentração de 5% foi o mesmo.

4.4 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Compósitos com teores variados de fibras foram preparados por moldagem à compressão. O teor de fibras foi determinado por análise gravimétrica, utilizando o seguinte procedimento: pesou-se 20, 30, 40, 50 e 60g, para as placas

confeccionadas com sentido unidirecional e bidirecional de fibra de malva previamente seca.

No caso das fibras mercerizadas foram escolhidas frações médias de 30 e 40g para a confecção das placas com as concentrações de hidróxido de sódio (NaOH) de 3% e 5%, novamente utilizando o sentido unidirecional e bidirecional, depois pesou-se cada placa de compósito produzido. Com os pesos obtidos determinou-se o teor de fibras (em massa) utilizando a equação 1:

$$T_F(\%) = (P_T/P_L) \times 100 \quad (1)$$

Onde T_F é o teor de fibras, P_T é o peso (g) das fibras e o P_L é o peso (g) da placa. Os valores dos teores de fibra encontrados não foram os mesmos para mesma peso de fibras devido ao molhamento fibra e resina, isso foi influenciado pela orientação e tratamento superficial que as mesmas (fibras) foram submetidas Os teores obtidos estão listados na Tabela 04.

Tabela 04: Descrição do Peso/Teor, Orientação e Tratamento das fibras de Malva

Peso/Teor de fibras (%)	Sentido do Reforço	Tratamento químico (NaOH)
20g/28,2	Unidirecional	In natura
30g/41,2	Unidirecional	In natura
40g/52,2	Unidirecional	In natura
50g/64,30	Unidirecional	In natura
60g/67,8	Unidirecional	In natura
20g/32,2	Bidirecional	In natura
30g/38,9	Bidirecional	In natura
40g/49,7	Bidirecional	In natura
50g/52,6	Bidirecional	In natura
60g/54,8	Bidirecional	In natura
30g/34,5	Unidirecional	Mercerizado 3%
40g/49,1	Unidirecional	Mercerizado 3%
30g/35,7	Bidirecional	Mercerizado 3%
40g/46,7	Bidirecional	Mercerizado 3%
30g/43,6	Unidirecional	Mercerizado 5%
40g/46,8	Unidirecional	Mercerizado 5%
30g/43,4	Bidirecional	Mercerizado 5%
40g/46,6	Bidirecional	Mercerizado 5%

Fonte: Autora, 2013.

O molde mostrado na Figura 15 foi untado com cera de polimento automobilístico para auxiliar à desmoldagem das placas do molde metálica. O

catalisador MEK-P foi acrescentado à resina e parte desta mistura vertida no molde. As fibras de malva foram colocadas no molde alinhadas e pressionadas com auxílio de uma espátula para garantir a sua total impregnação.

Figura 15: Molde metálico



Fonte: Autora, 2013.

Por fim, verteu-se um excesso de resina, quando a resina estava próxima do ponto de gelificação o molde foi fechado e colocado em uma prensa hidráulica (Figura 16), com força de fechamento de 8 toneladas por 8 horas, a temperatura ambiente.

Figura 16: Prensa hidráulica de 15 toneladas BONEVAU.



Fonte: Autora, 2013

As 18 placas tendo cerca de 140x170x3mm sendo: cinco não tratadas em sentido unidirecional, cinco não tratadas em sentido bidirecional, quatro tratadas por uma hora em uma solução 3% de NaOH, quatro tratadas por uma hora em uma solução de 5% de NaOH, logo após foram submetidas a pós-cura por 48 horas a 80°C, para posterior usinagem dos corpos de prova, totalizando 252 corpos, sendo 140 para não tratadas e 112 para tratadas.

A Figura 17 (a) e (b) mostra os corpos de prova com fibras não tratadas e tratadas com NaOH, respectivamente:

Figura 17 (a): Corpo de prova com fibras não tratadas



Figura 17 (b): Corpo de prova com fibras tratadas com NaOH



Fonte: Autora, 2013.

A figura 18 (a), (b), (c) e (d) mostra todas as placas produzidas com e sem tratamento com NaOH.

Figura 18 (a): Placas com fibras não tratadas em sentido unidirecional



Figura 18 (b): Placas com fibras não tratadas em sentido bidirecional



Figura 18 (c): Placas com fibras tratadas com 3% NaOH

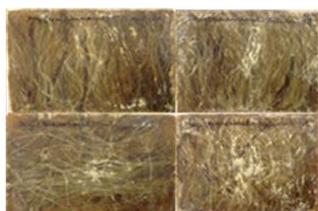


Figura 18 (d): Placas com fibras tratadas com 5% NaOH



Fonte: Autora, 2013.

4.5 ANÁLISE MECÂNICA DAS FIBRAS DE MALVA

4.5.1 Ensaio de Flexão

Foram feitos ensaios de flexão nos corpos de prova cortados conforme a norma ASTM D 790-03, no Laboratório de Ensaios Destrutivos (UFPA) como mostrado na figura 19. O ensaio foi realizado em uma máquina universal EMIC DL 10000 (Figura 20), com uma velocidade de 2 mm/min tendo como base a norma ASTM D 790-03.

Figura 19: Dimensão do corpo de prova para ensaio de flexão.



Fonte: Norma ASTM D-790, 2003.

Figura 20: Máquina de ensaio universal EMIC DL 10000, utilizada para o ensaio de flexão.

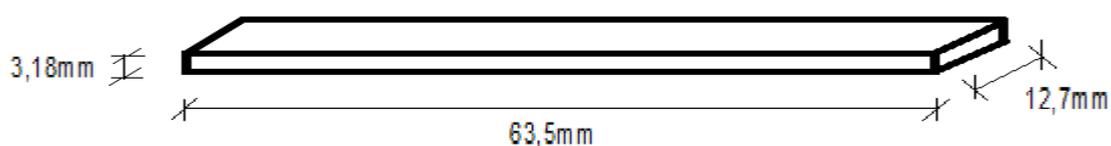


Fonte: Autora, 2013.

4.5.2 Teste de Impacto

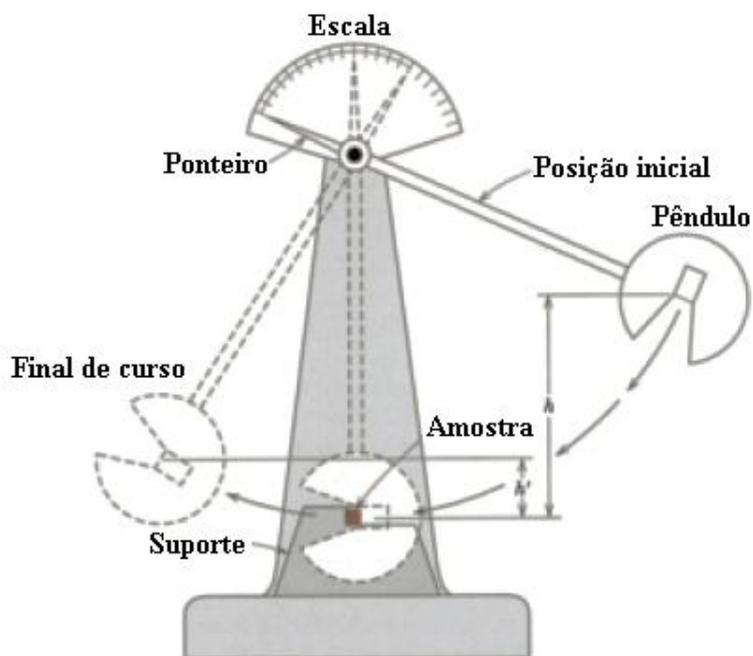
Os testes de impacto com pêndulo que foi utilizado neste trabalho foi do tipo Charpy que permite a comparação de vários níveis de tenacidade entre materiais compósitos, através da quebra de corpos de prova sob condições inteiramente padronizadas (Figura 21). O ensaio de impacto Charpy, sem entalhe, com pêndulo de 2 J foi realizado em equipamento da CEAST, modelo Resil 25, conforme a norma ASTM D 256-04 (Figura22).

Figura 21: Dimensões do corpo de prova para ensaio de impacto.



Fonte: Norma D 256, 2004.

Figura 22: Representação do ensaio de impacto Charpy



Fonte: Norma D 254, 2004.

4.6 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DA SUPERFÍCIE DAS FIBRAS TRATADAS E NÃO TRATADAS

As fibras de Malva foram caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Modelo HITACHI TM 3000 acoplado a um EDX (Energy Dispersive X - ray) Modelo Swift ED3000. Sendo avaliadas as superfícies das fibras com tratamento e sem tratamento, com o intuito de avaliar as mudanças nas suas superfícies, ou seja, influência do tratamento químico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades referentes ao comportamento de um material sujeito à ação de forças e esforços, que são expressos como função de tensões e/ou deformações. As tensões representam a resposta interna aos esforços externos que atuam sobre uma determinada área em um corpo (CALLISTER, 2002).

5.2 ENSAIO DE FLEXÃO

Para uma avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos (resina poliéster + fibras sentido unidirecional e bidirecional de malva), foi realizado o ensaio de flexão, com um número de seis corpos de prova para cada uma das 18 placas confeccionadas, o qual viabilizou quantificar: Resistência a Flexão (MPa), Módulo de Elasticidade (GPa) e Alongamento na Ruptura (%), Força de ruptura (N). Foi analisado o desempenho dos compósitos sem tratamento (in natura) e após tratamento químico com 3% e 5% em NaOH.

5.2.1 Fibras não tratadas (In natura) em sentido unidirecional e bidirecional

Os resultados obtidos nos ensaios de flexão para os compósitos reforçados com fibras de Malva sem tratamento (in natura) estão apresentados nas Tabelas 5, 6 e Figura 23.

Tabela 5: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos sem tratamento (in natura) em sentido unidirecional.

Peso/Teor de Fibras (%)	Resistência à Flexão (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Força de Ruptura(N)
0	1	2,13 ± 0,08	39,06 ± 5,83
20g/28,2	6,56 ± 1,03	1,40 ± 0,35	124,5 ± 36,31
30g/41,2	8,0 ± 3,70	1,80 ± 0,32	159,1 ± 93,98
40g/52,2	11,03 ± 4,5	2,20 ± 0,38	186,0 ± 71,20
50g/64,8	8,60 ± 2,81	2,30 ± 0,90	191,2 ± 86,05
60g/66,3	9,70 ± 4,64	3,40 ± 1,50	226,1 ± 11

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 6: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos sem tratamento (in natura) em sentido bidirecional.

Peso/Teor de Fibras (%)	Resistência à Flexão (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Força de Ruptura(N)
0	1	2,13 ± 0,08	39,06 ± 5,83
20g/32,2	2,11 ± 0,81	0,24 ± 0,12	32,40 ± 11,12
30g/38,9	3,08 ± 1,22	0,62 ± 0,16	60,29 ± 22,06
40g/49,7	3,2 ± 2,2	0,78 ± 0,33	74,31 ± 52,55
50g/52,6	3,75 ± 1,74	1,29 ± 0,70	116,70 ± 52,22
60g/54,8	4,91 ± 2,33	1,31 ± 0,76	120,30 ± 57,22

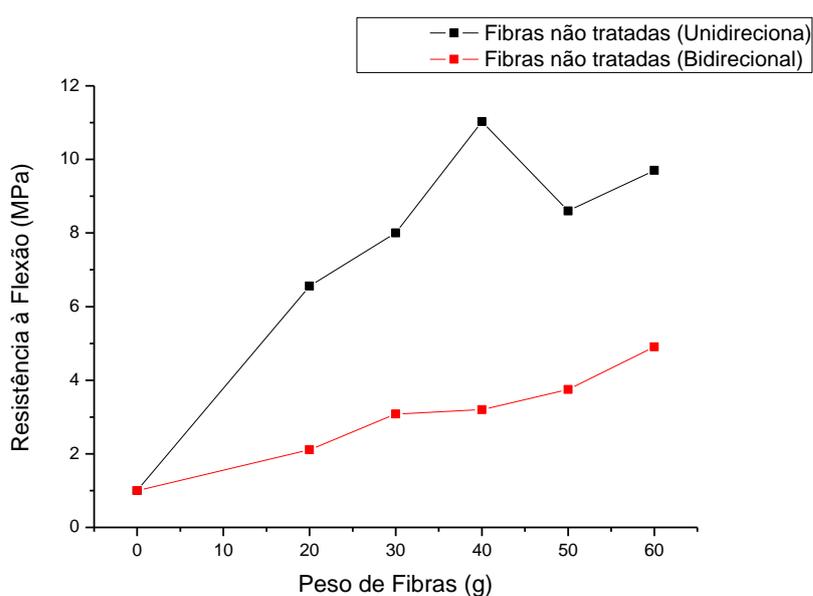
Fonte: Autora, 2013.

Os resultados obtidos nos ensaios indicam que a resistência à flexão dos compósitos reforçados unidirecionalmente com fibras de malva apresentam desempenhos superiores à da matriz para todos os teores de fibra. Compósitos com fibras de malva orientadas unidirecionalmente possuem um volume crítico de fibras e, para o caso com teores de fibra 64,8% e 66,3% apresentaram um menor resultado em relação ao teor de 52,2% que apresentou o melhor resultado para o ensaio de resistência à flexão. Igualmente nos compósitos com fibra de babaçu que possuem este volume crítico aproximado de 38% observado por ANDRADE e NOBREGA, (2009). Acredita-se que o desempenho superior apresentado pelos compósitos reforçados com fibras de malva em relação à matriz polimérica esteja

associado às propriedades mecânicas individuais das fibras, diferente das fibras de bananeira que para nenhum teor estudado por SAVIOLI et al, 2008 esta fibra se comportou como reforço.

No caso dos compósitos reforçados bidirecionalmente pode-se observar que os mesmos também apresentaram desempenhos superiores à da matriz para todos os teores, porém seus resultados foram inferiores com relação aos reforçados unidirecionalmente. Observou-se que os compósitos reforçados bidirecionalmente não possuem um volume crítico de fibras e, em todos os casos as mantas funcionaram como reforço já que os mesmos foram confeccionados em direções distintas.

Figura 23: Resistência à Flexão dos compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional)



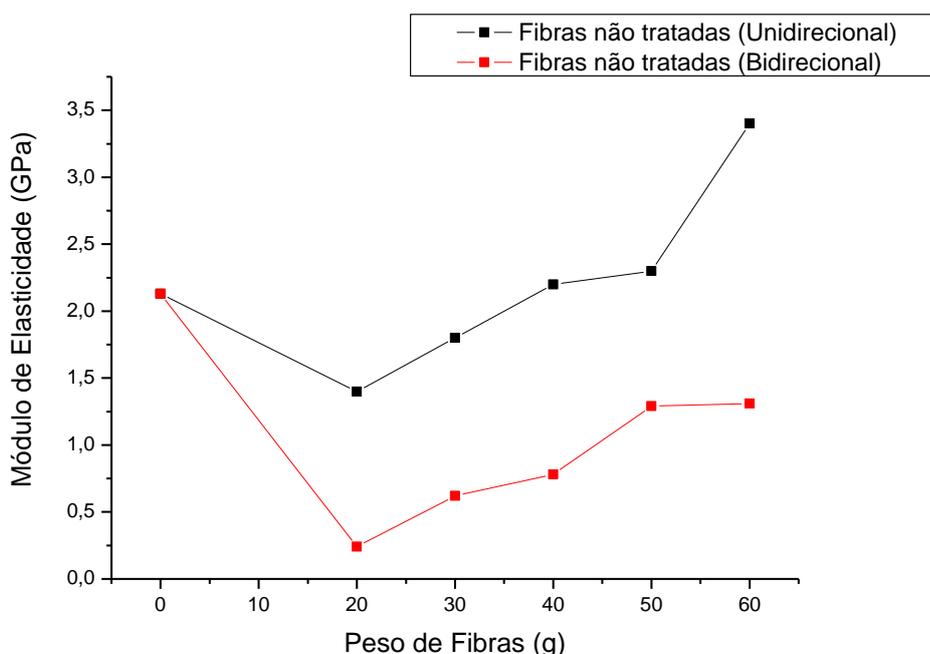
Fonte: Autora, 2013

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade podem ser observados na Figura 24. À medida que o teor de fibras de malva em sentido unidirecional é aumentado na matriz poliéster verifica-se uma elevação no módulo. Tal ocorrência é explicada pelo fato das fibras diminuírem o movimento livre das cadeias poliméricas e também por apresentar maior rigidez que a matriz, resultando num aumento do módulo de elasticidade dos compósitos avaliados. Com isso, pode-se afirmar que

com a maior quantidade de reforço (66,30%), obteve-se o melhor módulo de elasticidade em relação às quantidades de reforço. Diferente dos compósitos reforçados em sentido bidirecional essa propriedade mecânica não foi alcançada, isso pode ser observado pela Figura 24.

Para essa propriedade mecânica, os reforços em sentido unidirecional e bidirecional de malva não foram superiores aos resultados de Guimaraes Filho, 2011 encontrados para fibras de babaçu com teor de 60% de fibra sem tratamento obtendo o valor de 5 GPa.

Figura 24: Módulo de Elasticidade dos compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional)

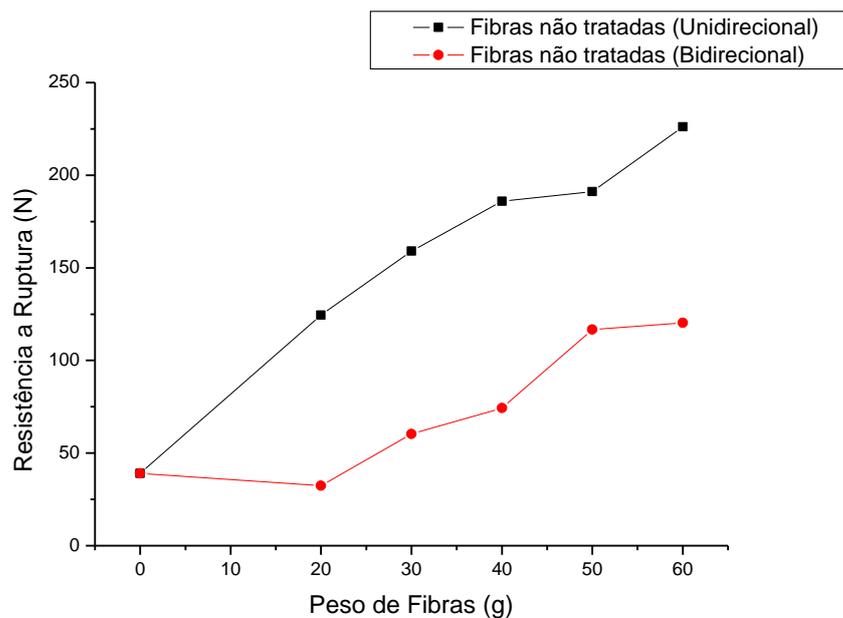


Fonte: Autora, 2013.

Na Figura 25, os compósitos reforçados com fibras apresentaram um desempenho bastante satisfatório para forças de ruptura, havendo um ganho da carga em relação à resina pura, as fibras funcionam como ponte de transferência de tensões quando submetidas ao carregamento, sendo assim os compósitos não sofrem ruptura brusca proporcionando ao compósito maior capacidade de deformação. Esses valores puderam ser melhor observados em compósitos reforçados em sentido unidirecional, pois para os compósitos reforçados com fibras

em sentido bidirecional os valores apresentados foram bem inferiores aos reforçados unidirecionalmente.

Figura 25: Resistência a Ruptura em compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional)



Fonte: Autora, 2013.

5.2.2 Fibras Mercerizadas em sentido Unidirecional e Bidirecional

Todos os compósitos com fibras tratadas foram dispostos em sentido unidirecional e bidirecional na matriz. As fibras receberam tratamento superficial de Mercerização, com teores de NaOH (hidróxido de sódio) na concentrações de 3%, 5% respectivamente. Os resultados obtidos nos ensaios de flexão estarão listados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos tratados com NaOH 3%

Peso/Teor de Fibras (%)	Resistência à Flexão (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Força de Ruptura (N)	Sentido do reforço
0	1	2,13 ± 0,08	39,06 ± 5,83	Sem reforço
30g/34,5	4,4 ± 1,63	1,09 ± 0,30	102 ± 42,86	Unidirecional
40g/49,1	6,1 ± 1,5	1,26 ± 0,25	136 ± 21,0	Unidirecional
30g/35,7	4,86 ± 1,66	0,82 ± 0,34	104,3 ± 30,77	Bidirecional
40g/46,7	7,84 ± 1,41	1,84 ± 0,36	150 ± 39,64	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 8: Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos tratados com NaOH 5%

Teor de Fibras (%)	Resistência à Flexão (Mpa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Força de Ruptura (N)	Sentido do reforço
0	1	2,13 ± 0,08	39,06 ± 5,83	Sem reforço
43,6	4,73 ± 2,30	0,87 ± 0,53	93,81 ± 56,27	Unidirecional
46,8	7,68 ± 1,41	1,83 ± 0,36	150,7 ± 39,64	Unidirecional
43,4	3,99 ± 0,83	0,69 ± 0,11	63,50 ± 11,58	Bidirecional
46,6	7,20 ± 1,28	1,69 ± 0,41	148,8 ± 34,84	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013.

Quando observa-se os resultados para a mercerização com 3% e 5%, constata-se que a resistência à flexão foi inferior aos valores dos compósitos reforçados unidirecionalmente com fibras in natura. Todavia quando analisa-se os resultados para compósitos reforçados bidirecionalmente com fibras in natura é possível observar um aumento da resistência à flexão para as duas variações de concentração de NaOH.

O módulo de elasticidade e força de ruptura encontrados para a mercerização a 3% e 5%, da mesma forma que para resistência a flexão foram inferiores em relação aos compósitos reforçados unidirecionalmente com fibras in natura e tiveram um aumento significativo em relação aos compósitos reforçados bidirecionalmente in natura, comparando com os teores de fibras similares. Essa melhora ocorreu devido

ao fato do tratamento químico ter alterado a superfície da fibra, gerando pontos de maior área superficial específica, aumentando a molhabilidade para assim ocasionando maior interação na interface matriz/fibra (NÓBREGA, 2007). Esse comparativo pode ser observado pelas Tabelas 9 e 10. Os melhores resultados foram circulos para melhor visualização.

Tabela 9: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos reforçados com 30 g de fibra tratadas e não tratadas.

Peso/Teor das Fibras(%)	Resistência a Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência a Ruptura (N)	Orientação do Reforço
30g/41,2% (In natura)	8,0 ± 3,70	1,80 ± 0,32	159,1 ± 93,98	Unidirecional
30g/38,9% (In natura)	3,08 ± 1,22	0,62 ± 0,16	60,29 ± 22,06	Bidirecional
30g/34,5% (NaOH 3%)	4,4 ± 1,63	1,09 ± 0,30	102 ± 42,86	Unidirecional
30g/35,7% (NaOH 3%)	4,86 ± 1,66	0,82 ± 0,34	104,3 ± 30,77	Bidirecional
30g/43,6% (NaOH 5%)	4,73 ± 2,30	0,87 ± 0,53	93,81 ± 56,27	Unidirecional
30g/43,4% (NaOH 5%)	3,99 ± 0,83	0,69 ± 0,11	63,50 ± 11,58	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 10: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência à flexão, módulo de elasticidade e força de ruptura obtida por ensaios de flexão em 3 pontos para os compósitos reforçados com 40 g de fibra tratadas e não tratadas

Peso/Teor das Fibras(%)	Resistência a Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência a Ruptura (N)	Orientação do Reforço
40g/52,2% (In natura)	11,03 ± 4,5	2,20 ± 0,38	186,0 ± 71,20	Unidirecional
40g/49,7% (In natura)	3,2 ± 2,2	0,78 ± 0,33	74,31 ± 52,55	Bidirecional
40g/49,1% (NaOH 3%)	6,1 ± 1,5	1,26 ± 0,25	136 ± 21,0	Unidirecional
40g/46,7% (NaOH 3%)	7,84 ± 1,41	1,84 ± 0,36	150 ± 39,64	Bidirecional
40g/46,8% (NaOH 5%)	7,68 ± 1,41	1,83 ± 0,36	150,7 ± 39,64	Unidirecional
40g/46,6% (NaOH 5%)	7,20 ± 1,28	1,69 ± 0,41	148,8 ± 34,84	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013.

5.3 IMPACTO

Nos ensaios de impacto tipo Charpy, a resistência ao impacto é quantificada em termos da energia de impacto absorvida por unidade de espessura do corpo de prova. Dessa forma, a resistência ao impacto Charpy pode ser expressa em termos da energia absorvida no impacto dividido pela área do corpo de prova. Foram cortados oito corpos de prova para cada uma das 18 placas confeccionadas.

5.3.1 Fibras não tratadas (In natura) em sentido unidirecional e bidirecional

A Tabela 11 e 12 juntamente com a Figura 26 demonstra o desempenho dos compósitos reforçados com fibras não tratadas em sentido unidirecional e bidirecional. Os resultados indicam uma boa adesão das fibras pela matriz, provocando um aumento da eficiência de transferência de tensão para as fibras durante o impacto, conseqüentemente elevando a resistência do compósito. Apesar dos bons resultados para impacto o compósito estudado demonstra essa propriedade inferior os resultados de outros compósitos de fibras naturais como os de fibras de rami estudado por MONTEIRO E MARGEM, (2008) que apresentaram uma resistência ao Impacto de 537,60 J/m com um teor de 30% de fibras.

Tabela 11: Resistência ao impacto para compósitos sem tratamento (in natura) em sentido unidirecional.

Teor de Fibras (%)	Resistência ao Impacto (J/m)
20g/28,2	148,4
30g/41,2	218,7
40g/52,2	234,35
50g/64,8	250
60g/66,3	344

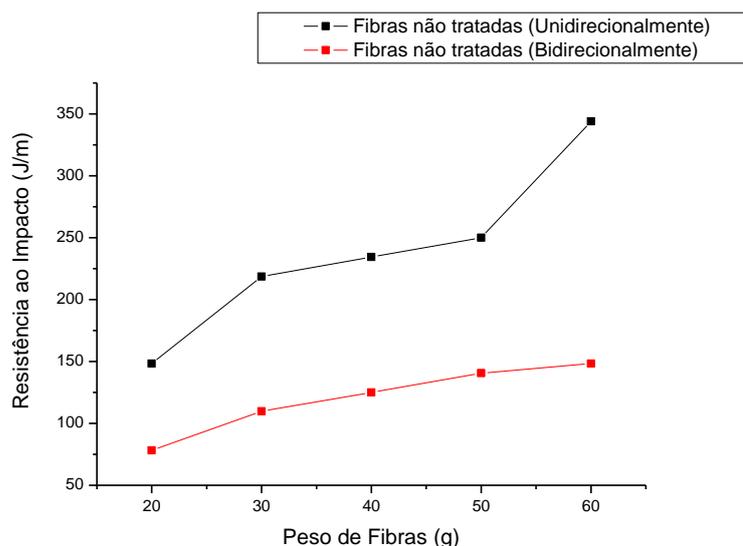
Fonte: Autora, 2013

Tabela 12: Resistência ao impacto para compósitos sem tratamento (in natura) em sentido bidirecional.

Teor de Fibras (%)	Resistência ao Impacto (J/m)
20g/32,2	78,12
30g/38,9	109,80
40g/49,7	125
50g/52,6	140,6
60g/54,8	148,4

Fonte: Autora, 2013.

Figura 26: Resistência ao Impacto dos compósitos reforçados com fibras de malva sem tratamento (unidirecional e bidirecional)



Fonte: Autora, 2013.

5.3.2 Fibras Mercerizadas em sentido Unidirecional e Bidirecional

As Tabelas 13 e 14 mostram os resultados encontrados para os ensaios de impacto com os compósitos reforçados com fibras mercerizadas a 3% e 5%. Os valores obtidos foram bastante satisfatórios mostrando uma boa adesão matriz/fibra. Entretanto os resultados para impacto o compósito estudado apresentaram essa propriedade inferior os resultados de outros compósitos de fibras naturais como os de fibras de sisal estudado por Araújo M.E.S (2013) que apresentaram uma resistência ao Impacto de 184, 37 J/m com um teor de 30% de fibras.

Tabela 13: Resistência ao impacto para compósitos tratados com NaOH 3%.

Teor de Fibras (%)	Resistência ao Impacto (J/m)	Sentido do reforço
34,5	164,06	Unidirecional
49,1	208,3	Unidirecional
35,7	132,8	Bidirecional
46,7	187,5	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013

Tabela 14: Resistência ao impacto para compósitos tratados com NaOH 5%.

Teor de Fibras (%)	Resistência ao Impacto (J/m)	Sentido do reforço
43,6	148,4	Unidirecional
46,8	268,87	Unidirecional
43,4	132,8	Bidirecional
46,6	145,83	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013

Foram construídas duas Tabelas (Tabela 15 e 16) para comparar os resultados encontrados com as diferentes orientações e tratamento das fibras utilizadas como reforço destes compósitos. O melhor resultado encontrado foi para o teor de 46,8% de fibras de malva tratadas a 5% de NaOH, que atingiu o valor de 268,87 J/m. Os melhores resultados foram circulados para melhor visualização.

Tabela 15: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência ao Impacto em compósitos reforçados com 30 g de fibra tratadas e não tratadas

Peso/Teor das Fibras(%)	Resistência ao Impacto (J/m)	Orientação do Reforço
30g/41,2% (In natura)	218,7	Unidirecional
30g/38,9% (In natura)	109,80	Bidirecional
30g/34,5% (NaOH 3%)	164,06	Unidirecional
30g/35,7% (NaOH 3%)	132,8	Bidirecional
30g/43,6% (NaOH 5%)	148,4	Unidirecional
30g/43,4% (NaOH 5%)	132,8	Bidirecional

Fonte: Autora, 2013.

Tabela 16: Comparativo dos resultados encontrados para Resistência ao Impacto em compósitos reforçados com 40 g de fibra tratadas e não tratadas

Peso/Teor das Fibras(%)	Resistência ao Impacto (J/m)	Orientação do Reforço
40g/52,2% (In natura)	234,35	Unidirecional
40g/49,7% (In natura)	125	Bidirecional
40g/49,1% (NaOH 3%)	208,3	Unidirecional
40g/46,7% (NaOH 3%)	187,5	Bidirecional
40g/46,8% (NaOH 5%)	268,87	Unidirecional
40g/46,6% (NaOH 5%)	145,83	Bidirecional

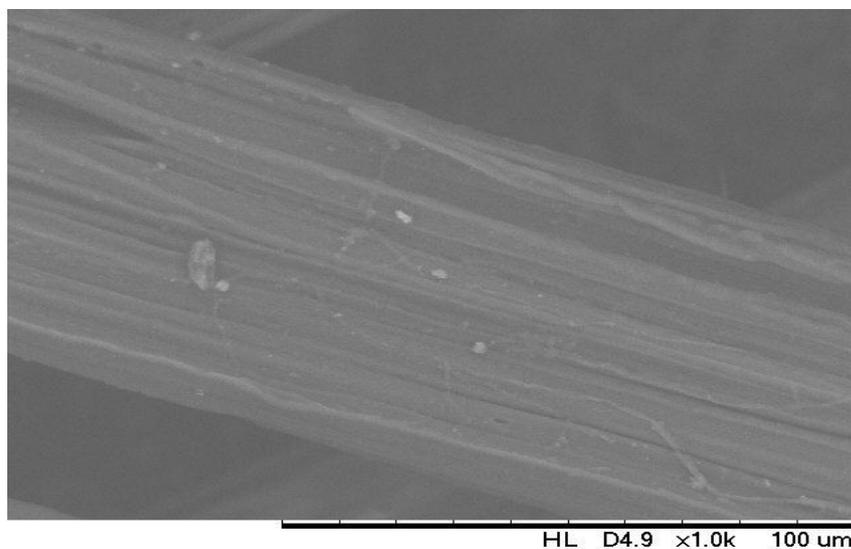
Fonte: Autora, 2013.

5.4 MORFOLOGIA DA FIBRA DE MALVA

A morfologia das amostras foi estudada a partir da análise antes e após tratamento, visando verificar a adesão fibra-matriz. O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de varredura MEV Modelo HITACHI TM 3000 acoplado a um EDX (Energy Dispersive X - ray) Modelo Swift ED3000.

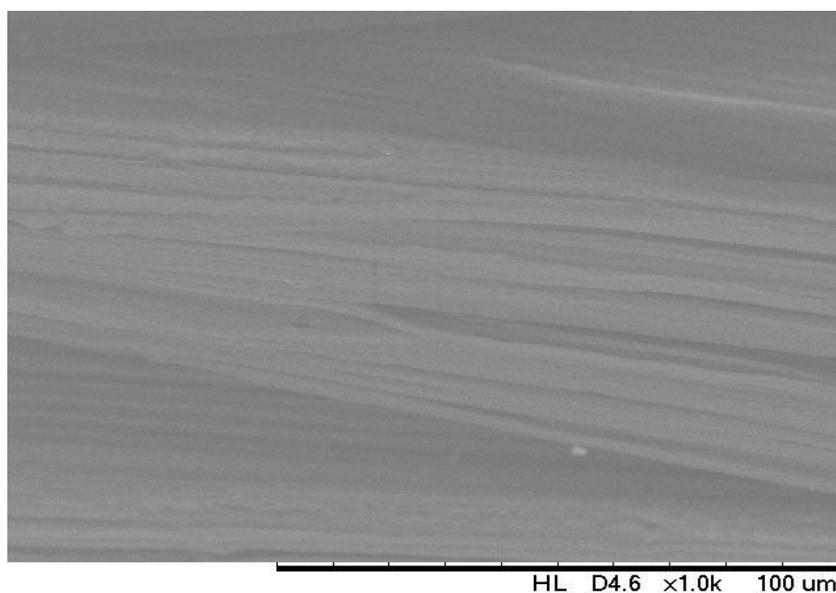
As Figuras 27, 28 e 29 apresentam as micrografias das superfícies das fibras de malva não tratadas e tratadas com hidróxido de sódio. Na Figura 26, que corresponde a fibra sem tratamento, nota-se que as fibrilas estão encobertas por uma camada de material, a cutícula (cera) presente nas fibras vegetais. Observa-se nas Figuras 28 e 29 que após o tratamento a superfície da fibra está mais limpa sendo possível visualizar as fibrilas que formam e, conseqüentemente, as alterações observadas nas fibras, evidenciam que elas ficaram mais ásperas, mais escuras, menos macias.

Figura 27: Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Malva sem tratamento. Aumento 100x



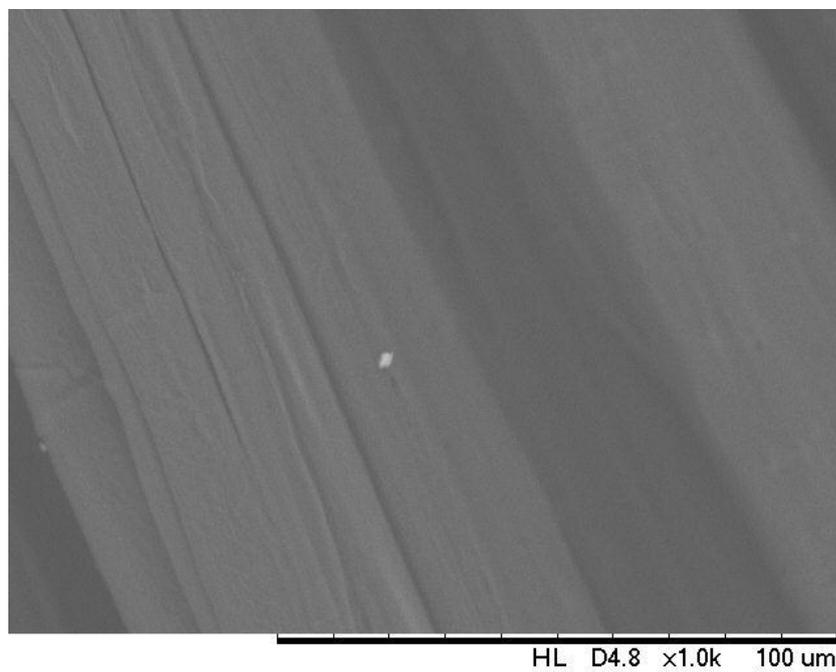
Fonte: UFPA- FEMAT, 2013.

Figura 28: Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Malva tratadas com NaOH 3%. Aumento 100x



Fonte: UFPA- FEMAT, 2013.

Figura 29: Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Malva tratadas com NaOH 5%. Aumento 100x



Fonte: UFPA- FEMAT, 2013.

6 CONCLUSÃO

Para os ensaios de flexão e impacto as fibras mercerizadas com 3% e 5% obtiveram resultados superiores aos encontrados para as fibras in natura em sentido bidirecional, tendo em vista que o sentido bidirecional gera uma anisotropia diminuindo assim a resistência dos compósitos. Os melhores resultados encontrados para os ensaios de flexão e impacto foram para as fibras in natura em sentido unidirecional. Outra das possíveis razões para esses comportamentos está diretamente ligada ao poder de ataque do tratamento alcalino utilizado no que diz respeito às variantes de concentração e tempo.

Estes resultados preliminares, obtidos nesse trabalho, indicam que as fibras malva em sentido unidirecional e bidirecional sem tratamento e as fibras de malva tratadas com NaOH com concentrações 3% e 5% em sentido unidirecional e bidirecional podem ser utilizadas em compósitos poliméricos, para aplicações onde seja necessário médio desempenho mecânico, tais como cestos, luminárias e divisórias de paredes. Levando em consideração à resistência à flexão.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Realizar outros tratamentos superficiais.
- ✓ Desenvolver compósitos híbridos, isto é, compósitos reforçados simultaneamente com fibras de Malva e outra fibra vegetal ou ainda reforço cerâmico.
- ✓ Programar um teste de hipóteses, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos.
- ✓ Sorção de água, no compósito com fibras sem e com tratamento.
- ✓ Analisar a influência do tempo durante a mercerização.
- ✓ Realizar outros tipos de ensaios mecânico, como tração e de cisalhamento

8 REFERÊNCIAS

- [1] Willian D. Callister, JR., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Editora: LTC, São Paulo, SP. 2003.
- [2] ASKELAND, D. R. PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia de Materiais**. Editora: Cengage Learning, São Paulo, SP. 2008.
- [3] FELIPE, R. C. T. S.; **Apostila: Materiais Compostos**. Centro federal de educação tecnológica do RN. Departamento acadêmico de tecnologia industrial. Curso superior em tecnologia da fabricação mecânica. Setembro de 2008.
- [4] NÓBREGA, M. M. S. **Compósitos de Matriz Poliéster com Fibras de Caroá Neoglaziovia Variegata: Caracterização Mecânica e Sorção de Água**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande: PB, 2007.
- [5] NETO, F. L. PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. Editora: Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2006.
- [6] ANDRADE, E. C. **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Babaçu (*Orrbignya speciosa*): Caracterização Morfológica e Mecânica**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais. 2010.
- [7] NETO, N.F.M. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades e mecânicas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica), Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- [8] RODRIGUES, J. S. **Pente De Macaco: uma alternativa para reforço em Compósitos Poliméricos antes e após mecerização..** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais. 2013.

- [9] SILVA, L. J. **Estudo experimental e numérico das propriedades mecânicas de compósitos poliméricos laminados com fibras vegetais**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais), Universidade Federal de Porto Alegre, 2010.
- [10] SILVA, H.S.P. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica), Universidade Federal de São João Del Rei, Minas Gerais, 2011.
- [11] SOBRINHO, L. L. **Desenvolvimento de Matriz Polimérica para Material Compósito Visando o Reforço de Dutos de Aços**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais), Universidade Federal do Rio de Janeiro. (COPPE/UFRJ), 137f, 2005.
- [12] CAMARGO, M. **Resinas poliésteres carboxifuncionais para tinta em pó: caracterização e estudos cinético**. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais), Universidade Federal de Porto Alegre, 2002.
- [13] MESQUITA, R. G. A. **Inclusão de materiais lignocelulósicos na produção de compósitos plásticos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Lavras, MG, 2013.
- [14] Ficha Técnica [tabela online]. Disponível em <http://www.api.ning.com/files/.../CaractersticaseProcessamentodaFibraMalva>
- [15] RAZERA, I, A, T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. Tese (Doutorado em Ciências (físico-química)). Universidade Federal São Carlos, 2006.
- [16] DAMIANI, R.A. **Estudo do efeito de parâmetros de processamento por injeção nas propriedades mecânicas do nanocompósito de poliamida/fibra de vidro/motmorilonita**. Dissertação (Mestrado Ciência e Engenharia de Materiais). 2013. Criciúma/SC. 2013
- [17] LEÃO, M.A. **Fibras de licure: um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). 2008. Natal/RN. 2008

[18] SANTOS, S.S. **Estudo da viabilidade de aplicação de fibras da pupunheira (Bactris gaspaea H. B.K) como alternativa à fibra de vidro no desenvolvimento de produtos.** Dissertação (Mestrado em Saúde e meio ambiente). 2007. Joinville/SC. 2007

[19] RODRIGUES, F. S. Desenvolvimento e Caracterização Mecânica de Compósitos Poliméricos Reforçados por Mantas Vegetais de Pente de Macaco (Apeiba Tibourbou Aubl). Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia de Materiais. 2010.