

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E  
PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS  
COM FIBRAS DE MALVA**

**JEAN IGOR MARGEM**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE**

**UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ**

**2013**

**ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES DE  
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA**

JEAN IGOR MARGEM

Tese de doutoramento apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Materiais.

ORIENTADOR: PROF. SERGIO NEVES MONTEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES

NOVEMBRO DE 2013

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES DE  
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA

JEAN IGOR MARGEM

TESE DE DOUTORAMENTO APRESENTADA AO  
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE  
FLUMINENSE COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
DOUTOR EM ENGENHARIA DE MATERIAIS.

Avaliada em 05 Novembro de 2013.

**Comissão Examinadora:**

---

Prof. PhD. Eduardo Atem de Carvalho

---

Prof. Dr. Frederico Muylaert Margem

---

Prof. Dr. Alan Monteiro Ramalho

---

Prof. PhD. Sergio Neves Monteiro  
ORIENTADOR

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Sergio Neves Monteiro, por toda ajuda norteando sempre meus objetivos, pelas valiosas orientações, auxílio e compreensão, pelas preciosas horas de conhecimento passado e pela sua experiência de vida acumulada transmitida.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense pela bolsa concedida durante esta pesquisa.

A Danuzia Maria Cardoso Rangel Margem, minha esposa, que em todos os momentos ao meu lado foi a minha principal inspiradora e incentivadora.

A meus pais João Margem e Helena Majdelany Margem(in memorian) pela criação que me deram e por todo o suporte e amor.

A Minhas filhas Helena Rangel Margem, Marina Rangel Margem e Marcella Rangel Margem pelo carinho, suporte e amor.

Ao Parceiro Frederico Muylaert Margem, por toda ajuda, todo o carinho e amor, que me fizeram seguir sempre adiante no desenvolvimento do trabalho.

Ao grupo GR.com (Hélio Santa Fé(in memorian), Perissé, Alice, Lucas, Rômulo, Noan, Isabela, Caroline, Arthur, Renan e Vinicius).

À Jonas Alexandre por me encaminhar me colocando na direção certa, e me ajudando a nunca desistir.

Ao amigo André Veloso Ferreira pelo suporte, ajuda e atenção.

E a todos os outros que de certa forma auxiliaram para que este estudo fosse cumprido e concluído.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do **CCT / UENF**

**80/2013**

Margem, Jean Igor

Estudo das características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de malva / Jean Igor Margem. – Campos dos Goytacazes, 2013.

xx, 134 f. : il.

Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) --  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de  
Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais Avançados. Campos  
dos Goytacazes, 2013.

Orientador: Sérgio Neves Monteiro.

Área de concentração: Materiais compósitos e meio ambiente.

Bibliografia: f. 115-134.

1. Fibras de Malva 2. Matriz Polimérica 3. Características Estruturais  
4. Compósitos I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy  
Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Materiais  
Avançados II. Título

CDD 620.197

## SUMÁRIO:

Índice de Figuras	III
Índice de Tabelas	VII
Resumo da Tese	IX
Abstract	X
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>11</b>
1.1. INTRODUÇÃO	11
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivo Específico	15
1.3. JUSTIFICATIVA	15
1.4. O INEDITISMO	17
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>19</b>
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.2. Fibras Naturais	19
2.3. A Classificação das Fibras Naturais	20
2.4. A Malva	21
2.5. Resina Polimérica	28
2.6. Materiais Compósitos	31
2.7. Compósito Polimérico	33
2.8. Particularidades dos Compósitos Poliméricos	35
2.9. Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Malva	37
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>45</b>
3.1. MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.2. A Fibra de Malva	45
3.3. Caracterização Dimensional da Fibra de Malva	46
3.4. Determinação da Densidade da Fibra	47
3.5. Microscopia Eletrônica de Varredura	47
3.6. A matriz Polimérica	49
3.7. Resina Poliéster	49
3.8. Resina Epóxi	49
3.9. Preparação de Compósitos	49
3.9.1. Mistura e Homogeneização	49

3.10. Prensagem de Corpos de Prova	50
3.11. Moldagem dos Corpos em Fôrma de Silicone	51
3.12. Ensaio de Tração	52
3.13. Ensaio de Flexão Estático	53
3.14. Ensaio de Impacto de Charpy e Izod	54
3.15. Ensaio de Pullout	55
3.16. DMA – Análise Dinâmico-Mecânica	56
3.17. FTIR – Análise por Espectroscopia de Infravermelho	58
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>59</b>
4.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.2. A Caracterização das Fibras	59
4.3. Ensaio Pullout em Matriz de Poliéster	62
4.4. Ensaio Pullout em Matriz de Epóxi	66
4.5. Ensaio de Flexão em matriz de Poliéster	69
4.6. Ensaio de Flexão em matriz de Epóxi	72
4.7. Ensaio de Impacto Charpy em Matriz de Poliéster	75
4.8. Ensaio de Impacto Charpy em Matriz de Epóxi	80
4.9. Ensaio de Impacto Izod em Matriz de Poliéster	85
4.10. Ensaio de Impacto Izod em Matriz de Epóxi	90
4.11. Ensaio DMA em Matriz Epóxi	96
4.12. Ensaio DMA em Matriz Poliéster	98
4.13. Ensaio de Tração em Matriz Epóxi	102
4.14. Ensaio de Tração em Matriz Poliéster	105
4.15. Ensaio de infravermelho FTIR	108
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>111</b>
5.1. CONCLUSÕES	111
5.2. RECOMENDAÇÕES TRABALHOS FUTUROS	113
5.3. ARTIGOS SUBMETIDOS A PUBLICAÇÕES	114
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>116</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Planta de malva	14
Figura 2	O processo produtivo da fibra de malva	24
Figura 3	Lavagem de feixes de malva no processo de maceração	25
Figura 4	Secagem de fibras de malva em varais	25
Figura 5	Fibra de malva pronta para comercialização	26
Figura 6	Utilização de fibras de malva em sacaria para fim industrial	26
Figura 7	Mecanismo de falhas em compósitos reforçados com fibras	35
Figura 8	Energia específica do compósito em diversas idades	40
Figura 9	Imagem por elétrons retroespalhados	42
Figura 10	Curvas de força x deformação teste de flexão telhas(CP6)	44
Figura 11	Fibras longas de malva como são comercializadas	45
Figura 12	Projeto de perfil Nikon, medição de diâmetros das fibras de malva	46
Figura 13	Microscópio Eletrônico de Varredura modelo JEOL JSM 6460 LV ( COPPE-UFRJ)	48
Figura 14	MEV da fibra de malva com aumento de 1600 vezes	48
Figura 15	Matrizes metálicas de flexão (A) e de impacto (B)	50
Figura 16	Moldes de silicone: (A) C.P.de tração, (B) C.P. de DMA e (C) C.P. de pullout	51
Figura 17	Máquina de ensaio de Tração Instron modelo 5582	52
Figura18A	Corpos de prova tração incorporados 0, 10, 20 e 30% fibra	52
Figura18B	Demonstração do cálculo do Módulo de Elasticidade	52
Figura 19	Pêndulo de impacto PANTEC XC-50	54
Figura 20	Corpo de prova de compósito polimérico utilizado no ensaio de pullout	55
Figura 21	Procedimento para o ensaio de pullout realizado em uma máquina Instron 5582	55
Figura 22	Equipamento de DMA TA Instruments, modelo Q800	56
Figura 23	Corpos de prova para ensaios de DMA de compósitos incorporados com 0, 10, 20 e 30% em volume de fibras de malva	57



Figura 24	Espectrômetro de Infravermelho FTIR	58
Figura 25	Histograma com a frequência de comprimentos das fibras de malva	60
Figura 26	Histograma com a frequência de diâmetros das fibras de malva	61
Figura 27	Gráfico de variação da tensão de Pullout com comprimento de embutimento na matriz poliéster	63
Figura 28	MEV da fibra de malva (A) do ensaio, e (B) depois do ensaio	65
Figura 29	Gráfico de variação da tensão de Pullout com o comprimento de embutimento na matriz epóxi	67
Figura 30	MEV da fibra de malva (A) região afastada da fratura , e (B) depois do ensaio região da fratura	68
Figura 31	Variação da resistência à flexão com a incorporação de fibras de malva em compósitos de matriz poliéster	69
Figura 32	MEV da superfície de fratura típica de resina poliéster pura (A) aspecto geral, e (B) detalhe de propagação de trincas	70
Figura 33	MEV de ruptura com 10% de fibras de malva, (A) menor e (B) maior aumento, descolamento de fibras da interface	71
Figura 34	MEV de ruptura com 30% de fibras de malva, (A) menor e (B) maior aumento, descolamento da interface fibra/matriz	72
Figura 35	Variação da resistência à flexão com a incorporação de fibra de malva em compósito epoxídico	73
Figura 36	MEV da fratura de um C.P. com 30% de fibra de malva (A) vista geral da fratura (B) descolamento fibra/matriz epóxi	74
Figura 37	Variação da energia de impacto Charpy com incorporação de fibras de malva em compósitos de matriz de poliéster	75
Figura 38	Corpos de prova típicos de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações volumétricas de fibras de malva	78
Figura 39	MEV da fratura por impacto de C.P. de resina poliéster pura. (A) visão do entalhe e superfície transversal (B) detalhe da ruptura	79
Figura 40	MEV da fratura por impacto C.P. de compósito com 30% de fibra de malva incorporada em matriz poliéster	79
Figura 41	Variação da energia de impacto Charpy de compósitos epoxídicos com fração em volume de fibras de malva	80
Figura 42	Corpos de prova típicos de impacto Charpy em matriz de epóxi rompidos com diferentes frações volumétricas de fibra de malva	83
Figura 43	MEV da superfície de fratura de C.P. de resina epóxi pura (A) vista com baixo aumento e (B) detalhe com maior aumento	84

Figura 44	MEV da superfície de fratura de C.P. de compósito epoxídico com 30% de fibra de malva (A) baixo (B) detalhes com maior aumento	85
Figura 45	Variação da energia de impacto Izod com incorporação de fibras de malva em compósitos de matriz de poliéster	86
Figura 46	Aspectos macroestruturais da ruptura por impacto Izod de compósitos poliéster com diferentes frações volumétricas de fibras de malva	88
Figura 47	MEV da fratura por impacto de resina poliéster pura (A) visão do entalhe e superfície transversal de ruptura (B) detalhe da ruptura	89
Figura 48	MEV da fratura por impacto C.P. compósito com 30% de fibra de malva incorporada em matriz poliéster (A) menor e (B) maior aumento	90
Figura 49	Variação da energia de impacto Izod de compósitos em matriz de epóxi com fração em volume de fibras de malva incorporadas	91
Figura 50	Compósitos de matriz epoxídica rompidos por impacto Izod com diferentes frações volumétricas de fibras de malva	94
Figura 51	Superfície de fratura de C.P. de resina epóxi pura (A) vista geral baixo e (B) detalhes com maior aumento	95
Figura 52	Superfície de fratura de C.P. de compósitos epoxídicos com 30% de fibras de malva (A) vista geral (B) detalhes com maior aumento	96
Figura 53	Curvas de DMA correspondente ao C.P. de resina epóxi pura	97
Figura 54	Curvas de DMA correspondente ao C.P. de resina epóxi com 30% fibras de malva	97
Figura 55	Curvas do Módulo de Armazenamento em função da temperatura para o poliéster em compósitos reforçados com diferentes frações de fibras de malva	99
Figura 56	Curvas do Módulo de Perda em função da temperatura para o poliéster puro e compósitos reforçados com diferentes frações de fibras de malva	100
Figura 57	Curvas da tangente $\delta$ em função da temperatura para o poliéster puro e compósitos reforçados com diferentes frações de fibras de malva	101
Figura 58	Corpos de prova de compósitos de matriz epoxídica reforçados com 0, 10, 20 e 30% de fibras de malva ensaiado em tração	102
Figura 59	Variação da resistência à tração de compósitos epoxídicos reforçados com 0, 10, 20 e 30% de fibras de malva (A) tensão média e (B) Módulo de Elasticidade.	103

Figura 60	MEV de C.P. de resina epóxi puro (A) 20x e (B) com maior aumento 200x	104
Figura 61	MEV de compósitos de matriz de epóxi com 30% de volume com de fibras de malva: (A) 50x e (B) 400x	104
Figura 62	Corpos de prova de compósitos com matriz de poliéster reforçado com 0, 10, 20, e 30% de fibras de malva ensaiado em tração	105
Figura 63	Variação de resistência à tração de compósitos de matriz poliéster com fração em volume de fibras de malva incorporadas	106
Figura 64	MEV da fratura de compósitos de poliéster puro (A) 20x e (B) 400x	107
Figura 65	MEV da fratura de compósitos de poliéster com 30% de volume de fibras de malva (A)33x e (B) 400x	107
Figura 66	Espectro de Infravermelho das fibras de malva FTIR	108

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1	Produção anual de culturas diretas ou indiretas de fibras lignocelulósicas no Brasil	12
Tabela 2	Algumas fibras vegetais	13
Tabela 3	Propriedades mecânicas das fibras naturais	20
Tabela 4	Propriedades físicas e mecânicas das fibras de malva	23
Tabela 5	Características e Limitações das Resinas Termorrígidas	30
Tabela 6	Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração uniaxial	38
Tabela 7	Caracterização mecânica e física das fibras de malva e sisal	39
Tabela 8	Resultados dos ensaios de tração dos compósitos de malva	39
Tabela 9	Características físicas e mecânicas das fibras vegetais	41
Tabela 10	Propriedades da estruturas de fibras vegetais	42
Tabela 11	Média da resistência a tensão para cada comprimento de fibra de malva embebida em matriz poliéster	62
Tabela 12	Média da resistência a tensão para cada comprimento de fibra de malva embebida em matriz epóxi	66
Tabela 13	Resistência à flexão deslocamento total para compósitos de fibras de malva	69
Tabela 14	Resistência à flexão para compósitos epoxídicos com fibras de malva	72
Tabela 15	Energia de impacto Charpy para compósitos poliéster reforçados com fibras de malva	75
Tabela 16	Energia de impacto Charpy para diversos compósito poliéster reforçados com fibras de malva	77
Tabela 17	Energia de impacto Charpy para compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva	80
Tabela 18	Valores de tenacidade ao impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas	82
Tabela 19	Energia de impacto Izod para compósitos poliéster com fibra de malva	85
Tabela 20	Valores de tenacidade ao impacto de fibras naturais	86
Tabela 21	Energia de impacto Izod para compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva	91

Tabela 22	Valores de tenacidade ao impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas	93
Tabela 23	Propriedades dos compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva	103
Tabela 24	Propriedades dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de malva.	106
Tabela 25	Bandas de adsorção de FTIR	108

## RESUMO

### ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA.

Fibras de malva (*Urena Lobbata, Linn*) estão entre as lignocelulósicas naturais menos conhecidas e investigadas nos dias de hoje. Embora diversos estudos já venham sendo realizados, poucas informações existem sobre características estruturais e as propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de malva. Assim, o presente estudo avalia algumas destas propriedades, como a resistência à tração, à flexão, ao impacto, a modificação estrutural mediante aquecimento, e a resistência ao arrancamento. Os ensaios foram realizados com corpos de prova normalizados confeccionados com percentuais de até 30% em volume de fibras de malva, essas fibras foram alinhadas ao longo de todo o comprimento. As fibras foram embutidas sob pressão em matrizes de resina poliéster ou epóxi, misturadas com endurecedores ou catalisadores específicos para cada tipo de resina, a cura se deu à temperatura ambiente por 24 horas. Os corpos de prova foram ensaiados em máquinas, Instron para flexão e pullout, pêndulo Emic de impacto Charpy e Izod, Espectroscopia de Infravermelho para FTIR e TA Instruments para DMA, quando fraturados as superfícies de fratura foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura. Como conclusão geral podemos destacar que quando as fibras de malva são acrescentadas a matrizes poliéster ou epóxi, uma melhora significativa nas propriedades são obtidas.

## **ABSTRACT**

### **A STUDY OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH MALVA FIBERS**

Malva Fibers (*Urena lobbata*, Linn) are among the least known natural lignocellulosic fiber investigated today. Several studies are being conducted, although just a little information exists about the structural characteristics and properties of polymer composites reinforced with continuous and aligned malva fibers. The present study evaluates some of these properties, such as resistance to bending and impact, structural modification upon heating, and the pullout resistance. The tests were performed with normalized specimens made with rates up to 30% in volume of malva fibers, these fibers were aligned along the entire length. The fibers were embedded under pressure with polyester or epoxy resin, were used curing agents or catalysts, both of them specific to each type of resin, the cure process least 24 hours at room temperature. The samples were tested in machines, Instron for bending and pullout, Emic pendulum for impact Charpy and Izod, Infra-red spectruscopy for FTIR and a TA Instruments for DMA, when fractured, the fracture surface were analyzed by scanning electron microscopy. As a general conclusion we may point out that when the malva fibers are added to polyester or epoxy matrix, a significant improvement in properties are obtained.

# CAPÍTULO 1

## 1.1. INTRODUÇÃO:

O campo de emprego das fibras naturais é bastante amplo, abrangendo desde as aplicações clássicas na indústria têxtil até o reforço de matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas. Recentemente, a utilização de fibras naturais como materiais absorventes de metais pesados no tratamento de resíduos industriais tem sido apresentada como outra alternativa de uso ambientalmente correto (NUNES, ET AL 2009).

Em contrapartida as fibras naturais, empregam-se ainda em larga escala as fibras sintéticas produzidas a partir de derivados de petróleo. Entretanto a produção das fibras sintéticas envolve a extração de recursos não renováveis e emissão de gases CO e CO<sub>2</sub> responsáveis pelo efeito estufa, situações essas que auxiliam no agravamento da degradação ambiental. Já a utilização das fibras naturais de origem vegetal envolve o plantio de organismos vegetais que são neutros em relação a emissão de gases de efeito estufa. A emissão destes gases durante processamento das fibras é compensada pelo consumo desses gases para seu crescimento e desenvolvimento (CASTRO, 1976).

Nesse contexto a idéia de preservação do meio ambiente e de suas fontes torna-se bastante relevante para uma população mundial que cresce cada vez mais, incrementando a produção de resíduos, o consumo de energia, de recursos não renováveis, bem como a geração de gases do efeito estufa. A prática dessa idéia de utilização de fontes renováveis, cumpre a missão de se implementar os mecanismos de desenvolvimento limpo previsto no Protocolo de Kyoto (CARDOSO, ET AL 2008).

Como ações desenvolvidas para a preservação ambiental a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação, declarou o ano de 2009 como o ano internacional das fibras naturais. A medida visou conscientizar e estimular a utilização de fibras naturais, encorajando políticas governamentais de incentivo ao setor e às ações empresariais sustentáveis, para a exploração dessas matérias-primas.



Desde então inúmeras ações foram realizadas visando a valorização e o emprego das fibras naturais, sobretudo como alternativa à materiais sintéticos, como a fibra de vidro, largamente utilizada desde a metade do século passado. A exemplo disso na década 1990, as indústrias automotivas por razões técnicas e comerciais, começaram a utilizar compósitos com fibras vegetais seguindo a uma tendência mundial. Atualmente, várias empresas do segmento automotivo têm aplicado diferentes fibras na produção de seus carros.

Entre as fibras naturais as obtidas de fontes vegetais são abundantes e possuem muitas características que tornam seu uso vantajoso, tais como, serem providas de fontes renováveis, serem materiais de baixa densidade, biodegradáveis e apresentarem um baixo custo de produção. Essas fibras ainda possuem resistência específica e módulo de elasticidade elevados e também não são abrasivas, não desgastando equipamentos de processo, além de não serem tóxicas e podendo ter suas propriedades físico-mecânicas melhoradas por adição de agentes químicos.

Diversas fibras vegetais são produzidas em praticamente todos os países e usualmente são designadas como materiais fibrosos lignocelulósicos (lignina, celulose e hemi-celulose), tais como o rami, curauá, malva, sisal, coco, algodão, juta, eucalipto, piaçava (MISHRA, ET AL 2004). Algumas fibras ocorrem espontaneamente na natureza, outras são cultivadas como atividade agrícola gerando maior número de empregos em áreas de baixo índice de desenvolvimento humano.

**Tabela 1.** Produção anual de culturas diretas ou indiretas de fibras lignocelulósicas no Brasil

Cultura	Produção Anual (mil toneladas)			
	2004	2005	2006	2007
Juta (fibra)	2	6	4	6
Malva (fibra)	10	20	14	20
Rami (fibra)	1	1	-	-
Sisal (fibra)	199	207	248	215
Algodão herbáceo (em caroço)	3.798	3.666	2.884	3.661
Coco-da-baía*	2.078	2.079	1.857	2.017
Abacaxi*	1.477	1.528	1.658	1.682
Cana-de-açúcar	415.206	422.957	457.984	489.957
Arroz (em casca)	13.277	13.193	11.505	11.045

\*Produção anual em milhões de frutos. Fonte: Ministério da Agricultura<sup>24</sup>

No Brasil existem inúmeros tipos de fibras vegetais produzidas, como alguns exemplos apresentamos na Tabela 1, que podem ser utilizadas para confecção têxtil e outras utilizações industriais. Estas fibras produzidas em diversos estados, a Tabela 2, apresenta algumas fibras vegetais, onde o Brasil é um dos líderes mundiais de produção de sisal (MATTOSO, ET AL 1999).

Tabela 2 - Fibras vegetais brasileira.

<b>Fibra</b>	<b>Nome Botânico</b>	<b>Parte Da Planta</b>	<b>Centros Produtores</b>
<i>Malva</i>	<i>Urena Lobata Linn</i>	Caule	Amazônia e Pará
<i>Rami</i>	<i>Boemmirianivea</i>	Caule	Norte Paulista
<i>Curauá</i>	<i>Ananás erectifolius</i>	Folha	Amazônia paraense
<i>Sisal</i>	<i>Agave sisalana</i>	Folha	Bahia e da Paraíba
<i>Coco</i>	<i>Cocos nucifera</i>	Fruto	Recife e Aracaju
<i>Algodão</i>	<i>Gossypiumherbaceum</i>	Semente	Campina Grande
<i>Juta</i>	<i>Corchoruscapsularis</i>	Caule	Amazônia
<i>Eucalipto</i>	<i>Eucalyptusgrandis</i>	Caule	Aracruz, ES
<i>Piaçava</i>	<i>Attaleafunifera</i>	Bainha foliar	Valença, BA

Fonte: NETO e PARDINI, 2006.

Dentre as diversas fibras produzidas no Brasil, a malva é um exemplo de fibra vegetal que pode perfeitamente se enquadrar na utilização industrial. A planta malva pertence a família das malvaceae (*Urena lobata Linn*) e requer para seu rápido crescimento um clima quente e úmido com períodos alternados de sol e chuva como ocorre nas regiões dos Estados do Amazonas do Pará mostrada na figura 1. A malva possui grande importância econômica nestas regiões e aponta, através de resultados preliminares, excelentes propriedades a serem exploradas, mas ainda apresenta poucos estudos realizados até então sobre as suas propriedades e características estruturais (MARGEM, ET AL 2012).

As vantagens das fibras naturais lignocelulósicas, como a malva, têm despertado muito interesse na pesquisa sobre a confecção de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas (CANAVAROLO, 1991; LEÃO, ET AL 1997; MOHANTY, ET AL 2000; HOLBERRY E HOUSTON, 2006; FARUK, ET AL 2010; HASSAN, ET AL 2010). Compósitos poliméricos são materiais de moldagem estrutural, formados por uma fase contínua polimérica denominada matriz, reforçada por uma fase descontínua

ou seja as fibras (BOYNARD, ET AL 2003). Além disso, o interesse sobre os compósitos não ocorre somente no nível da pesquisa científica, mas também no ramo da tecnologia industrial, devido a uma ampla capacidade dos compósitos de atender a demandas específicas em vários setores da sociedade (CHAWLA, 1987).



Figura 1 – Planta de malva (Adaptado de MARGEM, 2012).

Neste contexto a proposta do presente estudo é investigar as principais características físicas, mecânicas e térmicas de compósitos reforçados por fibras de malva, onde serão usadas como matrizes as resinas poliéster e epóxi.

Esta análise buscará verificar a possibilidade de substituição de matérias primas não renováveis utilizadas na indústria de hoje como, por exemplo, a madeira compensada e outros materiais afins.

## **1.2. OBJETIVOS:**

### **1.2.1. Objetivo Geral:**

Este trabalho visa desenvolver e estudar o comportamento estrutural de materiais compósitos elaborados a partir da união entre matriz polimérica de epóxi e de poliéster incorporados com 10, 20 e 30% de fibra de malva. A questão principal será a de criar um material que possua características físicas,

mecânicas e de acabamento, capazes de substituir outros materiais não renováveis em uso, sobre tudo aqueles a base de fibra de vidro.

As propriedades térmicas, mecânicas e os dados estruturais desse novo material serão estudados, para a efetiva verificação de suas propriedades.

A princípio, o compósito polimérico produzido será reforçado com fibras de malva longas, contínuas e alinhadas, em relação ao comprimento dos corpos de prova, e serão usadas sem nenhum tipo de tratamento superficial.

### **1.2.2. Objetivo Específico:**

1. Caracterizar a fibra de malva sem tratamento específico;
2. Avaliar as propriedades mecânicas, térmicas dos compósitos poliméricos formados;
3. Analisar microestruturalmente os compósitos poliméricos formados
4. Determinar as frações de vazios e a distribuição do reforço-matriz nos compósitos poliméricos formados;
5. Verificar o comportamento do material quando exposto a variação de temperatura ambiente.

### **1.3. JUSTIFICATIVAS:**

O presente trabalho mostra relevâncias ambientais, científicas, econômicas, tecnológicas e energéticas, que certamente, contribuirá com o melhoramento da qualidade de vida para a sociedade.

O estudo pode ser claramente justificado pela necessidade do uso de materiais novos e biorenováveis, capazes de substituir matérias primas usadas de forma predatória pela sociedade humana à milênios. Os compósitos de fibras naturais aparecem como uma alternativa “verde” a materiais derivados de fontes não renováveis, causadores de agressões muito acentuada ao meio ambiente.

O fator importante que não pode deixar de ser mencionado, é o ineditismo nas análises e estudos efetuados com a fibra de malva, que até

então desconhecida, e pouco usada em projetos como de reforço de compósitos.

A malva até hoje em dia era mais amplamente utilizado na indústria têxtil, como um componente barateador nas cordoarias, tapeçarias, no artesanato manual do interior do nordeste brasileiro, mas poucos estudos verificaram as superiores características mecânicas da fibra tornando-a uma excelente alternativa para reforço de um suposto material polimérico.

De acordo com esse contexto, o presente estudo tem por justificativa principal, analisar o comportamento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais de malva, para substituição de matérias primas não renováveis e também para substituir compósitos de custo mais elevados ou com piores propriedades mecânicas ou térmicas.

Quanto o ponto de vista ambiental, justifica-se pelo aproveitamento integral dessas fibras, inclusive os resíduos industriais, deve-se também mencionar o ciclo neutro em relação à produção de gases de efeito estufa e da possibilidade de substituição de matéria prima não renovável.

Em se tratando do ponto de vista científico, justifica-se devido ao grande interesse em relação ao estudo dos compósitos com fibras naturais, e pelo destaque atingido pelo assunto na atual conjuntura onde se procura novos materiais com propriedades superiores.

De acordo com o ponto de vista econômico, o valor do produto seria devido ao preço da resina e da fibra, em princípio, ambos possuem custos extremamente baixos quando comparados com outros tipos de materiais concorrentes. O processo de confecção dos compósitos também é em sua essência simples e barato, o que geraria um produto final com reduzido custo e grande capacidade competitiva.

A simplicidade no processo produtivo permite ainda o fácil aprendizado das técnicas produtivas, garantindo a absorção do produto pelos setores da produção e consumo.

Esses fatores geram a atenção clara de grandes indústrias em processos científicos como esses, o que pode gerar um atrativo para implantação de indústrias locais, que visariam suprir os mercados de grandes centros.

O estudo pretende criar um material de baixo custo e razoável padrão mecânico e térmico para competir em igualdade com outros produtos convencionais, sobretudo aqueles a base de fibras não renováveis e matérias primas com escassez iminente.

#### **1.4. O INEDITISMO:**

Durante a pesquisa utilizando a fibra de malva devido ao ineditismo, os ensaios buscaram percorrer o caminho completo para a correta verificação das propriedades desse compósito em particular. Desta forma a solução para a escassez bibliográfica em relação ao padrão da fibra foram ensaios com fibras similares e as próprias caracterizações realizadas com a malva. Outra questão complicadora, foi a limitação de tempo para realização de outros ensaios que poderiam melhorar nossos resultados.

O início da pesquisa foi uma análise estatística das fibras, onde foram levantados dados como densidade média e volume médio das mesmas, seguindo-se com a confecção de corpos de prova para os ensaios de tração, flexão, pullout (buscou-se definir o comprimento crítico e a tensão cisalhante crítica da fibra de malva), a verificação de resistência ao impacto (pelo método de Charpy e Izod), a investigação do desempenho dinâmico mecânico através de ensaios DMA (Análise dinâmico-mecânica) e a medição das fibras com projetor de perfil e com micrômetro, na tentativa de determinar o erro na medição manual.

O procedimento adotado para determinação das características estruturais das fibras e dos compósitos incorporados com fibras de malva, foi analisar através de técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), sempre que realizado qualquer tipo de ensaio com os materiais.

O objetivo inédito deste trabalho foi o desenvolvimento e o teste de um novo material, com desempenho capaz de substituir um tipo específico de matéria não renovável usada diretamente no ciclo industrial dos dias de hoje.

A metodologia aplicada na confecção do compósito reforçado com as fibras selecionadas de malva, envolveu a impregnação da fibra com resinas poliméricas (poliéster e epóxi), seguido de compactação da mistura para se obter um material com resistência mecânica e tenacidade superiores a matérias primas não renováveis utilizadas nos dias de hoje, e outros compósitos reforçados com diferentes tipos de fibras naturais ou sintéticas.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA:**

#### **2.2. Fibras Naturais**

As fibras naturais vegetais ou fibras lignocelulósicas são utilizadas pelo homem no processo industrial de longa data, e no Brasil em grande quantidade pela facilidade de manufatura, sendo aproveitadas em construções e ferramentas, e principalmente por contribuírem com o seu caráter ecológico de benefício ao meio ambiente (JOSEPH, 1981).

De acordo com Yu, Lou et al, (2008), as reações de fotossíntese formam alguns componentes como a celulose e a hemicelulose, os quais consistem de vários carboidratos polimerizados que compoem as fibras naturais .

Essas fibras lignocelulósicas podem ser consideradas como compósitos de fibrilas de celulose mantidas coesas por uma matriz constituída de lignina e celulose, agindo como barreira natural a degradação por ataques de micróbios e como proteção mecânica. Suas características estruturais estão relacionadas a natureza da celulose e a sua cristalinidade (JAYARAMAN, 2003).

Fibras lignocelulósicas, vem sendo usadas como material de reforço pelo homem. Pode-se citar a palha de arroz, o capim, a palha de milho e o tijolo de adobe (terra crua, água e palha e algumas vezes outras fibras naturais), moldados em fôrma artesanal sendo um dos antecedentes históricos do tijolo de argila, considerado como o primeiro material compósito, datado de 500 A.C (PACHECO & DIAS JUNIOR, 1990).

Os principais componentes das fibras lignocelulósicas são: Celulose de 40-50%, Hemicelulose de 20-30%, e Lignina de 20-28%. Além destes componentes são encontrados compósitos inorgânicos e solventes orgânicos, como pectinas, carboidratos simples, gomas, saponinas, resinas, gorduras e graxas, entre outras (MOHAN, 2006).

Outro aspecto importante de ser lembrado é que o número de plantas fornecedoras de fibras ou de materiais fibrosos é bastante extenso,



independente do fim ou modo de uso, a oferta de material será sempre estável e os produtos em consequência acessíveis (MONTEIRO, ET AL 2008).

Porém o emprego destas fibras lignocelulósicas apresenta algumas desvantagens. Por exemplo, essas fibras não possuem propriedades uniformes, apresentando uma grande variação nos valores das suas propriedades, que estão diretamente relacionadas com a composição dos seus constituintes: celulose, hemicelulose e lignina (LEÃO, 1997).

Há grandes vantagens no uso de fibras lignocelulósicas, tais como a baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida, recicláveis, não toxicidade e biodegradabilidade; baixo custo e baixo consumo de energia na produção, baixa condutividade térmica, bom isolamento térmico e acústico, sendo assim estudadas as características mecânicas (SATYANARAYANA, ET AL 2007) .

A Tabela 3, a seguir mostra as propriedades mecânicas de algumas fibras lignocelulósicas, dentre elas, o módulo de resistência à tração ( $\sigma_T$ (MPa)), o módulo de elasticidade (E (GPa)), deformação à ruptura ( $\epsilon_T$ (%)) e a massa específica (P (g/cm<sup>3</sup>)).

Tabela 3 - Propriedades Mecânicas das Fibras naturais lignocelulósicas

<b>Tipo de Fibra</b>	<b><math>\sigma_T</math> (MPa)</b>	<b>E (GPa)</b>	<b><math>\epsilon_T</math>(%)</b>	<b>P (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Sisal	126-800	3,80-62,0	2,80-10	1,27-1,50
Coco	95-149	2,80-13,7	3,3-5,1	1,18-1,45
Juta	320-500	12,0-100	1,3-2,8	1,50
Malva	160	17,4	5,2	1,41
Rami	393-900	7,30-25,0	1,8-5,3	1,51
Piaçava	143	5,60	5,9	1,05

FONTE: SATYANARAYANA, ET AL 2007.

### **2.3. A Classificação das Fibras Naturais.**

As fibras naturais podem ser classificadas segundo suas características e suas origens, como famílias botânicas de acordo com sua natureza. Podem se dividir as fibras em três grupos distintos (CARVALHO, 1996):

1. Vegetal (Celulósicas).
2. Animal (Seda, Lã ou pelugem).
3. Mineral (asbestos).

A grande diversidade das fibras resulta em dificuldade para sua classificação, entretanto é comum classificar o material de acordo com o local da extração (SATYANARAYANA, ET AL 2007).

Desta forma no estudo a ênfase de análise se deu sobre as fibras vegetais, também classificadas de acordo com a sua origem (ANGELINI, ET AL 2000), como por exemplo:

- Sementes e frutos: Algodão e Luffa.
- Relvas e Gramíneas: Retiradas das hastes das monocotiledôneas. Exemplos: trigo, aveia, cevada, arroz, junco, bambu e bagaço de cana.
- Folha: Retiradas ao longo do comprimento das folhas das plantas monocotiledôneas: Curauá, sisal, abacá, henequém, cântala, formio, caroá, istle, pita, piaçava.
- Caule: Maços de fibras retirados do interior da casca (caule) de hastes de plantas monocotiledôneas: Linho, juta, malva, cânhamo, rami, kenaf.
- Madeira: Fibras oriundas do xilema do vegetal angiosperma e do gimnosperma: Eucalipto, abeto e pinho.

Desta forma fica clara a possibilidade de classificação das fibras vegetais segundo a origem anatômica, a natureza química, econômica e botânica (MEDINA *apud* AQUINO, 2004).

#### **2.4. A malva**

A malva (*Urena lobata, linn*) pertencente à família malváceas é uma planta anual, herbácea e bem adaptada às condições de várzea cultivada nos estados do Amazonas e Pará, desde os anos 30.

As fibras extraídas desta planta nativa, são utilizadas na fabricação de papel, vestuário e tecidos para estofados e tapetes, sobre-tudo, na confecção de sacaria para acondicionar produtos como açúcar, café, castanha de caju e cacau, e apresenta grande potencial de utilização na construção civil (SAVASTANO JR, 2000).

A malva, origina uma fibra de maior resistência que a produzida pela juta, porém menos sedosa e brilhante. São plantadas juntas, em sistema de

consórcio, sendo que a juta em várzea baixa e a malva em várzea alta, ambas em terras muito férteis (SABBÁ,1993).

As fibras de malva são oriundas do cultivo temporário desta espécie, devido às suas diversas aplicações nas indústrias nacionais e internacionais, representam uma grande oportunidade de investimento, através de explorações produtivas e com técnicas específicas, além do fato de se contrapor ao uso da fibra sintética que podem causar danos ao meio ambiente, em função da sua difícil decomposição após o descarte. As fibras de malva levam cerca de dois anos para se decomporem após o seu desuso, não agredindo o meio ambiente.

A fibra de malva tem ganho visibilidade como planta de bom valor comercial pela praticidade e facilidade de cultivo em locais não encharcados. Em condições normais, pode-se esperar uma produção média de 1.300 a 1.500 quilos de fibra secas por hectare (MARTINS NETO, 2011).

A produtividade no Brasil, no início da década de 2000 era de 1.180 ton/ano, com valores a partir deUS\$ 380,00/ton (SAVASTANO JR., 2000). Atualmente, a produção atinge a 15.700ton/ano, a um custo de até US\$ 900,00/ton de fibra seca (CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento, 2012).

Na década de 1970 o Estado do Pará era o maior produtor de Urena Lobata. A malva era produzida na região da antiga estrada de ferro bragantina e nas rodovias Belém/Brasília e Belém/São Luiz. Hoje os maiores malvicultores, como são chamados, estão concentrados entre os estados do Pará e Amazonas (MARTINS NETO, 2010).

Diversos fatores influenciaram na variação de produção de fibras secas por unidade de área como: fertilidade do solo, condições climáticas, época de sementeação, tratamentos culturais e processo de maceração.

As fibras de malva são extraídas do caule (SAVASTANO JR., 2000 GEORGE ET AL, 2001) assemelha-se na cor, na textura a fibra de juta e apresenta resistência superior (HOMMA e FERREIRA, 2010). A malva é uma fibra Liberiana ocorrendo entre a camada intermediária que envolve a medula central lenhosa do caule e a camada externa da casca.

A fibra da malva apresenta densidade básica em seu caule de 0,402 g/cm<sup>3</sup>, valor que se aproxima das espécies arbóreas tais como o eucalipto (0,530 g/cm<sup>3</sup>) e o pinus (0,412 g/cm<sup>3</sup>), utilizados nas indústrias de produção de papel e celulose (AZZINI et al., 1993). A utilidade de suas fibras têxteis ainda se estende na produção de vestuário, barbantes e tecidos para estofados e tapetes (MARTINS NETO, 2010). Na Tabela 4 tem-se propriedades físicas e mecânicas das fibras de malva.

Tabela 4- Propriedades Físicas e Mecânicas das fibras de malva.

Fibra	Comprimento médio (mm)	Diâmetro médio (µm)	Massa espec. real (kg/m <sup>3</sup> )	Resistência a tração (MPa)	Along. a ruptura (%)	Absorção máxima (%)
Malva	23,8	42,6	1374	160	5,2	377

FONTES: OLIVEIRA, 1998.

Com o passar dos anos o cultivo dessa planta tem se direcionado cada vez mais para estados do norte brasileiro como Amazonas e Pará, onde a fibra é muito utilizada como matéria prima para o produtos artesanais (BNDES, 1998).

Para a obtenção da fibra existem processos realizados, sendo esta produção constituída de duas etapas:

- A primeira etapa realizada em campo através de máquinas desfibriladoras, processos chamados de desgomagem e descorticagem.
- A segunda etapa realizada nas indústrias via processos químicos.

A fibra de malva, pertencente à família das fibras longas, a exemplo do linho, juta, sisal e cânhamo. Apresenta alta resistência, sendo considerada três vezes superior à do cânhamo, quatro vezes à do linho e oito vezes à do algodão (ZHAO-TIE, ET AL 2007).

O processo de beneficiamento é constituído da descorticagem e da desgoma. A primeira etapa é feita ainda no campo, através de máquinas desfibradoras ou descorticadoras, sendo as mais utilizadas conhecidas como “periquitas”, que pode ser vista na Figura 2, que separam as cascas das hastes. Já a desgomagem é feita nas indústrias via processos químicos (CIARAMELLO, ET AL 1963).

Em termos de processo produtivo, esta cultura apresenta baixo padrão tecnológico, sendo bastante intensiva no uso da mão-de-obra, da qual exige

muito esforço físico. Além disso, as máquinas utilizadas, utilizada na sua descorticagem é perigosa e ineficiente, redundando na alta incidência de acidentes de trabalho (WALDO, 1948).



Figura 2 – O processo produtivo da fibra de malva e máquina desfibradoras ou descorticadoras (MOREIRA, 2008).

A malva pode ser utilizada em diversos segmentos: fabricação de tecidos, cordas e barbantes, como também pode gerar a celulose para a produção de papel moeda, devido à sua resistência (ISHIKAWA, ET AL 1997). Além disso pode ser empregada na fabricação de mangueiras, pneus, fios de pára-quadras, etc.

Apesar dessas características, os tecidos de malva, são facilmente laváveis, apresentando grande vantagem na retenção de corantes quando comparado a qualquer outra fibra vegetal. Além disso, seu emprego é extremamente adequado nos países de clima quente, como o Brasil (WALDO, 1948).

A produção de fibras vegetais à partir das culturas de malva e juta, no baixo Solimões, não causa poluição ou degradação ambiental, não havendo exaustão do solo, pois o processo produtivo respeita o ecossistema local, sendo sua produção sazonal, submetida às estações de cheia, enchente, vazante e seca do rio, renovando permanentemente a fertilidade das terras cultiváveis. O cultivo destas plantações está associado a quatro períodos distintos no ano:

- A cheia, que compreende os meses de maio até julho;

- A enchente, dos meses de dezembro à abril período que se faz a colheita;
- A vazante, entre os meses de agosto e setembro em que ocorre o plantio, e;
- A seca, nos meses de outubro e novembro, momento do crescimento da planta.

A figura 3 apresenta as fibras extraídas da planta nativa de malva após passagem pelo processo de maceração. A figura 4 mostra o processo natural de secagem ao sol das fibras de malva.



Figura 3 - Hastes de feixes de malva são mantidas submersas e depois lavadas no processo de maceração (FONTE: NUSEC/UFAM 2005)



Figura 4 – Secagem de fibras de malva em varais (FONTE: NUSEC/UFAM 2005).



A comercialização da malva como sementes, cordas, fibras, e demais produtos como fabricação de papel, vestuário, tecidos para estofados e tapetes, é mostrado na figura 5 . Entretanto, sua maior utilização é sobre-tudo, na confecção de sacaria para acondicionar produtos como açúcar, café, castanha de caju e cacau, como mostra a figura 6. Recentemente, vem despertando interesse de pesquisadores como grande potencial de reforço em compósitos poliméricos utilizados na construção civil (SAVASTANO JR, 2000).



Figura 5 - Fibra de malva pronta para comercialização (Fonte própria 2012).



Figura 6 – Utilização de fibras de malva em sacaria para acondicionar café, cacau, soja, etc (FONTE: NUSEC/UFAM 2005).

As fibras extraídas são relativamente macias e com elevada resistência mecânica, comparativamente com outras fibras lignocelulósicas, como mostrada na figura (SATYANARAYANA, ET AL 2007).

Entretanto, a principal características que chama a atenção na fibra de malva é o seu reduzido valor econômico, quando comparada a fibras sintéticas, como a fibra de vidro e aramida, chega a ter um valor dez vezes menor (SHIHONG ET AL 1994).

Outra característica importante é a questão da abrasão, sendo menos abrasiva aos equipamentos de processamento, estes ganham maior vida útil (ANGELINI, ET AL 2000).

Durante o trabalho de pesquisa realizada com a malva, essa fibra mostrou que similarmente as demais fibras naturais, todas apresentam algumas vantagens em relação as fibras sintéticas tais como:

1. A matéria-prima é obtida a partir de uma fonte renovável, que é a planta da região Norte do Amazonas e Pará.
2. Trata-se de material biodegradável.
3. O custo é pelo menos dez vezes inferior ao de fibras sintéticas, como vidro, aramida e carbono.
4. É menos abrasiva.
5. Exige menor quantidade de energia para ser processada.

A fibra de malva por ser um material renovável, abundante, com baixo custo de produção, e apresentar propriedades específicas, não ser tóxica e biodegradável, dentre outras inúmeras vantagens. Tem ainda potencial de aplicabilidade em matrizes cimentícias para utilização na construção civil (MARTINS NETO, 2011). Segundo Savastano (2000) matriz argamassa de cimento reforçados com fibras malva apresentaram desempenho em propriedades mecânicas superiores as argamassa de cimento sem a incorporação de fibras.

Análises recriadas por Martins Neto (2011) ratificaram estudos anteriores sobre o desempenho favorável do material compósito de matriz frágil reforçados com fibras naturais em especial as fibras de malva. Segundo esse mesmo autor a adição dessas fibras, em matriz cimentícia, alterou positivamente o desempenho mecânico dos corpos de prova quando ensaiados



sob flexão em três pontos. Os corpos de prova de matriz plena sofreram ruptura brusca enquanto os corpos de prova reforçados com fibras curtas desempenharam um comportamento mecânico favorável pós fissuração, conferindo ao compósito uma tenacidade e uma pseudo ductilidade já esperada.

Martins Neto (2011) ainda verificou que o compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras de malva apresentou o melhor desempenho na deformação, antes do aparecimento da primeira fissura, quando reforçado com fibras de 25 mm de comprimento.

## **2.5. Resinas Poliméricas**

As resinas poliméricas podem ser de origem vegetal ou sintética. As vegetais são secreções extraídas de diversos tipos de plantas. São misturas de ácidos carboxílicos, terpenos e óleos essenciais (STRONG, 1989).

As resinas sintéticas, sendo compostos poliméricos, podem receber classificações normais de polímeros. Podem ser termorrígidas, que após aquecido, suas cadeias se entrelaçam fazendo com que ele não possa mais perder a sua forma, ou termoplásticas o que significa que elas ficam mais fluidas com o aumento da temperatura.

Dentre todos os tipos de materiais poliméricos e resinas existentes, as principais utilizadas na confecção de materiais alternativos, como painéis artificiais de madeira, são os fenol-formaldeídos, um tipo de amina. Dentre elas destacam-se o poliéster e o epóxi que são as mais comuns comercialmente falando (NETO & PARDINI, 2006).

Outro tipo de produto, o obtido com resina fenólica, é menos solúvel em água, no entanto algumas características físicas deste produto, reduzem a probabilidade de seu uso, por exemplo, a sua cor enegrecida, que acarreta menor possibilidade de padronização e acabamento, deixando esse material menos viável para compósitos poliméricos de uso industrial (ASKELAND, 1985).

Outros tipos de resinas são bastante solúveis em água, entretanto dominam a produção de painéis de madeira, são os produtos obtidos com a uréia-formaldeído (UF), (ASKELAND, 1985).

As resinas feitas a partir de melaminas-formaldeídos não são solúveis em água e formam os plásticos com maior resistência a abrasão, sendo usado para produção de utensílios domésticos (pratos, mesas, etc.). Seu mercado, entretanto, é reduzido devido ao seu alto custo (ASKELAND, 1985).

Na construção de painéis externos, sujeitos a altos índices de umidade, usa-se materiais a base de fenólicas e as de melamina. Outro aspecto que não pode deixar de ser mencionado é a busca por substitutos ao formaldeído, devido ao seu alto índice de toxicidade, entretanto, esse seria um catalisador básico, difícil de substituir (SATYANARAYANA, ET AL 2007).

Uma das principais aplicações da resina poliéster é o compósito reforçado com fibra de vidro, esse material possui inúmeras propriedades que o credenciam a situações práticas diversas, como alta resistência por unidade de peso, resistência ao impacto, estabilidade dimensional, boa resistência química e às intempéries, facilidade de fabricação e boa dureza superficial (MALLICK, 1993).

Os produtos confeccionados à partir da resinas poliéster constituem o grupo de polímeros termofixos, são os mais utilizados na indústria devido a sua grande versatilidade e boas propriedades mecânicas, a um custo relativamente baixo. Essas resinas apresentam ainda boa estabilidade dimensional e são de fácil manuseio (MALLICK, 1993).

Outro material que merece ser analisado é a resina epóxi líquida, que possui baixa viscosidade, se convertendo rapidamente à fase termofixa, pela mistura de agentes de cura apropriados. As seguintes propriedades se combinam neste material:

1. Baixa viscosidade da resina e endurecedor (fácil manuseio).
2. A cura se dá rapidamente na faixa entre 5 a 150° C, dependendo do agente utilizado.
3. Ocorre baixa contração durante a cura (3%), outras resinas como fenólicas e acrílicas, liberam água e apresentam alta contração.
4. Alta adesão; alto isolamento elétrico e boa inércia química.
5. As resinas epóxi, dependendo do agente de cura, possuem boa resistência a ácidos e reagentes cáusticos e boa versatilidade.

Devido a todas essas propriedades utilizamos esse tipo de resina em inúmeras aplicações, sendo a principal delas em compósitos de fibras (CANTWELL, 1997).

A resina epóxi líquida é muito utilizada em laminados de fibra sintéticas como o de vidro, carbono e kevlar e também com naturais como juta, sisal, algodão, etc. Devido à sua alta resistência mecânica e química, ela é utilizada em laminados especiais onde as resinas convencionais de laminação, como os poliésteres insaturados, não atendem o necessário. São muito utilizados em tubulações, tanques, aeronaves, embarcações, veículos de alta performance, artigos esportivos, revestimentos especiais, etc (BLEDZKI, & GASSAN, 1999).

A tabela 5 ilustra as características e limitações das resinas termorrígidas mais comumente utilizadas (ROSATO & ROSATO, 2004).

Tabela 5 – Características e Limitações das Resinas Termorrígidas (ROSATO & ROSATO, 1994)

RESINA	CARACTERÍSTICAS	LIMITAÇÕES
Epóxi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- excelente propriedade em compósitos</li> <li>- muito boa resistência química e propriedades elétricas</li> <li>- boas propriedades térmicas</li> <li>- baixa contração na cura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- longos ciclos de cura</li> <li>- melhores propriedades obtidas em altas temperaturas de cura</li> </ul>
Fenólica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ótimas propriedades térmicas</li> <li>- boa resistência ao fogo</li> <li>- boas propriedades elétricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cor</li> </ul>
Poliéster	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amplamente utilizada</li> <li>- fácil uso</li> <li>- cura a temperatura ambiente</li> <li>- ótimas propriedades em compósitos</li> <li>- boa resistência química</li> <li>- boas propriedades elétricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- emissão de estireno</li> <li>- contração durante a cura</li> <li>- inflamável</li> </ul>
Poliamida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- excelentes propriedades térmicas</li> <li>- boas propriedades em compósitos</li> <li>- boa resistência ao fogo</li> <li>- boas propriedades elétricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cor</li> </ul>

Poliuretano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- boas propriedades em compósitos</li> <li>- muito boa resistência química</li> <li>- alta dureza (resistência ao impacto)</li> <li>- boa resistência a abrasão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cor</li> <li>- isocianetos como agentes de cura</li> </ul>
Silicone	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ótimas propriedades térmicas</li> <li>- excelente resistência química</li> <li>- ótimas propriedades elétricas</li> <li>- resistente a hidrólise e oxidação</li> <li>- boa resistência ao fogo</li> <li>- não tóxico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- adesão</li> <li>- longos ciclos de cura</li> <li>- cura somente a altas temperaturas</li> </ul>
Vinil Ester	<ul style="list-style-type: none"> <li>- boa resistência à fadiga</li> <li>- excelentes propriedades em compósitos</li> <li>- muito boa resistência química</li> <li>- boa dureza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- emissão de estireno</li> <li>- contração durante a cura</li> <li>- inflamável</li> </ul>

## 2.6. Materiais Compósitos

Segundo a ASTM D3878-95, define um material compósito como uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si e quando combinados formam um material de engenharia útil tendo uma reconhecível interface entre eles com propriedades pré-determinadas (ZWEBEN,1998).

O objetivo principal em se produzir compósitos é de combinar diferentes materiais para produzir um único dispositivo com propriedades superiores às dos componentes unitários. Dessa forma, compósitos com finalidades ópticas, estruturais, elétricas, opto-eletrônicas, químicas e outras são facilmente encontrados em modernos dispositivos e sistemas (ASKELAND, 1985).

Segundo Faruk et al. (2012), a chave do sucesso da aplicabilidade em termos de performance das propriedades finais dos compósitos são dependentes da adesão, do tipo de matriz e da interface entre a fibra natural e a matriz contínua.

As propriedades dos compósitos são também dependentes das características dos processos de fabricação usados, sobretudo dos materiais brutos e tratamentos adicionais, como a modificação da superfície das fibras e a inclusão da proteção contra a oxidação. Consideráveis mudanças nas

propriedades podem ser alcançadas variando certos parâmetros tais como calor, frio, umidade, entre outros (RAND, 1989).

Dentre os vários tipos de classificação disponíveis para compósitos, um desses tipos define compósitos em termos da morfologia de seus agentes de reforço como: compósitos particulados, compósitos com fibras, e estrutural ou laminados (CALLISTER, 2000).

Os compósitos possuem reforços típicos como uma fibra ou uma partícula que é uma fase mais forte e mais dura que a fase matriz contínua. Muitos tipos de reforços têm uma boa condutividade elétrica e térmica, um coeficiente de expansão térmica menor que a matriz e/ou de boa resistência ao desgaste (ASHBY, JONES, 2007).

Os compósitos apresentam excepcional inércia química, o que permite sua utilização em uma ampla gama de ambientes agressivos quimicamente. Além disso, aditivos especiais e resinas específicas estão à disposição dos técnicos para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais (CHAWLA, 1987).

Segundo Lee et al. (2002), os compósitos de alta resistência ao desgaste são usados em engenharia de materiais avançados, principalmente em helicópteros, pás de turbinas, contatos elétricos dentre outros. O aumento da resistência ao desgaste é obtido através da introdução de uma fase secundária na matriz do material, que pode acarretar variação nas propriedades ao desgaste, através de mudança na microestrutura, morfologia, propriedades mecânicas, volume de fração da fase de reforço, bem como na natureza da interface entre a matriz e o reforço.

Os compósitos além de sua longevidade tradicional apresentam fáceis e simples técnicas de reparo e manutenção, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização. As formas diferenciadas, detalhes arquitetônicos das empresas de materiais compósitos proporcionam leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade, que garantem aos compósitos o título de produto do futuro (LEÃO & FROLLINI, 1997).

O Brasil, a Europa, os Estados Unidos, Japão e Canadá, têm no compósito um mercado em franca expansão, e como dizem os parisienses:

“Les composites évoluent avec l'aide du vent”, ou seja, os compósitos evoluem de vento em poupa (CHRETIEN, 1986).

Compósitos são sinônimos de produtos feitos sob medida. Optar por utilizar um compósito é ter à sua disposição a possibilidade de resolver seus problemas de engenharia com um produto feito sob medida, isto é, um produto fabricado na medida certa e exata de sua necessidade (CHAWLA, 1987).

Os compósitos constituídos de fibras naturais de plantas lignocelulósicas surgem como alternativa para substituir as fibras sintéticas. Um campo de aplicação é a indústria automotiva, onde a severidade dos efeitos que os compósitos com fibras podem suportar na confecção de itens como painéis, estofamentos e portas. Para tais aplicações, uma boa resistência ao impacto é exigida a fim de executar um máximo de segurança aos passageiros e ao motorista (MUELLER, KROBJILOWSKY, 2003).

## **2.7. Compósito Polimérico**

Compósitos poliméricos são materiais de moldagem estrutural, formados por uma fase contínua polimérica chamada matriz, que é reforçada por uma fase descontínua (fibras), essa se agrega físico-quimicamente após um processo de ligações cruzadas (cura). Normalmente a fase descontínua é formada por fibra de vidro, aramida, de carbono, fibras naturais lignocelulósicas ou de origem animal, dependendo da aplicação final (AQUINO, 2005).

A fase polimérica é geralmente composta por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturada (ortoftálica, tereftálica, isoftálica ou bisfenólica), dissolvida em solvente reativo como estireno ou ainda uma resina éster vinílica ou epóxi. Resinas especiais como as fenólicas, de poliuretano e de silicone são utilizadas em aplicações especiais (MENEZES ET AL, 2002).

Na moldagem destas duas fases, as ligações cruzadas entre as moléculas poliméricas, acopla essas duas fases proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem sua moderna e ampla aplicabilidade, (BOYNARD ET AL, 2003).

Os produtos fabricados à partir das resinas e das fibras usadas como reforço, acabam gerando compósitos de baixo peso específico, como consequência do baixo peso específico apresentado pelas resinas. Devido à

esta, e outras propriedades características dos materiais compósitos é que eles são amplamente utilizados nos setores de aeronáutica, naval, automobilístico e outros (CANEVAROLO, 1991).

Devido às suas características e à variedade de combinações que podem ser realizadas entre as resinas e os materiais de reforço, os compósitos poliméricos apresentam soluções para quase todo tipo de situações de engenharia e uma excelente resistência mecânica (MONTEIRO, ET AL 2008).

A resistência mecânica de materiais compósitos é fortemente afetada pela presença de defeitos, como trinca e vazios. Tais defeitos atuam como concentradores de tensões e são responsáveis pela multiplicação de tensões submetidas ao material até níveis superiores à resistência intrínseca deste (KLOSS, 2005; SUAREZ, et al, 2003).

Ao se adicionar uma carga a um polímero para formar um material compósito, a primeira idéia é de que as propriedades do novo material formado sejam intermediárias entre as propriedades dos dois componentes. Esse comportamento previsto para a propriedade de um compósito é denominado de regra da mistura ou princípio da aditividade (YEW, et al, 2005).

Quando um sistema possui componente individual com propriedades bem abaixo das propriedades esperadas pela regra das misturas, a mistura produz um compósito com características muito inferiores aos dos componentes individuais, à este comportamento damos o nome de incompatibilidade e quando o comportamento de um compósito possui propriedades superiores às propriedades esperadas pela regra das misturas chamamos este comportamento de sinergismo (FAGURY, 2005; YEW, et al, 2005).

Essa incompatibilidade ou sinergismo, interfere nos resultados esperados para o material compósito. Já que estão diretamente ligados aos resultados dos 05 (cinco) mecanismos de falha do material, que são: arrancamento das fibras; efeito denominado como ponte de fibras; deslizamento (*fiber bridging*), em que as superfícies de uma trinca são interligadas por fibras; deslizamento interfacial matriz/fibra, seguido da ruptura das fibras; ruptura das fibras e trincamento da matriz (COUTTS, 1986).

A figura 7 ilustra os mecanismos de falha que podem ocorrer de modo catastrófico em compósitos reforçados com fibras contínuas e orientadas.

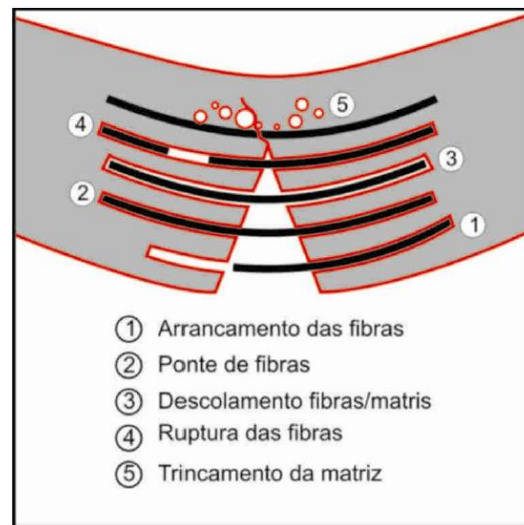


Figura 7. Mecanismos de falhas em compósitos reforçados com fibras

## 2.8. Particularidades dos Compósitos Poliméricos

Alguns fatores são predominantes na busca por ligas poliméricas, misturas e compósitos (ROWELL, 1997):

1. O elevado custo no desenvolvimento de novos polímeros.
2. As aplicações específicas dos novos compósitos e ligas.
3. O aperfeiçoamento de propriedades e redução de custos através da combinação de materiais caros com materiais mais baratos.
4. Entre outros.

Os reforços aplicados aos compósitos poliméricos propiciam melhorias em suas propriedades físicas e térmicas, modificam sua aparência superficial e características de processamento, além de reduzir o custo do material (LAVENGOOD e SILVER, 1988).

As cargas podem ser classificadas como unidimensionais, representadas pelas fibra de vidro, fibras de carbono, fibras naturais lignocelulósicas ou de origem animal; bidimensionais, exemplificadas pelas mica, os asbestos e os carbonatos de cálcio, ou tridimensionais, como o talco e caulim (FREIRE, 1992).

Essas cargas de outros materiais conferem aos compósitos algumas vantagens como (WILQUERES, 1995):



1. Boa condutividade térmica.
2. Boa resistência à abrasão.
3. Boa resistência superficial.
4. Baixo custo.
5. Baixa contração.

Entretanto esse procedimento também acarreta desvantagens, tais como (WILQUERES, 1995):

1. A limitação no processo de fabricação.
2. A inibição da cura de algumas resinas termorrígidas.

As cargas fibrosas têm como finalidade, melhorar a rigidez, a resistência mecânica, a estabilidade dimensional e o bom desempenho do material à temperaturas elevadas (FREIRE, 1992).

Os materiais termorrígidos apresentam algumas vantagens sobre os termoplásticos, tais como: O aumento da molhabilidade, através da facilitação de incorporação de cargas ou componentes reforçadores, pois antes da cura a viscosidade é muito mais baixa, já que a resina se encontra na forma de monômeros ou oligômeros.

Devido a isso, geralmente essas resinas são usadas na confecção de compósitos de fibras contínuas. Esses monômeros devem ser mantidos em ambientes refrigerados, seu aquecimento durante um curto espaço de tempo, pode representar modificações químicas que comprometam as propriedades desejadas (LACH, 1988).

O uso de matrizes poliméricas em compósitos poliméricos tem a função primária de proteger alinhar e estabilizar as fibras, e também assegurar a transferência de uma fibra para a outra, normalmente, tanto a rigidez quanto a resistência da matriz são inferiores as das fibras reforçadoras (LACH, 1988).

Simplificando, pode-se dizer que os compósitos poliméricos reforçados por fibras são formados por três constituintes: fibra, matriz e interface. Esta última é responsável por assegurar a ligação entre a matriz e a fibra (ROWELL, 1997). A forma com a qual os compósitos se deformam e fraturam irá depender das propriedades químicas e mecânicas desses três constituintes (ARGAWAL e BROUTMAN, 1980).

A força de ligação entre a matriz e a fibra reforçadora é um fator determinante na performance de muitos compósitos poliméricos. Compósitos

com baixa força de ligação matriz/fibra irão falhar à tensões relativamente baixas quando ensaiados na direção transversal às fibras.

Existe atualmente uma série de tratamentos feitos nas superfícies das fibras com a finalidade de se aumentar a força de ligação entre a matriz/fibra. O nível de tratamento aplicado na superfície das fibras em um material compósito pode ter um grande efeito sobre sua resistência mecânica (CANTWELL, 1991).

## **2.9. Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Malva:**

A utilização de fibras lignocelulósicas para reforço em materiais poliméricos não é um novo segmento de pesquisas no meio científico, entretanto, algumas fibras como é o caso da malva ainda são pouco conhecidas e pouco aproveitadas.

A fibra de malva embora muito utilizada para a confecção de cordoaria em geral, tapetes, papel moeda, artesanato e outras várias finalidades, ainda não possui grande utilização como componente de reforço em produtos industrializados.

Embora suas características conhecidas, como resistência, densidade, demonstrem um grande potencial para uso como material de reforço, poucas iniciativas de aprofundamento destes estudos foram localizadas na literatura.

Souza et al. (2005), observou as propriedades mecânicas da fibra de malva em conjunto a fibra de juta. Os mesmos autores evidenciaram que a fibra híbrida (juta + malva) apresentou o segundo melhor comportamento de resistência à carga máxima, quando comparada as fibras de coco maduro, coco verde e curauá apresentada na tabela 6.

Tabela 6. Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração uniaxial.

Tipo de Fibras	Propriedades Mecânicas		
	Carga Máxima (kg)	Alongamento Máximo (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Coco Maduro	0,80 ± 0,27	9,87 ± 2,95	2,8 ± 0,26
Coco Verde	0,95 ± 0,07	25,5 ± 2,82	2,0 ± 0,28
Híbrido (juta + Malva)	5,85 ± 0,85	2,75 ± 0,50	26,2 ± 3,21
Curauá	13,93 ± 9,75	24,66 ± 14,50	31,2 ± 4,31

(Fonte: SOUZA ET AL., 2005)

A fibra de malva apresenta ainda bons níveis de resistência à tração semelhante as fibras vegetais usadas na produção de compósitos (EL BANNA ET AL. 2012). Sua resistência é considerada superior à da fibra de Kenaf (planta nativa do sul da Ásia com características similares à da fibra de juta) e em alguns casos, alguns tipos de malva se equiparam ou até mesmo superam à resistência da fibra de juta (COSTA ET AL., 2012). Devido à sua resistência é inclusive utilizada como reforço em matrizes poliméricas (SOUZA ET AL., 2005).

Costa et al. (2012), durante o desenvolvimento de sua pesquisa comparando as fibras de malva, caracterizaram as propriedades quanto a resistência à tração, alongamento, diâmetro, massa específica e teor de umidade.

Os resultados desta caracterização mecânica e física das fibras de malva e sisal estão demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Caracterização mecânica e física das fibras de malva e sisal

Material	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (%)	Diâmetro (mm)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de Umidade (%)
Fibra de Malva	296,55 (± 88,79)	5 (± 2,03)	0,045 (± 0,015)	1,48 (± 0,01)	11 (± 0,5)
Fibra de Sisal	432,48 (± 106,19)	6,5 (± 3,21)	0,250 (± 0,05)	1,40 (± 0,01)	12 (± 0,5)

(Fonte: COSTA ET AL. 2012).

Costa et al. (2012) puderam concluir que as fibras de malva apresentaram resultados similares à literatura, com exceção da resistência à tração das fibras, que foi bastante superior à de outros autores pesquisados.

Costa et al. (2005) ainda obtiveram informações sobre as propriedades mecânicas da fibra de malva em diferentes espessuras, e observaram resultados semelhante de resistência à tração, independentemente da espessura, como apresentada na tabela 8.

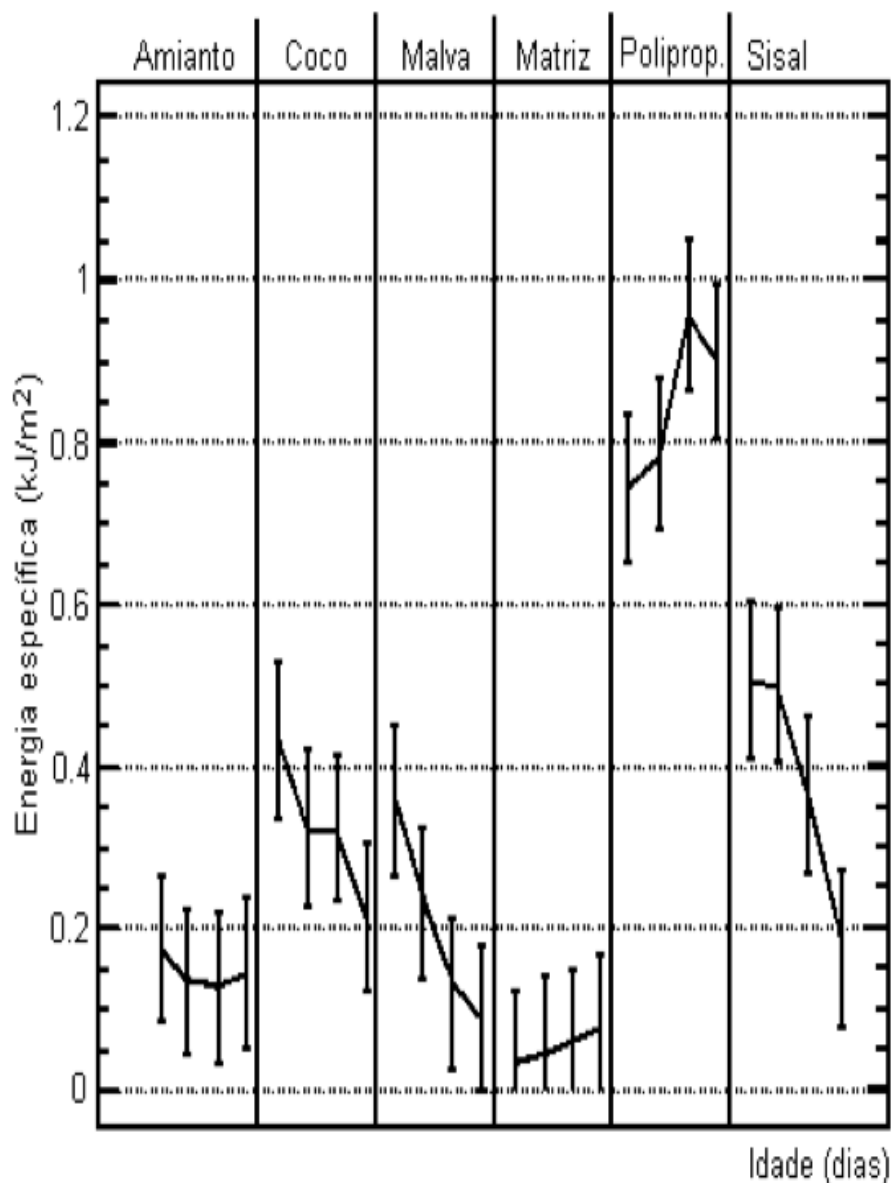
Tabela 8 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos de malva

Reforço	Fração Mássica Reforço (F <sub>M</sub> ) %	Resist. Tração (σ) (MPa) Média (Desvio Padrão)
Malva 2,5 mm	5,84	25,91 (± 2,62)
Malva 7,5 mm	3,57	25,12 (± 2,29)
Malva 12,5 mm	3,82	25,10 (± 1,45)

(Fonte: COSTA ET AL. 2005).

Rilem (1984) em seu ensaio de tração em flexão, utilizou equipamento de quatro cutelos, e observou o comportamento da energia específica que diminui passados 180 dias de idade para os compósitos de pastas de cimento Portland, com relação água/cimento igual a 0,38, reforçados com fibras vegetais de malva, coco, sisal, amianto e polipropileno.

A figura 8, ilustra a energia específica do compósito em diversas idades.



Legenda: para cada tipo de fibra, as idades se repetem na sequência de 7,28, 90 e 180 dias

Figura 8. Energia específica do compósito em diversas idades. Relação água/cimento = 0,38 intervalo de confiança = 95%. Ensaio de tração na flexão.

Savastano Jr (2000) incorporando valores de 2% de fibra de malva em matriz de cimento Portland, em seu trabalho, relacionou 19 fibras potencialmente úteis para aplicação como reforço visando a otimização de custos de produção na construção civil, demonstrado na tabela 9.

Tabela 9. Características físicas e mecânicas das fibras vegetais usadas como reforço na construção civil

Propriedades	Massa espec. real (kg/m <sup>3</sup> )	Absorção máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elastic. (GPa)
Coco ( <i>Cocos Nucifera</i> )	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal ( <i>Agave sisalana</i> )	1370	110,0	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva ( <i>Urena lobata</i> )	1409	182,2	5,2	160	17,4
Celulose para papel imprensa ( <i>Pinus elliottii</i> - princ.)	1200 a 1500	400	nd	300 a 500	10 a 40
Bambu ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	1158	145	3,2	73 a 505	5,1 a 24,6
Juta ( <i>Corchorus capsularis</i> )	nd	214	3,7 a 6,5	230	nd
Piaçava ( <i>Attalea funifera</i> )	1054	34,4 a 108	6	143	5,6
Banana ( <i>Musa cavendishii</i> )	1031	407	2,7	384	20 a 51
Amianto crisotila	2200 a 2600	-	2	560 a 750	164
Polipropileno comum (filam.)	913	-	22,3 a 26,0	250	2,0

Fontes: Agopyan, Savastano Jr. (1997), Nolasco et al. (1998) e Swamy (1988)  
 Obs.: nd = informação não disponível

A tabela 10, traz os teores de massa de celulose, lignina e o ângulo médio  $\theta$ , formado pelas microfibrilas com o eixo longitudinal da célula.

Os autores Savastano Jr(2000), Agopyan(1997) em comparação com a tabela 10, observaram que a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras variam diretamente com o teor de celulose e inversamente o ângulo  $\theta$  das microfibrilas. Já o alongamento máximo da ruptura aumenta com o

ângulo  $\theta$ , pois é maior o trabalho de fratura necessário para o estiramento das microfibrilas.

Tabela 10. Propriedades estruturais de fibras lignocelulósicas

Fibra	Celulose (% massa)	Lignina (% massa)	Ângulo das microfibrilas $\theta$ (graus)
Malva	76,0	10,0	8
Sisal	78,6	9,9	10 - 22
Coco	53,0	40,8	30 - 49

Fonte: Savastano Jr.; Agopyan (1997).

A figura 9, ilustra a imagem de elétrons retroespalhados de compósitos à base de cimento Portland com relação água/cimento igual a 0,38 e 7 dias de idade. O mesmo autor observou que a fibra de malva, de baixa densidade, aparece na micrografia, com uma região mais escura. Há nítido aumento da porosidade nas proximidades da fibra, e as fissuras tendem a atravessar a zona de transição (indicação 3 da figura 9).

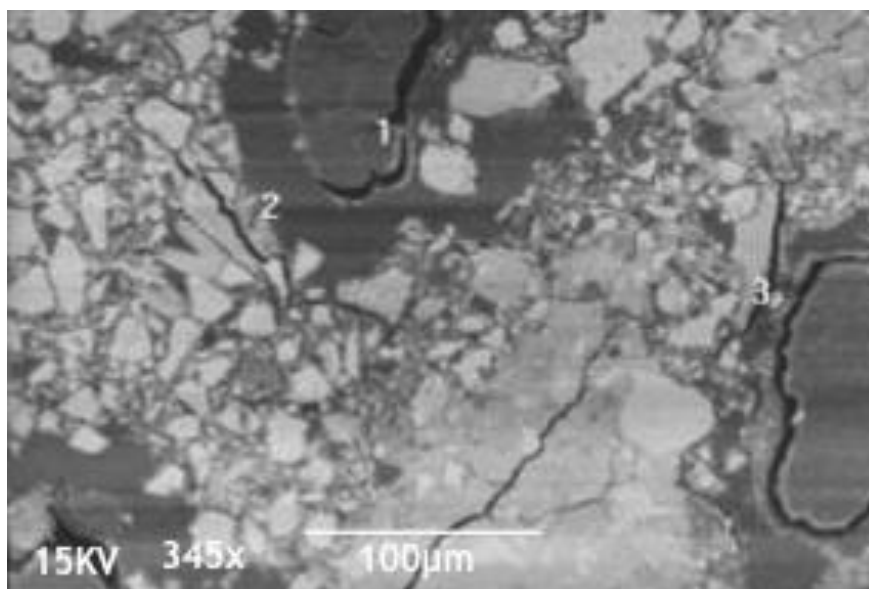


Figura 9. Imagem por elétrons retroespalhados. Compósitos com fibras de malva. 1: fibra descolada da matriz; 2: macrocristal de hidróxido de cálcio e 3: microfissuras (SAVASTANO JR,1997).

Tolêdo Filho (1997), apresentou resultados para argamassas de cimento reforçadas com fibras naturais permeáveis de malva, que permitem associar baixas resistências mecânicas ao maior volume de vazios, porém com a compensação de aumento da energia absorvida pelas fibras, durante o processo de fissuração da matriz frágil.

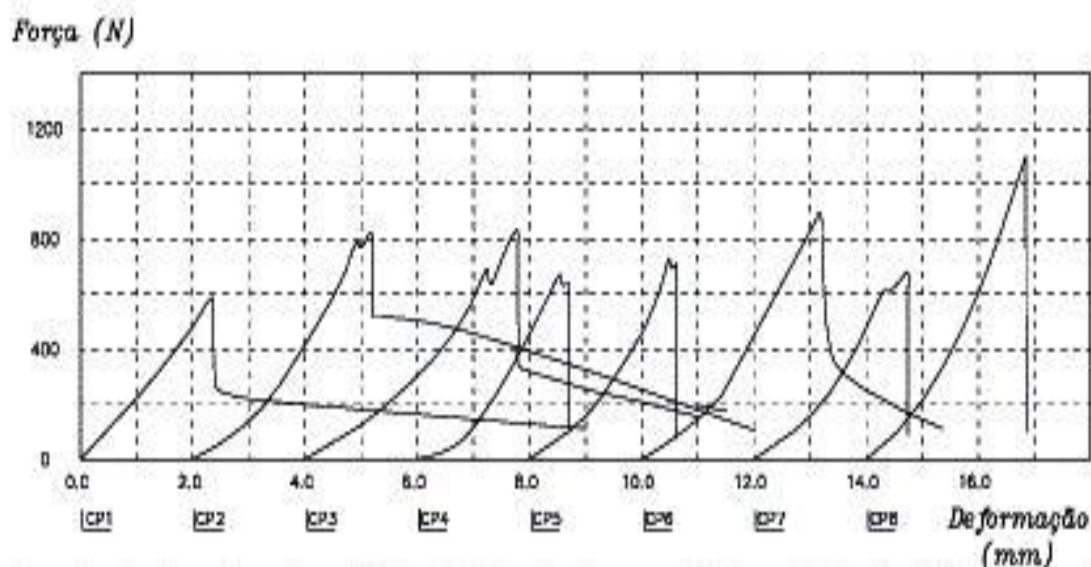
Agopyan (1991), observou que o mesmo compósito reforçado com as fibras de malva, apresentou absorção de energia elevada, quase 5 vezes maior que o padrão. Neste caso particular, é possível que o aspecto fibrilado da fibra tenha colaborado para a maior superfície de contato fibra-matriz aumentando, assim, a dissipação de energia.

Savastano Jr (2000), aponta como principal vantagem a representação de um maior potencial de aproveitamento na construção civil, devido à oferta de preços bem inferiores quando comparados com os de outras fibras substitutas (preço internacional de polipropileno por volta de US\$ 900 t<sup>-1</sup>), ganha-se com a menor poluição ambiental, maior receita para o setor produtivo e utilização de fibras consideradas não nocivas à saúde do trabalhador da indústria da construção civil.

Savastano Jr (1997), em seu trabalho, com base em avaliações de disponibilidade e dispersão geográfica no Brasil, promoveu a escolha de seis resíduos de fibras vegetais para uso como componente de reforço em matrizes frágeis e alcalinas como o cimento, e observou que a incorporação de 2% das fibras de malva, promoveu aumento da utilidade, onde os novos compósitos resistiram à cargas no ensaio de flexão, superiores a 680N, em conformidade com as especificações internacionais (80% de 800N), conforme demonstrada na figura 10.



A Figura 10, ilustra as curvas de força x deformação do teste de flexão para telhas com fibras naturais de malva (CP6).



**Legenda dos tipos de reforço: CP1 – sisal bucha de campo, CP2 – sisal bucha de “baler twine”, CP3 – coco, CP4 – polpa de eucalipto, CP5 – banana, CP6 – malva, CP7 – coco + polpa de eucalipto, CP8 – padrão sem fibra**

Figura 10. Curvas de força x deformação das telhas ensaiadas à flexão

Tolêdo filho et al. 1997, observaram que as fibras de malva impediram a fratura frágil pela provável presença de fibrilas (ramificações superficiais), que aumentam a ancoragem da fibra na matriz, promovendo uma breve manutenção, ou mesmo acréscimo da força aplicada, pelo efeito de reforço das fibras que atravessam a região da microfissura recém-iniciada na matriz. Esse comportamento do compósito resulta da combinação ótima entre fração volumétrica e comprimento das fibras de malva.

## **CAPÍTULO 3**

### **3.1. MATERIAIS E MÉTODOS:**

Os ensaios de caracterização estrutural para a determinação das propriedades dos compósitos poliméricos reforçados com fibra de malva foram realizados nos Laboratórios de Materiais Avançados (LAMAV) do Centro de Ciências e Tecnologias (CCT) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), e as análises de MEV realizadas na COPPE/UFRJ.

### **3.2. A fibra de malva**

A figura 11 apresenta as fibras longas e contínuas de malva objeto de estudo da presente tese de doutorado, doadas pela Cia Têxtil de Castanhal do Estado do Pará, onde desde já, registramos nossos agradecimentos.



Figura 11 – Fibras longas de malva como são comercializadas.

Do lote adquirido realizou-se uma classificação em relação ao diâmetro, e ao comprimento das fibras de malva.

O diâmetro das fibras foi classificado em seis faixas sendo cada faixa com as seguintes variações: faixa 1 de 0,020 a 0,035 mm; faixa 2 de 0,036 a 0,050 mm; faixa 3 de 0,051 a 0,065 mm; faixa 4 de 0,066 a 0,080 mm; faixa 5 de 0,081 a 0,095 mm e faixa 6 de 0,096 a 0,110 mm.

O comprimento das fibras de malva também foi classificado em seis faixas: a faixa 1 de 50 a 125 mm; faixa 2 de 126 a 200 mm; faixa 3 de 201 a 275 mm; faixa 4 de de 276 a 350 mm; faixa 5 de 351 a 425 mm; e a faixa 6 de 426 a 500 mm.

### **3.3. Caracterização Dimensional da fibra de malva**

Para a caracterização dimensional de comprimento e diâmetro das fibras de malva retirou-se aleatoriamente 156 fibras e efetuaram-se as medidas com o auxílio de um projetor de perfil Nikon modelo 6C no LAMAV/UENF (figura 12).

As medidas de diâmetro foram realizadas em 5 posições ao longo da fibra, em cada posição obteve-se uma segunda medida girando a fibra em noventa graus e considerando-se a média das duas medidas nesta posição.

Este procedimento foi devido ao fato da seção reta da fibra não ser perfeitamente circular, característica da variabilidade de fibras naturais.



Figura12 - Projetor de perfil Nikon, utilizado para medir os diâmetros das fibras de malva (Adaptado de MONTEIRO ET AL, 2008).

Com base nestas medidas de diâmetro e comprimento das 156 fibras, realizou-se uma análise estatística com elaboração de histogramas de distribuição dimensional e cálculo do diâmetro e comprimento médio das fibras.

### **3.4. Determinação da densidade da fibra**

As fibras de malva foram pesadas individualmente em uma balança de precisão de 0,001g, marca InnerScan, do LAMAV/UENF, obtendo-se o peso para cada fibra analisada.

Com os dados de comprimento e diâmetro foi possível calcular o volume de cada fibra e em seguida, a densidade da fibra de malva foi determinada através da seguinte relação:

$$\rho = \frac{P}{V} \quad (1)$$

Onde:

$\rho$  = Densidade (g/cm<sup>3</sup>);

P = Peso do corpo de prova (g);

V = volume do corpo de prova (cm<sup>3</sup>).

### **3.5. Microscopia Eletrônica de Varredura**

As fibras de malva foram analisadas em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), modelo Jeol JSM 6460 LV, para análise de sua microestrutura, e detalhamento de características individuais da fibra conforme apresentação na figura 13. A varredura se deu em voltagem aplicada de 20 kV e a corrente de 40 mA. A figura 14 mostra, por imagem de MEV, o aspecto da fibra de malva com maior ampliação.



Figura 13 – Microscópio Eletrônico de Varredura Modelo JEOL (Fonte COPPE-UFRJ).

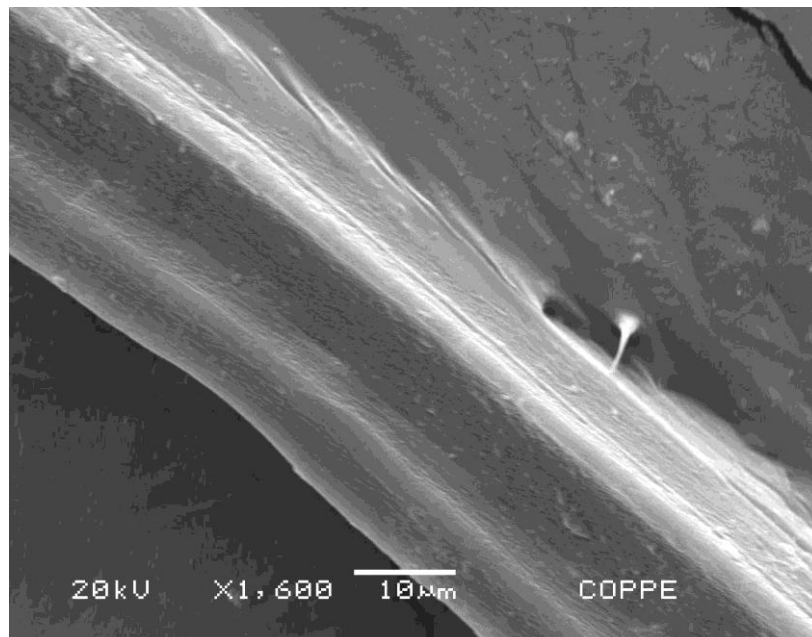


Figura 14 – MEV da fibra de malva com aumento de 1600 vezes (Adaptado de MARGEM ET AL 2013).

### **3.6. A matriz Polimérica**

Os corpos de prova da matriz polimérica foram confeccionados através de dois diferentes polímeros termofixos, epóxi e poliéster. Cada uma das duas matrizes polimérica (epoxídicas e de poliéster) foram utilizadas separadamente e ambas incorporadas com porcentagem em peso de 10; 20 e 30% de fibra de malva.

### **3.7. Resina Poliéster**

Utilizou-se a resina poliéster insaturada ortoftálica, rígida e de alta viscosidade, insolúvel em água. A resina foi endurecida com 0,5% de catalisador à base de metil-etil cetona, fornecida pela Dow Chemical, RJ.

### **3.8. Resina Epóxi**

Utilizou-se a resina epoxídica do tipo éter diglicidílico do bisfenol A (DGEBA), também fornecida pela Dow Chemical, RJ, devidamente misturada ao endurecedor trietileno tetramina (TETA) na proporção estequiométrica correspondente ao  $\text{phr} = 13$  (13 partes de endurecedor por 100 partes de resina). Esta proporção estequiométrica em princípio equivale a abertura de todos os anéis epóxi por ligação com as moléculas de amina.

### **3.9. Preparação de Compósitos**

#### **3.9.1. Mistura e Homogeneização**

Os compósitos foram preparados vertendo-se a resina poliéster ou epóxi sobre as quantidades previamente determinadas de fibras, dispostas em moldes. Os compósitos foram fabricados com as fibras dispostas nos sentidos longitudinal e/ou transversal aos moldes.

Os ensaios de flexão estática, impacto Izod e impacto Charpy utilizaram matrizes metálicas para a conformação de placas que originaram os corpos de prova. Essas matrizes possibilitaram o processo de prensagem, moldagem e cura correta dos compósitos.



Os ensaios de DMA e tração, utilizaram matrizes de silicone para obtenção dos corpos de prova. Para o ensaio de pullout foram utilizados tubos plásticos, usados para criar os corpos de prova a serem ensaiados.

### **3.10. Prensagem de corpos de prova**

Para os ensaios de impacto, tanto Izod como Charpy, placas retangulares de compósitos foram criadas em moldes metálicos medindo 152 x 125 x 10 mm, como pode ser visto na figura 15B.

Neste molde, as respectivas porcentagens de fibras de malva foram colocadas, paralelamente e em toda a extensão da largura de 125 mm do mesmo. Verteu-se sobre essas fibras resina poliéster ou epóxi, misturada com o catalisador ou endurecedor.

Esta matriz é então selada com a tampa e se aplica pressão constante de uma tonelada, visando facilitar e garantir a correta impregnação das fibras, durante todo o processo de cura, que se dá à temperatura ambiente em um período não inferior a 24 horas.

Para corpos de prova de ensaio de flexão estática, todo o processo de prensagem foi similar, entretanto a matriz metálica utilizada apresentou as proporções de 152 x 122 x 7 mm, como pode ser vista na figura 15A, para atendimento da norma padrão de corpos de prova de flexão.

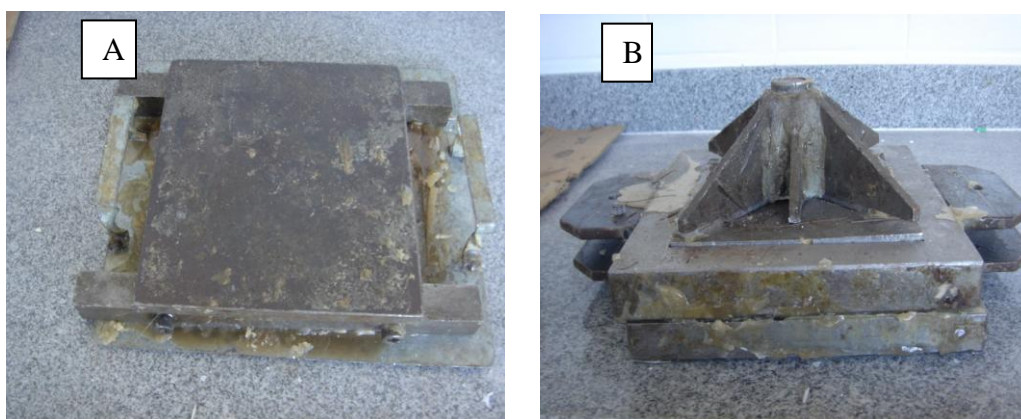


Figura 15 – Matriz de flexão(A) e de impacto(B) (Lamav/Uenf).

### 3.11. Moldagem dos corpos em fôrma de silicone

Para os ensaios de tração, pullout e DMA, foram utilizadas fôrmas de silicone, projetadas de acordo com a norma específica de realização de cada um dos ensaios em questão, (ASTM D2000, D3039, D790, D256, DIN 847).

Podemos ver na figura 16 abaixo, o padrão utilizados em cada um dos três tipos de ensaio.

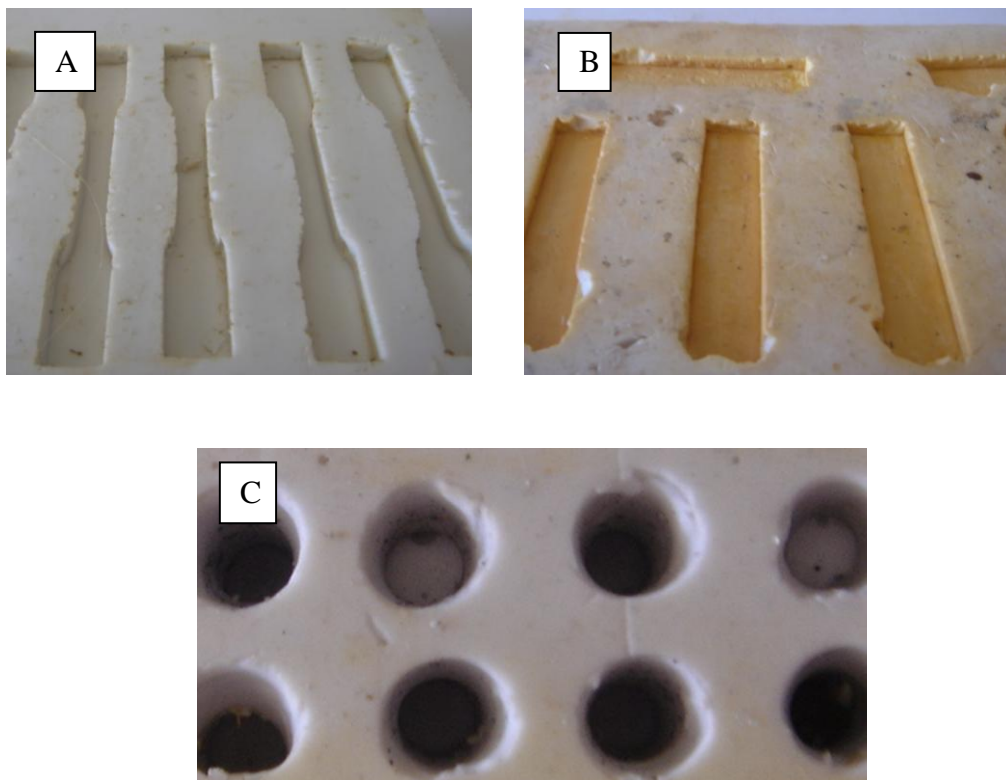


Figura 16 - Figuras dos moldes de silicone, (A) tração, (B) DMA e (C) pullout (Lamav/Uenf)



### 3.12. Ensaio de Tração

A execução do ensaio de tração foi realizada com o auxílio de uma máquina universal Instron modelo 5582, com pressão nas garras fixas de 0,3 MPa, velocidade de 0,1 mm/min e capacidade de 100 kN. A figura 17, mostra o equipamento utilizado nos ensaios de tração, flexão e pullout.



Figura 17 – Máquina Instron modelo 5582 (Lamav/Uenf).

Os corpos de prova com incorporações de 0,10,20, e 30% de fibras de malva, conforme figura 18-A, foram submetidos a ensaios de tração, na máquina de ensaio que forneceu um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio, o qual é conhecido como gráfico tensão deformação, figura 18-B.

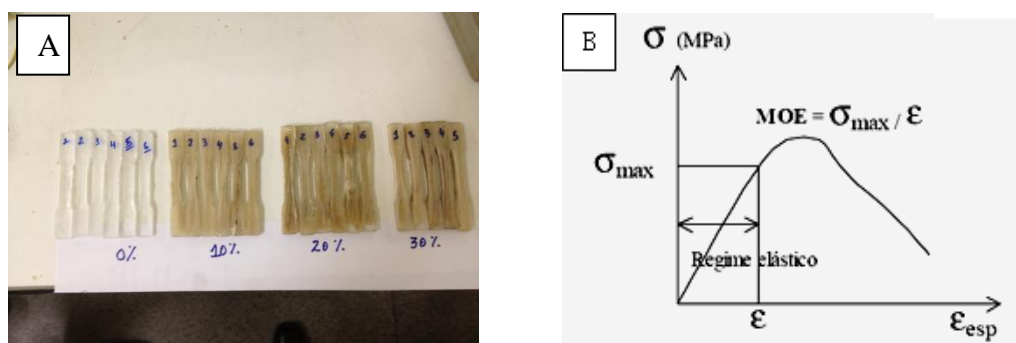


Figura 18 – (A) Corpos de prova de Tração incorporados com 0,10,20 e 30% em volume de fibras de malva, e (B) Gráfico do Módulo de Elasticidade (Fonte Callister, 2000)

Sendo:

- $\sigma$  – tensão
- $\varepsilon$  – Alongamento

**\*Os valores dos módulos de elasticidade de diferentes classes de materiais podem ser encontrados na literatura que abordam o assunto.**

A capacidade de deformação do material, o Módulo de Elasticidade, foi calculado como sendo a relação entre a tensão máxima atingida pela fibra ou compósito no regime elástico, identificada pela conformação da curva e sua correspondente deformação específica, que é a relação obtida e a base de medida utilizada para sua obtenção em unidades correspondentes. Esses dados foram automaticamente gerados pelo software da Máquina Instron modelo 5582.

### **3.13. Ensaio de flexão estático**

As placas de compósitos foram cortadas dando origem a seis corpos de prova para cada placa produzida, cada corpo de prova tinha dimensões 122 x 25 x 7 mm.

Os corpos de prova foram ensaiados por flexão, usando a técnica de 3 pontos em máquina Instron modelo 5582, conforme demonstrado na figura 17 com capacidade de 100 kN a uma taxa de deformação de  $1,0 \times 10^{-2}$  por segundo.

Foi realizado, ainda, um ensaio de carga máxima  $Q_m$  calculando a tensão máxima associada à resistência bem como o módulo de elasticidade do compósito por meio das equações (Monteiro et al, 2008a):

$$\sigma_m = \frac{3LQ_m}{2bd^2} \quad (2)$$

$$E = \frac{Q_m L^3}{4bd^3 \Delta \gamma} \quad (3)$$

Sendo:

- $L$  – a distância entre suportes
- $b$  – a largura igual a 25 mm
- $d$  – a espessura.
- $\Delta\gamma$  – deflexão

### **3.14. Ensaio de Impacto de Charpy e Izod**

Novamente as placas geradas foram cortadas dando origem a cinquenta e quatro corpos de prova com dimensões 125 x 12,7 x 10 mm para os ensaios Charpy e a cento e oito corpos de prova com dimensões 62,5 x 12,7 x 10 mm para os ensaios Izod com incorporações de fibras de malva nas mesmas proporções de 10, 20 e 30% em peso.

Para a confecção do entalhe com 2,54 mm de profundidade, ângulo de 45° e raio de curvatura de 0,25 mm no fundo do entalhe, utilizou-se uma fresa em aço rápido atendendo à norma DIN 847.

A figura 19, apresenta a imagem do pêndulo PANTEC, Modelo XC-50, 1 x 220V x 60Hz em configuração Charpy, utilizado durante o ensaio de impacto dos compósitos estudados.



Figura 19 – Pêndulo de Impacto PANTEC XC-50(Lamav/Uenf).

### 3.15. Ensaio de Pullout

A proposta do ensaio de pullout foi avaliar o comprimento da fibra de malva embutida na resina poliéster e epóxi, com o objetivo de estudar a adesão entre a fibra e a matriz polimérica e determinar o comprimento crítico da fibra (KELLY & TYSON, 1965).

Os corpos de prova foram preparados com a resina epóxi e poliéster sobre um molde com diâmetro de 10 milímetros e comprimento do embutimento nas medidas de 3, 5, 10, 15 e 20 mm, seguindo esquema mostrado na figura 20.

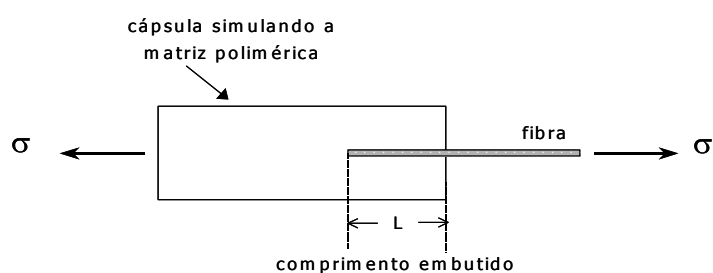


Figura 20 – Esquema do corpo de prova utilizado no ensaio de pullout (Adaptado de Kelly e Tyson, 1965).

Os corpos de prova foram fabricados e testados em uma máquina de ensaio universal Instron, modelo 5582 com 100 kN de capacidade e garras fixas para determinação da tensão de ruptura, como pode ser visto na figura 21. A velocidade do ensaio utilizada foi de 5 mm/min, temperatura de 22 °C. Em média foram analisados 5 corpos de prova.

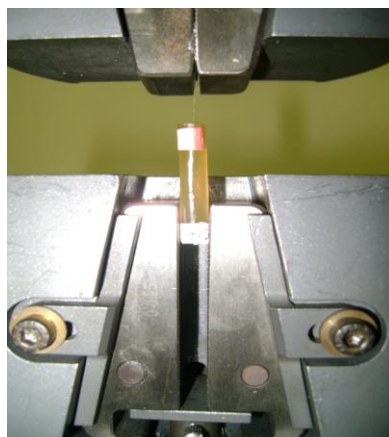


Figura 21 - Ensaio de pullout em uma máquina Instron(Lamav/Uenf).

### 3.16. DMA – Análise Dinâmico-Mecânica

A análise dinâmico-mecânica (DMA) ou análise termodinâmico-mecânica (DMTA) tem como um dos principais objetivos relacionar as propriedades macroscópicas, tais como as propriedades mecânicas, as relaxações moleculares associadas a mudanças conformacionais e as deformações microscópicas geradas a partir de rearranjos moleculares (CASSU & FELISBERTO, 2005).

O ensaio dinâmico-mecânico consiste, de modo geral, em se aplicar uma tensão de deformação mecânica oscilatória, normalmente senoidal, de baixa amplitude a um sólido ou líquido viscoso, medindo-se a deformação sofrida por este ou a tensão resultante, respectivamente, sob variação de frequência ou de temperatura (CASSU & FELISBERTO, 2005; MONTEIRO ET AL, 2007).

Para a realização da análise dinâmico-mecânica (DMA) utilizou-se um equipamento da TA Instruments, modelo Q800, empregando o dispositivo de ensaio de flexão em três pontos, ilustrado na figura 22.



Figura 22 - Equipamento de DMA TA Instruments, modelo Q800 (Lamav/Uenf).

Os parâmetros de ensaio usados foram os seguintes:

- Amplitude = 20  $\mu\text{m}$ ,
- Frequência = 1 Hz,
- Faixa de aquecimento = 25 a 195°C,
- Força estática = 550 mN,
- Força dinâmica = 500 mN
- Taxa de aquecimento = 3°C/min, sob fluxo de nitrogênio.

Na figura 23, pode-se observar os corpos de prova retangulares utilizados nos ensaios de DMA, confeccionados com dimensões nominais de 50 x 13 x 5 mm. A fabricação destes corpos de prova iniciou-se com a colocação, separadamente, de 10, 20 e 30% em volume de fibras alinhadas segundo o comprimento de um molde de silicone.

A resina poliéster ainda líquida, acrescida de 0,5% de catalisador à base de metil-etil-cetona, conforme indicado pelo fabricante, foi vertida sobre as fibras de malva dentro do moldes.

Este procedimento deu origem aos corpos de prova dos compósitos de fibras de malva reforçados com matriz de poliéster, entretanto o mesmo procedimento se repetiu com resina epóxi misturada a endurecedor na proporção estequiométrica.

Os corpos de prova, após colocação das resinas no molde, foram curados à temperatura ambiente, cerca de 25°C por pelo menos 24 horas. A figura 25 apresenta os corpos de prova conformados e utilizados durante os ensaios de DMA no presente trabalho.

Cada corpo de prova, inclusive de pura resina poliéster e epóxi, isto é, 0% de fibra, foram submetidos a ensaios de DMA no módulo de flexão de três pontos em um equipamento da TA Instruments, modelo Q800, operando com frequência de 1 Hz a uma taxa de aquecimento de 3°C/min e sob fluxo de nitrogênio. As curvas de variação de  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan\delta$  com a temperatura foram simultaneamente registradas entre 20 e 180°C.

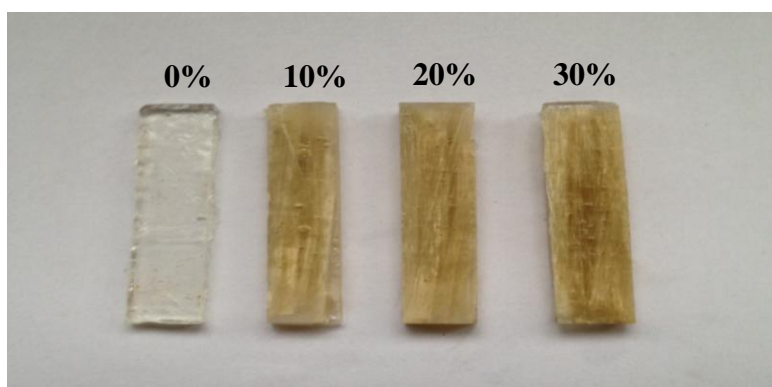


Figura 23 - Corpos de prova para ensaios de DMA de compósitos incorporados com 0,10,20 e 30% em volume de fibras de malva (Fonte própria).

### 3.17. FTIR – Análise por Espectroscopia de Infravermelho

A análise de bandas de infravermelho por transformada de Fourier, Fourier Transform Infrared, apresenta os constituintes dos grupos característicos: celulose, hemicelulose e lignina das fibras lignocelulósicas. Mesmo na literatura em português, é comum referir-se este ensaio pela sigla FTIR. O ensaio foi realizado em um espectrômetro Shimadzu modelo Prestige 21, operando de 400 a  $4000\text{cm}^{-1}$ , scan 32, e resolução  $4\text{cm}^{-1}$ . O equipamento de FTIR pode ser observado de acordo com a figura 24.

As amostras de fibra de malva foram moídas num almofariz cerâmico para condições pulverulentas. Em seguida misturadas com partículas de KBr e pressionadas até atingir a espessura ligeiramente inferior a 1 mm, e em seguida colocados no aparelho para obtenção das análises.

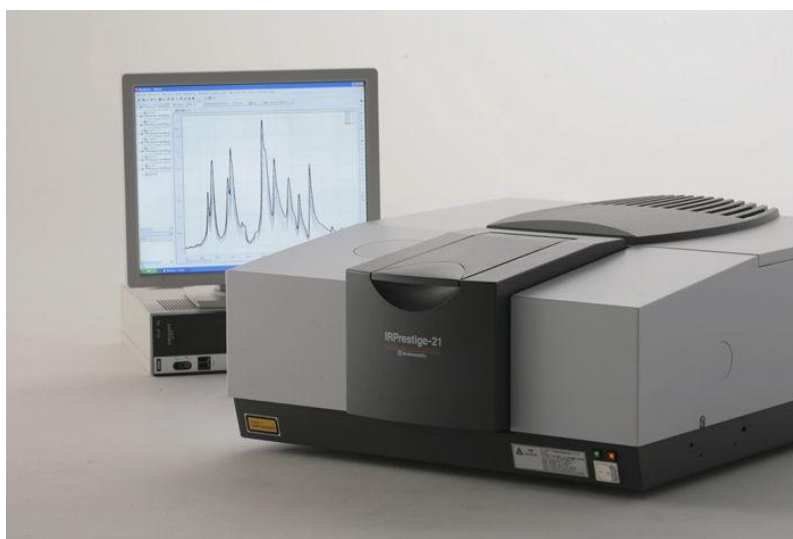


Figura 24 – Espectrômetro de infravermelho FTIR (Lamav/Uenf)

## **CAPÍTULO 4**

### **4.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

#### **4.2. A caracterização das fibras:**

O histórico de preparação das amostras, a geometria do corpo de prova e a interação fibra matriz são aspectos fundamentais para os ensaios mecânicos das fibras de malva. Vale destacar que os resultados obtidos nos ensaios mecânicos das fibras e compósitos não consideraram fatores como a temperatura e umidade.

Com a chegada das fibras, teve início a caracterização das mesmas para obtenção de dados necessários para todo o estudo, tais como densidade média, comprimento médio, peso médio, diâmetro médio, volume médio e etc.

A primeira etapa para obtenção de tais dados foi a obtenção aleatória de cento e cinquenta e seis (156) fibras dentre o lote adquirido.

Conforme indicado em materiais e métodos, cada uma dessas fibras foi então medida quanto ao comprimento com paquímetro e pesada em uma balança de precisão e identificada com uma numeração correspondente.

O próximo passo consistiu em uma medição do diâmetro das fibras na tentativa da obtenção do diâmetro médio de cada uma delas, essa medição foi realizada com o auxílio do micrômetro.

Cada fibra foi medida em sete pontos diferentes e aleatórios de sua circunferência, e cada medição foi repetida com a fibra rotacionada de 90° devido a características heterogêneas das fibras naturais, para se evitar erros na obtenção do diâmetro médio.

Após estes procedimentos pode-se obter os dados de diâmetro médio, peso e comprimento de cada fibra, o que nos levou ao cálculo do seu volume, e posteriormente a densidade média das fibras de malva.



Segundo a medição realizada a densidade média das fibras de malva é de  $1,04 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$ , já os dados para comprimento médio 180 mm. O comprimento médio foi obtido a partir do histograma de frequência mostrado na figura 25.

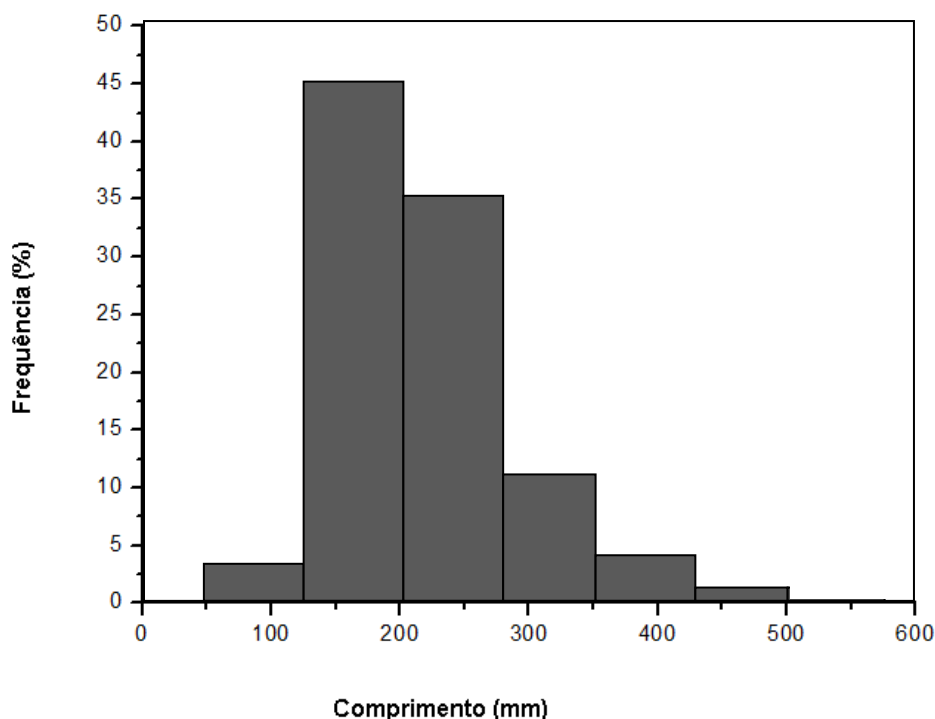


Figura 25 – Histograma com o valor com a frequência de comprimentos das fibras de malva (Fonte Própria).

Em seguida foi realizada a projeção em histograma do diâmetro médio para as fibras de malva, o valor médio para a medição realizada com o projetor de perfil, essa medição pode ser visto na figura 26.

A medição com o micrômetro foi analisada como suspeita devido à necessidade do esmagamento da superfície da fibra pelo instrumento durante a medição, esta situação nos fornecia valores mais baixos do que os valores reais para o sistema.

Essa conclusão levou a utilizar um método adicional, que não esmagasse as fibras. Para isso utilizou-se o projetor de perfil, procedimento que analisa o diâmetro das fibras sobre uma luz projetada na direção de uma escala.

Essa segunda análise mostrou que conforme o diâmetro da fibra aumentava, aumentava também o erro causado pela medição com o micrômetro. Para demonstrar tais resultados, foi então criado para as mesmas fibras, o fluxograma dos diâmetros medidos, visto na figura 26 um gráfico de análise entre os diâmetros medidos com o projetor de perfil, que determinou um valor médio dos diâmetros de 0,065 mm.

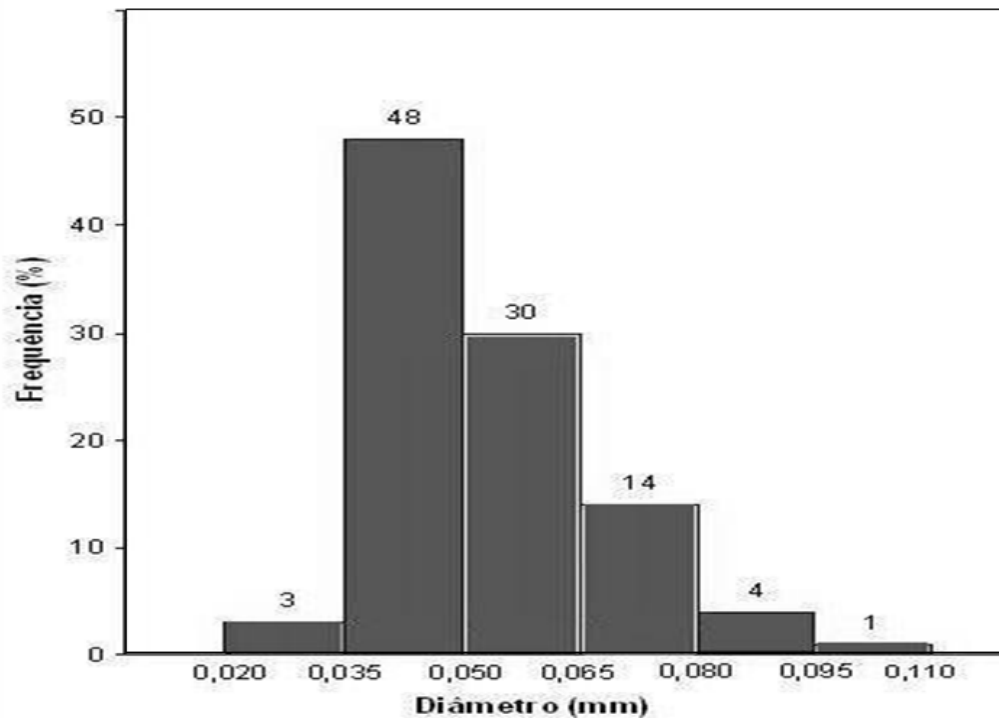


Figura 26 – Histograma do diâmetro médio das fibras de malva medido com Projetor de Perfil (mm), (Fonte Própria).

### 4.3. Ensaio Pullout em matriz de poliéster

Os resultados de mais de uma centena de ensaio de pullout estão resumidas na tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Média da resistência à tensão para cada comprimento de fibra de malva embebida em matriz poliéster.

<i>L (mm)</i>	<i>Resistência à tensão (MPa)</i>
3	249,0 ± 102,6
5	258,6 ± 84,1
10	320,1 ± 83,1
15	428,2 ± 165,5
20	471,3 ± 82,9

Além dos ensaios de pullout tradicionais foram realizados 25 ensaios em fibras soltas para caracterizar a resistência média à tração para fibras individuais de malva do lote em questão, esses ensaio nos geraram resultados que podem ser mostrados na fórmula abaixo com o devido desvio padrão associado:

$$\sigma_m = 449,4 \pm 235,1 \text{ MPa} \quad (4)$$

Este resultado é bastante superior aos valores relatados na literatura para a resistência à ruptura das fibras de malva (SATYANARAYANA ET AL, 2007).

Uma possível razão para esta discrepância poderia ser o procedimento para a medição de diâmetro, que, neste trabalho, foi feito por projetor de perfil, que garante a melhor precisão.

O valor na eq. (4) acima, dentro do desvio padrão, é comparável aos obtidos para os ensaios de pullout apresentados na tabela 11. A partir dos dados nesta tabela, a variação da força de pullout com o comprimento da fibra incorporado a matriz, L, foi descrito na figura 27 na temperatura ambiente.

O gráfico composto por segmentos lineares nesta figura é conhecido como a curva de pullout. Além dos resultados de pullout, o gráfico da figura 27, também descreve com linhas verticais os limites do valor da força de tração determinada pelo desvio padrão da equação 4.

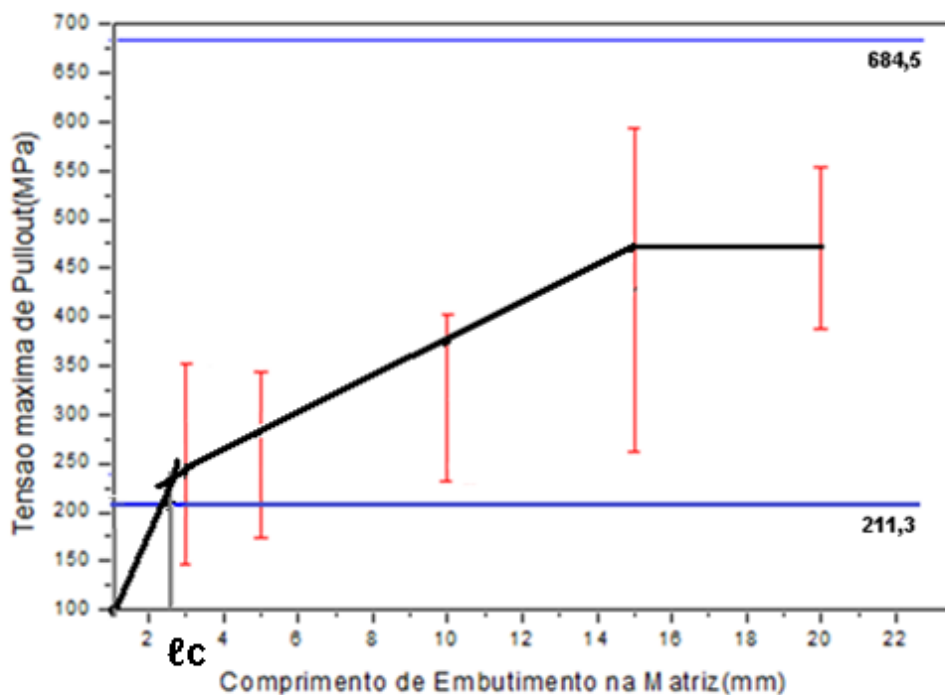


Figura 27 – Variação da tensão de Pullout conforme varia-se o comprimento de embutimento da fibra na matriz.

O primeiro comentário a ser feito sobre o gráfico da figura 27 é a dispersão relativamente grande dada pelas barras de erro associada ao desvio-padrão dos resultados obtidos. Esta é uma consequência das características heterogêneas intrínsecas de qualquer fibra natural (WAMBUA ET AL, 2003).

Como consequência, não importa quão grande poderia ser o número de amostras testadas para cada valor de L, uma dispersão considerável seria sempre encontrada. Apesar destas grandes dispersões, há uma tendência no gráfico da figura 27 de uma menor resistência ao arrancamento dos menores valores L.

Na verdade, foi observado que, para  $L = 2$  mm ocorreu o deslizamento da fibra para fora da matriz de poliéster sem o rompimento da fibra, então o comprimento crítico,  $\ell_c$ , já teria sido alcançado.

Assim, seguindo um procedimento convencional (KELLY & TYSON, 1965), uma linha reta foi elaborado através de  $L = 0$  com o melhor ajuste com os pontos para milímetros  $L = 2$  e  $3$ . Esta linha intercepta a linha correspondente ao melhor ajuste linear para  $L = 3, 5, 10, 20$  mm, em um ponto considerado como o comprimento crítico.

$$\ell_c = 2.6 \text{ mm} \quad (5)$$

Avaliação mais precisa do comprimento crítico talvez pudesse ser feita considerando de menor comprimento embutido. No entanto, a dispersão relativamente grande no limite estatístico faz dessa consideração, no caso das fibras de malva sem relevância. Com o valor de  $\ell_c$  da eq. (5), pode-se calcular a resistência ao cisalhamento na fibra de malva/interface de poliéster, utilizando a eq. (6).

$$\tau_i = \frac{r \sigma_f}{2 \lambda_c} \quad (6)$$

Nesta equação o valor de  $r$  pode ser uma fonte de erro para as fibras naturais, já que a seção transversal não é, geralmente, circular. Além disso, a área resultante da fibra pode variar com formas e dimensões mais variadas possíveis (AQUINO ET AL, 2003)

Para o cálculo da resistência ao cisalhamento da interface utilizaremos os valores do raio médio  $r = 0,065$  mm e os valores calculados correspondentes aos limites estatísticos de  $\tau_i$ , desta forma chega-se ao seguinte resultado:

$$\tau_i = 3.10 \pm 1.17 \text{ MPa} \quad (7)$$

Comparando esses valores com outros demonstrados na literatura, pode-se presumir que a interface fibra de malva/poliéster é relativamente mais forte, o que corrobora com a tendência do uso de fibras lignocelulósicas como forma interessante de reforço em compósitos de matrizes poliméricas (MONTEIRO ET AL, 2009).

Por exemplo, a interface fibra poliéster para piaçava pode alcançar  $\tau_i = 2.8$  MPa (AQUINO ET AL, 2003), enquanto a interface fibra de sisal poliéster estima valores da ordem de  $\tau_i = 2.2$  MPa (MONTEIRO ET AL, 2009). Como contraste as interfaces obtidas para fibras sintética como carbono vidro e aramida são bem mais fortes, como exemplo a interface fibra de vidro polipropileno chega a  $\tau_i = 15.2$  MPa e a interface fibra de carbono polipropileno chega a  $\tau_i = 18.2$  MPa (YUE ET AL 1995).

A figura 28 mostra por imagens de MEV o aspecto da fibra de malva antes e depois do teste. Na figura 28(A) é importante notar a forma heterogênea que é característica das fibras naturais.

Na figura 28(B) é relevante verificar que dentre as inúmeras fibrilas, filamentos e fibras que foram arrancadas da matriz, podem ser vistos vestígios de resina poliéster na sua superfície fibrilar.

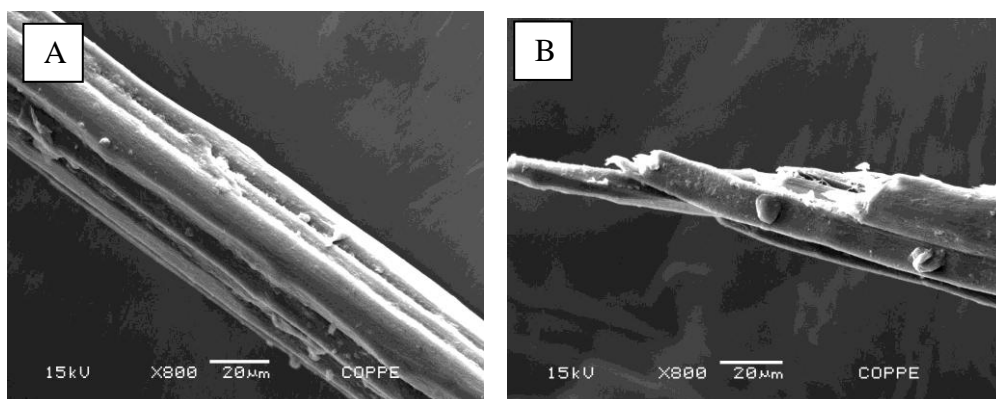


Figura 28 – Aspecto típico da fibra de malva antes do ensaio (A), e (B) depois do ensaio.

O valor experimental determinado em nosso estudo para o comprimento crítico de fibras de malva embutidas em matriz de poliéster é de relevante interesse prático, já que as fibras naturais retiradas do caule da malva tem comprimento médio que atinge  $l = 180$  mm, enquanto o comprimento crítico é

muito menor, e atinge o padrão recomendado pela literatura para boa adesão, cerca de  $l > 15l_c$  (YUE ET AL, 1995), desta forma estas fibras são definidas como fibras longas e contínuas.

Devido a isso as fibras naturais de malva terão ação normalmente como fibras contínuas para aplicações de suporte de carga ou quando usadas para reforço em compósitos poliméricos.

#### 4.4. Ensaio Pullout em matriz de epóxi

Os resultados de mais de uma centena de ensaio de pullout estão resumidas na tabela 12 abaixo.

Tabela 12 - Média da resistência à tensão para cada comprimento de fibra de malva embebida em matriz epóxi.

<i>L (mm)</i>	<i>Resistência à tensão (MPa)</i>
3	125,2 ± 81,3
5	134,0 ± 36,7
10	251,4 ± 154,5
15	374,0 ± 89,2
20	469,1 ± 75,5

Além dos ensaios de pullout tradicionais foram realizados 25 ensaios em fibras soltas para caracterizar a resistência média à tração para fibras individuais de malva do lote em questão, esses ensaios nos geraram resultados que podem ser mostrados na fórmula abaixo com o devido desvio padrão associado:

$$\sigma_m = 309,2 \pm 279,1 \text{ MPa} \quad (8)$$

Uma possível razão para esta discrepância poderia ser o procedimento para a medição de diâmetro, que, neste trabalho, foi feito por projetor de perfil, que garante a melhor precisão.

O valor na eq. (8) acima, dentro do desvio padrão, é comparável aos obtidos para os ensaios de pullout apresentados na tabela 12. A partir dos dados nesta tabela, a variação da força de pullout com o comprimento da fibra incorporado a matriz,  $L$ , foi descrito na figura 29.

O gráfico da figura 29, conhecido como curva de pullout, composto por segmentos lineares apresenta os resultados de pullout, e também descreve com linhas horizontais os limites do valor da força de tração determinada pelo desvio padrão de equação 8.

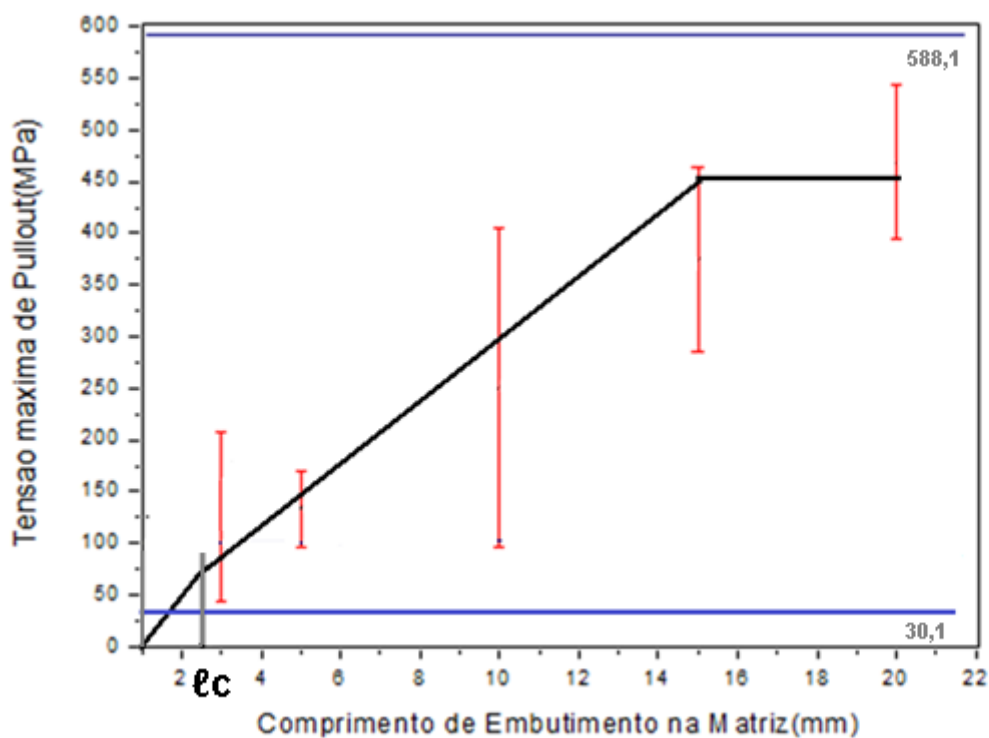


Figura 29 – Variação da tensão de Pullout conforme varia-se o comprimento de embutimento da fibra na matriz.

O comentário a ser feito sobre o gráfico da figura 29 é a dispersão relativamente grande dada pelas barras de erro associadas ao desvio-padrão dos resultados obtidos. Esta é uma consequência das características heterogêneas intrínsecas de qualquer fibra natural (WAMBUA ET AL, 2003).



Como consequência, não importa quão grande poderia ser o número de amostras testadas para cada valor de  $L$ , uma dispersão considerável seria sempre encontrado. Apesar destas dispersões grande, há uma tendência no gráfico da figura 29 de uma menor resistência ao arrancamento dos menores valores  $L$ .

A figura 30 mostra por imagens de MEV o aspecto da fibra de malva antes e depois do teste. Na figura 30(A) é importante notar a forma heterogênea que é característica das fibras naturais.

Na figura 30(B) é relevante verificar que dentre as inúmeras fibrilas, filamentos e fibras que foram arrancadas da matriz, podem ser vistos vestígios de resina epóxi na sua superfície fibrilar.

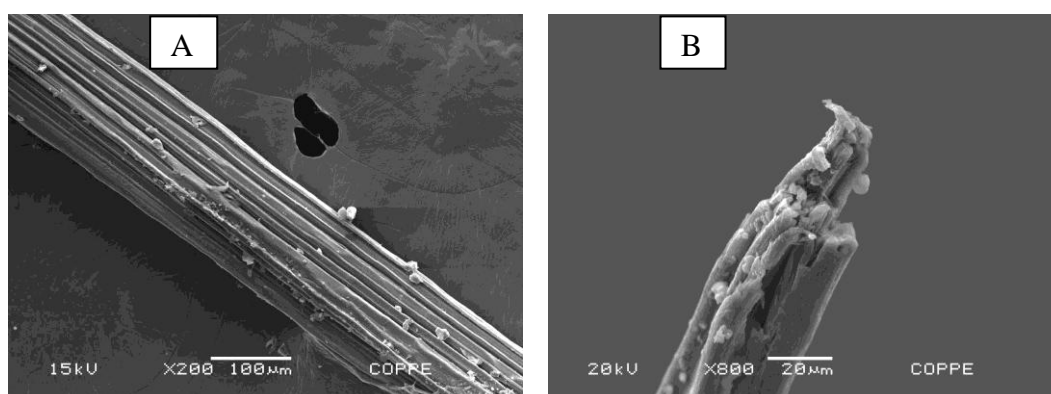


Figura 30 – Aspecto típico da fibra de malva (A) do ensaio, (B) depois do ensaio.

O valor experimental determinado em nosso estudo para o comprimento crítico de fibras de malva embutidas em matriz de poliéster é de relevante interesse prático, já que as fibras naturais retiradas do caule da malva tem comprimento médio que atinge  $l = 180$  mm, enquanto o comprimento crítico é muito menor, e atinge o padrão recomendado pela literatura para boa adesão, cerca de  $l > 15l_c$  (YUE ET AL, 1995), desta forma estas fibras são definidas como fibras longas e contínuas.

Devido a isso as fibras naturais de malva terão ação normalmente como fibras contínuas para aplicações de suporte de carga ou quando usadas para reforço em compósitos poliméricos.

#### 4.5. Ensaio de flexão em matriz de poliéster

A tabela 13 apresenta os valores de resistência à flexão, dada pela ruptura devido a estresse no ensaio de flexão de três pontos, e o deslocamento total até ruptura de compósitos com diferentes frações de fibras de malva.

Tabela 13 – Resistência à flexão deslocamento total para compósitos de fibras de malva.

<b>Porcentagem de fibra de malva (% vol)</b>	<b>Resistência flexão até a ruptura (MPa)</b>	<b>Deslocamento total até ruptura(mm)</b>
0	180,6 ± 51,7	
10	340,4 ± 54,9	4,98 ± 2,4
20	801,4 ± 151,2	6,35 ± 1,2
30	1058,3 ± 267,4	20,79 ± 13,2

A figura 31 mostra, a partir dos resultados da tabela 13, a variação da resistência à flexão dos compósitos de poliéster com a quantidade de fibra de malva. Nesta figura, deve-se notar que a resistência do compósito aumenta significativamente quando a quantidade de fibras de malva incorporadas na matriz de poliéster também aumenta.

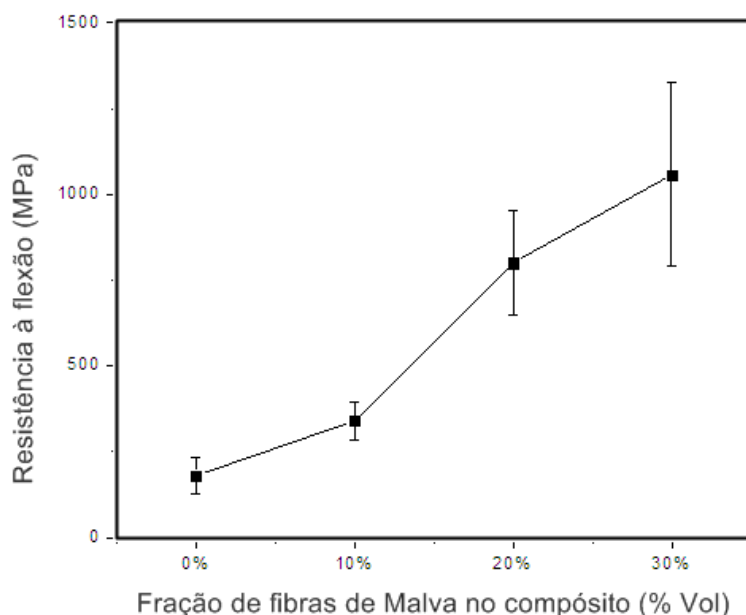


Figura 31 - Variação da resistência à flexão com a quantidade de fibras de Malva incorporada em compósitos poliméricos.

Conseqüentemente, pode-se afirmar que as fibras de malva apresentam um comportamento similar a outras fibras, como a juta, a piaçava e o curauá, que melhoram a resistência conforme se acrescentam fibras (MONTEIRO ET AL, 2012).

A figura 32 mostra, por MEV, a superfície de fratura típica de uma ruptura transversal para corpo de prova de resina pura, ou seja, 0% de fibra de malva.

Com menor aumento na figura 32(A) pode-se ver uma ruptura clássica de uma única trinca percorrendo a matriz. Já com maior ampliação, a figura 32(B), deixa clara imperfeições da estrutura, provavelmente criadas durante o processo ruptura pela propagação das trincas pelo poliéster puro.

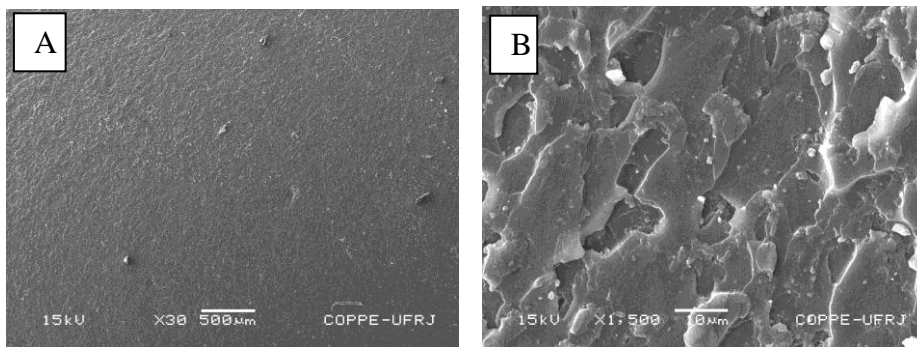


Figura 32 – Fractografia de poliéster pura, (A) aspecto geral e (B) detalhe do padrão típico associado com a propagação de trincas transversais.

A figura 33 mostra fractografias em MEV de uma ruptura típica para compósitos com 10% de fibra de malva. Nesta figura, pode-se observar, com menor ampliação, figura 33(A), a matriz de poliéster fraturada transversalmente com fibras arrancadas e vazios correspondentes aos vazios de onde outras fibras foram puxadas para fora.

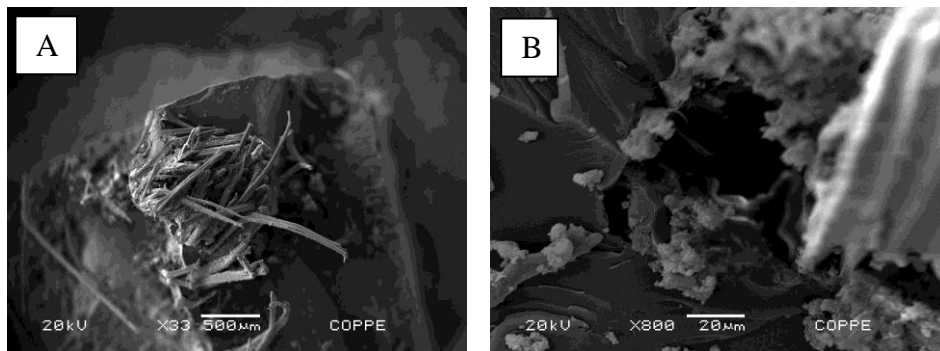


Figura 33 - Fractografias da fratura de um corpo de prova com 10% de fibras de malva acrescentadas. A imagem (A) com menor aumento mostra a visão geral da fratura enquanto a imagem (B) com maior aumento deixa clara o descolamento de fibras na interface.

Com maior aumento, figura 33(B), é revelado que a interface entre a fibra de malva e da matriz de poliéster não é contínua. Na verdade, a maioria da interface apresenta evidências de descolagem na forma de uma separação da superfície da fibra e da matriz de poliéster. Isto é certamente devido à tensão de cisalhamento interfacial encontrada para este tipo de composto.

Na figura 34 mostra-se também a fractografia de uma região típica interfacial para compósitos acrescentados de 30% de fibra de malva, menor ampliação. Na figura 34(A), pode-se ver o aspecto geral de separação da superfície da fibra e da matriz de poliéster da amostra. Com maior aumento, figura 34(B), há outra evidência de descolamento interfacial, de fratura transversal, que é associada com a maior resistência (MONTEIRO, ET AL 2005).

A diferença com relação à fratura de corpos de prova com 30% de fibra na figura 34 é a maior participação da superfície da fibra no processo de ruptura. Isto é associado com uma maior área de ruptura, paralela à direção das fibras de alinhamento, bem como uma maior absorção de energia mecânica.

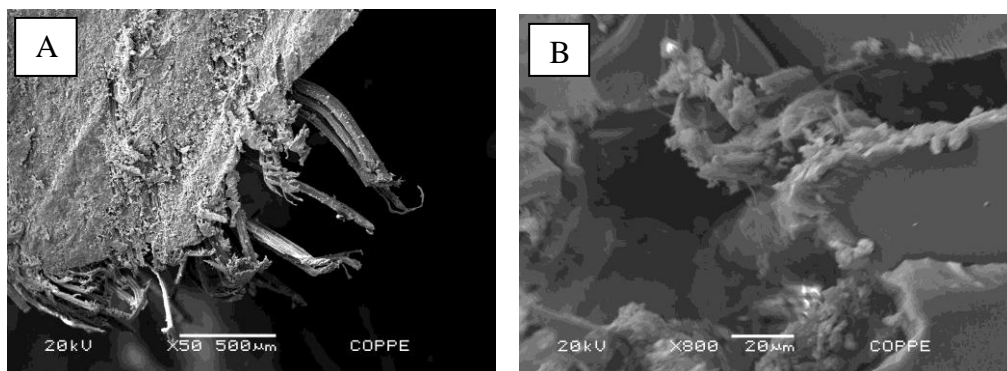


Figura 34 – Fractografias por MEV da fratura de um corpo de prova com 30% de fibras de malva; (A) vista geral e (B) detalhe da interface fibra/matriz demonstrando o descolamento transversal.

A ruptura que se inicia dentro da matriz de poliéster e propaga-se transversalmente ao alinhamento das fibras, figuras 33, e 34, corresponde a um mecanismo de reforço efetivo. Este tipo de fratura permite uma melhora na resistência do compósito, como mostrado para os corpos de prova com incorporações de até 30% de fibras de malva.

No entanto, uma ruptura longitudinal melhora sensivelmente a deformação, fator que é medido pelo deslocamento total na ruptura. Na verdade os corpos de prova com 30% de fibra de malva não romperam, nem quebraram apesar de toda extensão de deformação.

#### 4.6. Ensaio de flexão em matriz de epóxi

A tabela 14 apresenta os valores de resistência à flexão, gerada pelo ensaio de flexão em três pontos, com diferentes frações de fibras de malva.

Tabela 14 – Resistência à flexão para compósitos epoxídicos com fibras de malva.

<b>Quantidade de fibra de malva (Vol %)</b>	<b>Resistência à flexão(MPa)</b>
0	148,0 ± 5,1
10	297,8 ± 25,9
20	623,5 ± 30,5
30	812,6 ± 39,1

A figura 35 mostra, a partir dos resultados da tabela 14, a variação da resistência à flexão dos compósitos de epóxi de acordo com a variação da quantidade de fibra de malva. Nesta figura, deve-se notar que a resistência do compósito aumenta significativamente quando a quantidade de fibras de malva incorporadas na matriz de epóxi também aumenta.

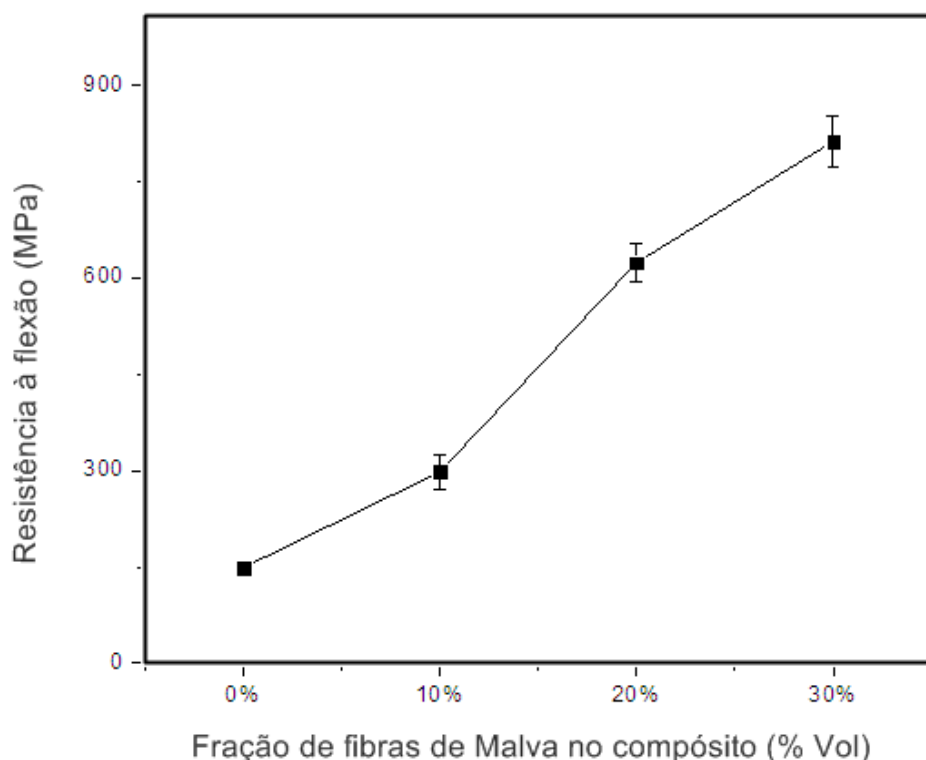


Figura 35 - Variação da Resistência à flexão com a variação da porcentagem de fibras de malva no compósito.

Conseqüentemente, as fibras de malva, semelhante a outras fibras lignocelulósicas, melhora sensivelmente a resistência de compósitos de epóxi, como visto na figura 35.

Na verdade, a razão para este desempenho superior dos compósitos de fibra de malva no ensaio de flexão pode ser explicada pela natureza da interação matriz/fibra, e como esta afeta o comportamento de ruptura.

Para o epóxi puro, ou seja, 0% de fibra, a ruptura se dá através da flexão que resulta em uma ruptura transversal no ponto médio do corpo de prova, onde a máquina de teste comprime o espécime.

Para os compósitos de fibra de malva, a ruptura é também transversal, mas a fibra age como um obstáculo para a propagação de trincas através da matriz epóxi o que aumenta a resistência ao composto.

A figura 36 mostra fractografias em MEV típicas de uma ruptura de um corpo de prova acrescido de 30% de fibras de malva. Nesta figura, pode-se observar, com menor ampliação, na figura 36(A) a matriz de epóxi fraturada transversalmente, com fibras que escorregaram da matriz e vazios correspondentes aos buracos de onde as fibras foram puxadas para fora.

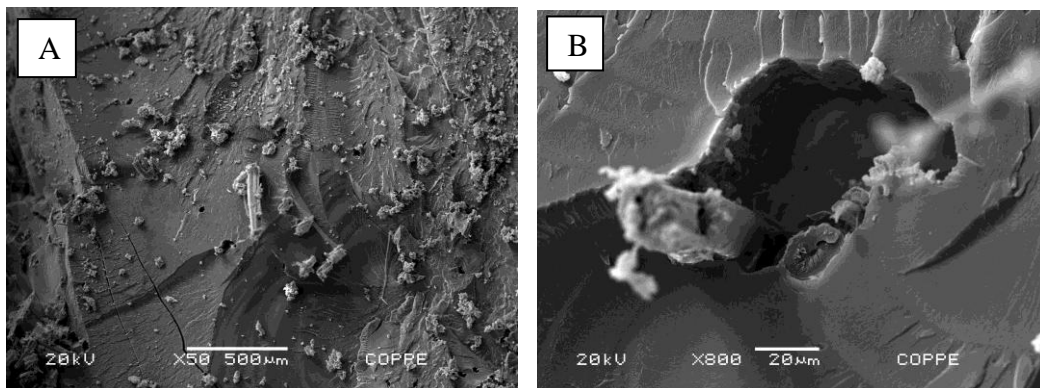


Figura 36 – Fractografias da fratura de um corpo de prova com 30% de fibras de malva; (A) vista geral da fratura e (B) detalhe do descolamento na interface fibra/matriz.

Com maior aumento, na figura 36(B) é revelado que a interface entre a fibra de malva e da matriz epóxi não é contínua. Na verdade, a maior parte da interface apresenta evidências de descolagem na forma de separação fibra/matriz

Isto é certamente devido a tensão de cisalhamento interfacial baixa encontrada para este tipo de compósito (MONTEIRO ET AL, 2005).

Finalmente, é relevante discutir as implicações desta modalidade de ruptura quando relacionada ao comportamento mecânico dos compósitos de fibra de malva.

A ruptura que se inicia dentro da matriz epoxídica e propaga transversalmente ao alinhamento das fibras, como vimos na figura 36, isso corresponde a um mecanismo de reforço efetivo. Este modo de fratura permite uma melhora substancial na resistência à flexão do material, como mostrado para o compósito com acréscimo de 30% de fibras de malva.

#### 4.7. Ensaio de impacto Charpy em matriz de poliéster

O resultados obtidos nos ensaios de impacto Charpy dos compósitos de matriz poliéster reforçados com diferentes frações volumétricas de fibras de malva estão apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Energia de impacto Charpy para compósitos poliéster reforçados com fibras de malva.

Fração volumétrica da fibras de malva (%)	Energia de impacto Charpy (J/m)
0%	41,2 ± 22,1
10%	200,3 ± 42,4
20%	420,6 ± 155,3
30%	716,2 ± 134,8

A variação da energia específica (J/m) obtida em ensaios Charpy em função da percentagem em volume das fibras de malva nos compósitos com matriz poliéster está mostrada na figura 37. Nota-se nesta figura que a incorporação de fibras de malva aumenta substancialmente a tenacidade do compósito, medida pela energia absorvida no impacto do martelo Charpy.

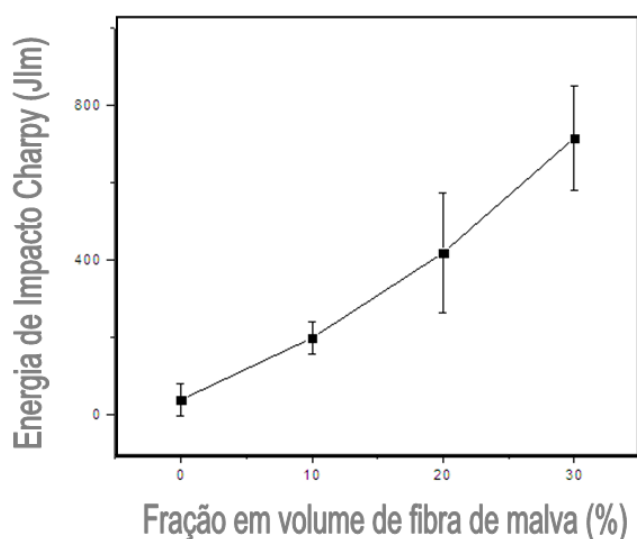


Figura 37 – Variação da energia de impacto Charpy de compósitos de poliéster com fração em volume de fibras de malva.



Dentro dos limites das barras de erro, associadas ao desvio padrão, o aumento da energia na figura 37 corresponde a uma relação linear entre a energia de impacto, E, e a fração de fibras de malva, L:

$$E = 22.L + 0,91 \quad (9)$$

É importante notar que a dispersão dos valores da energia, representada na figura 37 pelas barras de erro, aumenta com a fração de fibra de malva. Esta imprecisão nos valores é reconhecida como uma característica própria das fibras lignocelulósicas (PAIVA JÚNIOR ET AL, 2005).

O comportamento obtido para a tenacidade ao entalhe dos compósitos com matriz poliéster reforçada com fibras de malva é consistente com outros resultados de impacto envolvendo tanto fibras sintéticas (FU ET AL, 1999) quanto fibras naturais (LEÃO ET AL, 1998).

Na verdade, no caso das fibras de malva têm-se os maiores valores, como visto na figura 37, até agora obtidos em ensaios de impacto Charpy de compósitos poliméricos.

A tabela 16 apresenta valores da tenacidade ao impacto obtidos para compósitos com diferentes matrizes poliméricas reforçadas com diversas fibras naturais. No presente trabalho, utilizando-se fibras contínuas e alinhadas de malva, os níveis alcançados são bem superiores a todos os outros indicados até agora na literatura. Estes valores podem dar uma idéia comparativa da maior tenacidade de compósitos, quando reforçados com fibras contínuas e alinhadas de malva.

Em confronto com compósitos de matriz polimérica reforçados com outras fibras naturais, a tabela 16 mostra que os valores alcançados para compósitos com fibras contínuas de malva na figura 37 superam em muito os de todas as outras (exceto a fibra de rami). A razão para este desempenho pode ser explicada através das características da fratura.

Yue ET AL (1995) sugerem que uma baixa resistência interfacial fibra/matriz contribui para uma ineficiente transferência de esforço da matriz para a fibra, resultando assim em maior energia absorvida no impacto. Por outro lado, existe outro fator que também contribui para a maior tenacidade associada ao reforço de fibras contínuas e alinhadas de malva na matriz

polimérica. Este fato é uma consequência da resistência ao dobramento destas fibras.

Tabela 16 – Valores de tenacidade ao impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas.

<b>Compósito</b>	<b>Fibra (% em Volume)</b>	<b>Tipo de Ensaio</b>	<b>Tenacidade ao Impacto (J/m)</b>
Malva	30(contínua)	Charpy	716
Rami	30(contínua)	Charpy	1005
Curauá/Poliéster	40 (contínua)	Charpy	170
Piaçava/Poliéster	40 (contínua)	Charpy	94
Curauá/PP	50 (picada)	Izod	54
Madeira/PP	50 (picada)	Izod	28
Coco/PP	50 (picada)	Izod	46
Linho/PP	50 (picada)	Izod	38
Juta/PP	50 (picada)	Izod	39
Sisal/PP	50 (picada)	Izod	51

Características macro-estruturais da ruptura dos corpos de prova estão apresentadas na figura 38. Nesta figura, exemplos típicos das duas partes de corpos de prova rompidos após o impacto Charpy estão relacionados com a percentagem em volume de fibra de malva no compósito. Observa-se que a incorporação de fibra acarreta um comportamento marcante em relação ao poliéster puro, 0% de fibra. Mesmo com somente 10% de fibra, a área de fratura não é totalmente transversal, pois uma parte acompanha o sentido longitudinal de alinhamento das fibras.

Isto indica que as trincas geradas no entalhe pelo impacto, iniciam uma propagação transversal pela matriz, como se espera em polímeros frágeis, mas ao esbarrarem nas fibras, tendem a se propagar na interface fibra/matriz. Isto está de acordo com o mecanismo de ruptura em compósitos com fraca resistência interfacial (YUE ET AL, 1995).

Embora pareça paradoxal, uma baixa resistência interfacial acarreta em maior tenacidade, pois gera maior área de fratura e, conseqüentemente, maior energia absorvida no impacto.

Para frações volumétricas de fibra de malva de 20 e 30%, figura 38, os corpos de prova nem sequer foram rompidos no impacto. Isto se deve à elevada resistência à tração da fibra de malva (SATYANARAYANA ET AL 2007), evitando a ruptura total.

Para estas maiores frações de fibra, a parte não rompida do corpo de prova dobrou-se o suficiente para permitir que suas extremidades se soltassem dos batentes do equipamento. Neste caso, o resultado da energia de impacto Charpy não pode ser comparado com outros em que o corpo de prova é totalmente rompido. Entretanto, a não ruptura no impacto indica uma elevada tenacidade do compósito, conforme mostrado no gráfico da figura 37.

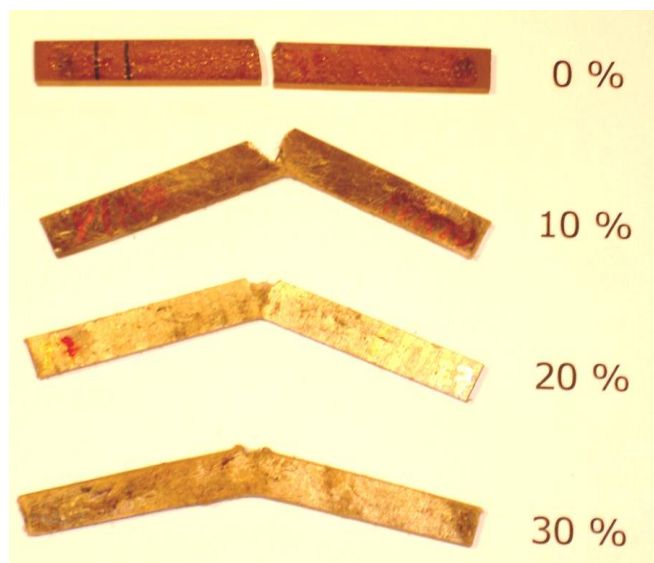


Figura 38 – Corpos de prova típicos de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações volumétricas de fibra de malva, rompidos por impacto Charpy.

A análise da microestrutura da figura 39 por MEV mostra o aspecto da fratura típico do poliéster puro na região de fratura resultante do impacto Charpy, permitiu melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pela elevada tenacidade dos compósitos reforçados com fibras de malva.

Com menor aumento, a figura 39(A), tem-se uma faixa superior mais marcada e escura, correspondente ao entalhe feito pela fresa. A parte inferior, mais lisa e clara, corresponde à fratura transversal por impacto.

A figura 39(B) com maior aumento, revela a rugosidade associada à propagação da única trinca, nucleada no entalhe, que ocasionou a ruptura.

A trinca acarretou também pequenas cavidades, provavelmente resultantes da porosidade causada pelas condições de processamento, como já havia sido sugerido (MONTEIRO ET AL 2006).

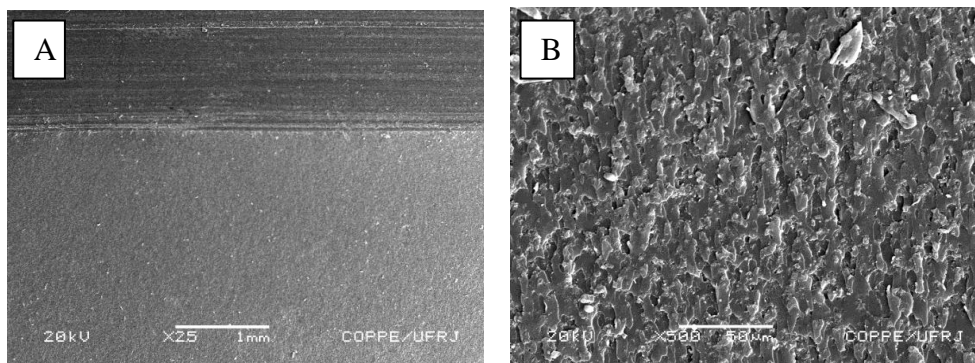


Figura 39 – Fratura por impacto do corpo de prova de resina poliéster pura (A) visão do entalhe e superfície transversal de ruptura; (B) detalhe da ruptura (MONTEIRO ET AL, 2008).

A Figura 40 apresenta por MEV detalhes da superfície rompida por impacto Charpy de um corpo de prova com 30% em volume de fibras de malva.



Figura 40 – Fratura por impacto do corpo de prova do compósito com 30% em volume de fibra de malva.

É importante notar na figura 40, observada na região em que a fratura propagou-se seguindo a interface fibra/matriz, evidências de descolamento interfacial. Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura através de trincas que se propagam preferencialmente entre a fibra e a matriz devido à fraca resistência interfacial (YUE ET AL, 1995)

A maior área superficial de ruptura dos compósitos como consequência do reforço das fibras contínuas e alinhadas de malva, justifica a elevada energia absorvida no impacto, bem como seu aumento com a fração de fibra.

#### 4.8. Ensaio de impacto Charpy em matriz de epóxi

O resultados obtidos nos ensaios de impacto Charpy dos compósitos de matriz epoxídica reforçados com diferentes frações volumétricas de fibras de malva estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 - Energia de impacto Charpy para compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva.

Fração volumétrica da fibras de malva (%)	Energia de impacto Charpy (J/m)
0%	22,9 ± 9,7
10%	101,1 ± 28,7
20%	176,6 ± 41,1
30%	310,2 ± 98,1

A partir dos dados da tabela 17 construiu-se a curva de variação da energia absorvida no impacto Charpy em função do volume relativo de fibras de malva na matriz epoxídica mostrada na figura 41.

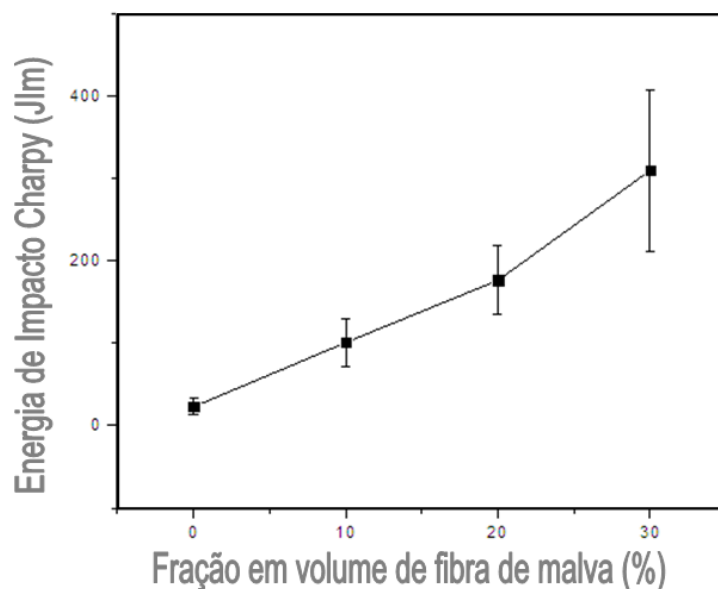


Figura 41 – Variação da energia de impacto Charpy de compósitos epoxídicos com fração em volume de fibras de malva.

Nesta figura observa-se o aumento marcante na energia de impacto Charpy com a fração volumétrica de fibras de malva. Também é importante notar que os pontos referentes aos compósitos possuem barras de erro, referentes ao desvio padrão, relativamente grandes. Isto se deve à natureza heterogênea das fibras naturais, o que acarreta substancial dispersão nas propriedades dos compósitos por elas reforçados (BLEDZKI & GASSAN, 1999).

Mesmo considerando as barras de erro, é possível interpretar o aumento da energia de impacto, isto é, da tenacidade dos compósitos na figura 41, como variando de forma linear com a fração volumétrica de fibras de malva. Uma linha passando pela média dos pontos demonstra esse crescimento. A interpretação matemática para este crescimento corresponde, preliminarmente, a equação (10):

$$E_e = 7,5.L + 1,3 \quad (10)$$

Onde  $E_e$  é a energia absorvida pelo compósito com matriz epoxídica no impacto Charpy em J/m e L a fração volumétrica de fibras de malva em percentagem. Nesse trabalho, a matriz era poliéster e não epóxi como no presente caso. Entre o desempenho do compósito com matriz poliéster do trabalho anterior e este com matriz epóxi, uma diferença marcante foi encontrada, sendo a matriz de poliéster, reforçada com a mesma quantidade de fibras de malva, quase duas vezes e meia mais tenaz que a matriz epóxi do presente trabalho.

Em qualquer dos casos, matriz de poliéster, ou de epóxi do presente trabalho, o reforço com fibras de malva aumenta consideravelmente a resistência do compósito.

Na realidade como mostrado na tabela 18, utilizando-se fibras longas e alinhadas para os compósitos de malva obtêm-se tenacidades ao impacto relativamente superiores a compósitos com outras fibras.

Tabela 18 – Valores de tenacidade ao impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas.

<b>Compósitos com 30% de fibras</b>	<b>Tipo de Impacto</b>	<b>Tenacidade ao Impacto(J/m)</b>
malva/epóxi	Charpy	310,2
malva/poliéster	Charpy	716,2
rami/epóxi	Charpy	211,7
rami/poliéster	Charpy	1004,8
coco/poliéster	Charpy	241,2
coco/epóxi	Charpy	174,7
curauá/poliéster	Charpy	169,7
curauá/epóxi	Charpy	103,2

Outro aspecto importante de ser comentado é a característica macroscópica da ruptura dos corpos de prova após o ensaio.

A figura 42, ilustra a característica típica de ruptura dos corpos de prova de compósitos de epóxi com diferentes frações incorporadas de fibras de malva.

Para alguns destes corpos de prova o impacto do martelo Charpy não provocou ruptura transversal à sua maior dimensão, isto é, à direção de alinhamento das fibras. Isto indica que a trinca nucleada no entalhe, propaga-se no início transversalmente pela frágil matriz epoxídica onde o acréscimo de 30% de fibras propiciou uma maior tenacidade, impedindo a separação em duas partes do compósito após o impacto.

Nos testes com até 20% de fibras de malva a trinca procede pela matriz até total ruptura. Entretanto com 30% de incorporação de fibras de malva, parte da energia é absorvida quando a trinca é bloqueada pelas fibras e a ruptura passa a ocorrer longitudinalmente pela interface fibra/matriz, promovendo aumento de tenacidade. Os corpos de prova então se curvam em torno da cabeça do martelo, mas não se separam devido à flexibilidade das fibras que não são rompidas, impedindo a ruptura total.

A razão para que ocorra uma trinca nucleada no entalhe mudando sua trajetória ao atingir as fibras de malva, e passando a se propagar pela interface com a matriz pode ser explicada devido à baixa resistência interfacial, e pela incompatibilidade causada pelo fato das fibras lignocelulósicas serem hidrofílicas enquanto a matriz polimérica é hidrofóbica (BLEDZKI & GASSAN, 1999).



Figura 42 – Corpos de prova típicos de compósitos de matriz epóxi com diferentes frações volumétricas de fibra de malva, rompidos por impacto Charpy.

Observações por MEV na figura 43(A) e (B) permitem ter uma melhor compreensão do mecanismo responsável pelo aumento linear, demonstrado no gráfico da figura 41, da tenacidade dos compósitos epoxídicos com a quantidade de fibra de malva.

A figura 43 apresentam a superfície de fratura de compósitos de epóxi puro (0% de fibra). A figura 43(A), com pequeno aumento, observa-se logo abaixo do entalhe, uma superfície aparentemente lisa, correspondente à fratura transversal, o que sugere que uma única trinca propagou-se rompendo o corpo de prova.

Com maior aumento, figura 43(B), tem-se as marcas características da superfície rompida pela passagem de uma única trinca através de pequenos defeitos na estrutura da matriz epoxídica, como bolhas de ar introduzidas durante a confecção do corpo de prova.



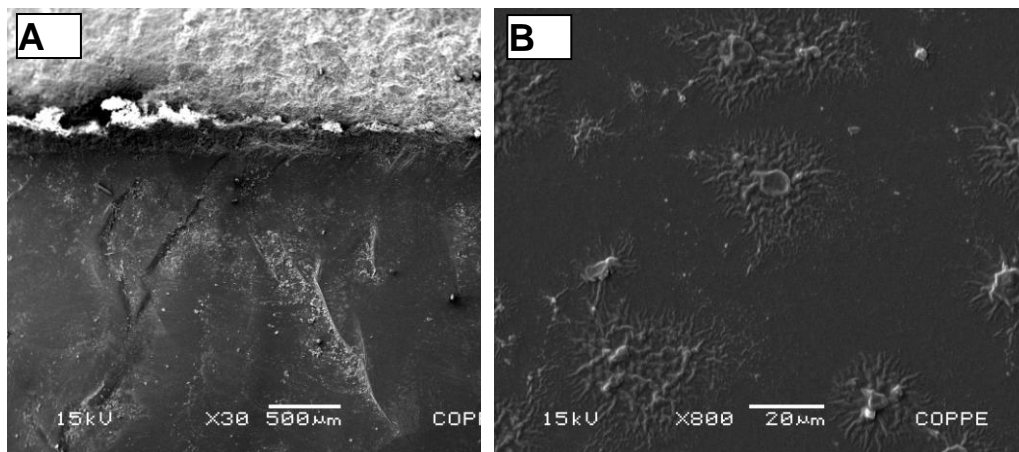


Figura 43 – Superfície de fratura do corpo de prova de epóxi pura: (A) Vista geral com baixo aumento e (B) detalhes com maior aumento.

Como exemplo para um compósito, a figura 44 apresenta a superfície de fratura de um corpo de prova com 30% de fibras de malva na matriz epoxídica. Com baixo aumento, figura 44(A), observa-se, na parte superior, a faixa horizontal do entalhe com evidências das fibras seccionadas pela fresa. Na parte inferior, a fratura por impacto mostra sinais de adesão entre as fibras de malva e a matriz epoxídica. Algumas fibras estão descoladas da matriz e outras foram rompidas no impacto. Nota-se uma tendência da ruptura ter ocorrido longitudinalmente através da interface fibra/matriz. Com maior aumento, a figura 44(B), mostra detalhes desta ruptura longitudinal onde a área de fratura está associada à longa superfície das próprias fibras embutidas na resina epóxi.

Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura por trincas que, devido à baixa tensão de cisalhamento interfacial, propagam-se preferencialmente entre a superfície das fibras de malva e a matriz epoxídica (YUE ET AL, 1995).

Isto resulta em uma área longitudinal de fratura relativamente grande se comparada à fratura transversal dos corpos de prova com até 20% de fibra de malva. Em conseqüência tem-se maior energia de impacto para romper uma área comparativamente maior como indicado por Yue ET AL (1995). Resultados similares foram encontrados em compósitos de matriz poliéster reforçadas com fibra de malva. Isto indica que a fibra de malva, além de

resistente, proporciona elevada tenacidade às matrizes poliméricas por ela reforçadas.

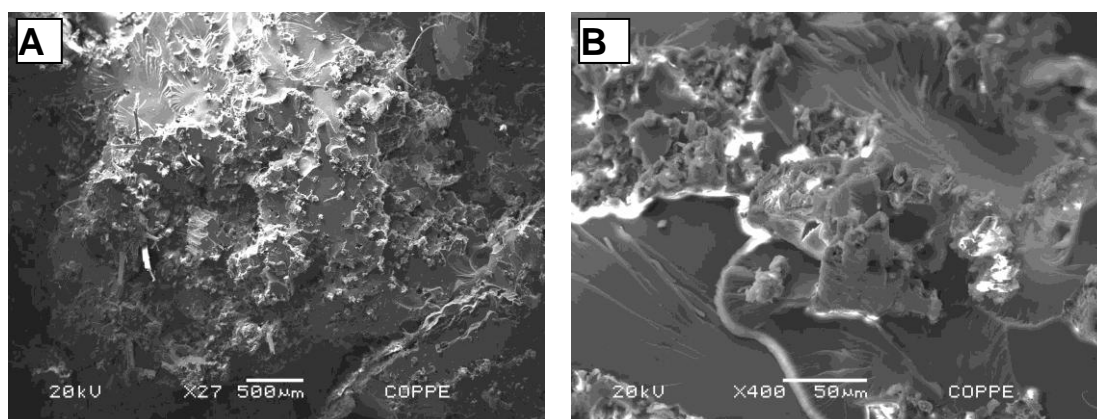


Figura 44 – Superfície de fratura do corpo de prova do compósito epoxídico com 30% de fibras de malva (A) Vista geral com baixo aumento; (B) detalhes com maior aumento.

#### 4.9. Ensaio de impacto Izod em matriz de poliéster

Os resultados dos ensaios de impacto em termos de média e de desvio padrão da energia absorvida para cada compósito estão mostrados na tabela 19.

Tabela 19 – Energias de impacto Izod para compósitos poliéster com fibra de malva.

Percentagem de fibra de malva	Energia (J/m)
0	23,6 ± 8,6
10	130,2 ± 51,9
20	271,3 ± 61,1
30	408,0 ± 132,3

A variação da energia de impacto Izod com a fração em peso das fibras de malva nos compósitos está apresentada na figura 45. Nesta figura, observa-se que a incorporação de fibra de malva aumenta consideravelmente a tenacidade do compósito. Este aumento, dentro dos limites do desvio padrão, pode ser considerado como linear até o máximo de 30% de fibra. Na realidade o aumento linear ocorre dentro de uma extensa faixa indicada pelas linhas do gráfico da figura 45, passando pelos limites de precisão das barras de erro.

É importante também mencionar que, com o aumento da fração da fibra, aumenta também a dispersão dos valores de tenacidade, traduzindo-se em maiores desvios padrão. Este fato é reconhecido como uma característica das fibras lignocelulósicas (BLEDZKI & GASSAN, 1999).

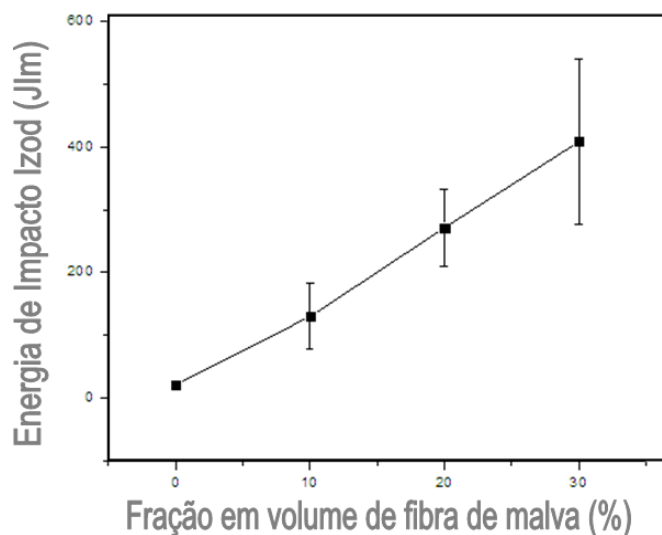


Figura 45 – Variação da energia de impacto Izod com a fração de fibras de malva em compósitos de matriz de poliéster.

A curva mostrada na figura 45 é consistente com resultados da literatura, já que o reforço de fibras, tanto sintéticas (YUE ET AL, 1995) quanto naturais (SATYANARAYANA ET AL, 2007) aumenta a tenacidade ao impacto de compósitos com matriz polimérica. A tabela 20 apresenta valores da tenacidade ao impacto obtida em corpos de prova entalhados para compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais.

Tabela 20 – Valores de tenacidade ao impacto Izod de fibras naturais.

Compósito	Fibra (% em peso)	Martelo	Tenacidade ao Impacto (J/m)
Malva/Poliéster	30(continua)	Izod	408
Rami/Poliéster	30(continua)	Izod	580
Curauá/PP	50 (picada)	Izod	54
Madeira/PP	50 (picada)	Izod	28
Coco/PP	50 (picada)	Izod	46
Linho/PP	50 (picada)	Izod	38
Juta/PP	50 (picada)	Izod	39
Sisal/PP	50 (picada)	Izod	51

No presente trabalho, utilizando-se fibras contínuas e alinhadas de malva, os níveis alcançados são bem superiores aos indicados na literatura (LEÃO ET AL, 1998) para tenacidade ao entalhe obtida por impacto Izod em compósitos com matriz de polipropileno, PP, reforçada com 50% de outras fibras.

Obviamente a matriz, PP é diferente da matriz de poliéster usada no presente trabalho, porém podem dar uma idéia comparativa da maior tenacidade de compósitos, quando reforçados com fibras contínuas e alinhadas de malva.

Em confronto com compósitos de matriz polimérica reforçados com outras fibras naturais picadas (LEÃO ET AL, 1998), a tabela 20, mostra que os valores alcançados para compósitos com fibras contínuas, tanto de malva no gráfico da figura 45, quanto de piaçava (MONTEIRO ET AL, 2006), superam em muito todas as outras. A razão para este desempenho pode ser explicada através das características da fratura.

Yue ET AL, (1995) sugerem que uma baixa resistência interfacial fibra/matriz contribui para uma ineficiente transferência de esforço da matriz para a fibra, resultando assim em maior energia absorvida no impacto. Por outro lado, existe outro fator que também contribui para a maior tenacidade associada ao reforço de fibras contínuas e alinhadas de malva na matriz polimérica. Este fato é uma consequência da resistência ao dobramento destas fibras.

A figura 46 mostra que, macroscopicamente, a incorporação da fibra de malva acarreta um comportamento marcante em relação ao poliéster puro.

Mesmo com somente 10% de fibra, a área de fratura não é totalmente transversal, pois uma parte acompanha o sentido longitudinal de alinhamento das fibras.

Isto indica que as trincas geradas no entalhe pelo impacto, iniciam uma propagação transversal pela matriz, como se espera em polímeros, mas ao esbarrarem nas fibras, tendem a se propagar na interface fibra/matriz.

Isto está de acordo com o mecanismo de ruptura em compósitos com fraca resistência interfacial (YUE ET AL, 1995).

Como já foi genericamente mencionado, embora pareça paradoxal, uma baixa resistência interfacial acarreta em maior tenacidade, pois gera maior área de fratura e, conseqüentemente, maior energia absorvida no impacto.

Para frações de fibra de malva de 20 e 30% mostrados na figura 46, os corpos de prova nem sequer foram rompidos no impacto. Isto se deve à elevada resistência à tração da fibra de malva, evitando a ruptura total.

Para estas maiores frações de fibra, a parte não rompida do corpo de prova dobrou-se o suficiente para permitir que suas extremidades se soltassem dos batentes do equipamento.

Neste caso, o resultado da energia de impacto Izod não pode ser comparado com outros em que o corpo de prova é totalmente rompido. Entretanto, a não ocorrência de ruptura no impacto indica uma elevada tenacidade do compósito já que, caso ocorresse a ruptura, a energia absorvida seria ainda superior.



Figura 46 – Aspectos macroestruturais da ruptura por impacto Izod de compósitos de matriz poliéster com diferentes frações volumétricas de fibras de malva.

A análise da microestrutura por MEV na região de fratura resultante do impacto Izod permitiu melhor compreensão dos mecanismos responsáveis pela elevada tenacidade dos compósitos reforçados com fibras de malva.

Em relação à resina pura, a figura 47 demonstra, o aspecto da fratura típico do poliéster. Com menor aumento, figura 47(A), tem-se uma faixa superior mais marcada e escura, correspondente ao entalhe feito pela fresa. A parte inferior, mais lisa e clara, corresponde à fratura transversal por impacto.

Esta fratura, mostrada com maior aumento na figura 47(B), revela rugosidade associada à propagação da única trinca, nucleada no entalhe, que ocasionou a ruptura.

A trinca acarretou também pequenas cavidades, provavelmente resultantes da porosidade causada pelas condições de processamento.

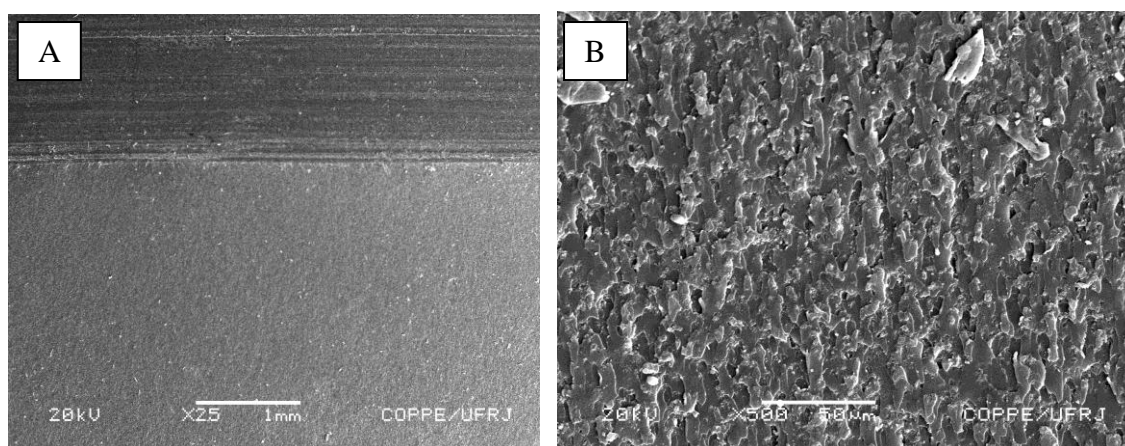


Figura 47 – Fratura por impacto do corpo de prova de resina poliéster pura. (A) visão do entalhe e da superfície transversal de ruptura; (B) detalhe da ruptura.

A Figura 48(A) com menor aumento, apresenta por MEV aspectos gerais da superfície rompida por impacto Izod de um corpo de prova com 30% em volume de fibras de malva reforçando matriz poliéster.

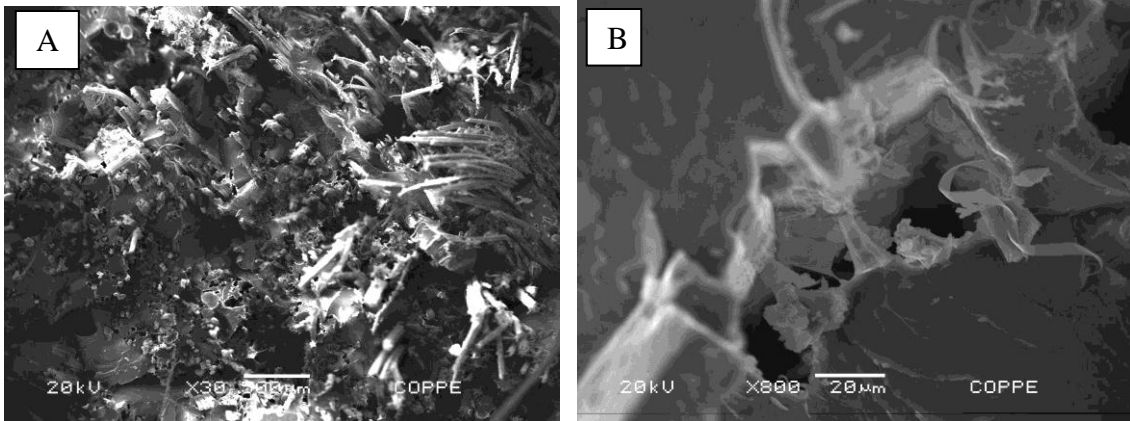


Figura 48 – Fratura por impacto do corpo de prova do compósito com 30% em volume de fibra de malva, (A) com menor aumento (30x) e (B) com maior aumento (800x).

É importante notar que na figura 48(B), observada com maior aumento na região em que a fratura propagou-se seguindo a interface fibra/matriz, existem evidências de descolamento interfacial.

Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura através de trincas que se propagam preferencialmente entre a fibra e a matriz devido à fraca resistência interfacial.

A maior área longitudinal de ruptura dos compósitos como consequência do reforço das fibras contínuas e alinhadas de malva, justifica a elevada energia absorvida no impacto, bem como seu aumento com a fração de fibra.

#### **4.10. Ensaio de impacto Izod em matriz de Epóxi**

Os resultados obtidos nos ensaios de impacto Izod dos compósitos de matriz epoxídica reforçados com diferentes frações volumétricas de fibras de malva estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Energia de impacto Izod para compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva.

<b>Fração volumétrica da fibras de malva (%)</b>	<b>Energia de impacto Izod (J/m)</b>
0%	21,8 ± 9,7
10%	60,2 ± 14,7
20%	111,9 ± 23,3
30%	169,4 ± 29,2

A partir dos dados da Tabela 21, construiu-se a curva de variação da energia absorvida no impacto Izod em função do volume relativo de fibras de malva na matriz epoxídica mostrada na figura 49.

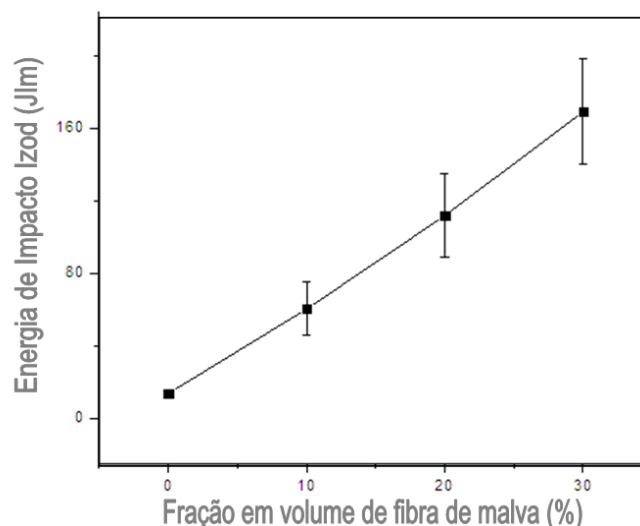


Figura 49 – Variação da energia de impacto Izod de compósitos epoxídicos com fração em volume de fibras de malva.

Nesta figura observa-se o aumento marcante na energia de impacto Izod com a fração volumétrica de fibras de malva. Também é importante notar que os pontos referentes aos compósitos possuem barras de erro, referentes ao desvio padrão, relativamente grandes.

Isto se deve à natureza heterogênea das fibras naturais, o que acarreta substancial dispersão nas propriedades dos compósitos por elas reforçados.

Mesmo considerando as barras de erro, é possível interpretar o aumento da energia de impacto, isto é, da tenacidade dos compósitos na figura 49,



como variando de forma linear com a fração volumétrica de fibras de malva. Uma linha passando pela média dos pontos demonstra este crescimento. A interpretação matemática para este crescimento corresponde, preliminarmente, a equação (11):

$$E_e = 5,17.L + 1,1 \quad (11)$$

Onde  $E_e$  é a energia absorvida pelo compósito com matriz epoxídica no impacto Izod em J/m e L a fração volumétrica de fibras de malva em percentagem.

Fica clara então a natureza de reforço menos eficaz deste compósito, já que quando comparada com reforço de fibras de malva em matriz poliéster, ensaiado em impacto Izod o resultado atingido alcança valores muito mais elevados para resistência ao impacto. Entre o desempenho do compósito com matriz poliéster do trabalho anterior.

Em qualquer dos casos, matriz de poliéster ou de epóxi do presente trabalho, o reforço com fibras de malva aumenta consideravelmente a resistência do compósito.

Na realidade como mostrado na tabela 22, utilizando-se fibras longas e alinhadas para os compósitos de malva obtêm-se tenacidades ao impacto relativamente superiores a compósitos com outras fibras (exceto compósitos reforçados com fibras de rami).

Tabela 22 – Valores de tenacidade ao impacto de compósitos reforçados com fibras lignocelulósicas.

Compósitos com 30% de fibras	Tipo de Impacto	Tenacidade ao Impacto(J/m)
malva/ poliéster	Izod	408,01
rami/epóxi	Izod	353,38
rami/poliéster	Charpy	1004,8
coco/poliéster	Charpy	241,2
coco/epóxi	Charpy	174,7
curauá/poliéster	Charpy	169,7
curauá/epóxi	Charpy	103,2

Outro aspecto importante de ser comentado é a característica macroscópica da ruptura dos corpos de prova após o ensaio. A figura 50 ilustra a característica típica de ruptura dos corpos de prova de compósitos de epóxi com diferentes frações incorporadas de fibras de malva.

Nesta figura está mostrado que os corpos de prova com 20% e 30% de fibras de malva, ou seja, aquele com maior tenacidade, não foram separados em duas partes após o impacto. Na verdade, para alguns destes corpos de prova o impacto do martelo Izod não provocou ruptura transversal à sua maior dimensão, isto é, à direção de alinhamento das fibras.

Isto indica que a trinca nucleada no entalhe, propaga-se no início transversalmente pela frágil matriz epoxídica. Até 10% de fibras de malva a trinca procede pela matriz até total ruptura.

Entretanto com 20% e 30% de malva, a trinca é bloqueada pelas fibras e a ruptura passa a ocorrer longitudinalmente pela interface fibra/matriz. O corpo de prova então se curva em torno da cabeça do martelo, mas não se separa devido à flexibilidade das fibras que não são rompidas.

Pelo fato de não ocorrer ruptura total, figura 50, para o corpo de prova com 20% e 30% de fibra subestima-se a tenacidade do compósito. Caso todas as fibras fossem rompidas, levando o corpo de prova a separar-se em duas partes a energia absorvida seria ainda maior.

A razão para se ter uma trinca nucleada no entalhe, mudando sua trajetória ao atingir as fibras de malva, e passando a se propagar pela interface com a matriz é devido à baixa resistência interfacial. Isto é consequência da incompatibilidade causada pelo fato das fibras lignocelulósicas serem hidrofílicas enquanto a matriz polimérica é hidrofóbica.

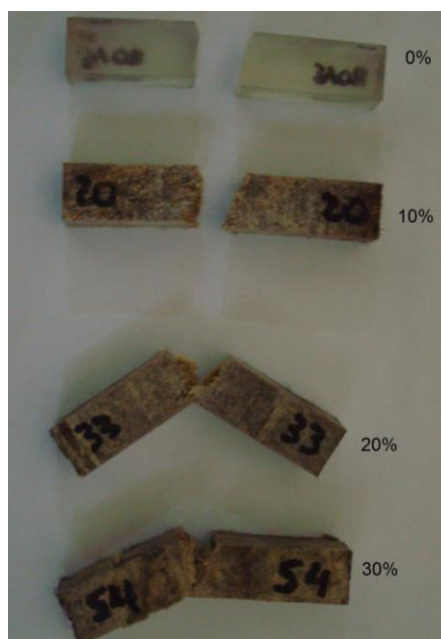


Figura 50 – Corpos de prova típicos de compósitos de matriz epóxi com diferentes frações volumétricas de fibra de malva, rompidos por impacto Izod.

Observações por MEV nas figuras 51 e 52 permitem ter-se melhor compreensão do mecanismo responsável pelo aumento expressivo, demonstrado no gráfico da figura 49, da tenacidade dos compósitos epoxídicos com a quantidade de fibra de malva. Inicialmente, a figura 51 apresenta a superfície de fratura do corpo de prova de epóxi pura.

Com pequeno aumento, figura 51(A), observa-se logo abaixo do entalhe, uma superfície aparentemente lisa, correspondente à fratura transversal através da frágil resina epóxi. Esta figura sugere que uma única trinca propagou-se rompendo o corpo de prova.

Com maior aumento, figura 51(B), tem-se as marcas características da superfície rompida pela passagem de uma única trinca através de pequenos defeitos na estrutura da matriz de epóxi, como bolhas de ar introduzidas na fabricação do corpo de prova.

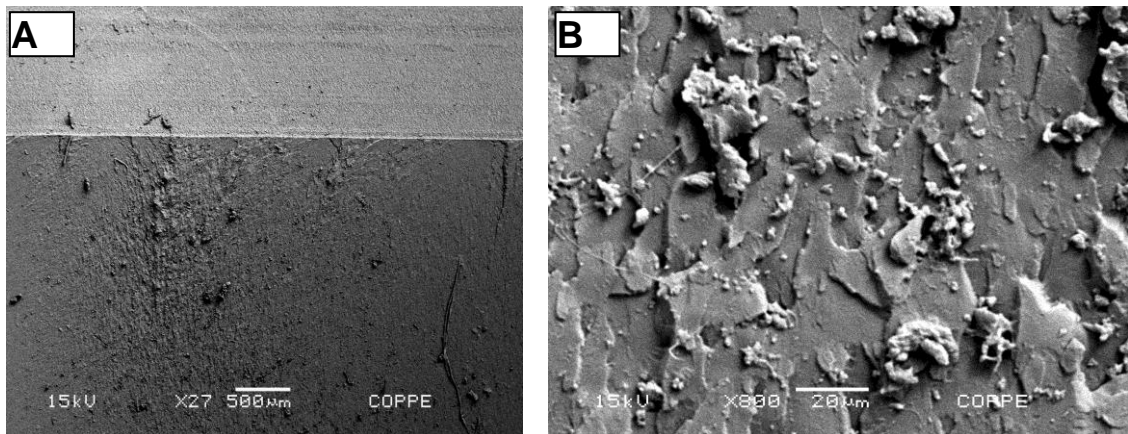


Figura 51 – Superfície de fratura do corpo de prova de epóxi pura: (A) Vista geral com baixo aumento e (B) detalhes com maior aumento.

Como exemplo para um compósito, a figura 52 apresenta a superfície de fratura de um corpo de prova com 30% de fibras de malva na matriz epoxídica. Com baixo aumento, figura 52(A), observa-se, na parte superior, a faixa horizontal do entalhe com evidências das fibras seccionadas pela fresa.

Na parte inferior, a fratura por impacto mostra sinais de adesão entre as fibras de malva e a matriz epoxídica. Algumas fibras estão descoladas da matriz e outras foram rompidas no impacto. Nota-se uma tendência da ruptura ter ocorrido longitudinalmente através da interface fibra/matriz.

Com maior aumento, figura 52(B), são mostrados detalhes desta ruptura longitudinal onde a área de fratura está associada à longa superfície das próprias fibras embutidas na resina epóxi.

Este comportamento corrobora o mecanismo de ruptura por trincas que, devido à baixa tensão de cisalhamento interfacial, propagam-se preferencialmente entre a superfície das fibras de malva e a matriz epoxídica. Isto resulta em uma área longitudinal de fratura relativamente grande se comparada à fratura transversal dos corpos de prova com até 10% de fibra de malva, figura 52. Em consequência tem-se maior energia de impacto para romper uma área comparativamente maior como indicado pelos autores Yue ET AL (2005).

Resultados similares foram encontrados em compósitos de matriz poliéster reforçadas com fibra de malva, Figuras 45 a 48. Isto indica que a fibra

de malva, além de resistente, proporciona elevada tenacidade às matrizes poliméricas por ela reforçadas.

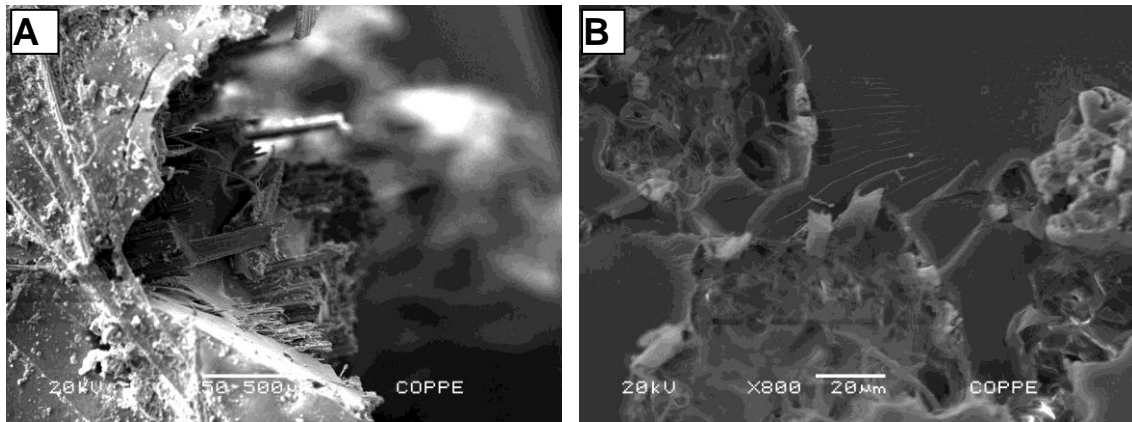


Figura 52 – Superfície de fratura do corpo de prova do compósito epoxídico com 30% de fibras de malva (A) Vista geral com baixo aumento; (B) detalhes com maior aumento.

#### 4.11. Ensaio DMA em matriz de epóxi

A figura 53 apresenta curvas associadas aos parâmetros dinâmico-mecânicos,  $E'$ ,  $E''$  e  $\tan\delta$ , em função da temperatura para o corpo de prova com 0% de fibra ou seja, resina poliéster pura. Estas curvas correspondem a primeira corrida dos ensaios de DMA.

A figura 54 apresenta curvas semelhantes para o compósito com 30% de fibras de malva. Analisando-se comparativamente as curvas das figuras 53 e 54, bem como as outras curvas para compósitos com 10 e 20% de fibras de malva, obteve-se o efeito causado pela introdução destas fibras no comportamento dinâmico viscoelástico dos materiais investigados.

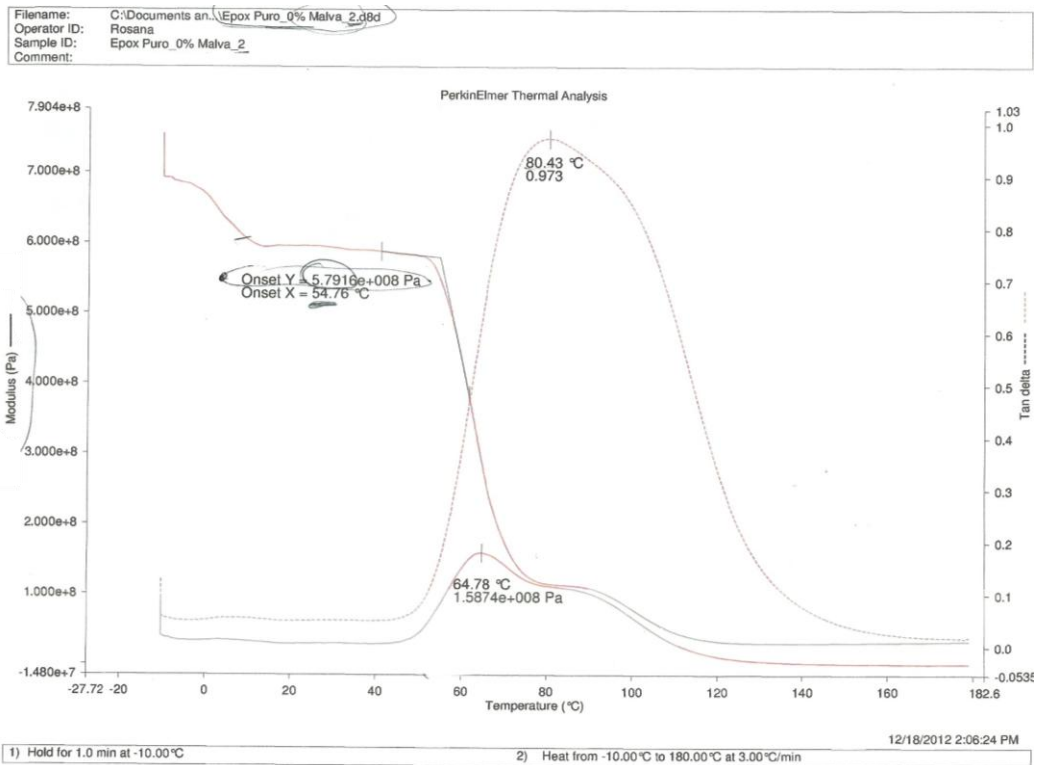


Figura 53 – Curvas de DMA correspondentes ao corpo de prova de resina epóxi pura.

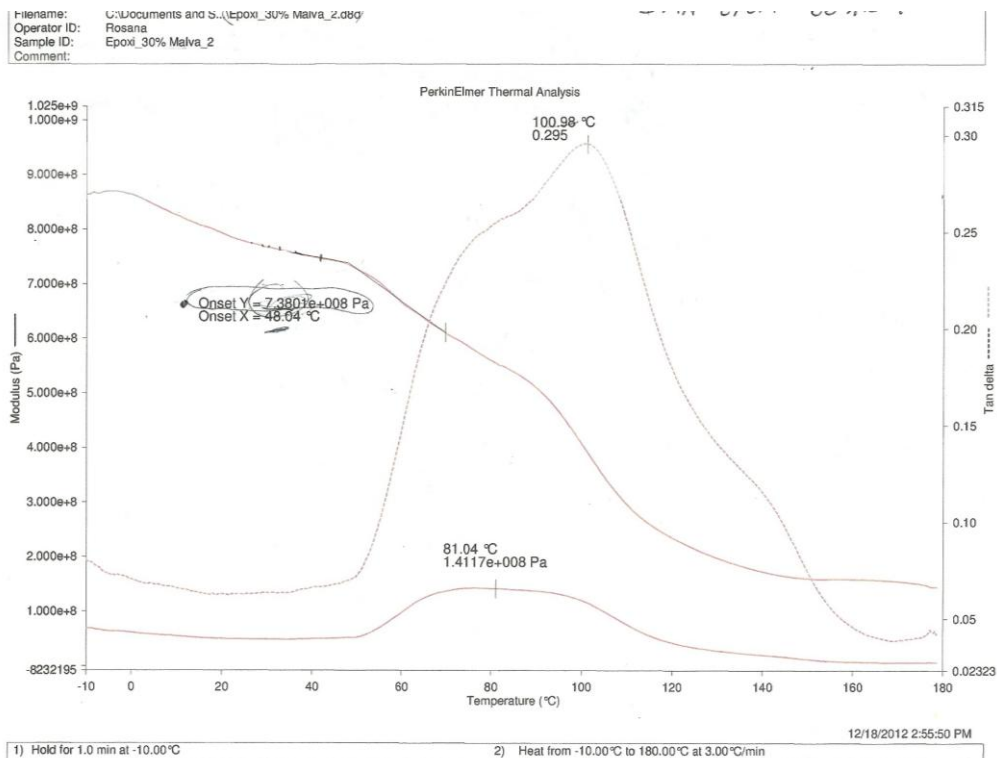


Figura 54 – Curvas de DMA para o composto de epóxi com 30% de fibras de malva.

Inicialmente foram identificadas as posições dos diversos picos encontrados nas curvas de DMA como as das figuras 53 e 54. Estes picos

correspondem a transformações na estrutura do material, particularmente a transição de uma estrutura cristalina para a vítrea caracterizada pela sua temperatura termogravimétrica  $T_g$ .

Experimentalmente, o valor das temperaturas dos diferentes picos, indicados em cada uma das curvas, são estimativas visuais que permitem comparar-se a evolução das transições estruturais ocorridas com a incorporação das fibras de malva na matriz epóxi dos compósitos.

Dentre os picos encontrados nas curvas de DMA, aquele associado a mais alta temperatura é o da  $\tan\delta$ , considerado o limite máximo para  $T_g$ .

Comparando-se este pico nos diferentes compósitos, verifica-se uma tendência de deslocamento da  $T_g$  para maiores temperaturas com a fração de fibra de malva.

Em princípio isto significa que a interação entre as fibras de malva e as cadeias poliméricas da matriz amplia a capacidade do epóxi de cristalizar-se a temperaturas mais elevada, como sugerido por Rana ET AL (1999), para compósitos de polipropileno reforçados com fibras de juta.

#### **4.12. Ensaio DMA em matriz de poliéster**

A figura 55, compara a variação do módulo de armazenamento,  $E'$ , com a temperatura para os diferentes compósitos investigados. As curvas desta figura mostram que o valor de  $E'$  é relativamente elevado a 20°C, entre 13 e 14 GPa, o que significa uma estrutura bem rígida para materiais poliméricos.

Além disso, para todos os níveis de temperatura, o valor de  $E'$  para os compósitos com fibras de malva é superior ao da resina epóxi pura, isto é 0% de fibra. Na realidade, o valor de  $E'$  está diretamente relacionado com a capacidade do material suportar cargas mecânicas com deformação viscoelástica recuperável. No caso do ensaio de DMA deste trabalho,  $E'$  é análogo ao módulo de flexão (MOHANTY ET AL, 2006).

Com o aumento da temperatura, figura 55, tem-se um rápido decréscimo no valor de  $E'$  a partir de 25°C até se atingir um patamar inferior a 1 GPa.

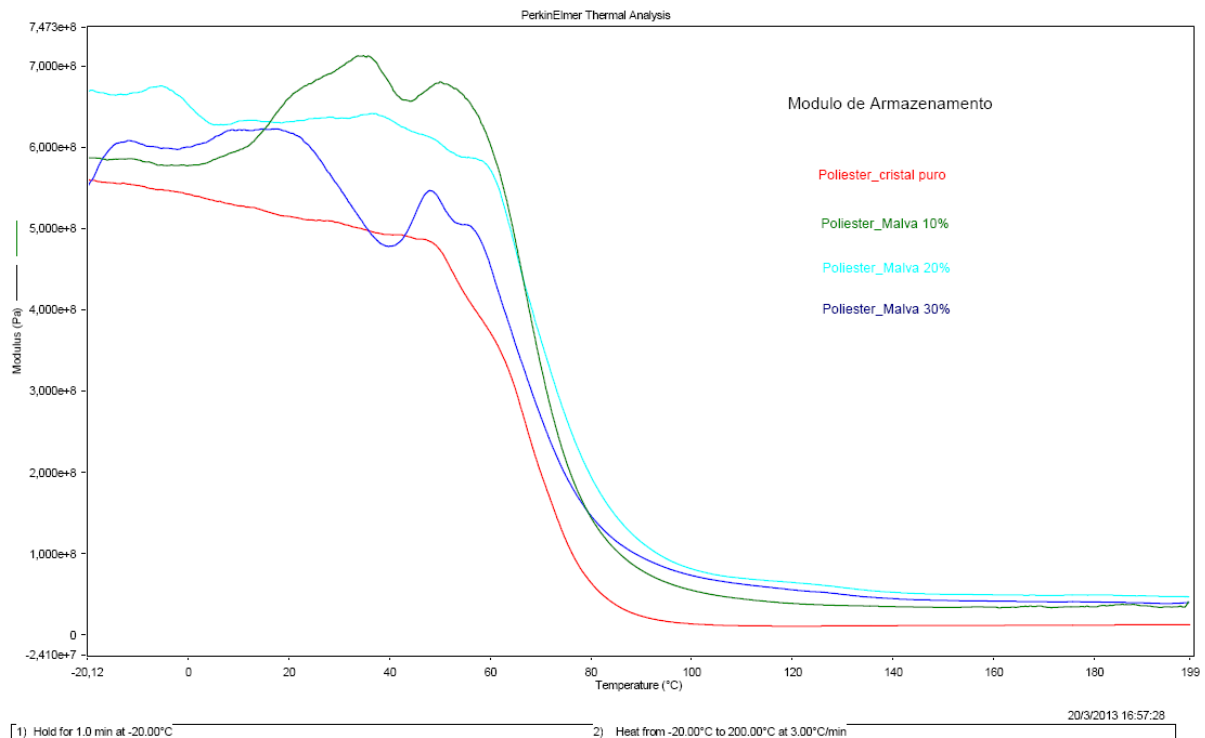


Figura 55 – Curvas do módulo de armazenamento em função da temperatura para o poliéster em compósitos reforçados com diferentes frações de fibras de malva.

Para a resina poliéster o patamar de amolecimento térmico inicia-se por volta de 50°C como observado em outras publicações.

Entretanto, com a incorporação das fibras de malva, o início do amolecimento térmico estende-se até 80°C. Este deslocamento do amolecimento térmico correspondente ao módulo de armazenamento, para temperaturas mais altas com a introdução de fibras de malva, figura 55, sugere um efeito de reforço dinâmico.

Por outro lado, em flexão quase-estática, a fibra de malva com alta resistência mostra capacidade de reforçar a matriz poliéster. Assim, para as condições dinâmicas do presente trabalho, aparentemente a fibra de malva interage melhor com a resina poliéster, permitindo transferência mais efetiva de esforços viscoelásticos da matriz para a fibra.

A figura 56, compara a variação do módulo de perda,  $E''$ , com a temperatura para a resina poliéster. Todas as curvas desta figura passam por um valor máximo bem delineado que pode ser associado ao pico  $\alpha$  de relaxação.



Segundo Mohanty ET AL (2006), esta relaxação é atribuída à mobilidade das cadeias na fase cristalina do polímero, no caso deste trabalho, a matriz poliéster.

Para os compósitos com fibras de malva, figura 56, os picos  $\alpha$  nas curvas de  $E''$  estão deslocados em cerca de  $10^{\circ}\text{C}$  para maiores temperaturas. Isto é, possivelmente, devido à redução na flexibilidade da matriz do compósito (MACHADO ET AL, 2002), causada pela interação de suas cadeias da resina poliéster com as fibras de malva.

Este efeito também contribui para reforçar dinamicamente o compósito incorporado com fibra de malva.

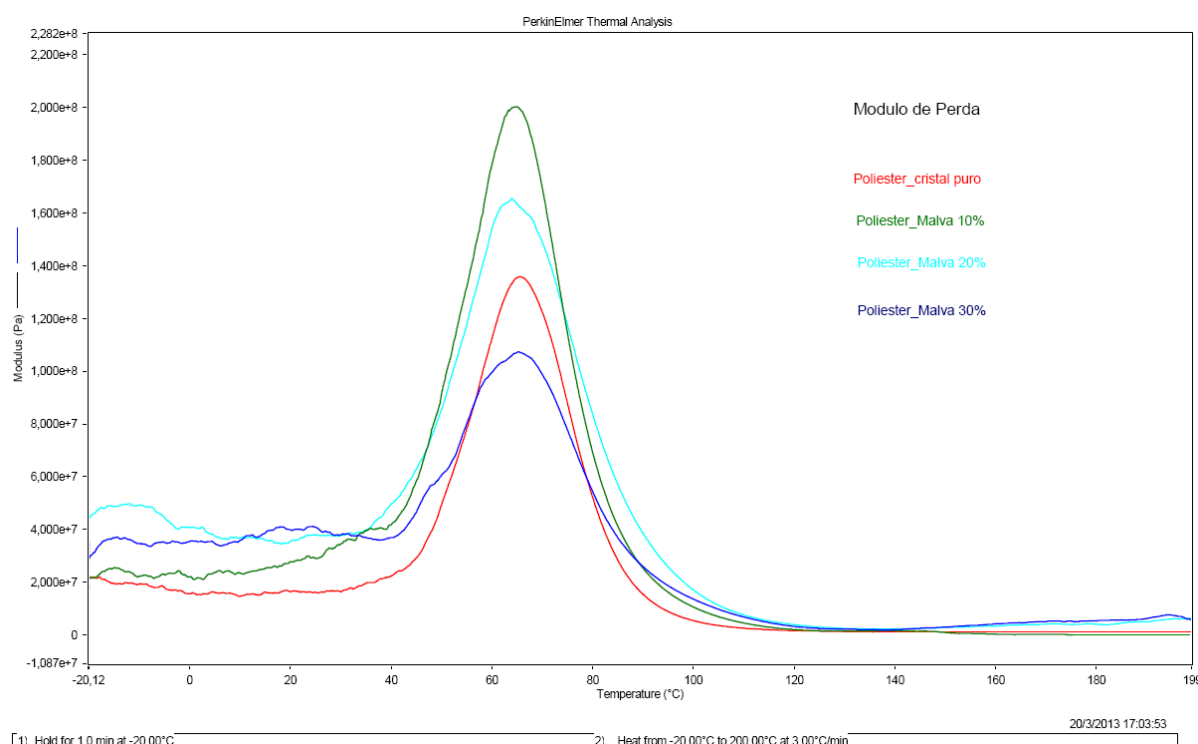


Figura 56 – Curvas do módulo de perda em função da temperatura para o poliéster puro e compósitos reforçados com diferentes frações de fibras de malva.

A variação da tangente  $\delta$  com a temperatura para a resina poliéster pura e os compósitos incorporados com fibras de malva está apresentada na figura 57.

Nesta figura pode ser visto que tanto os compósitos quanto a resina poliéster apresentam os picos característicos do valor superior para a temperatura de transição vítrea. É importante ter-se em mente que a  $\tan\delta$  está

associada à capacidade de amortecimento do material (MOHANTY ET AL 2006).

Esse amortecimento é maximizado no equilíbrio entre as estruturas amorfa e cristalina, caracterizando assim a  $T_g$ . Observa-se na figura 56, que os compósitos apresentam picos com amplitude inferior e deslocados para maiores temperaturas relativamente à resina poliéster pura.

Isto sugere que, como também verificado para os módulos de armazenamento, figura 55, e de perda, figura 56, as fibras de malva efetivamente interagem com as cadeias da matriz poliéster dificultando a sua mobilidade e reduzindo sua capacidade de amortecimento estrutural.

A menor mobilidade das cadeias estende a cristalinidade da matriz, ou seja, o valor de  $T_g$  para mais altas temperaturas, diminui a amplitude dos picos de  $\tan\delta$ , como mostra a figura 57 nos compósitos incorporados com a malva.

Em relação ao valor superior de  $T_g$ , verifica-se que a introdução de fibra de malva até 30% em volume, desloca em cerca de 10°C esse valor para menores temperaturas.

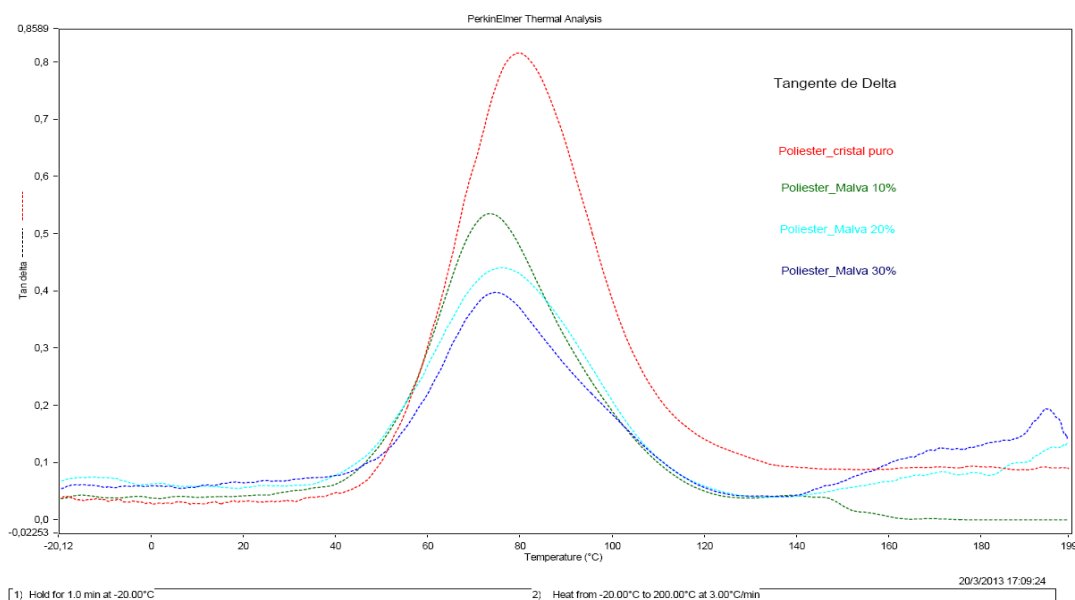


Figura 57 – Curvas da tangente  $\delta$  em função da temperatura para o poliéster puro e compósitos reforçados com diferentes frações de fibras de malva.

Como observação final, vale mencionar que as fibras de malva incorporadas à matriz poliéster não formam boa ligação interfacial fibra/matriz devido à incompatibilidade natural de uma fibra lignocelulósica hidrofílica com um polímero hidrofóbico.

Entretanto, solicitações dinâmico-mecânicas, diferente das solicitações quase-estáticas, permitem uma interação mais efetiva entre as fibras de malva e as cadeias da resina poliéster.

Com isto, tem-se um retardo no amolecimento térmico do compósito e na sua temperatura de transição vítrea, bem como menor amortecimento estrutural.

#### 4.13. Ensaio de tração em matriz de epóxi

A figura 58 apresenta corpos de prova rompidos, após o ensaio de tração da matriz epóxi, reforçados com fibras de malva com 0, 10%, 20% e 30% em volume.

Nota-se que à medida que aumenta a quantidade de fibra incorporada a ruptura tende a se tornar mais heterogênea, inclusive com a fratura ocorrendo próxima à cabeça do corpo de prova, como no caso do compósito com 30% de fibra.

Esta heterogeneidade é característica de compósitos com fibras lignocelulósicas e responsável pela elevada imprecisão, ou seja, desvio padrão, na média estatística dos resultados.

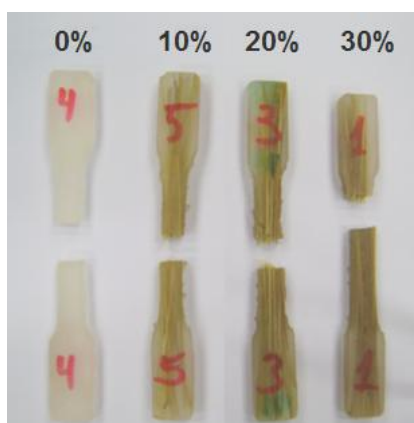


Figura 58 – Corpos de prova com matriz epoxídica reforçados com 0%, 10, 20 e 30% em volume de fibra de malva, ensaiado em tração.

Com relação aos resultados gerados pela máquina Instron após o ensaio de tração obteve-se as propriedades mecânicas dos compósitos malva/epóxi.

A tabela 23 apresenta a tensão máxima em MPa, o Módulo de Elasticidade em GPa e a deformação média em porcentagem, com seus respectivos desvios padrões.

Tabela 23 – Propriedades dos compósitos epoxídicos reforçados com fibras de malva.

<b><i>Volume de Fibra de malva (%)</i></b>	<b><i>Tensão Máxima (MPa)</i></b>	<b><i>Módulo de Elasticidade (GPa)</i></b>	<b><i>Deformação Média (%)</i></b>
0	13,6 ± 3,8	6,8 ± 2,7	0,07 ± 0,01
10	32,4 ± 5,1	9,3 ± 3,4	0,04 ± 0,00
20	46,0 ± 11,2	13,1 ± 3,1	0,05 ± 0,01
30	56,2 ± 9,8	15,8 ± 3,2	0,05 ± 0,01

A partir dos dados da Tabela 23, construiu-se a curva de variação da resistência à tração de compósitos epoxídicos em função do volume relativo de fibras de malva como mostrada na figura 58.

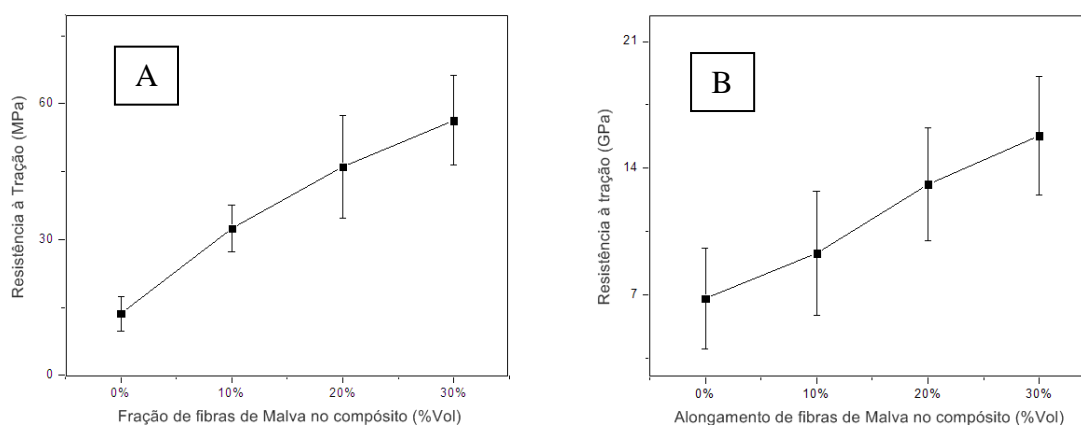


Figura 59 – Variação de resistência à tração de compósitos epoxídicos com fração em volume de fibras de malva incorporadas (A) tensão média e (B) Módulo de Elasticidade.

A figura 60 mostra as micrografias por MEV da superfície do corpo de prova fraturado, matriz epóxi com 0% em volume de fibras de malva, para diferentes aumentos.

Nesta figura, observa-se as marcas resultantes da propagação de trincas através da frágil resina epóxi, figura 60(A). Com maior aumento, figura 60(B), observam-se detalhes das marcas de rio (*riverpatterns*) bem como a lisa superfície frágil rompida em tração.

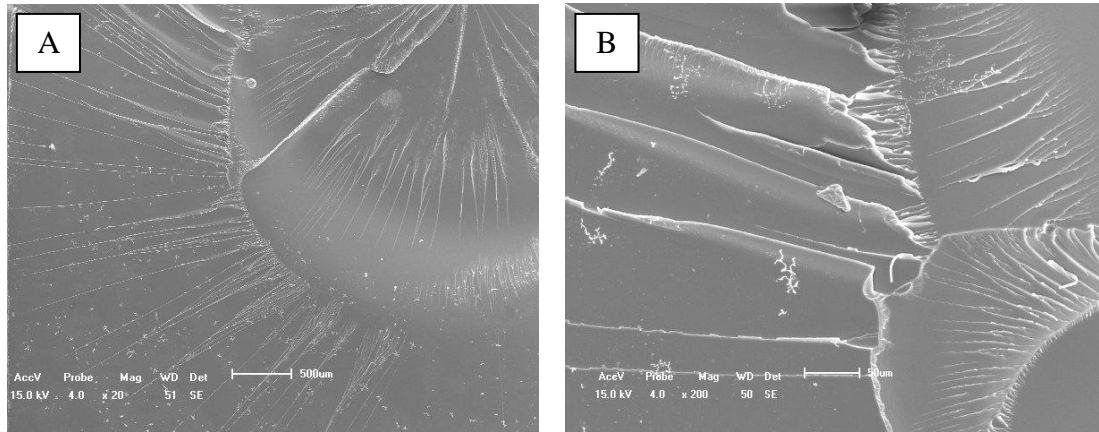


Figura 60 – Micrografias por MEV de epóxi puro: (A) 20x e (B) 200x.

A figura 61 apresenta as micrografias por MEV da superfície dos corpos de provas fraturados, com matriz epóxi com 30% em volume de fibras de malva, para aumentos distintos.

Na figura com menor aumento figura, 61(A), notam-se algumas fibras descoladas da matriz, o que sugere uma baixa tensão cisalhante interfacial, também há evidências de trinca nucleada na interface entre a fibra de malva e a matriz de epóxi.

Com maior aumento, figura 61(B), observa-se uma fibra de malva bem aderida à matriz epóxi.

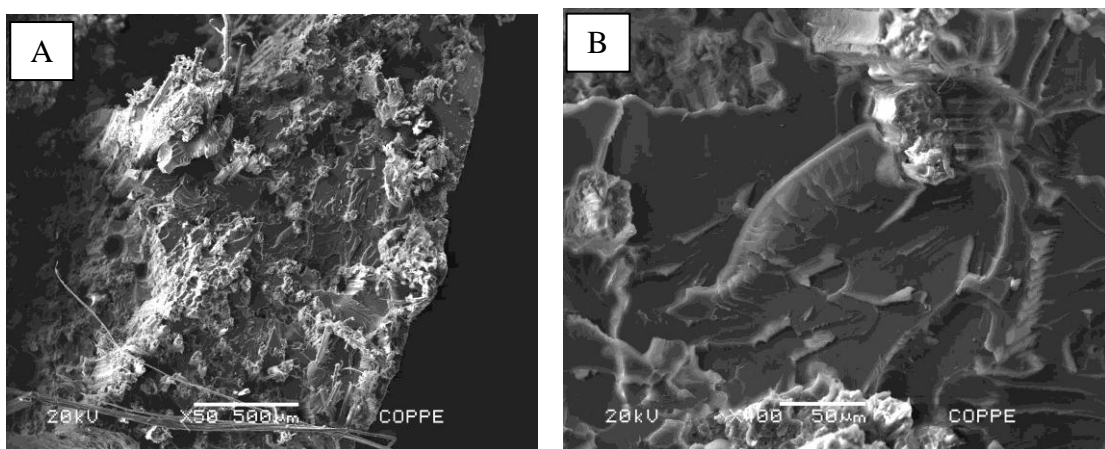


Figura 61 – Micrografias por MEV de epóxi com 30% de volume de fibras de malva: (A) 50x e (B) 400x.

Nota-se que a propagação da trinca é bloqueada pela fibra, abrindo um espaço entre a fibra e a matriz. Mesmo após a fratura da matriz epóxi, as fibras continuam resistindo ao esforço de tração, acarretando valores maiores de resistência ao compósito do que com a matriz pura.

#### 4.14. Ensaio de tração em matriz de poliéster

A figura 62 mostra o aspecto dos corpos de prova após ruptura do poliéster puro e compósitos com 10, 20 e 30% de fibra de malva.

Nesta figura fica evidente uma região onde ocorreu uma ruptura não uniforme que cresce à medida em que aumenta o volume de fibra no compósito.

Este comportamento pode ser explicado pela dificuldade de propagação de trincas na interface fibra/matriz. Este mecanismo é também observado para compósitos epoxídicos.



Figura 62 – Corpos de prova com matriz de poliéster reforçados com 0, 10, 20 e 30% em volume de fibras de malva, ensaiado em tração.

Com relação aos resultados gerados pela máquina Instron após o ensaio de tração obteve-se as propriedades mecânicas dos compósitos malva/poliéster.

A tabela 24 apresenta a tensão máxima em MPa, o Módulo de Elasticidade em GPa e a deformação média em porcentagem, com seus respectivos desvios padrões.

Tabela 24 –Propriedades dos compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de malva.

<b>Volume de Fibra de Malva (%)</b>	<b>Tensão Máxima (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	<b>Deformação Média (%)</b>
0	16,1 ± 1,8	7,8 ± 2,6	0,11 ± 0,01
10	33,7 ± 9,1	10,7 ± 2,1	0,04 ± 0,02
20	49,4 ± 7,8	13,9 ± 2,8	0,09 ± 0,03
30	60,7 ± 1,7	16,4 ± 4,8	0,06 ± 0,03

Com base na figura 63 pode-se observar que à medida que cresce a proporção de fibra de malva no compósito, sua resistência à tração e rigidez aumentam no compósito.

Compósitos em matriz poliéster com 30% de fibra de malva atingiram valores de resistência a tração acima de 60 MPa e Módulo de Elasticidade acima de 16GPa. Isso indica que a fibra de malva atua como um reforço efetivo para compósitos de poliéster.

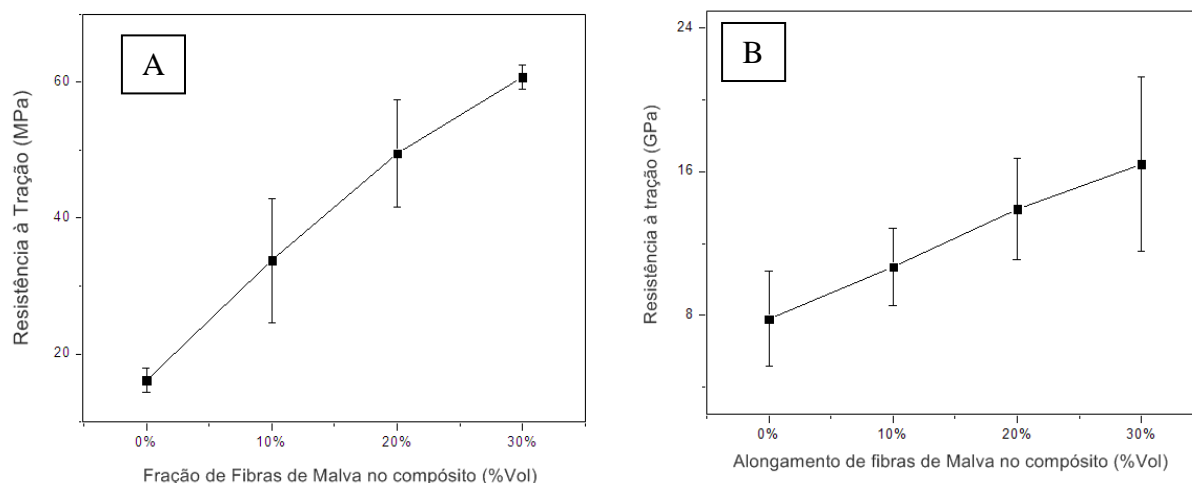


Figura 63 – Variação de resistência à tração de compósitos de matriz poliéster com fração em volume de fibras de malva incorporadas com: 0, 10, 20 e 30% em volume.

A figura 64 mostra, por MEV, a superfície de fratura típica de uma ruptura transversal para corpo de prova de resina pura, 0% de fibra de malva. Com menor aumento figura 64(A) podemos ver uma ruptura clássica de única trinca percorrendo a matriz,

A figura 64(B) com maior ampliação, deixa clara as imperfeições da estrutura, provavelmente criadas durante o processo ruptura pela propagação das trincas através da matriz de poliéster puro.

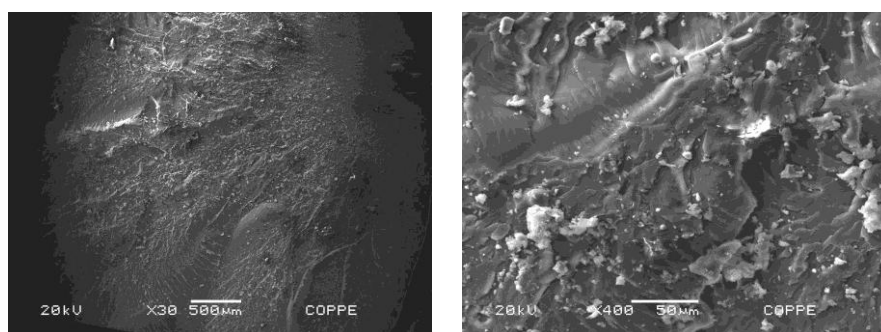


Figura 64 – Micrografias por MEV de poliéster puro: (A)20x e (B)400x.

A figura 65 apresenta as micrografias por MEV da superfície dos compósitos fraturados, com matriz poliéster com 30% em volume de fibras de malva, para aumentos distintos:

Na figura 65(A) com menor aumento, notam-se algumas fibras descoladas da matriz, o que sugere uma baixa tensão cisalhante interfacial e evidências de trinca nucleada na interface entre a fibra de malva e a matriz poliéster.

Com maior aumento, figura 65(B), observa-se uma fibra de malva bem aderida à matriz poliéster.

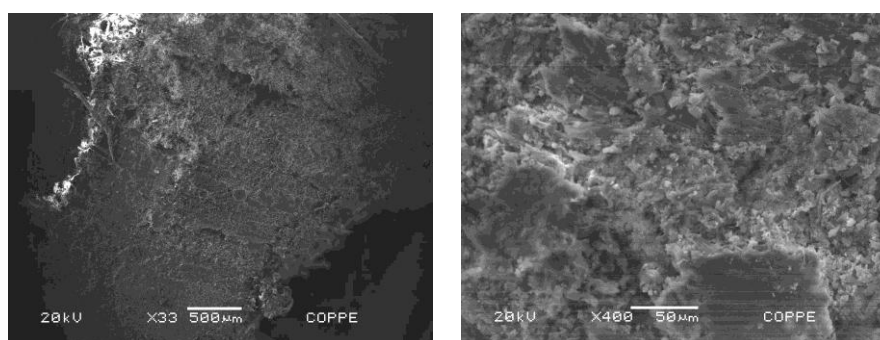


Figura 65 – Micrografias por MEV de poliéster com 30% de volume de fibras de malva: (A) 33x e (B) 400x.



#### 4.15. Ensaio de Infravermelho FTIR

A tabela 25 apresenta as bandas de adsorção de FTIR obtidas a partir das fibras de malva.

Tabela 25 - Bandas de adsorção de FTIR

Posição (cm <sup>-1</sup> )	Banda original
3450-3400	ligação O-H
3050-2840	Ligação C-H (alifático + aromático)
1740-1710	Ligação C=O (acetona, ester ou grupos carboxilicos)
1675-1660	Ligação C=O em grupos aromaticos
1605-1600	Vibração de anéis aromaticos
1515-1505	Vibração de anéis aromaticos
1470-1460	Deformação de grupos C-H
1430-1425	Vibração de anéis aromaticos
1370-1365	Deformação de grupos C-H
1172	Ligação C-O de grupos ester e lignina
1085-1030	Deformação de C-H, C-O

Fonte: (MARGEM et al., 2012)

A figura 66 mostra o espectro de infravermelho das fibras de malva mostra as bandas de absorção dos grupos característicos de seus constituintes: lignina, hemicelulose e celulose.

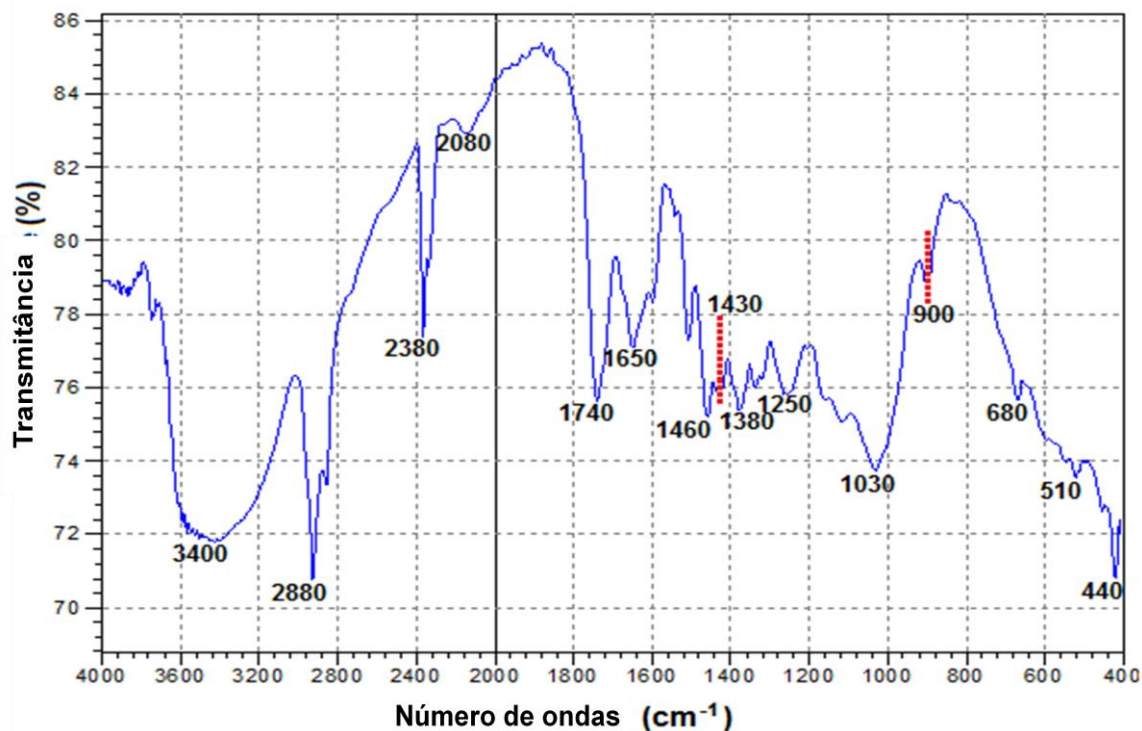


Figura 66 – Espectro de infravermelho das fibras de malva FTIR

A banda larga observada a  $3400\text{ cm}^{-1}$  nas fibras de malva do presente trabalho é comum a todos os materiais lignocelulósicos (MARGEM et al., 2012), sendo que os resultados obtidos com a fibra de malva foram sensivelmente menos intensas. Assim, sugere-se que o grupo hidroxila na fibra malva é menos ativo, indicando uma maior dificuldade na evaporação de água ou a interação com os compostos químicos como o anidrido acético. Em fibras de coco, as mesma banda grupo funcional de  $3400\text{ cm}^{-1}$  em espectro de infravermelho, apresentaram compostos de alcenos e grupos aromáticos, além de diferentes grupos funcionais contendo oxigênio, como ésteres, cetonas e álcool (SATYANARAYANA et al., 2010).

A banda observada em  $2380\text{ cm}^{-1}$ , foi verificada como a mais nítida e intensa no espectro de infravermelho, durante o ensaio com a fibra malva, e não está associada a qualquer grupo funcional possível de fibra lignocelulósicas, isto precisa ser melhor investigado. Essa mesma banda de FTIR não foi observada em fibras de coco (SATYANARAYANA et al., 2010), fibras de juta (RAY et al., 2001), fibras de abaca (SHIBATA et al., 2003), fibras de curauá (TOMCZAK et al., 2007).

As bandas observadas a  $1740$  e  $1650\text{ cm}^{-1}$  são atribuídas, ao alongamento C=O. Este grupo funcional existe em muitos componentes, tal como o grupo carbonilo alfa-ceto na celulose (IBRAHIM et al., 2010) e é normalmente encontrado em espectros FTIR de fibras lignocelulósicas (IBRAHIM et al., 2010; TOMCZAK et al., 2007).

A banda larga em  $1030\text{ cm}^{-1}$  é também comum a qualquer fibra lignocelulósica (IBRAHIM et al., 2010; TOMCZAK et al., 2007) e pode ser associado com CH e deformações CO. Estes grupos funcionais ocorrem naturalmente nas fibras componentes e, por conseguinte, espera-se que existem nas fibras malva.

As faixas extremas de  $900\text{-}440\text{ cm}^{-1}$ , também reportados em outras fibras lignocelulósicas (IBRAHIM et al., 2010; TOMCZAK et al., 2007), pode ser atribuído à atividade específica de grupos funcionais.

Os resultados verificados na banda de  $680\text{ cm}^{-1}$  dos ensaios de infravermelho da fibra de malva demonstraram vibração de flexão intermolecular H- ligado e grupos OH semelhantemente ao observado em fibras de juta (RAY et al., 2001).

A banda de  $510\text{ cm}^{-1}$ , demonstrou-se relativamente mais curta, o que pode ser devido a vibração de torção de anel de piranose como observado pelo autor no trabalho com fibras de juta (RAY et al., 2001).

O índice de cristalinidade (IC) verificado na fibra malva, calculado pelo FTIR foi de 113%. Esse valor pode ser considerado irreal, uma vez que, os limites de IC na literatura para fibras lignocelulósicas estão compreendidos na faixa entre 50 e 80% (RAY et al., 2001).

## CAPÍTULO 5

### 5.1. CONCLUSÕES:

- Com as propriedades testadas nas fibras de malva sem tratamento específico, verificou-se um diâmetro médio de 0,065 mm, comprimento médio de 180,0 mm e pode-se concluir que estas fibras são longas e finas.
- O comprimento crítico encontrado pelos testes de pullout foi de  $\ell_c = 2,6$  mm, o que é semelhante ao de outras fibras naturais como o rami, a piaçava e o sisal.
- A resistência à flexão se mostrou em crescimento linear com as incorporações testadas em ambos os compósitos, sendo a resistência nos compósitos de poliéster superior ao do epóxi.
- Nos compósitos de 10, 20 e 30%, o processo de ruptura inicia e se propaga de forma transversal (perpendicular ao alinhamento da fibra), através de matriz de epóxi, resultando em uma melhoria efetiva da resistência à flexão devido aos obstáculos das fibras na propagação de trincas.
- A tenacidade ao entalhe apresentou aumento linear entre as incorporações testadas com fibras de malva, em ambas as matrizes, sendo os maiores níveis de energia observados na resina poliéster.
- Ambos compósitos, apresentaram para a fração de 30%, fratura incompleta dos corpos de prova, e os valores encontrados apresentaram-se próximos aos do rami que possui os mais altos níveis de tenacidade já registrados em fibras lignocelulósicas, e parte deste aumento de tenacidade é devido à própria flexibilidade da fibra, e à baixa tensão interfacial fibra/matriz.
- Essa elevada energia absorvida no impacto em ambas as matrizes com 30%, ocorreu em decorrência da propagação de trincas na interface fibra/matriz, gerando maior área de ruptura em relação a uma fratura transversal que ocorra na matriz rompendo as fibras.
- A introdução das fibras de malva eleva o nível de rigidez viscoelástica e tende a deslocar as curvas do módulo de armazenamento  $E'$ , para temperaturas mais altas, em ambos os compósitos, o que acarreta um retardo no início do amolecimento térmico do compósito.

- O pico  $\alpha$  do módulo de perda  $E''$ , é também deslocado para temperaturas mais altas, em ambas as matrizes, com uma menor mobilidade nas cadeias dos compósitos de poliéster em relação aos compósitos de epóxi.
- A incorporação de fibras de malva em compósitos de matriz de poliéster, promoveu alterações nos máximos das curvas da  $\tan \delta$ , que sofreram redução em sua amplitude e também deslocamento para mais altas temperaturas.
- Os ensaios de infravermelho FTIR das fibras de malva, mostrou as mesmas bandas encontradas usualmente em qualquer fibra lignocelulósica.
- Comparada com outras fibras lignocelulósicas, a banda comum  $3400 \text{ cm}^{-1}$ , atribuída para à ligação O-H, é relativamente menos intensa. Isto indica que a hidroxila na fibra de malva é menos ativa.
- A banda fina e intensa a  $2380 \text{ cm}^{-1}$  não é apresentada para outras fibras lignocelulósicas e não está associada com outro possível grupo funcional, isto precisa ser melhor investigado mais tarde.
- A resistência à tensão de interface calculada para o conjunto fibra de malva matriz de poliéster foi de  $\tau_i = 3.10 \pm 1.17 \text{ MPa}$  o que é relativamente mais forte quando comparada a valores obtidos por outros tipos de fibras naturais.

## 5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

Nesta tese de doutoramento foi dada prioridade a ensaios mecânicos da fibra e do compósito de malva. As fibras irradiadas foram deixadas como uma das recomendações para trabalhos de pesquisa futuras:

Tendo em vista os resultados obtidos neste trabalho, sugere-se que seja analisada a associação da fibra de malva e outras fibras lignocelulósicas como reforço em materiais compósitos híbridos em matriz polimérica.

Sugere-se que sejam realizados ensaios de caracterização mecânica associando as fibras, principalmente ensaios de tração, visando correlacionar as propriedades mecânicas das fibras e seus efeitos de reforço nos compósitos. Variações nas frações volumétricas ou mássicas das fibras podem colaborar para determinar as condições que gerem maior sinergia entre as diferentes fibras.

Uma outra consideração deve ser apreciada com maior aprofundamento, no que se refere ao pico mais intenso observado à  $2380\text{ cm}^{-1}$  das fibras de malva, através do espectro de infravermelho utilizando a transformada de fourrier (FTIR), das bandas de absorção dos grupos característicos de constituintes: lignina, hemicelulose e celulose.

Como sugestão final proposta, seria a realização de pesquisas que gerassem resultados visando a determinação do ângulo de microfibrila das fibras de malva, aspectos importantes no estudo das propriedades mecânicas das fibras naturais.

### **5.3. ARTIGOS SUBMETIDOS À PUBLICAÇÃO:**

#### TMS 2013:

- Flexural mechanical characterization of polyester composites reinforced with continuous banana fibers
- Flexural mechanical characterization of epoxy composites reinforced with continuous banana fibers
- Tensile strength of epoxy matrix composites reinforced with giant bamboo fibers (*Dendrocalmus giganteus*)
- Evaluation of sisal fibers components by infrared spectroscopy

#### ABM 2013 :

- Characterization of malva fibers thermal behavior by tga/dtg and dsc
- Dynamic-mechanical behavior of malva fiber reinforced epoxy matrix composites
- Tensile strength of epoxy matrix composites reinforced with giant bamboo fibers (*dendrocalmus giganteus*)
- Flexural mechanical characterization of epoxy composites reinforced with continuous banana fibers

#### CBECIMAT 2012:

- Infra-red spectruscopy analysis of malva fibers

- Dynamic-mechanical behavior of malva fiber reinforced polyester matrix composites
- Testing izod impact with matrix epoxy reinforced by continuous buriti fibers
- Thermal properties of buriti fiber using tga, dsc analysis in epoxy matrix composites

ABM 2012 :

- Elastic modulus analysis of the malva fibers with different diameters
- Weibull density analysis of malva fibers with different diameters

## CAPÍTULO 6 - Referências

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGOPYAN, V., SAVASTANO, JR., H., JOHN, V., M., & CINCOTTO, M. A. (2005). Developments on vegetables fibre-cement based materials in São Paulo , Brazil: An overview. *Cement and Concrete Composites*, 27, 527- 536.

AHMED, K. S., & VIJAYARANGAN, S. (2007). Experimental characterization of women jute-fabric-reinforced isothalic polyester composites. *Journal of applied polymer Science*, 104, 2650 – 2662.

American Society for Testing and Materials. (2003) – ASTM D 3878-95

ANGELINI, L. G.; LAZZERI, A.; LEVITA, G.; FONTANELLI, D.; BOZZI, C. Ramie (*Boehmeria nivea (L.) Gaud.*) and Spanish Broom (*Spartium junceum L.*) fibers for composite materials: agronomical aspects, morphology and mechanical properties, *Industrial Crops and Products*, v.11(2-3), p.145-161, 2000.

AQUINO, R.C.M.P.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. *Evaluation of the critical fiber length of piassava (Attalea funifera) fibers using the pullout test*, *Journal of Materials Science Letters*, v. 22, p. 1495-1497, 2003.

AQUINO, RCMP; *Desenvolvimento de compósitos de Fibras de Piaçava da espécie Attalea Funifera e Matriz de Resina.*, Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) Rio de Janeiro, UENF, Universidade Estadual do Norte Fluminense, (2004). P-13.

AQUINO, R.C.M.P; FERREIRA, A.S.; MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D. Comportamento mecânico do compósito curauá/resina poliéster. In: 17 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - CBECIMAT,



2006, Foz do Iguaçu. Anais do 17 CBECIMAT. São Paulo: IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2006. v. 1. p. 10.

AQUINO, R. C. M. P.; ALMEIDA, J. R. M; MONTEIRO, S.N. *Análise do Compósito de Piaçava/Resina poliéster, como substituto da Madeira*. In: 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 24-27 de julho de 2005, Belo Horizonte, MG, Brasil.

ARGAWAL, B.D. and BROUTMAN, L. J; *Analysis and Performace of Fiber Composites*. Jonh Wiley & Sons Journal, New York, 1980.

ASHBY, M.F., JONES, D.R.H. Engenharia de materiais: uma introdução a propriedades, aplicações e projetos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.371 p.

ASKELAND, D. R; *The Science and Engineering of Materials*, Cap 3 – Resins, 3<sup>rd</sup> edition, Publishing Company ETL, 1985.

AZZINI, A., SALGADO, A.L.B., BENATTI JUNIOR, R., COSTA, A.A. Caracterização tecnológica de espécies liberianas para o estabelecimento de métodos de análise quantitativa de fibras. *Bragantia*, Campinas. 52(1):27 – 32. 1993.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. *Composites Reinforced with Cellulose-Based Fibers*. *Prog. Polym. Sci*, v. 24, p. 221-274, 1999.

BLEDZKI, A.K.; FARUK, O. ; SAIN, M. *Biocomposites Reinforced with Natural Fibers*. *Prog. Polym. Sci*, v. 37, p. 1552-1596, 2012.

BNDES - *Principais matérias-primas utilizadas na indústria têxtil*, Informe Setorial (1993) – Banco de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, site oficial - [www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br).

BNDES - *Produção e consumo de algodão e as indústrias de fiações de algodão e linho no Paraná*, Informe Setorial (1998) - Banco de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES, site oficial - [www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br).

BOYNARD, C.A.; MONTEIRO, S.N.; D'ALMEIDA, J.R.M. Aspects of Alkali Treatment of Sponge Gourd (*Luffa cylindrica*) Fibers on the Flexural Properties of Polyester Matrix Composites. *J. Appl. Polym. Sci.* v. 87 p.1927-1932, 2003.

CALLISTER W. D. Jr - *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução* – Rio de Janeiro, RJ - LTC, Livros Técnicos e Científicos, 2000.

CANEVAROLO, S.V; Análise dinâmico-mecânica para sistemas poliméricos, *Revista da ABPol*, 1991, Boletim 6 Abpol, São Paulo, SP, Brasil.

CANTWELL, W. J. e MORTON, J., *The Impact Resistance of Composites Materials* – Review – *Composites*; Vol 22, n.5; 1997.

CARVALHO , I. H; *International Lignocellulosics-Plastics Composites*, *Department of Mechanical Engineering*, Polymers and Composites Group-POLYCOM, Catholic University of Peru, Av. Universitária Cdra. 18. s/n, Lima 32, Peru, 1996, P. 197-222.

CASSU, S. N.; FELISBERTI, M. I; *Comportamento Dinâmico – Mecânico e Relaxações em Polímeros e Blendas Poliméricas*, Universidade Campinas, São Paulo, 2005.

CASTRO, G.A.P; *A fineza e comprimento de fibra de dez variedades de rami*, UNICAMP, campus Bragantina, Campinas, SP, 1976.

CHAWLA, K. K, *Composite Materials; Science and Engineering*, Springer-Valley, New York, Amber Editor, (1987), 391p.

CHRETIEN, G.(1986), *Matériaux Composites à Matrice Organique*, Technique et Documentation, Paris, 1986.

CIARAMELLO, D; MEDINA, J.C; SALGADO, A.L.B; *Comprimento e diâmetro dos caules de rami e as características da fibra*, Unicamp, campus Bragantina, Campinas, 1963.

COUTTS, R. S. P. (2005). A review of Australian reserarch into natural fibre cement composites. *Cement and concrete composite*, 27, 518-526.

DA COSTA, D. S.; PERES, M. N. P. B.; BARREIRA, R. M.; SILVA, R. L. B. SILVA, V. L. D.; SÁ, F. A.; SOUZA, J. A. S.. *Compósitos reforçados com fibras de sisal e malva: análise da tensão x comprimento de fibras. congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, de 04 a 08 de novembro de 2012.*

DE MEDEIROS, E. S. , AGNELLI, J. A. M., DE CARVALHO, L. H. , & MATTOSO, L. H. C. (2004). Mechanical properties of phenolic composites reinforced with jute-cotton hybrid fabrics. *Plymer Composites*, 26, 1-11.

EL BANNA, W.R., DOS SANTOS, I.P., FUJIYAMA, R.T. *Estudo das propriedades mecânicas e microestruturais dos compósitos de matrizes polimérica reforçados com fibras naturais. cbcimat. congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, de 04 a 08 de novembro de 2012.*

FAGURY, R. V. G.. *Avaliação de Fibras Naturais para a Fabricação de Compósitos: Açaí, Coco e Juta*, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

FARUK, O. ; BLEDZKI, A. H. ; FINK, H. P. ; SAIN, M. ; *Biocomposites reinforced with natural fibers*, *Progres in Polymer Science* 37 (2012) 1552-1596, Centre for Biocomposites and Biomaterials Processing, University of Toronto , 33 Willcocks ON M5S3B3, Canada.

FIGUEIREDO, J.O.G. ET AL, *Comportamento mecânico e caracterização morfológica de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco*, 18<sup>o</sup>cbecimat, 2008.

FREIRE, E; *Caracterização e Análise Estrutural de Polipropileno Reforçados com fibra de vidro Através do Método de Elementos Finitos*. Tese (Mestrado em Ciência e tecnologia de Polímeros), Rio de Janeiro – Rj, Instituto de Macromoléculas da Universidade Federal do Rio de Janeiro – IMA/UFRJ, 1-27P, 1992.

FU, S.Y.; LAUKE, B.; MÄDER, E.; Hu, X.; YUE C.Y; *Fracture resistance of short-glass-fiber-reinforced and short-carbon-fiber-reinforced poly-propylene under charpy impact load and its dependence on processing*. J. Mater. Process. Technol., v. 89/90, p. 501-507, 1999.

GEORGE, J. SREEKALA, M.S. THOMAS, S. *A review on interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastic composites*. *Polymer engineering and science*. V.41, n.9, p.1471-1485, 2001.

GORE, A; *An Inconvenient Truth, Uma Verdade Inconveniente*, Documentário e Livro, Editora Manole, New York, 2008, 328p.

HOLBERY, J. ; HOUSTON, D. (2006). Natural fiber Reinforced Polymer Composites in Automotive Applications. JOM Journal of the Minerals Society.11, v 58, p. 80 – 86.

HOMMA, A.K.O., FERREIRA, A.S. *Aspectos botânicos e agrônômicos da cultura da juta eiu da malva*. in: witkoski, a.c.et al. (orgs.). *acultura da juta e malva na amazônia: sementes de uma nova racionalidade ambiental? são paulo,sp annablume, p.217-236, 2010*.

IBRAHIM, M.M.; DUSFRENE, A.; EL-ZAWAWY, W.K.; AGBLEVOR, F.A. Banana fibers and microfibrile lignocellulosic reinforcement in polymer composites carbohydrate polym. 2010; 81: 811-819.

ISHIKAWA, A.; OKANO, T.; SUGIYAMA, S.; *Fine structure and tensile properties of ramie fibres in the crystalline form of cellulose; I, II, III, and IV.* Polymer, v. 38(2), p.463-468, 1997.

JAYARAMAN, K., Composites.Sci. Technol.(2003), 63, 367.

JOSEPH, K. et al; *Influence of Interfacial Adhesion on the Mechanical Properties and Fracture Behaviour os Short Sisal Fibre Reinforced Polymer Composites.* Eur. Polym. J. , v.32, n.10, 1981, p. 1243-1250.

KHAN, M.A.; IDRIS ALI, K.M.; BASM, S.C. IR studies of wood plastic composites J. Appl Polym Sci. 1993; 49:1547-1551.

KELLY, A., TYSON, W.R., *High Strength Materials*, Nova York, Wiley, 1965

KISHI, H; & FUJITA, A; *Wood-based epoxy resins and the ramie fiberreinforced composites*, Graduate School of Engineering, University of Hyogo, 2167, Shosha, Himeji, Hyogo 671-2201, published in the University Journal Japan, 2008.

KLOSS, J. et al. Relationships between mechanical properties and structural parameters of polyurethanes containing. Polímero: Ciência e Tecnologia, 15, Nº1. p. 1-4, 2005.

LACH, D (1998) Developments and Applications of Continuous fibre Reinforced Thermoplastics, New York: Van Nostrand Reinhold Co, 576-588p.

LAVENGOOD, R; SILVER, F. M. *Engineering Materials Handbook Engineering Plastic: Interpreting Supplier Data Sheets.* Metals Park: ASM International; v.2 638-345p, 1988.

LEÃO, A. L, F.X., FROLLINI, E, *Lignocellulose-Plastics Composites, plastic composite*. Periódico, USP & UNESP, p 118 - 132, 1997.

LEÃO, A.L.; ROWELL, R.; TAVARES, N; Application of natural fibers in automotive industry in Brazil. Science and Technology of Polymers and Advanced Materials. Nova York: Plenum Press, 1998, p. 755-761.

LEE, G. Y., DHARAM, C. K. H., RITCIE, R. O. – A physically Abrasive wear model for composite material 2002, Journal of Composite Materials, v 252, p. 322-331.

MACHADO, M.A.L., BIAGIOTTI, J.; KENNY, J.M. *Comparative study of the effects of different fibres on the processing and properties of ternary composites based on PP-EPDM blends*. Poly. Compos. v. 23, p. 779-789, 2002.

MALLICK, P. K; *Fiber Reinforced Composites* – Livro: Materials Manufacturing and Desing, 2a edition, Ed Athenas, 1993, 112p.

MARCON, M. V. et al. Pectins from Apple Pomace. Plímeros: Ciência e Tecnologia, 15 n. 2, p. 127-129, 2005.

MARGEM, J.I.; MARGEM, F.M.; SIMONASSI, N.T.; LOYOLA, R.L.; MONTEIRO., S. N. Infra-red spectruscopy analysis of malva fibers. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências de Materiais. CBECIMAT 2012. Joenvile. SC. 2012.

MARTINS NETO, S.F. *Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades mecânicas*. 2011. (Dissertação em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém. 2011.

MATTOSO, L.H.C; PEREIRA, N; De SOUZA, M.L; AGNELLI, J.A.M; A utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos, Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Publicação Anual, 4p 1996.

MEDINA, J. C; *Plantas Fibrosas da Flora Mundial*, Instituto Agronômico de Campinas, SP, 1970, Brasil.

MEDINA J.C, *Comprimento e diâmetro dos caules de rami e as características da fibra*, Periódico, Bragantina, Campinas, 2005, p 68 – 84, 2005.

MENEZES, G. W., MONTEIRO, S. N.; NOGUEIRA NETO, H. S; *Modificações das Propriedades Mecânicas de um sistema Epóxi através da Variação endurecedor/resina*. Campos dos Goytacazes - RJ: Anais do 7o Encontro de Iniciação Científica, 2002 (Resumos publicados em anais de congressos).

MOHAN, D. ; PITMAN, C. U. ; STEELE, P. H. ; (2006), *Energy Fuels*, 20, 848.

MOHANTY, S. ; VERMA, S. K. ; NAYAK, S. K. ; Dynamic mechanical and thermal properties of MAPE treated jute/HDPE composites. *Compos. Sci. Technol.* v. 66, p. 538-547, 2006.,

MOHANTY, S. ; MISRA, M. ; DRZAL, L. T. ; Sustainable (2002), *Biocomposites from Renewable Resources: Opportunities and challenges in the Green Materials World*. *J. Polym. Environ.* V.10. 19-26.

MONTEIRO, S. N. ; LIMA, A. C. ; TERRONES, L.A.H. ; MARQUES, L S . *Toughness characterization of recycled polyethylene composites reinforced with post-used jute fabric*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 119-126.

MONTEIRO, S. N. ; NASCIMENTO, D.C.O. ; MOTTA, L.C. ; *Characterization of the toughness of piassava fiber reinforced epoxy matrix by izod impact test*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS

Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 127-133.

MONTEIRO, S. N. ; FERREIRA, A.S. ; LOPES, F.P.D. ; *Pullout tests of curaua fibers in epoxy matrix for evaluation of interfacial strength*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 135-141.

MONTEIRO, S. N. ; SANTAFÉ Jr, H.P. ; Da COSTA, L.L. ; *Mechanical behavior of polyester composites reinforced with alkali treated coir fibers*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 227-233.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM, F.M. ; Dos SANTOS , L. F. L. ; *Characterization of the mechanical behavior of epoxy matrix composites reinforced with ramie fibers*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 235-240.

MONTEIRO, S. N. ; LOPES, F. P. D. ; Da COSTA, L.L. ; Dos SANTOS , L F L . *Characterization of the critical length of sisal fibers for polyester composite reinforcement*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 255-262.



MONTEIRO, S. N. ; FERREIRA, A.S. ; LOPES, F. P. D. ; *Izod impact energy of polyester matrix composites reinforced with aligned curaua fibers*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 287-294.

MONTEIRO, S. N. ; LOPES, F. P. D; MOTTA L. D. ; MARQUES, L. S. ; PORTELA, T.G.R. ; *Statistical analysis to characterize the uniformity of mechanical properties of buriti fibers*. In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009, 2009, San Francisco (CA) USA. Proceedings of the EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials - TMS Conference 2009. Warrendale (PA) USA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2009. v. 1. p. 295-300.

MONTEIRO, S. N. ; LIMA, A. C. ; SOUZA, D. ; SANCHÉZ, R. J. ; MARQUES, L. S. ; *Análise dinâmico-mecânica em compósitos de matriz de polietileno reforçados com tecido de juta*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo, SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-9.

MONTEIRO, S. N. ; PORTELA, T.G.R. ; LOPES, F. P. D. ; LOIOLA, R. L. ; CARVALHO, E. A. ; *Avaliação da influência do diâmetro na resistência à tração das fibras de buriti pelo método de weibull*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo, SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-10.

MONTEIRO, S. N. ; NASCIMENTO, D.C.O. ; SOARES, B G. ; SANCHÉZ, R. ; *Comportamento dinâmico medido por ensaios de DMA de compósitos de fibras de piaçava*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte. Anais do 64

Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-10.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM, F. M. ; SANCHÉZ, R.J. ; SOUZA, D. ; *Comportamento dinâmico-mecânico de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibra de rami*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte. Anais do. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-8.

MONTEIRO, S. N. ; Da COSTA, L.L. ; SANTAFÉ Jr, H.P. ; *Compósitos de fibras de coco em matriz epoxídica ensaiadas por impacto izod*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-8.

MONTEIRO, S. N. , INÁCIO, I P. ; LOPES, F. P. D. ; *Compósitos de resina poliéster incorporada com fibra de sisal propriedades mecânicas e características de fratura*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-9.

MONTEIRO, S. N. ; NASCIMENTO, D.C.O. ; AQUINO, R. C. M. P. ; *Determinação da resistência interfacial através de ensaios de pullout de fibras de piaçava embutidas em resina poliéster*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. v. 1. p. 1-11.

MONTEIRO, S. N. ; SANTAFÉ Jr, H.P. ; Da COSTA, L.L. ; *Distribuição weibull como instrumento de análise estatística de ensaio de tração em fibras de coco*. In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-10.

MONTEIRO, S. N. ; LOPES, F. P. D. ; MENEZES, G. W. ; *Influência da cinética de cura nas propriedades mecânicas da epóxi dgeba-teta para diferentes phr.* In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. v. 1. p. 1-9.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F. M. ; Dos SANTOS, L. F. L. ; *Tenacidade ao impacto charpy de compósitos epoxídicos reforçados com fibras de rami.* In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-9.

MONTEIRO, S. N. , FERREIRA, A.S. ; LOPES, F. P. D. ; *Efeito do tratamento das fibras de curauá nas propriedades mecânicas de compósitos com matriz epoxídica.* In: 64 Congresso Anual da ABM, 2009, Belo Horizonte - MG. Anais do 64 Congresso Anual da ABM. São Paulo - SP : Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2009. v. 1. p. 1-9.

MONTEIRO, S. N. ; SATYANARAYANA, K.G. ; LOPES, F. P. D. ; *High Strength Natural Fibers for Improved Polymer Matrix Composites.* In: International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS - THERMEC 2009, 2009, Berlin - Alemanha. Proceedings of THERMEC 2009. New South Wales, Australia - : University of Wollongong, 2009. v. 1. p. 1-6.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F. M. ; *Mechanical characterization of ramie fiber reinforced polyester composites.* In: TMS 2008 - 137th Annual Meeting & Exhibition, 2008, New Orleans, LA - EUA. Proceedings of the TMS 2008: Materials Characterization, Computation and Modeling. Warrendale, PA - EUA : TMS - The Minerals, Metals & Materials Society, 2008. v. 2. p. 33-39.

MONTEIRO, S. N. ; SANCHÉZ, R. J. ; SANTAFÉ H.P.G. ; *Dynamic thermo-mechanical characterization of coir fiber reinforced polymeric composites.* In: TMS 2008 - 137th Annual Meeting & Exhibition, 2008, New Orleans, LA - EUA.

Proceedings of the TMS 2008: Materials Characterization, Computation and Modeling. Warrendale, PA - EUA : TMS - The Minerals, Metals & Materials Society, 2008. v. 2. p. 55-61.

MONTEIRO, S. N. ; AQUINO, R. C. M. P. ; NASCIMENTO, D. C. T. ; *Mechanical behavior of epoxy matrix composites reinforced with piassava fibers*. In: TMS 2008 - 137th Annual Meeting & Exhibition, 2008, New Orleans, LA - EUA. Proceedings of the TMS 2008: Materials Characterization, Computation and Modeling. Warrendale, PA - EUA : TMS - The Minerals, Metals & Materials Society, 2008. v. 2. p. 69-74.

MONTEIRO, S. N. ; FERREIRA, A.S. ; LOPES, F. P.D. ; *Rupture mechanisms in composites reinforced with curaua fibers*. In: TMS 2008 - 137th Annual Meeting & Exhibition, 2008, New Orleans, LA - EUA. Proceedings of the TMS 2008: Materials Characterization, Computation and Modeling. Warrendale, PA - EUA : TMS - The Minerals, Metals & Materials Society, 2008. v. 2. p. 117-123.

MONTEIRO, S. N. ; Da COSTA , L.L. ; LOPES, F. P. D. ; *Characterization of the impact resistance of coir fiber reinforced polyester composites*. In: TMS 2008 - 137th Annual Meeting & Exhibition, 2008, New Orleans, LA - EUA. Proceedings of the TMS 2008: Materials Characterization, Computation and Modeling. Warrendale, PA - EUA : TMS - The Minerals, Metals & Materials Society, 2008. v. 2. p. 131-137.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F. M. ; SANTOS, L.F. ; *Ensaio de impacto em compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de rami*. In: 63 Congresso Anual da ABM, 2008, Santos, SP. Anais do 63 Congresso Anual da ABM. São Paulo, SP : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. v. 1. p. 563-571.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F.M. ; SANTOS, L.F. ; *Ensaio de impacto em compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de rami*. In: 63 Congresso Anual da ABM, 2008, Santos, SP. Anais do 63 Congresso Anual da ABM. São

Paulo, SP : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. v. 1. p. 563-571.

MONTEIRO, S. N. , Da COSTA, L.L. ; SANTAFÉ, H.P. ; *Caracterização da resistência ao impacto charpy de compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de coco*. In: 63 Congresso Anual da ABM, 2008, Santos, SP. Anais do 63 Congresso Anual da ABM. São Paulo, SP : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. v. 1. p. 572-580.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F.M. ; SANTOS, L.F. ; *Ensaio de impacto em compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de rami*. In: 63 Congresso Anual da ABM, 2008, Santos, SP. Anais do 63 Congresso Anual da ABM. São Paulo, SP : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. v. 1. p. 563-571.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM, F. M. ; SANTOS, L F L. ; *Tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de buriti*. In: 18 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECIMAT, 2008, Porto de Galinhas -PE. Anais do 18 CBECIMAT. Recife - PE : Universidade Federal de Pernambuco, 2008. v. 1. p. 3357-3368.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F.M. ; SANTOS, L F L. ; *Impact resistance of polyester composites reinforced with ramie waste fibers*. In: Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology - REWAS 2008, 2008, Cancun, Mexico. Proceedings of the 2008 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology - REWAS 2008. Warrendale, PA, EUA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2008. v. 1. p. 505-510.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM, F.M. ; SANTOS, L. F. L. ; LOPES, F.P. D. ; *Cost-benefit evaluation of ramie waste reinforced composites as substitute for conventional building materials*. In: Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology - REWAS 2008, 2008, Cancun, Mexico. Proceedings of the 2008 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment

and Clean Technology - REWAS 2008. Warrendale, PA, EUA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2008. v. 1. p. 499-504.

MONTEIRO, S.N. ; SANCHÉZ, R.J. ; LOPES, F.P.D. ; MENEZES, G.W. ; Avaliação de DMA de compósitos de matriz poliéster incorporada com fibras de coco. In: 62º CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2007, Vitória, ES. p. 852-860.

MONTEIRO, S. N. ; LOPES, F. P. D. ; Ensaio de Impacto em Compósitos poliméricos reforçados com fibras de curauá. n: 62º CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2007, Vitória, ES. p. 852-860, 2007.

MONTEIRO, S. N. ; LOPES, F. P. D. ; Ensaio de Impacto em Compósitos poliméricos reforçados com fibras de curauá. .. In: 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 24-27 de julho de 2006, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MONTEIRO, S. N. ; RANGEL, J. J. ; Efeito de Micromorfologia das fibras de Curauá como reforço em compósitos de matriz polimérica. In: 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 24-27 de julho de 2006, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MONTEIRO S. N. ; D'ALMEIDA, J. R. M. ; Ensaio de Pullout em Fibras Lignocelulósicas: Uma Metodologia de análise. V11, N3. PP. 189-196, 2006.

MONTEIRO, S. N. ; AQUINO, R. ; LOPES, C. M. P. ; CARVALHO, F. P. D. ; D'ALMEIDA, J. R. M. ; Compósitos de Matriz Poliéster reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá.. In: 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 24-27 de julho de 2006, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

MONTEIRO, S. N. ; D'ALMEIDA, J. R. M. ; TERRONES, L. A. H. ; LOPES, J. R. M. ; “Mechanical Strength of Polyester Matrix Composites Reinforced with Coconut Fiber Wastes”, Rev. Mater., 10(4) 571-576, 2005.

MONTEIRO, S. N. ; D'ALMEIDA, J. R. M. ; DE DEUS, J. F. ; Ensaio de pullout para avaliar o tamanho crítico de fibras naturais, In: 60° CONGRESSO ANUAL DA ABM, Jul. 2005, Belo Horizonte, Brasil, p.1-10.

MORASSI, J. O. ; Fibras naturais: aspectos gerais e aplicação na indústria automobilística. Local: Mercedes Benz do Brasil, 1994 p.1259-1262.

MUELLER DIETER H. ; KROBJILOWSKI, A. (2003). Improving The Impact Strength Of Natural Fiber Reinforced Composites By Specifically Design Material And Process Parameters. International Nowovens Journal, v. 12 n. 2.

NAM, S. & NETRAVALI, A. N. ; *Green Composites I – Physical Properties of Ramie Fibers for Environment-friendly Green Composites*, Fiber Science Program, Cornell University, Ithaca, NY 14853-4401, USA, published in the University Journal at December 4, 2006.

NAM, S. & NETRAVALI, A. N. ; *Green Composites. II - Environment-friendly, Biodegradable Composites Using Ramie Fibers and Soy Protein Concentrate (SPC) Resin*, Fiber Science Program, Cornell University, Ithaca, NY 14853-4401, USA, published in the University Journal at December 30, 2006.

NETO, F. L. & PARDINI, L. C. , *Compósitos Estruturais: Científica e Tecnologia*. São Paulo, Editora Edgar Blucher, 2006 418p.

PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. ; *Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe*. Livro Editora Atlas, 1990. 14 p

PADILHA, N. F, ; *Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedade*. Curitiba, Paraná, Hemuns livraria, distribuidora e editora S.A, 2000, 118p.

PAIVA JÚNIOR, C. Z. ; CARVALHO, L. H. ; FONSECA, V. M. ; MONTEIRO, S. N. ; D'ALMEIDA, J. R. M. ; *Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie–cotton fabric composites*, Polymer Testing, v. 23(2), p. 131-135, 2005.

RANA, A. K. ; MITRA, B. C. ; BANERJEE, A. N. ; *Short jute fibre-reinforced polypropylene composites: dynamic mechanical study*. J. Appl. Polym. Sci. v. 71, p. 5331-539, 1999.

RAY, D; SARKAR, B.K; Characterization of alkali-treated jute fibers for physical and mechanical properties. J. Appl. Polym. Sci. vol 80, p1013-1020; 2001.

Ray Publishing Performance Source (2001), [www.composites.com](http://www.composites.com) acesso em 26-09-2013.

RODRIGUES, J. S. ; Comportamento de materiais compósitos de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira. 2008.Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

ROSATO, D. V & ROSATO, D. V. ; *The Reinforced Plastics Handbook*, Livro, Editora: Elsevier Advanced Technology, 1994, 328p.

ROWELL, R. ; SANADE A. R. ; CAULFRELD. D. F. ; JACOLSON, R. E. , *Utilization of Natural Fiber in Plastic Composites: Problems and Opportunities*, 1997.

SABARIZ, A. ; SILVA, V. R. V. ; Da SILVA, L. J. ; MARQUES, D. ; *Propriedades mecânicas de compósitos formados por matriz epoxídica reforçada com fibras vegetais*, 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

SATYANARAYANA, K. G., RAVIKUMAR, K. K. , SUKUMARAN, K., MUKHERJEE, P. S., PILLAI, S. G. K., & KULKARNI, A. K. (1986) . Structure and properties of some vegetables fibres . Part 3. Talipot and palmyrah fibres . Journal of material Science, 21, 57.



SATYANARAYANA, K. G. ; GUIMARÃES, J. L. ; WYPYCH, F. ; *Studies on lignocellulosic fibers of Brazil*. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Composites: Part A*, v. 38, p. 1694-1709, 2007.

SATYANARAYANA, K. G. ; ARIZAGA, G. G. C. ; WYPYCH, F. ; *Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers*. – An Overview : Pog. In *Polym. Science*: v. 34, p. 982-1021, 2009..

SAVASTANO, Jr. ; LUZ, P. H. C. ; NOLASCO, A. M. ; *Seleção de Resíduos de alguns tipos de fibras vegetal, para o reforço de componentes de construção*. In: Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 1. Canela, nov Anais. Porto Alegre, Antac, 1997, P107-12.

SHIBATA, M.; OGAWA, K.; TERAMOTO, N.; YOSOMIYA, R.; TAKEISHI, H. Biocomposites made from short abaca fibers and biodegradable polyester. *Macromol Mater Eng*. 2003; 288: 35-43.

SHIHONG, L. ; BENLIAN, Z. ; QIYUN, Z. ; XIANRONG, B. ; A new kind of super-hybrid composite material for civil use - ramie fibre/Al, *Composites*, v. 25(3), p. 225-228, 1994.

SOBREIRA, G. ; *Imagens de colheitas e plantios de fibras em geral*, Terrastock, Banco de Imagens e Fotos. Fotografia de Gerson Sobreira. Pecuária, Agricultura, Rural. Stock Photos, Agriculture & Livestock Photography, 2008.

SOUZA, G. Q. ; SILVA, A. F. B. ; FUJIYAMA, R.T. ; COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE FIBRAS NATURAIS PARA EMPREGO EM MATERIAIS DE ENGENHARIA. In: XII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - Ilha Solteira – SP . 22 a 26 de agosto de 2005.

STRONG, A. B. (1989) ; *Fundamental of Composite: Materials. Methods, and Applications*, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, ML, 1989.

SUAREZ, J. C. M. ; COUTINHO, F. M. B. ; SYDENSTRICKER, T. H. ; SEM studies of tensile fracture surfaces of polypropylene – sawdust composites. *Polymer testing*. 22, 819 – 824.2003.

SUDELL, B. C., & EVANS, W.J. (2005). In A.K. MOHANTY, M. MISRA, & L. T. DRZAL (Eds). *Natural fiber composites in automotive applications: Natural fibers. Biopolymers and biocomposites* (pp 231) CRC Press.

THOMAS, S. ; JOHN, M. J. ; Review Biofibers and biocomposites. School of Chemical Sciences, Mahatma Gandhi University, Priyadarshini Hills P.O., Kottayam, Kerala 686 560, India / *Carbohydrate Polymers* 71 (2008) 343-364 [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com).

TOMCZAK, F.; SATYANARAYANA, K.G; SIDENSTRICKER, T.H.D; Studies on lignocellulosic fibers in Brasil: Part III Morphology and properties of Brazilian curauá fibers. *Composites: Part A*, v.38, p. 2227-2236, 2007.

TOMCZAK, F. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil. Tese de Doutorado. 2010. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal doParaná.

WALDO, W. G. ; A fibra de rami e seus sub-produtos, uma cultura em expansão - *Revista de Agricultura de Porto Rico*, Porto Rico, USA, 1948.

WAMBUA, P. ; IVENS, J. ; VERPOEST, I. ; (2003) - *The Composites Science and Technology*, 63, 1259, New York Journal, NY, USA.

WAMBUA, P. ; VANGRIMDE, B., LOMOV, S., & VERPOEST, I. (2007). The response of natural fibre composites to ballistic by fragment simulating projectiles. *Composite structures*. 77, 232-240.

[www.infoescola.com](http://www.infoescola.com), acesso em setembro de 2013.

WILKERES, J. ; GREENE, O. ; JOSEPH, P. ; *Steady-State and Dynamic Properties of Concentrated Fiber-Filled Thermoplastics*. Polymer Engineering and Science, MID-November, v. 35, n. 21, p. 1-12, 1995.

YUE, C.Y. ; LOOI, H. C. ; QUEK, M. Y. ; Assessment of Fibre-Matrix Adhesion and Interfacial Properties Using the Pullout Test. Int. J. Adhesion and Adhesives, v. 15, p. 73-80, 1995.

IU, Y. ; LOU. X ; WU. H. ; Energy Fuels (2008), 22, 46.

ZHAO-TIE, L. ; YANI, Y. ; GANI, Y. ; LILI, Z. ; PING, S. ; ZHONG-WEN, L. ; JIAN, L. ; HEPING, X. ; YUANDE, P. ; SHOUWEI, T. ; *A green route to prepare cellulose acetate particle from ramie fiber*, Reactive and Functional Polymers, v. 67(2), p. 104-112. 2007.

ZIMNIEWSKA, M., KOZLOWSKI, R.,& RAWIUK, M. (2004). Natural vs. Manmade fibres physiological viewpoint. Journal of Natural Fibres, 1 (2), 69-81.