



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE PLACAS
DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM
FIBRAS DA BANANEIRA HÍBRIDA PV 0376 COM
ORIENTAÇÃO RANDÔMICA**

**Maria Helena Sousa da Silva
Sicléia Gaia Cruz**

**Tucuruí
2014**

**Maria Helena Sousa da Silva
Sicléia Gaia Cruz**

**ANÁLISE MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE PLACAS
DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM
FIBRAS DA BANANEIRA HÍBRIDA PV 0376 COM
ORIENTAÇÃO RANDÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal do Pará, Campus
Universitário de Tucuruí para a obtenção do grau
de Engenheira Mecânica.

**Orientador: Prof. Me Eng. Wassim Raja
El Banna.**

**Tucuruí
2014**

**Maria Helena Sousa da Silva
Sicléia Gaia Cruz**

**ANÁLISE MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE PLACAS
DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM
FIBRAS DA BANANEIRA HÍBRIDA PV 0376 COM
ORIENTAÇÃO RANDÔMICA**

Orientador:

Wassim Raja El Banna

Prof. Me. Eng. Wassim Raja El Banna.
Faculdade de Engenharia Mecânica – UFPA

Banca Examinadora:

Douglas N. Garcia

Prof. Me. Eng. Douglas Neves Garcia
Faculdade de Engenharia Mecânica – UFPA

[Signature]

Prof. Me. Eng. Paulo Cordeiro Machado
Faculdade de Engenharia Mecânica – UFPA

Daniel Castro dos Santos

Eng. Daniel Castro dos Santos
Engenheiro Mecânico - Membro Externo

Excelente

Conceito

Tucuruí, 11 de Dezembro de 2014.

*Nunca deixe que lhe digam que não vale
à pena acreditar no sonho que se tem
Ou que seus planos nunca vão dar certo
Ou que você nunca vai ser alguém...
Quem acredita sempre alcança.*

Renato Russo

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais e familiares por todo amor, carinho e força durante toda a nossa vida e por suas palavras de incentivo nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS (Maria Helena Sousa da Silva)

Primeiramente e grandiosamente gostaria de agradecer a Deus pelo dom da vida e amor incondicional que me proporciona a chance de cada dia ser uma pessoa melhor e está em constante evolução.

A minha família que sempre estiveram presentes e contribuíram de forma importante durante toda a minha formação pessoal e profissional. Obrigada pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo carinho. Valeu a pena toda distância, todo sofrimento, todas as renúncias... Valeu a pena esperar... Hoje estamos colhendo juntos os frutos deste empenho!

À minha mãe Benedita Sousa da Silva, que sem ter estudo acadêmico, mostrou aos seus nove filhos a importância do conhecimento norteando-os no caminho da educação e na direção do sucesso, através do “aprender para poder vencer na vida”.

Ao meu pai Manoel João da Silva que, com seu talento de inventar, influenciou na maior parte da escolha da minha profissão.

Ao meu orientador, Prof. Me. Wassim Raja El Banna, obrigada pela constante dedicação, competência, ensinamentos, respeito e amizade, durante toda a realização desta pesquisa. Seus ensinamentos estarão presentes por toda a minha vida.

Em especial ao meu esposo, Anderson Carlos Silva Pinheiro, por toda paciência, carinho, companheirismo, dedicação, apoio e amor durante todo o decorrer desta importante etapa de formação de minha vida.

Aos meus irmãos, por estarem comigo em todos os caminhos que escolho seguir, apoiando incondicionalmente todas as minhas ações. “Amo vocês”.

Aos meus sobrinhos onde encontro muito respeito, amor e admiração dedicados a mim.

A minha amiga e companheira de trabalho Sicléia Gaia Cruz pela amizade e companheirismo em todos esses anos, pelos seus inúmeros conselhos que sempre disponibilizou e pelas palavras de estímulos, valeu Si.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no meu desenvolvimento, que me deram coragem para questionar a realidade e propor sempre novas possibilidades.

Aos amigos e colegas de graduação pela oportunidade de convívio com as mais diferentes figuras, de diferentes lugares, possuidores de peculiaridades, mas que me fizeram compreender a importância da vivência de mundo para a nossa construção. Vivemos esses anos juntos com muito trabalho, mas com muita garra, alegria, risadas e trocas de conhecimento que contribuíram de forma direta ou indireta na minha formação.

Meus agradecimentos às amigas Débora, Josiane, Susane e Sicléia, companheiras de trabalhos e irmãs na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

A todos os amigos, minha segunda família, que fortaleceram os laços de igualdade, num ambiente fraterno e respeitoso! Jamais lhes esquecerei.

Aos professores Mestres Engenheiros Douglas Garcia e Paulo Machado e ao Eng. Daniel dos Santos pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

A todos aqueles que de alguma forma direta ou não contribuíram de alguma maneira para a realização desta obra.

AGRADECIMENTOS (Sicléia Gaia Cruz)

Agradeço primeiramente a Deus e a nossa Senhora de Nazaré por sua proteção e por sempre ter me acompanhado e guiado os meus passos na conclusão dessa etapa.

Aos meus pais (Leonardo Corrêa Cruz e Darci Alves Gaia) que nunca mediram esforços para garantir a minha educação e por toda dedicação em me ensinar a ser uma pessoa melhor a cada dia. Espero brevemente retribuir tudo que fizeram por mim.

Aos meus irmãos (Sinei e Sávio) e as minhas irmãs (Simone, Silvana e Sabrina) por todo o apoio e ajuda durante toda a minha jornada da graduação.

Ao orientador Me. Eng. Wassim Raja El Banna pela sugestão do tema de TCC e por me ter concedido a oportunidade em estudar um material novo na área de materiais. Além disso, foi um prazer enorme conhecer essa maravilhosa pessoa, pois demonstrou bastante atenção, dedicação, disposição, paciência, contribuição e auxílio durante a execução desse trabalho.

Ao professor Me. Eng. Deibson Silva da Costa pela valiosa contribuição em nos ajudar no processo de fabricação dos compósitos.

Aos amigos Anderson Pinheiro, Cleyton Lira e Fausto Toledo por toda a ajuda prestada para a realização desse trabalho.

Aos Alunos de Laboratório Jurandir Sousa e Romário Santos pelo auxílio nos ensaios de tração dos corpos de prova.

As minhas amigas e parceiras de trabalho da universidade (Débora Castro, Josiane Reis, Maria Helena Silva e Susane Dias) por toda a amizade, companheirismo, palavras de incentivo e apoio uma com a outra.

A minha companheira de monografia Maria Helena Sousa da Silva por sua amizade, cumplicidade, apoio, garra e coragem em estudar um curso distante de sua casa e longe de sua família e pelo grande esforço e dedicação prestada para a conclusão desse trabalho.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Mecânica que sempre estiveram dispostos a ensinar e a repassar o conteúdo para nós da melhor forma possível e pela disponibilidade para esclarecer as dúvidas a respeito dos assuntos ministrados em sala de aula.

Aos meus amigos e amigas de curso que percorreram esse longo caminho junto comigo e nas horas mais difíceis da graduação estavam um apoiando o outro, e deixavam as aulas mais descontraídas e divertidas.

Aos professores Mestres Engenheiros Douglas Garcia e Paulo Machado e ao Eng. Daniel dos Santos pela disponibilidade em participar da banca examinadora.

Ao Eng. Edileno Cordovil pelas valiosas dicas e contribuições nesse trabalho.

Aos meus amigos (as) de trabalho da escola Dep. Raimundo Ribeiro de Souza por suas palavras de apoio e incentivo. E a todos que de alguma forma ajudaram para que eu chegasse até esse momento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 OBJETIVO GERAL	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	19
2.2 MATRIZ POLIMÉRICA DE MATERIAIS COMPÓSITOS	22
2.2.1 Resina de poliéster	23
2.2.2 Resina de poliéster tereftálica	23
2.3 FIBRAS COMO REFORÇO	24
2.3.1 Fibras sintéticas	24
2.3.2 Fibras vegetais	26
2.3.1.1 Fibras da bananeira	27
2.4 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS COMPÓSITOS	28
2.4.1 Ensaios destrutivos	29
2.4.1.1 Ensaio de tração	30
2.5 FRACTOGRAFIA DOS MATERIAIS COMPÓSITOS	31
3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 MATERIAIS	33
3.1.1 Resina poliéster	33
3.1.2 Fibras da bananeira	33
3.2 MÉTODOS	35
3.2.1 Confeção dos corpos de prova	35

3.2.2	Confeção dos compósitos	38
3.2.3	Ensaio de tração dos compósitos	38
3.2.4	Análise da fratura dos compósitos	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COMPÓSITOS	40
4.2	ANÁLISE DA FRATURA DOS COMPÓSITOS	41
4.3	ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.	43
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
5.1	CONCLUSÕES	45
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
	REFERÊNCIAS	46

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema de formação de um material compósito.	19
Quadro 1. Classificação dos materiais compósitos segundo a natureza dos constituintes.	20
Figura 2. Classificação dos materiais compósitos quanto à natureza do reforço.	21
Figura 3. Resina de poliéster.	23
Figura 4. Estrutura química básica do polímero de poliéster tereftálico.	24
Figura 5. Fibras sintéticas: a) Mantas de fibra de vidro; b) Fibra de carbono; c) Colete balístico confeccionado em fibra de aramida.	25
Figura 6. Componentes estruturais de uma fibra vegetal.	26
Figura 7. As principais partes constituintes da bananeira.	28
Figura 8. Curva tensão x deformação	31
Figura 9. Resina poliéster tereftálica insaturada.	33
Figura 10. Esquema ilustrativo com a região de separação das bainhas foliares do pseudocaule da bananeira.	34
Figura 11. a) Redução da área de retirada das fibras; b) Retirada da mucilagem;	34
Figura 11. c) Separação das fibras em pequenos feixes; d) Fibra extraída e limpa.	35
Figura 12. As fibras devidamente cortadas e separadas por camada.	36
Figura 13. Espalhando o desmoldante (cera).	36
Figura 14. a) Preenchimento aleatório das fibras na placa; b) Adicionando a mistura;	37
c) Placa metálica fechada recebendo compactação pela prensa hidráulica.	
Figura 15. a) Placa de compósito; b) Corpos de prova (cp's).	38
Figura 16. Dimensões dos corpos de provas (cp's).	38
Figura 17. Máquina de teste universal.	39
Figura 18. Máquina de microscopia eletrônica de varredura (MEV)	39
Quadro 2. Resultados obtidos nos ensaios de tração dos compósitos.	40
Figura 19. Comportamento da força versus alongamento	40
Figura 20. Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçado com fibra da bananeira híbrida PV 0376 da camada externa.	41
Figura 21. Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçado com fibra da bananeira híbrida PV 0376 da camada mediana.	42

Figura 22. Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos 43
compósitos de matriz poliéster reforçado com fibra da bananeira híbrida PV 0376 da
camada interna.

Quadro 3. Comparação dos compósitos reforçados com fibras da bananeira Híbrida 43
PV 0376 da camada interna em relação a compósitos estudados por outros autores.

LISTA DE SIGLAS

A	- Área
ASTM	- American Society for Testing and Materials
BHPV	- Bananeira híbrida PV
BST	- Bananeira São Tomé
CE	- Camada externa
CI	- Camada interna
CM	- Camada mediana
cp's	- Corpos de prova
°C	- Celsius
DP	- Desvio padrão
Embrapa	- Empresa brasileira de pesquisa agropecuária
F	-Força
g	- Grama
kN	- kilo Newton
MEV	- Microscopia eletrônica de varredura
min	- Minuto
ml	- Miligrama
mm	- Milímetro
MPa	- Mega Pascal
%	- Porcentagem
UFPA	- Universidade Federal do Pará
UV	- Ultravioleta
v/v	- Volume/Volume
σ	- Tensão

RESUMO

ANÁLISE MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE PLACAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DA BANANEIRA HÍBRIDA PV 0376 COM ORIENTAÇÃO RANDÔMICA

RESUMO: A crescente preocupação da sociedade moderna em reduzir o impacto ambiental e a incessante busca por soluções para a substituição dos recursos não renováveis vem incentivando os pesquisadores a desenvolverem materiais sustentáveis e dentro desse contexto se inserem as fibras naturais como alternativa para a fabricação de materiais compósitos. Assim, este trabalho vem apresentar a fabricação de placas de compósito utilizando material descartado da plantação da bananeira (pseudocaule) tendo como objetivo avaliar o comportamento mecânico e microestrutural de um compósito polimérico reforçado com fibras da bananeira da variedade híbrida PV 0376. A extração das fibras foi realizada de forma manual e separada em três camadas (CE, CM e CI), em seguida cortadas na dimensão de 20 mm de comprimento e 3% de fração mássica das mesmas foram misturadas junto com a resina de poliéster tereftálica insaturada para fabricação do compósito. Posteriormente, para analisar sua resistência, confeccionou-se 30 corpos de prova, sendo 10 de cada camada, onde foram submetidos aos ensaios de tração uniaxial na máquina de teste universal do laboratório de ensaios mecânicos da Universidade Federal do Pará – UFPA. Com os dados obtidos foi possível averiguar que a camada que apresentou o melhor resultado de resistência a tração foi a camada interna da bananeira híbrida PV, com o valor de 29,5 MPa. Depois de ensaiados os corpos de prova passaram por uma avaliação microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para verificação dos mecanismos de falha predominantes na região de fratura. A avaliação constatou que o tipo de falha predominante foi o pull out para os compósitos de menor resistência e as fibras rompidas para os de maior resistência.

Palavras - chave: Compósito, Fibra da bananeira, Corpo de prova, Ensaio de tração.

ABSTRACT

MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF COMPOSITE POLYMERIC PLATES REINFORCED WITH BANANA FIBER HYBRID PV 0376 WITH RANDOM ORIENTATION

ABSTRACT: The growing concern of modern society to reduce the environmental impact and the incessant search for solutions to replacement of non-renewable resources has encouraged researchers to develop sustainable materials and in this context they insert natural fibers as an alternative for the production of composites materials. This work is presenting the manufacture of plates of composite using discarded material from a banana plantation (pseudo stalk) in order to study the mechanical and microstructural behavior of a polymer composite reinforced with fibers of the banana hybrid variety PV 0376. The extraction of the fibers was performed manually and separately in three layers (CE, CI and CM), then cut into the size of 20 mm in length and 3% mass fraction of these were mixed together with unsaturated terephthalic polyester resin for the manufacture of the composite. Later, to analyze its strength, 30 specimens were made, 10 of each layer, where they were subjected to uniaxial tensile tests in the universal testing machine of the mechanical tests laboratory of the Federal University of Pará - UFPA. With the obtained data was possible to verify that the layer who showed the best result of tensile strength was the inner layer of banana hybrid PV, with the value of 29,5 MPa. After tested the samples, was made a microstructural evaluation by scanning electron microscopy (SEM) to verify the prevalent failure mechanisms in the fractured region. The assessment found that the predominant failure was the pull out for composite of least resistance and the broken fibers for the most resistance.

Keywords: Composite, Banana fiber, Specimens, Tensile tests.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A crescente preocupação da população mundial com a preservação do meio ambiente e a demanda cada vez maior por produtos ecologicamente corretos tem levado os pesquisadores a estudar materiais de fontes renováveis para serem utilizados nos mais diferentes segmentos industriais [1]. Assim, dentro desse contexto de conscientização ambiental está inserida a utilização das fibras vegetais como reforço de matrizes poliméricas para a fabricação de materiais compósitos que possam substituir adequadamente as fibras sintéticas, uma vez que essas fibras são provenientes de fonte renovável, recicláveis, biodegradáveis, apresentam baixo custo e são produzidas em abundância em países tropicais como o Brasil [1; 2].

As fibras naturais empregadas como reforço nessas matrizes melhoram as propriedades mecânicas dos polímeros e podem substituir reforços inorgânicos obtidos de fontes não renováveis permitindo que muitos dos recursos que estão se tornando escassos sejam conservados. As principais aplicações desses compósitos estão na área da construção civil em: reservatórios, calhas, tubulações de esgoto, indústrias de móveis, embalagens e no ramo automobilístico na produção de: painéis de carro, poltronas e até mesmo em para-choques de carros [2;3].

A utilização de fibras vegetais em produtos comerciais contribui para gerar riquezas e reduzir o impacto ambiental, já que contribuem para o melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro [4]. Dentre as fibras naturais mais usadas como reforço de matrizes poliméricas destacam-se as fibras de sisal, coco, curauá, bambu, bananeira, entre outras. O Brasil por ser o segundo maior produtor de banana do mundo, perdendo somente para a Índia, possui um alto índice de produção e produtividade, portanto esse é um dos principais fatores que motivaram o estudo das fibras do pseudocaule da bananeira como reforço em materiais poliméricos [3].

Dentre as matrizes poliméricas utilizadas para a produção de materiais compósitos, destaca-se a matriz de poliéster devido a sua baixa viscosidade, alta molhabilidade e baixo custo [5]. Essa matriz pode ser usada com ou sem reforço, entretanto, quando a mesma é reforçada se transforma em um material para engenharia com boas propriedades físico-mecânicas podendo substituir muitas vezes o ferro, o aço e o concreto [6].

1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, inúmeras pesquisas têm sido realizadas com o intuito de estimular o uso de materiais que sejam provenientes de fontes renováveis, de baixo custo e que contenham reduzido consumo de energia para a sua produção. Os materiais compósitos reforçados com fibras vegetais são um bom exemplo de materiais para essa aplicação [2].

Dentre as fibras vegetais (fibras da bananeira, juta, coco, sisal, entre outras) usadas como agente de reforço em matrizes poliméricas para substituição total ou parcial das fibras sintéticas (fibras de vidro e carbono), destacam-se as fibras da bananeira, pois são provenientes de um rejeito da agricultura, sendo retiradas do pseudocaule, que após a colheita dos frutos seria deixado na lavoura para sua decomposição natural. Assim, a sua utilização como reforço dessas matrizes mostra-se viável, pois além de estar utilizando um material procedente de fonte renovável também se está aproveitando de forma adequada um resíduo da produção agrícola que seria descartado [7].

Portanto, o aproveitamento desse tipo de rejeito mostra-se como alternativa economicamente viável pela quantidade de fibras que são retirada do pseudocaule e utilizada em diversas atividades, como artesanalmente, em laminados, compensados, na fabricação de um equipamento para processo de obtenção de mantas, na confecção de cúpulas de abajur, caixas, estojos, em revestimento de automóveis, em substituição da celulose, ou na substituição de manta de fibra de vidro no caso de revestimento interno para veículos. Outras aplicações têm sido estudadas e sugeridas, na construção civil e até na produção de biogás, outra possibilidade também do uso dessa matéria prima é para obtenção da celulose e papel, o qual já existe no município de Itariri uma empresa que processa o pseudocaule da bananeira para produção de polpa da celulose e papel resistente ao rasgo [8].

1.3 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico e microestrutural de um compósito polimérico reforçado com fibras da bananeira da variedade híbrida PV 0376 com orientação randômica.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificamente nesse trabalho será realizada a seguinte abordagem:

- ✓ Demonstrar o método de fabricação das placas de compósitos;
- ✓ Avaliar o comportamento mecânico quanto à tração dos compósitos;
- ✓ Analisar a região de fratura do compósito, verificando os mecanismos de falhas predominantes;
- ✓ Comparar os resultados com outros trabalhos pesquisados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos, no qual o primeiro capítulo já foi discutido na introdução desse trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica com todo o embasamento teórico para o desenvolvimento desse trabalho, mostrando os elementos essenciais para melhor compreensão do assunto, tais como: os materiais compósitos, a matriz polimérica de materiais compósitos, as fibras como reforço, as propriedades dos materiais compósitos, a fractografia dos materiais compósitos.

No capítulo 3 ocorre a descrição de todos os materiais e métodos utilizados no presente trabalho, tais como: a resina de poliéster, as fibras da bananeira, a caracterização mecânica e microestrutural das fibras da bananeira, o ensaio de tração e análise da fratura dos compósitos.

No capítulo 4, intitulado de resultados e discussões são apresentados todos os resultados experimentais obtidos como também é feita a análise dos mesmos através de tabelas e gráficos formulados e comentados.

No capítulo 5 são explanadas as considerações finais deste estudo, bem como as conclusões a respeito das propriedades do compósito avaliado, além de mostrar as recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos são considerados uma matéria-prima inovadora na área da construção civil, na aviação, na indústria automobilística, na engenharia de materiais entre outros. E nesse contexto é uma ótima opção para o desenvolvimento econômico e social. Outro fato que contribui para essa visão é que o Brasil é um país rico em recursos naturais. E com o tema preservação do meio ambiente está em alta na pauta mundial, é notável e crescente o interesse nos compósitos feitos a partir de fibras naturais de origem vegetal, mineral ou animal. Assim, faz-se necessário a procura por novas tecnologias e a substituição de materiais de fibras sintéticas, como a fibra de vidro, de aramida, e a fibra de carbono entre outras, por materiais que não degradem o meio ambiente ou que degradem menos [9].

Pode-se então definir compósito como sendo materiais que resultam da combinação ou junção de dois ou mais componentes, os quais diferem em suas propriedades químicas e físicas, sendo um desses componentes definido como reforço (fibras) e é envolvido pelo segundo componente chamado de matriz. A finalidade da combinação é prover características específicas para o material resultante, para cada tipo de aplicação desejada [10].

Segundo [4], o compósito é um sistema composto pela mistura ou combinação de dois ou mais macroconstituintes, que se diferenciam em forma e/ou constituição, sendo absolutamente insolúveis um no outro, tal conceito está ilustrado na Figura 1 abaixo:

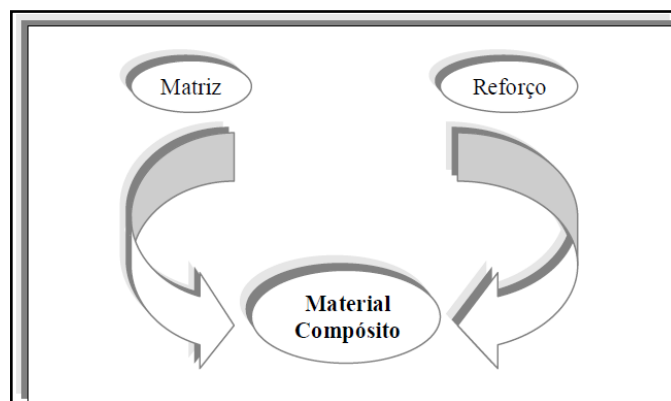


Figura 1. Esquema de formação de um material compósito.

Fonte: (BERNARDI, 2003)¹⁵.

Embora usados nas construções há milênios, os materiais fibrosos tiveram seu grande desenvolvimento na área das engenharias: mecânica, aeroespacial, aeronáutica e bélica, a partir da segunda guerra mundial. Por isso a maior parte das pesquisas foi realizada

com base em matrizes metálicas e poliméricas [11]. Ainda para [12], materiais compósitos (ou abreviadamente compósitos) são materiais de moldagem estrutural (também chamados de materiais de engenharia) feito de dois ou mais materiais constituintes, com suas próprias propriedades, e que juntos resultam em um material com propriedades realçadas ou diferentes dos materiais originais.

No projeto de materiais compósitos, os cientistas e os engenheiros combinam vários metais, cerâmicos e polímeros, para produzir uma nova geração de materiais extraordinários. A maioria dos compósitos foi criado para melhorar as características mecânicas tais como rigidez, tenacidade e resistências nas condições do ambiente que serão submetidas [13].

Em se tratando de classificação dos materiais compósitos não há na literatura uma definição exata, mas eles são classificados pelo material que forma a matriz chamada de fase contínua, a qual envolve outra fase chamada reforço ou fase dispersa. Essa matriz pode ser um polímero, um metal ou material cerâmico e que preenchem os espaços vazios que ficam no reforço que é constituído de fibras [14].

Os materiais compósitos são usualmente classificados pela natureza dos materiais que os compõem e estão divididos em duas grandes categorias: materiais compósitos naturais e sintéticos. Em relação a estes últimos, existe uma subdivisão que os classifica em microcompósitos e macrocompósitos [12; 10], como mostra o quadro 1 abaixo:

NATUREZA DOS MATERIAIS		EXEMPLOS
Materiais	Naturais	Madeira, osso, músculos
	Sintéticos	Microcompósitos
Macrocompósitos		Concreto Armado

Quadro 1. Classificação dos materiais compósitos segundo a natureza dos constituintes.
 Fonte: (HULL, 1981)¹⁰.

Segundo [15], quanto aos tipos de reforços mais usados em materiais compósitos que são a fibra de vidro, de carbono, de aramida e fibras vegetais, tem-se a Figura 2 que demonstra a classificação dos compósitos com relação ao tipo de reforço utilizado:

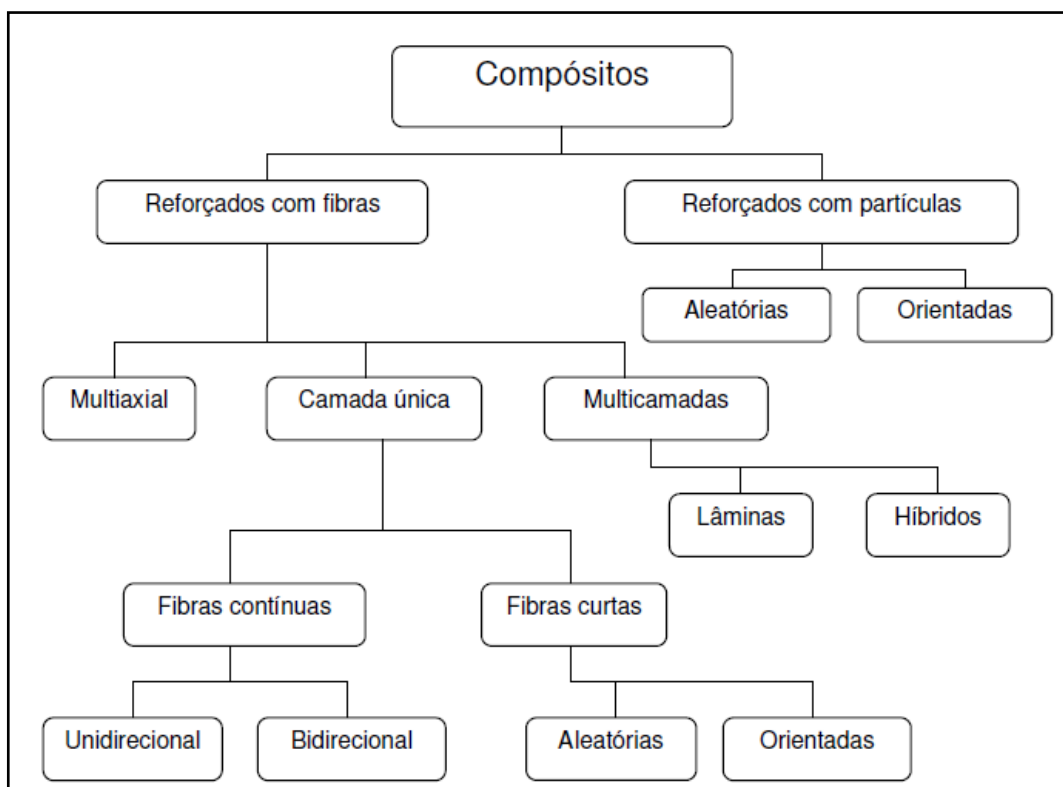


Figura 2. Classificação dos materiais compósitos quanto à natureza do reforço.
Fonte: (EL BANNA, 2012)⁶.

Os compósitos para aplicações estruturais geralmente utilizam fibras sintéticas ou naturais, como agentes de reforçamento. As fibras podem ser contínuas ou descontínuas, alinhadas ou com distribuição aleatória, podendo ser obtidas em uma variedade de formas, como mantas e preformas têxteis de diferentes arquiteturas. Como componente matricial, os polímeros são materiais mais utilizados devido à leveza e fácil moldagem. Em relação ao peso, os materiais compósitos poliméricos apresentam propriedades mecânicas específicas que podem exceder consideravelmente às dos metais[14].

A escolha entre um tipo de fibra e uma matriz depende fundamentalmente da aplicação a qual será dada ao material compósito: características mecânicas elevadas, resistência a alta temperatura, resistência a corrosão, etc. O custo em muitos casos pode também ser um fator de escolha entre um ou outro componente. Deve ser observada também a compatibilidade entre as fibras e as matrizes [16].

As propriedades dos compósitos são funções das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa (reforço). Nesse contexto, subentende-se por “geometria de fase dispersa” a forma das partículas, seu tamanho, sua distribuição e sua orientação [13].

2.2 MATRIZ POLIMÉRICA DE MATERIAIS COMPÓSITOS

As propriedades mecânicas dos compósitos são afetadas por duas fases: a fase estrutural, geralmente possui alto módulo de elasticidade e elevada resistência mecânica e é representada por um material fibroso; a fase matricial possui baixo módulo de elasticidade, contudo quando é constituída de um material plástico, não quebradiço é em geral capaz de grande alongamento. A combinação de excelentes propriedades mecânicas e leveza estrutural tornam os compósitos interessantes materiais de aplicação em engenharia [17].

Os compósitos com matriz de polímero consistem em uma resina polimérica como a fase matriz e fibras como meio de reforço. Esses materiais são usados na mais ampla diversidade de aplicações dos compósitos, bem como nas maiores quantidades, em vista de suas propriedades à temperatura ambiente, de sua facilidade de fabricação e de seu custo [13].

A matriz, além de ser responsável pelo aspecto externo do compósito e pela proteção do reforço contra ataques químicos e físicos, tem como principal função dispersar ou aglomerar o reforço, e quando submetida a uma tensão deve ser capaz de distribuir e transferir as tensões para o componente do reforço. Portanto, a escolha de uma matriz para uma aplicação estrutural deve ser limitada, inicialmente, ao nível de deformação que esta sofre em relação ao reforço, quando submetida a uma solicitação. A deformação da matriz deve ser compatível com a deformação máxima do reforço [18].

Essas matrizes poliméricas podem ser classificadas em termofixas e termoplásticas. As termofixas são mais utilizadas, pelo fato da possibilidade de fabricação do material sob condições de baixa pressão e temperatura. Além disso, este tipo de matriz passa por um estágio de baixa viscosidade antes do início do processo de cura, o que permite uma melhor aderência da fibra à matriz. Porém, há uma desvantagem com relação às resinas termoplásticas que é a “irreversibilidade” do processo de fabricação, uma vez que, utilizando-se matrizes termoplásticas é possível remodelar o material submetendo-o a altas temperaturas, o que não é possível com as termofixas [19].

Hoje os materiais polímeros são considerados indispensáveis à vida moderna, porém, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias é cada vez mais difícil encontrar um polímero que satisfaça plenamente todas as necessidades para determinada aplicação, sejam por questões de propriedades mecânicas, características, formas de obtenção ou custo. Por isso, os polímeros são cada vez mais utilizados como matrizes no desenvolvimento de compósitos [20].

2.2.1 Resina de poliéster

As resinas de poliéster (Figura 3) são resultados da reação de ácidos carboxílicos e glicóis que, ao reagirem entre si, originam moléculas de cadeias longas e lineares. Assim dependendo dos tipos de ácidos utilizados nas ligações entre os átomos de carbono da cadeia molecular essas resinas podem ser classificadas em: saturadas e insaturadas [21].

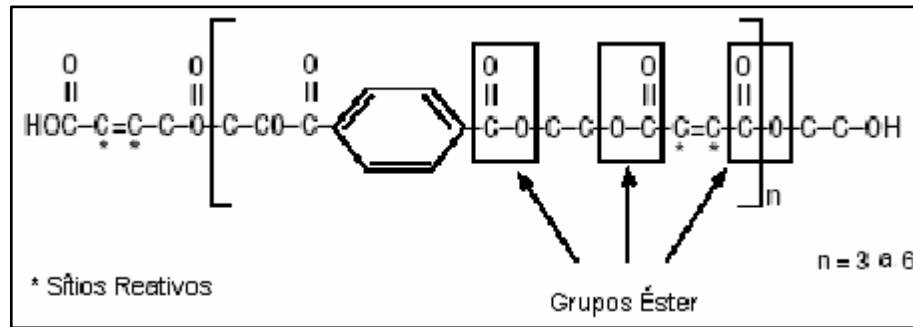


Figura 3. Resina de poliéster.
Fonte: (RODRIGUES, 2008)⁵.

Os poliésteres saturados são conseguidos pela reação entre um diol e um diácido saturado, obtendo um produto termoplástico, onde sua cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono. Já os poliésteres insaturados são formados a partir de um diol, um diácido saturado e diácidos insaturados, onde sua cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos de carbono, resultando num produto termofixo. Inicialmente este poliéster apresenta-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, solidifica-se formando uma estrutura termofixa irreversível [2].

As resinas de poliésteres insaturados são as mais empregadas na fabricação de compósitos poliméricos por agruparem boas características de propriedades mecânicas, custo mais acessível, facilidades de manipulação, cura sem liberação de substâncias voláteis e tóxicas, ótimas propriedades de isolamento elétrico e estabilidade dimensional [12].

Segundo [21] as resinas poliéster mais conhecidas são: as ortoftálticas, as tereftálticas, as isoftálticas e as bisfenólicas.

2.2.2 Resina de poliéster tereftálica

São resinas em que partes dos ácidos são substituídas por ácido tereftálico, apresentando desempenho parecido às resinas isoftálticas, quanto à resistência química e térmica, contudo possuem baixa resistência ao ultravioleta. Na Figura 4 está ilustrada a estrutura química básica do polímero de poliéster tereftálico [5].

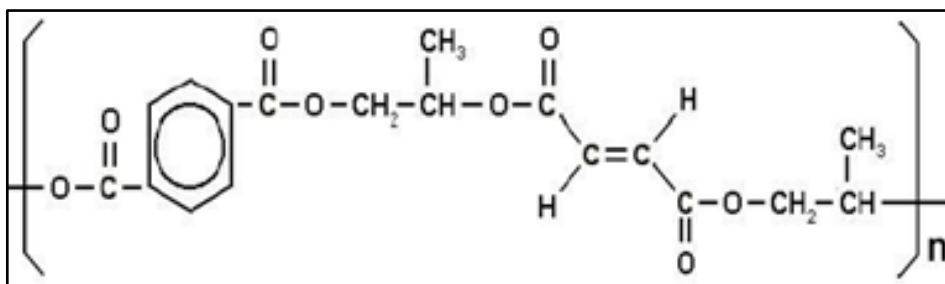


Figura 4. Estrutura química básica do polímero de poliéster tereftálico.
Fonte: (RODRIGUES, 2008)⁵.

2.3 FIBRAS COMO REFORÇO

O reforço tipo fibra em materiais compósitos tem despertado enorme interesse dos engenheiros dos diversos setores da indústria, dentre as quais se destacam: a automotiva, da construção mecânica, metalúrgica, naval, aeronáutica, aeroespacial entre outras, uma vez que a forma fibrosa de um material possui elevada resistência à tração e alto módulo de elasticidade [4].

Segundo [22], fibras são materiais flexíveis que apresentam aproximadamente geometria uniforme, diâmetro reduzido em relação ao seu comprimento e natureza diferenciada, variando em função de suas propriedades físico-químicas. A geometria da fibra influencia diretamente na aderência dos compósitos, na sua forma de ruptura e na sua ductilidade [15]. Dessa forma, as propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com fibras são dependentes de alguns fatores, tais como: o módulo e a resistência da fibra, estabilidade química da matriz polimérica, resistência interfacial, diâmetro e comprimento das fibras, fração volumétrica e forma de dispersão das fibras na matriz [12].

Para [4], as fibras podem ser classificadas em: fibras sintéticas e fibras naturais. As fibras naturais por sua vez são divididas em: vegetais (compostas basicamente por celulose), animais (compostas por proteínas) e minerais (retiradas de certos tipos de rocha) [20]. Entretanto, segundo [22], as fibras naturais mais utilizadas como reforço de compósitos são as de origem vegetal ou animal.

2.3.1 Fibras sintéticas

As fibras sintéticas surgiram a partir da necessidade do homem em buscar uma solução para minimizar os prejuízos causados pelas mudanças climáticas que comprometiam a produção e que conseqüentemente diminuía os seus lucros [20].

Assim, ao longo do seu desenvolvimento são observadas quatro etapas diferentes. Na primeira etapa, no início do século passado, aconteceu a descoberta das fibras artificiais

celulósicas, tendo como marco a viscose. Já na década de 20 ocorreu a segunda etapa com o descobrimento do conceito de cadeia molecular da estrutura das fibras através de análises de raio X, nessa fase a ciência das fibras passou a fazer parte dos polímeros e através de pesquisas iniciadas obteve-se como sucesso, a síntese das poliamidas, sendo possível desenvolver fibras completamente sintéticas. Na década de 40, a partir do conhecimento do nylon, iniciou-se a terceira etapa, nela muitos outros polímeros capazes de formar fibras foram desenvolvidos. Na quarta etapa, foram efetuados esforços enormes no aperfeiçoamento dos estágios de formação das fibras, conseqüentemente, foram descobertas novas técnicas e novas aplicações [15].

Dessa maneira, o processo de produção de qualquer fibra sintética pode ser explicado através da análise da forma como o bicho de seda produz uma das fibras naturais mais resistentes, a seda. Ele acumula, nas suas glândulas, um líquido que é expulso através de finos orifícios, esse líquido endurece no ar transformando-se em fios de seda. Em alguns casos, como no caso do vidro e do aço, as fibras são produzidas por um processo de fabricação específico, que molda o material na forma filamentar [15].

As principais fibras sintéticas (Figura 5) utilizadas como reforço pela indústria são: fibras de vidro (Figura 5a), fibras de carbono (Figura 5b) e fibras de aramida (Figura 5c). No entanto, essas fibras apresentam desvantagens tais como: alto consumo energético para sua produção, custos elevados em comparação com outras cargas, alta abrasão aos equipamentos e a difícil decomposição [23].

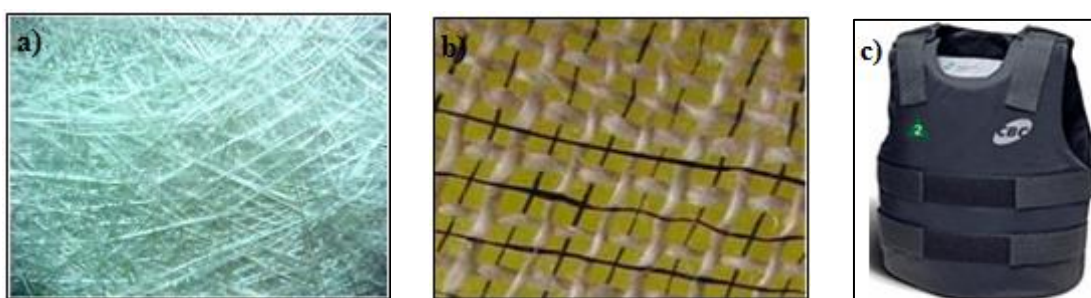


Figura 5. Fibras sintéticas: a) Mantas de fibra de vidro; b) Fibra de carbono; c) Colete balístico confeccionado em fibra de aramida.

Fonte: (MOTA, 2010)¹⁹.

Assim, devido às novas exigências legislativas quanto ao uso e destino final das fibras sintéticas e a maior conscientização dos próprios consumidores da necessidade de preservação do meio ambiente, os materiais compósitos feitos a partir de fibras naturais vêm sendo uma alternativa na confecção de novos materiais [14].

2.3.2 Fibras vegetais

As fibras vegetais conhecidas usualmente como fibras lignocelulósicas são produzidas em praticamente todos os países. Sua aplicabilidade é bastante extensa, abrangendo desde a indústria têxtil, fabricação de vassouras, bolsas, redes, cestos, vestimentas, artigos de decoração e até como reforço em matrizes poliméricas [24].

As principais vantagens das fibras vegetais em relação às fibras sintéticas no reforço de compósitos poliméricos são: a enorme abundância de fibras cultivadas, baixo custo, baixa densidade com a possibilidade de fabricação de peças mais leves, facilidade de obtenção e manuseio mais seguro, pois não há liberação de substâncias tóxicas, baixa abrasão de equipamentos, a absorção de dióxido de carbono do meio-ambiente, excelente biodegradabilidade, e aspecto ecológico e renovável. Por outro lado, também possuem desvantagens que prejudicam a sua aplicação em muitas situações e ambientes, como por exemplo: alta absorção de umidade, baixa resistência a microorganismos e baixa estabilidade térmica. Além disso, sofrem influência significativa das características do tipo de solo, idade da planta, modo de cultivo e condições climáticas [25].

De acordo com [6], as fibras vegetais são classificadas conforme a sua origem e podem ser agrupadas em: fibras de semente (algodão), fibras de fruto (coco), fibras de folha (abacá, sisal, bananeira, piaçava, curauá, henequém), fibras de caule (junta, linho, cânhamo), fibras de raiz (zacatão). Entretanto, as fibras provenientes do caule ou das folhas são conhecidas como fibras duras e são as mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos.

Para [25], as fibras lignocelulósicas são constituídas basicamente pelos seguintes componentes estruturais (Figura 6): celulose, hemicelulose e lignina.

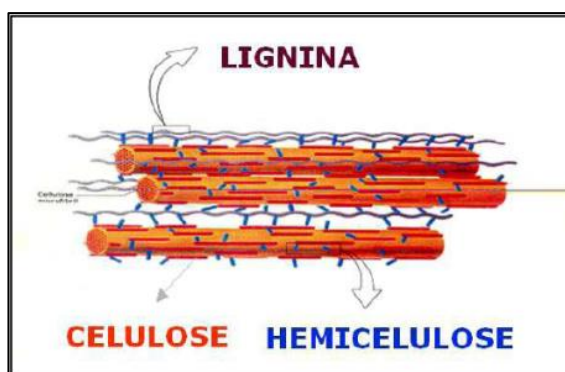


Figura 6. Componentes estruturais de uma fibra vegetal.
Fonte: (ROSSA, 2012)²³.

A celulose é o principal componente das fibras vegetais, responsável pela ligação das fibras ao polímero e pela resistência mecânica. Devido à presença de grupos hidroxilas em sua estrutura, realizam fortes ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares, sendo altamente hidrofílica. Dessa forma, os compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais podem absorver umidade, causando mudanças volumétricas e tensões residuais, além da degradação das fibras e da matriz [14; 24].

A hemicelulose age como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina, promovendo a flexibilidade das plantas, não estando diretamente correlacionada a resistência e a dureza das fibras [4].

A lignina, por sua vez é um polímero complexo de estrutura amorfa, que une as fibras celulósicas, formando a parede celular. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia e a flexibilidade. Fibras com alto teor de lignina são rígidas e fortes [4].

2.3.1.1 Fibras da bananeira

A bananeira está entre as culturas de maior importância econômica para os países tropicais e subtropicais. Da família das Musaceas é cultivada em todos os estados brasileiros, desde a faixa litorânea até os planaltos do interior. Entretanto, certos fatores climáticos, como a temperatura e o regime de chuvas, impõem limites à cultura, favorecendo, por isso, sua concentração nos estados de São Paulo, Bahia, Pará, Santa Catarina e Minas Gerais [26].

Em países tropicais, como o Brasil, plantas fibrosas são matérias primas abundantes. Algumas, como as fibras da bananeira, são subprodutos de descarte do cultivo da banana. Alguns autores consideram que estas fibras têm propriedades mecânicas comparáveis às fibras de sisal e as de vidro [27].

A banana é simplesmente a fruta mais consumida "in natura" no mundo: são cerca de 10 milhões de toneladas anuais, sendo o Brasil o 2º produtor mundial, com 9,8% da produção global [28].

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de banana. Esta cultura possui um ciclo de vida bastante curto, e produz uma grande quantidade de resíduos. Para uma tonelada de banana, são produzidos aproximadamente quatro toneladas de resíduo, sendo o pseudocaule um dos mais significantes, em peso, representando cerca de 75% do peso total de resíduos gerados neste tipo de cultura [29]. O pseudocaule da bananeira (Figura 7) é um material lignocelulósico e seu reuso tem direcionado diversas pesquisas.

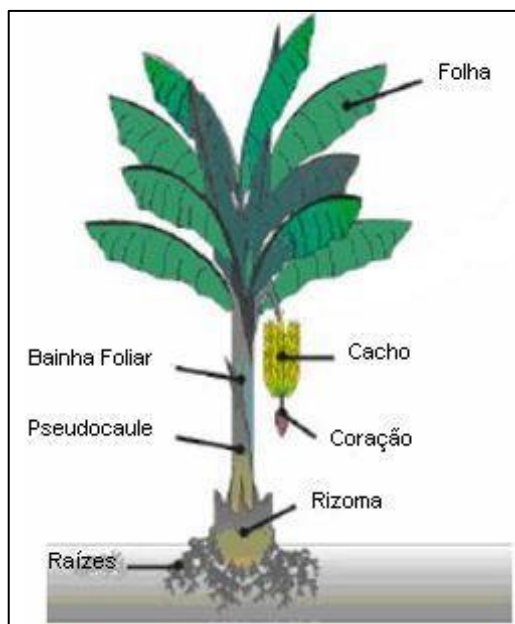


Figura 7. As principais partes constituintes da bananeira.

Fonte: EL BANNA (2012)⁶.

A bananeira é uma planta muito comum em áreas tropicais e subtropicais, atinge em média uma altura entre 5 e 7 metros e diâmetro de até 35 cm. Tem seu cultivo basicamente para a retirada dos frutos e após seu ciclo de produção o restante da planta é cortado e descartado quase que na sua totalidade como resíduo. Existe uma infinidade de tipos de bananeiras e todas elas se adaptaram ao tipo de solo e clima do Brasil [19].

2.4 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS COMPÓSITOS

As propriedades dos compósitos podem ser consideradas como uma combinação entre as propriedades da matriz, das fibras e das interfaces entre fibra e matriz. Tais propriedades são também dependentes das características dos processos de fabricação usados, sobretudo dos materiais brutos adicionais, como a modificação da superfície das fibras e a inclusão da proteção contra oxidação. Na avaliação dos desempenhos dos compósitos com fibras, têm sido observados os seguintes parâmetros dos materiais componentes, fibras e matriz; geometria das fibras, comprimento; arranjo das fibras; proporção entre os materiais; características da interface dos materiais, calor, frio, umidade, entre outros [30].

Dentre os compósitos mais importantes, tecnologicamente, estão aqueles em que uma das fases encontra-se na forma de fibras [13]. Fato que é de extrema importância para o desenvolvimento do tema desse trabalho.

Segundo [31], dentre as principais características dos compósitos, podem-se destacar:

Leveza e facilidade de transporte: devido ao peso específico das resinas e das fibras de reforço, os produtos fabricados a partir dos compósitos apresentam um baixo peso específico. Devido a esta e a outras propriedades características dos materiais compósitos é que eles são amplamente utilizados nos setores de aeronáutica, naval, automobilístico e outros.

Resistência química: 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.

Resistência às condições climáticas: vento, sol, oscilações térmicas tem baixa ação prejudicial sobre os compósitos. E quando características não usuais são requeridas, aditivos como protetores de UV (ultravioleta) são amplamente utilizáveis.

Flexibilidade arquitetônica: os compósitos tem uma grande vantagem sobre outros materiais estruturais, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização. Curvas, formas diferenciadas, detalhes arquitetônicos das empresas de materiais compósitos.

Durabilidade: o compósito, devido à sua composição e a reticulação polimérica formada durante o processo de moldagem, apresenta como característica uma alta durabilidade.

Fácil manutenção: os compósitos além de sua longevidade tradicional apresentam fácil e simples técnica de reparo e manutenção.

Resistência mecânica: devido às suas características e à variedade de combinações que podem ser realizadas entre as resinas e os materiais de reforço, os compósitos apresentam uma excelente resistência mecânica que possibilita a sua utilização em aplicações no setor de aeronáutica, naval, automobilístico e outras.

Feito sob medida: compósitos são sinônimos de produtos feitos sob medida. Decidir pela utilização de um compósito é ter à sua disposição a possibilidade de resolver seus problemas de engenharia com um produto fabricado na medida certa e exata de sua necessidade.

2.4.1 Ensaio destrutivos

Todo ensaio mecânico que inutiliza os corpos de prova (cp's) após a sua realização é chamado de ensaio destrutivo. Esse tipo de ensaio tem por finalidade a

determinação de uma ou mais propriedades mecânicas de um determinado material através da avaliação de diversas propriedades, tais como: resistência, elasticidade, plasticidade, tenacidade e etc [22; 32].

Dentre os diferentes tipos de ensaios disponíveis para a avaliação das propriedades mecânicas, o ensaio de tração é o mais utilizado, pelo fato de fornecer informações essenciais para o projeto e a fabricação de peças e componentes, além de ter uma realização simples, rápida e ainda proporcionar baixo custo-benefício [22].

2.4.1.1 Ensaio de tração

Segundo [33], o ensaio de tração consiste essencialmente na aplicação de uma carga (força) uniaxial crescente em um corpo de prova que está previamente preso nas garras de fixação do dispositivo de testes (máquina universal de testes de tração), esta máquina irá alongar a amostra a uma taxa constante até a sua ruptura.

Este tipo de ensaio promove deformações uniformemente distribuídas no material por meio da variação lenta da força aplicada, sendo possível determinar de maneira bastante consistente a resistência do material ensaiado, entretanto, no instante em que a carga máxima é atingida essa uniformidade deixa de existir e surge o fenômeno da estrição (diminuição da secção da amostra, situação essa que só é observada em material dúctil), a partir desse momento a ruptura irá ocorrer na região mais estreita do material ao menos que haja algum defeito interno ao longo de sua estrutura que faça com que a ruptura aconteça fora dessa região.

No final do ensaio são obtidas as forças aplicadas e as deformações ocorridas no material e utilizando a equação 1 que relaciona a relação entre a força (F), a área (A) e a tensão (σ) é possível obter a curva tensão x deformação (Figura 8).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

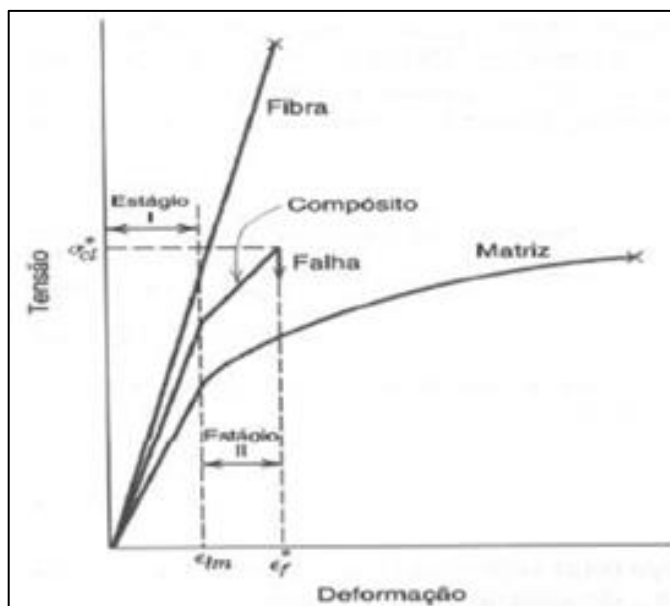


Figura 8. Curva tensão x deformação
 Fonte: (MENDES & SANTOS, 2013)³³.

Os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados por meio deste ensaio são: resistência à tração, ponto de escoamento, alongamento, ruptura e módulo de elasticidade [22].

2.5 FRACTOGRAFIA DOS MATERIAIS COMPÓSITOS

A fractografia é um dos principais métodos utilizados no processo de análise de materiais após danos ou falhas. Ela permite definir a sequência dos eventos sucedidos durante o processo de fratura e também identificar o carregamento, as condições dos esforços e o estado de tensões atuantes no momento da falha. Outros fatores que também podem ser avaliados pelo seu uso são: as condições ambientais, os defeitos do material e outras anomalias que podem colaborar para o início, crescimento e término da fratura [34].

Essa técnica normalmente faz uso de diferentes processos, tais como: a observação visual, óptica macroscópica, seguida da microscópica óptica, microscopia eletrônica de varredura e, em alguns casos, microscopia eletrônica de transmissão. É importante ressaltar que a observação deve atentar não só para a identificação e documentação da morfologia da falha, mas também para informações que ajudem a determinar as causas da mesma. Desta forma, três operações básicas devem ser adotadas: (1) classificação do tipo de falha, (2) mapeamento da trinca e (3) análise química da superfície da fratura [35].

A classificação do tipo de falha apresenta duas definições: falhas interlaminares e translaminares. As fraturas interlaminares ou delaminações são melhores analisadas pela direção de propagação da trinca através da microscopia óptica, enquanto que as fraturas

translaminares, onde ocorre o rompimento das fibras, são melhores avaliadas por microscopia eletrônica de varredura [35].

Assim, quando uma peça é fraturada em serviço, a responsabilidade inicial do analisador é documentar a fratura, tanto com fotos dos aspectos gerais quanto dos detalhes. Posteriormente a definição do tipo de falha ocorrida, vem à etapa mais criteriosa do processo, que é o exame detalhado da fratura por meio de análises macro e microscópicas. Essas análises solicitam que o investigador use técnicas fractográficas específicas para definir a direção da fratura, o modo como aconteceu e as condições ambientais em que a fratura se processou. Para fraturas translaminares, a ênfase é dada na fratura das fibras, enquanto que na fratura interlaminar a resina recebe mais atenção [34].

Portanto, o domínio da fractografia de compósitos permite identificar os diferentes esforços que atuaram em um componente, proporcionando condições e ferramentas para se determinar a causa do dano e definir medidas corretivas e preventivas no processamento, manutenção e reparo de compósitos [35].

A conservação da integridade da interface é fator fundamental para a manutenção do desempenho do compósito. Problemas como o desligamento entre matriz e a fibra pode causar redução no comportamento físico e mecânico do compósito. A microestrutura do material pode ser avaliada através de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens são obtidas a partir de superfícies polidas ou fraturadas dependendo do que se deseja observar [9].

Por intermédio do MEV em superfície fraturada é possível a observação dos diferentes mecanismos de fratura do compósito, que podem ocorrer dependendo das diferenças de propriedades mecânicas e geometria da fibra por tração, passando pelo arrancamento (pull out) ou pelo escorregamento das fibras e pela ruptura associada a defeitos significativos nessas fibras. A partir das micrografias, podem ser identificados fenômenos ocorridos de boa ou má aderência entre fibra e matriz, o que pode auxiliar na análise de degradação do compósito e/ou da fibra [15].

Contudo, alguns cuidados devem ser tomados durante a coleta das imagens. Há descrição na literatura onde algumas matrizes encontram-se parcialmente desligada da fibra, o que pode estar diretamente ligado à variação volumétrica da fibra e aos procedimentos de secagem do compósito durante a preparação dos corpos de prova para visualização em microscópios [9].

3.MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Resina poliéster

A matriz polimérica utilizada para realização do trabalho foi à resina poliéster tereftálica insaturada (Figura 9) na proporção de 94,5% (v/v) que é equivalente a 338,96 ml, fabricada pela empresa Royal Polímeros sob a denominação comercial de Denverpoly 754, a mesma foi adquirida pura e posteriormente pré-acelerada com naftenato de cobalto (CoNap), na proporção de 1,5% (v/v) ou 5ml. O agente de cura (catalisador) utilizado foi o peróxido de MEK (Butanox M-50), na proporção de 1% (v/v) ou 3,38ml.



Figura 9. Resina poliéster tereftálica insaturada.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

3.1.2 Fibras da bananeira

As fibras da bananeira utilizadas neste estudo foram extraídas de 03 (três) pseudocaules da bananeira do tipo híbrida PV 0376 fornecidas pela empresa Embrapa Amazônia oriental em Belém-Pa. Cada pseudocaulo era composto em média por 15 a 20 bainhas em condições de uso para a produção das fibras. As bainhas foliares foram separadas em (03) três partes: camada externa (CE), camada mediana (CM) e camada interna (CI). A Figura 10 mostra um esquema ilustrativo com as regiões de separação das bainhas foliares do pseudocaulo da bananeira.

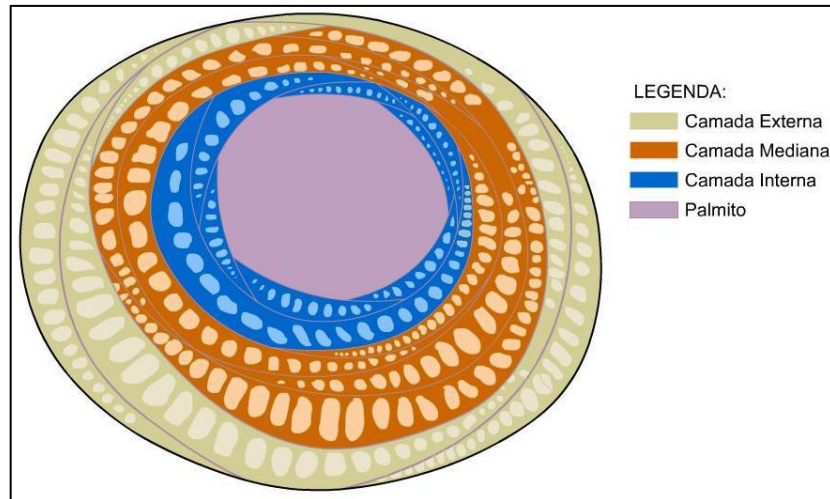


Figura 10. Esquema ilustrativo com a região de separação das bainhas foliares do pseudocaule da bananeira.
Fonte: (EL BANNA, 2012)⁶.

Após a separação das bainhas foliares em camadas, iniciou-se a extração das fibras. O processo foi realizado manualmente sem qualquer auxílio de equipamento tecnológico que influenciasse nos resultados. Assim, para a execução dessa etapa foram necessárias duas facas, duas escovas de cerdas de aço com raspador, duas flanelas e duas tesouras. A faca foi utilizada para facilitar e reduzir a área de retirada das fibras. O raspador foi usado para aplainar a bainha, retirar o excesso de água e mucilagem, além da retirada da película externa. A escova de aço separou as fibras em pequenos feixes onde destes foram removidas as fibras úmidas que foram posteriormente limpas e secas com a flanela. As Figuras 11 (a, b, c e d) a seguir demonstram algumas das etapas do processo de extração das fibras.



Figura 11. a) Redução da área de retirada das fibras; b) Retirada da mucilagem.
Fonte: (Autoria nossa, 2014)

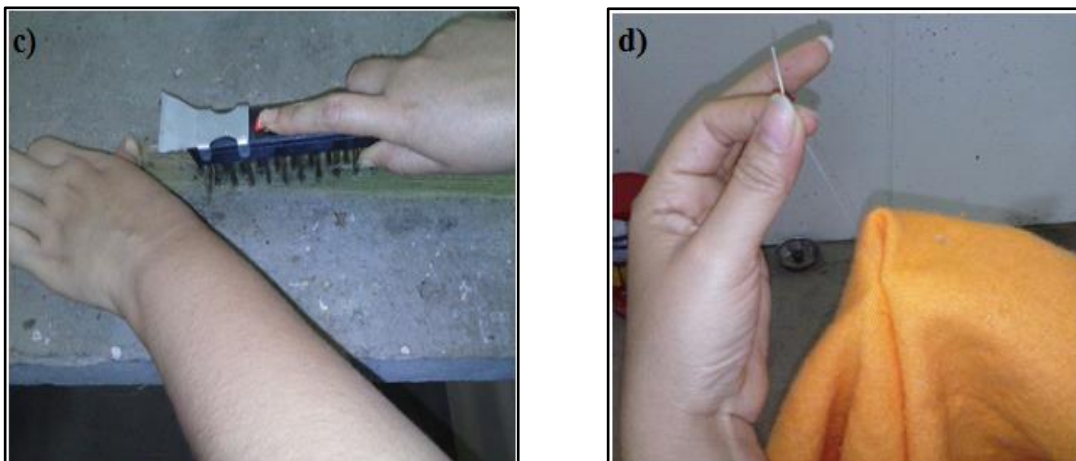


Figura 11 c) Separação das fibras em pequenos feixes; d) Fibra extraída e limpa.
Fonte: (Autoria nossa, 2014).

No final quando as fibras estavam com menor quantidade de resíduos foram colocadas dentro de um recipiente plástico até serem cortadas no tamanho de 20 mm para a fabricação da placa de compósito. É importante destacar que essas fibras não sofreram nenhum tipo de tratamento químico a não ser a retirada de mucilagem e uma limpeza, secando-as ao ar livre, portanto as mesmas foram trabalhadas em seu estado natural.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de provas (cp's) foram todos fabricados baseado na norma [36], com fabricação em um molde metálico (com dimensão 32 x 17,25 x 0,5 cm) com pressão (prensa hidráulica), utilizando-se desmoldante (cera), becker de 500 ml, bastão, pipeta de 5 ml, espátula, estilete e potes de 500 ml.

A fabricação dos corpos de prova se iniciou com a pesagem (na balança analítica de precisão) das fibras que estavam devidamente cortadas na dimensão de 20 mm de comprimento e separadas por camadas (Figura 12), obtendo como peso para cada camada a quantidade de 8,76 g que equivale a 3% em fração mássica. Por conseguinte, foram levadas a uma estufa a 105°C por um tempo de 30 minutos para retirar a possível umidade ainda presente nas fibras.



Figura 12. As fibras devidamente cortadas e separadas por camada.
Fonte: (Autoria nossa, 2014).

Enquanto isso a placa metálica era limpa com papel toalha e espalhado o desmoldante (Figura 13) para facilitar à retirada do compósito. Em seguida à resina foi medida (338,96 ml) em volume no becker e depois depositada em um recipiente plástico juntamente com o cobalto (devidamente medido na pipeta), que auxilia no processo de cura do compósito, e com a ajuda de um bastão houve a homogeneização dos mesmos, posteriormente foi depositado o catalisador com o restante da mistura (resina + cobalto) e novamente com o auxílio de bastão houve a homogeneização dos três por um minuto para acelerar o processo de cura.



Figura 13. Espalhando o desmoldante (cera).
Fonte: (Autoria nossa, 2014).

Continuando o processo, as fibras foram adicionadas na placa metálica de forma aleatoriamente (Figura 14a) preenchendo todos os espaços em vazio, em seguida a mistura (resina + cobalto e catalisador) foi vazada no molde para se aderir à fibra (Figura 14b), o qual ficou um período de 5 minutos em repouso, até que se identificasse a consistência de gel da

resina. Após isso a placa foi fechada e levada à aplicação de pressão que se deu por meio de prensa hidráulica (Fabricação: MARCON de capacidade de 15 toneladas – Figura 14c) com uma pressão de 1 kN para compactação da placa por um período de cura total do material de 30 minutos, no qual o compósito adquiriu sua resistência final.



Figura 14. a) Preenchimento aleatório das fibras na placa; b) Adicionando a mistura; c) Placa metálica fechada recebendo compactação pela prensa hidráulica.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

Terminado o tempo de cura a tampa da placa foi retirada e com o auxílio de um estilete foi removida as rebarbas da lateral da placa para facilitar a retirada da mesma do molde com uma espátula. É importante frisar que a determinação da fração mássica de cada tipo de reforço utilizado na fabricação dos corpos de prova deste trabalho, foi estimada através da capacidade volumétrica que o molde tem para acomodar estes reforços com pressão e compactação.

3.2.2 Confeção dos compósitos

As placas de compósito (Figura 15a) de cada camada de fibra foram desmoldadas, cortadas em corpos de prova (Figura 15b) adequados à norma para realização do ensaio mecânico de tração.

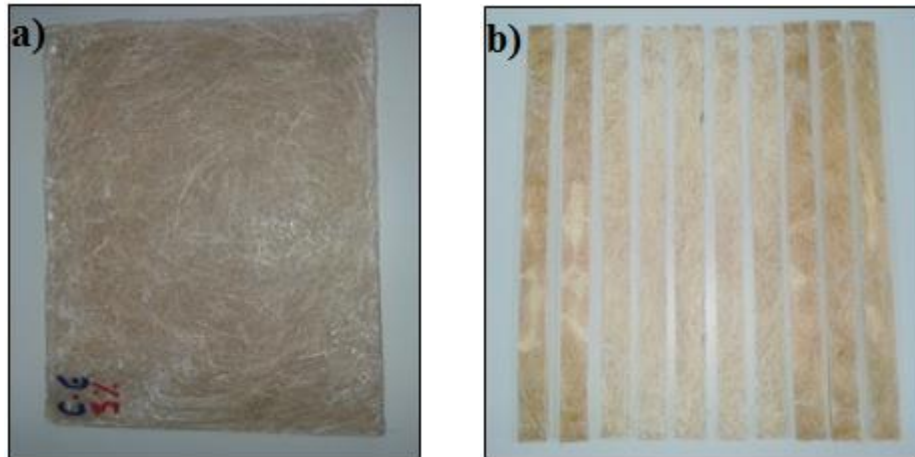


Figura 15. a) Placa de compósito; b) Corpos de prova (cp's).

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

3.2.3 Ensaio de tração dos compósitos

Os compósitos reforçados com fibra do pseudocaule da bananeira foram caracterizados mecanicamente por meio de ensaio de tração uniaxial, realizado segundo a norma [36]. Os corpos de prova (cp's) para esse ensaio foram cortados com um disco de corte diamantado em uma bancada nas dimensões apresentadas na Figura 16, a seguir:

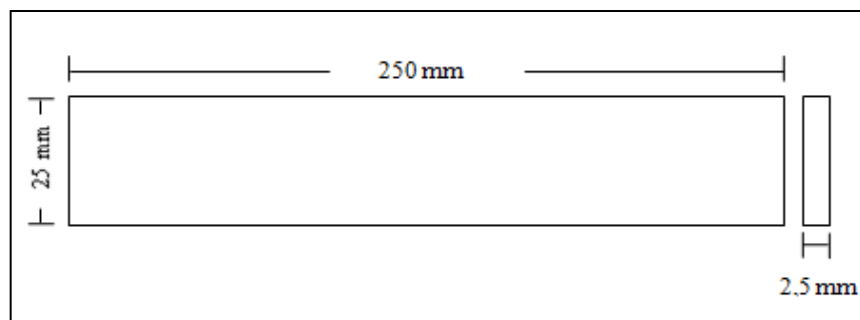


Figura 16. Dimensões dos corpos de provas (cp's).

Fonte: (ASTM D 3039, 2000)³⁶.

Foram confeccionados 30 (trinta) corpos de prova, sendo 10 para cada camada do pseudocaule (CE, CM e CI) e os ensaios foram realizados no laboratório de Ensaios Mecânicos da Universidade Federal do Pará – Campus Tucuruí, na máquina de teste universal (Figura 17), modelo WDW-100E com sistema de aquisição de dados conectado ao sistema

computacional para análise do comportamento mecânico durante a execução do ensaio, adotando uma velocidade de deslocamento de 5 mm/min.



Figura 17. Máquina de teste universal.
Fonte: (Autoria nossa, 2014).

3.2.4 Análise da fratura dos compósitos

Posteriormente a realização dos ensaios mecânicos com os corpos de prova, a superfície fraturada dos mesmos foi analisada de forma a se estudar os mecanismos de falha de cada composição (resina + fibra). Foi analisada a morfologia da superfície da fratura por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV – Figura 18), obedecendo à mesma metodologia de preparação da amostra para a caracterização microestrutural das fibras da bananeira.



Figura 18. Máquina de microscopia eletrônica de varredura (MEV).
Fonte: (Autoria nossa, 2014)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COMPÓSITOS

O quadro 2 mostra os resultados obtidos nos ensaios de tração para o compósito formado pela resina de poliéster tereftálica reforçada com fibra da bananeira híbrida PV 0376.

CAMADA	FRAÇÃO MÁSSICA (%) \pm DP	FORÇA MÉDIA (kN) \pm DP	ALONGAMENTO MÉDIO (mm) \pm DP	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MPa) \pm DP
Externa	3	1,44 (\pm 0,39)	3,11 (\pm 0,53)	27,34 (\pm 9,02)
Mediana	3	1,80 (\pm 0,34)	3,38 (\pm 0,36)	29,19 (\pm 5,49)
Interna	3	1,83 (\pm 0,30)	4,13 (\pm 0,71)	29,50 (\pm 4,93)

Quadro 2. Resultados obtidos nos ensaios de tração dos compósitos.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

Analisando o quadro 2 é possível observar que a camada interna apresentou melhor desempenho quanto a resistência à tração que foi de 29,5 MPa, porém não houve muita diferença nos valores de resistência à tração entre as três camadas, uma vez que houve uma maior aderência das fibras (reforço) com a matriz, o que contribuiu para a melhor transferência de tensão, resultando assim em um compósito com boas propriedades mecânicas.

A Figura 19 apresenta o comportamento da força versus alongamento dos corpos de prova característicos dos compósitos reforçados por fibras de bananeira.

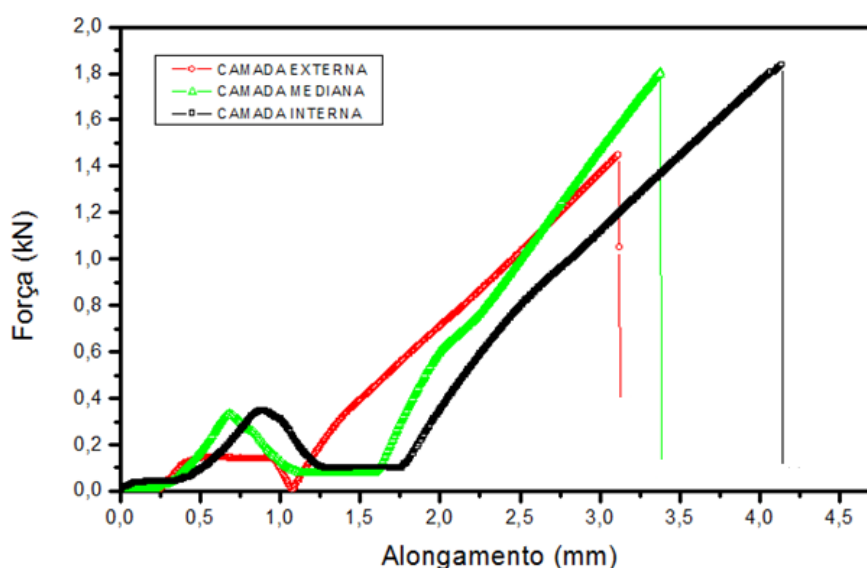


Figura 19. Comportamento da força versus alongamento.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

De acordo com a figura 19 pode-se observar que os compósitos reforçados pelas camadas medianas e internas apresentaram um comportamento semelhante quando se analisa

a força necessária para a ruptura dos corpos de provas, contudo o maior valor de alongamento foi obtido pela camada interna o que demonstra que a mesma teve melhor molhabilidade e aderência das fibras pela matriz polimérica. Já a camada externa apresentou um comportamento inferior quando comparada as outras duas camadas, tanto de força quanto de alongamento.

4.2 ANÁLISE DA FRATURA DOS COMPÓSITOS

Após a realização dos ensaios mecânicos, as superfícies de fratura dos corpos de prova foram analisadas com base na microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Figura 20 mostra a superfície de fratura dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras da bananeira híbrida PV 0376 da camada externa, onde se pode notar que o mecanismo de falha predominante foi à presença de fibras arrancadas (pull out) representadas pelas setas vermelha, da mesma forma pode-se notar a presença de fibras descoladas representadas pela seta em azul, oriundas da acomodação aleatória das fibras (dispostas no sentido transversal à força aplicada), e ainda é possível notar a presença de fibras rompidas, representadas pelas setas amarelas (porém encontradas em menores proporções).

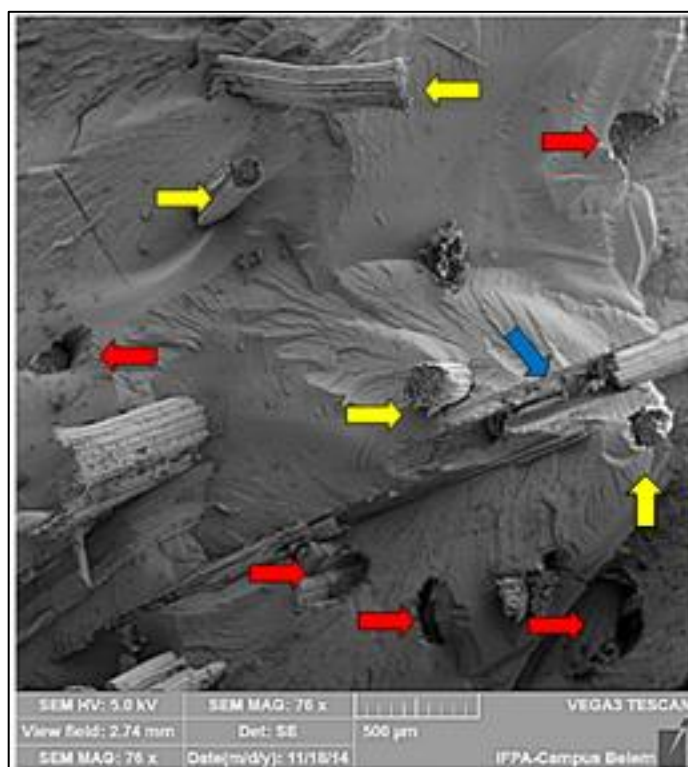


Figura 20. Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçado com fibra da bananeira híbrida PV 0376 da camada externa.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

A Figura 21 mostra a avaliação da superfície de fratura do compósito reforçado com fibras da bananeira híbrida PV 0376 da camada mediana, onde se pode notar que apesar do mecanismo de pull out (setas vermelhas) ainda ser recorrente, existe também a presença de fibras rompidas (setas amarelas) em proporções maiores, mostrando que à medida que o diâmetro da fibra diminui, melhor é a acomodação delas na matriz, melhorando assim a aderência da interface fibra/matriz, conseqüentemente aumenta sua resistência mecânica. E a seta verde mostra o sentido de propagação da trinca, ou seja, o sentido por onde irradiam a fratura do compósito.



Figura 21. Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçado com fibra da bananeira híbrida PV 0376 da camada mediana.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

A Figura 22 mostra a superfície de fratura do compósito reforçado com fibras da bananeira híbrida PV 0376 da camada interna, ainda é possível notar a presença do mecanismo de falha pull out (seta vermelha) e de fibras descoladas (setas azuis), ainda provenientes da acomodação aleatórias das fibras, entretanto a presença de fibras rompidas (setas amarelas) é mais evidente, pois fibras com diâmetros menores tendem a se acomodar e aderir melhor na matriz, portanto uma maior resistência foi encontrada por esta camada em relação às outras duas. Porém ainda é possível verificar a propagação de trinca (seta verde) irradiando à fratura do compósito.

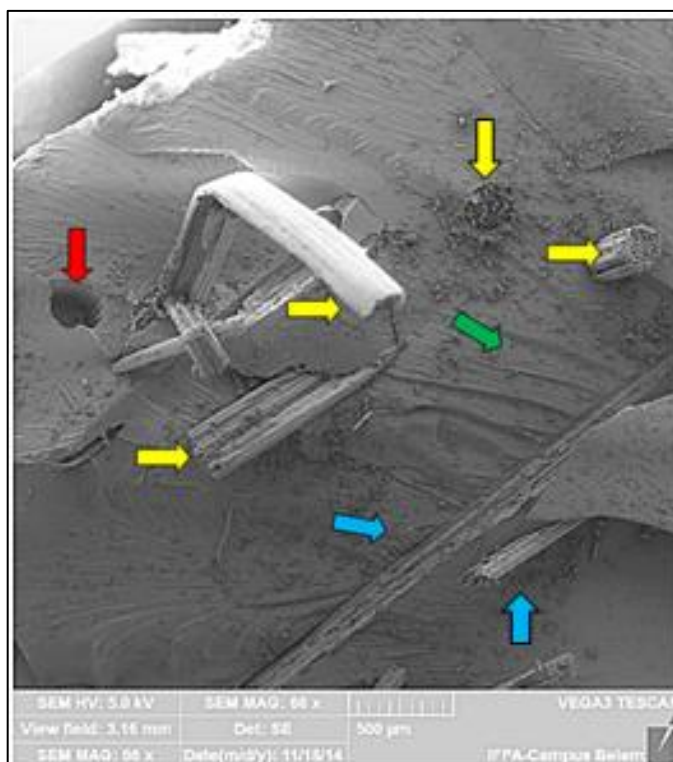


Figura 22. Microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura dos compósitos de matriz poliéster reforçado com fibra da bananeira híbrida PV 0376 da camada interna.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.

Com a finalidade de verificar se realmente é praticável utilizar este tipo de compósito na fabricação de materiais, foi estabelecida no quadro 3 uma comparação do compósito reforçado com fibras da bananeira híbrida PV 0376 da camada interna, que apresentou melhor desempenho neste trabalho, com outros compósitos reforçados por fibras naturais.

Tipo de reforço	Fração mássica (%)	Comprimento (mm)	Resistência à tração (MPa)	Referência
BHPV 0376 interna	3	20	29,50	Neste trabalho
BST interna	3,9	15	26,68	[6]
Curauá	2,9	15	28,67	[6]
Sisal	1,9	15	28,64	[32]
Laminado híbrido (LJV)	-	-	96,01	[12]

Quadro 3. Comparação dos compósitos reforçados com fibras da bananeira híbrida PV 0376 da camada interna em relação a compósitos estudados por outros autores.

Fonte: (Autoria nossa, 2014).

Para os trabalhos de [6] e [32], o processo de fabricação dos compósitos foi manual em moldes de silicone, com orientação das fibras de modo aleatório, sem pressão e

sem desmoldante (cera), utilizando a matriz de poliéster tereftálica de acordo com a norma [37], uma vez que para o comprimento de fibras variando entre 5, 10 e 15 mm é recomendado este tipo de fabricação, pois para o comprimento de 5 mm as fibras se organizam nas dimensões do molde, na área útil da aplicação da tensão e na mesma direção da propagação da fratura, já para o comprimento de 10 mm as fibras se organizam no limite do comprimento útil da aplicação da tensão e para o comprimento de 15 mm as fibras se organizam enroladas por serem maiores do que as dimensões do molde na principal área de aplicação de tensão, assim para os comprimentos maiores do que esse, quando o corpo de prova é usinado (lixado) as fibras que ficam com as pontas para fora do molde, são rompidas aumentando os pontos de concentração de tensão. Por isso que a partir do comprimento de 20 mm, o ideal é a fabricação de corpos de prova na placa metálica, para que haja uma melhor acomodação das fibras no molde.

Já para o trabalho de [12] o método de fabricação do compósito foi de laminação manual, utilizando como matriz a resina de poliéster ortoftálica com reforço de fibra de juta e vidro.

Analisando o quadro 3 constata-se que a bananeira híbrida PV 0376 da camada interna obteve um valor de tensão maior entre todos os compósitos fabricados somente com fibras naturais, sendo 10% e 3% superior ao trabalho de [6] que trata da análise do compósito da fibra da bananeira São Tomé e da fibra de curauá, respectivamente. E para o trabalho de [32] que trata sobre a fibra de sisal, a fibra da bananeira híbrida PV 0376 também apresentou 3% de superioridade. Contudo, comparada com o trabalho de [12] esta apresentou um valor de inferioridade de 225%, pois se trata de um compósito laminado híbrido de fibra de juta e vidro.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

O método manual de fabricação das placas de compósito mostrou-se suficientemente eficaz para a finalidade que se propunha este trabalho, no qual consistia na obtenção de um material compósito de baixo custo e simples fabricação. É importante ressaltar que, uma vez que foram utilizadas fibras in natura, os resultados obtidos foram os melhores possíveis, podendo ser melhorados por meio de tratamentos químicos.

Quanto ao comportamento da resistência dos compósitos com relação à variação das camadas utilizadas, o mesmo apresentou resultados satisfatório onde a diferença entre as camadas foi à mínima possível. Contudo, dentre todos os compósitos ensaiados, a camada interna reforçado com fibras da bananeira híbrida PV 0376 com comprimento de 20 mm e fração mássica de 3% apresentou melhor resultado, possivelmente este valor foi devido à fibra dessa camada ser mais resistente e cortante.

Os mecanismos de falhas predominantes nos compósitos que apresentaram melhores resultados foi o rompimento das fibras, o que indica uma melhor adesão da fibra/matriz, pois apresentavam diâmetro reduzido o que conferiu ao compósito uma maior resistência mecânica. E para os compósitos que apresentaram resultados inferiores os mecanismos de falhas predominantes foram o pull out e o descolamento de fibras da matriz.

Comparando este compósito com fibras vegetais de outros autores foi possível constatar que este compósito apresentou melhores resultados, mostrando dessa forma a viabilidade em se trabalhar com esse tipo de reforço.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Realizar ensaios de flexão e impacto neste compósito;
- ✓ Tratar quimicamente a fibra da bananeira com o objetivo de melhorar a adesão da interface fibra matriz melhorando assim suas propriedades mecânicas;
- ✓ Trabalhar com algum tipo de carga (pó de açai, pó de aerosil) junto com o compósito afim de verificar se há aumento em suas propriedades mecânicas;
- ✓ Verificar o comportamento desse compósito variando a fração mássica de 0,5%, 1%, 1,5%, 2% e 2,5%.

REFERÊNCIAS

1. MEGIATTO JR, Jackson Dirceu. **Fibras de sisal**: estudo de propriedades e modificações químicas visando aplicação em compósitos de matriz fenólica. Tese (Doutorado em Ciências (Físico-Química)). Universidade de São Carlos, São Carlos, 2006. 272f.
2. PINHEIRO, Antonia de Nazaré dos Santos. **Características mecânicas e fractográfica de matriz de poliéster com carga de pó de caroço de açaí reforçada com fibras de sisal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 55f.
3. EL BANNA, Wassim Raja; FUJIYAMA, Roberto Tetsuo; SANTOS, Izael Pinho dos; PEREIRA, Léo Cesar Oliveira. **Fibras de bananeira como material de engenharia**, 2011. Belém. Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Anais do 39º Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Blumenau – SC, 2011. p.1-6.
4. SANTOS, Alexandre Maneira dos. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. 90f.
5. RODRIGUES, Jean da Silva. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém. Fevereiro de 2008. 91f.
6. EL BANNA, Wassim Raja. **Estudo comparativo de material compósito reforçado por fibras de bananeira e curauá e matriz poliéster**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2012. 101f.
7. MOHANTY, Amar K.; MISRA, Manjusri; DRZAL; Lawrence T. **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. p. 845.
8. FERNANDES, E.R.K.; AFUSO, R.K.S.; SCHMITT, C.C.; SELLIN, N.; SOUZA, O.; MEDEIROS, S.H.W. **Avaliação do potencial para reaproveitamento de resíduos da bananicultura por pirólise**, 2011. Universidade de UNIVILLE. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. Anais: Foz do Iguaçu, 2011. p.1-4.
9. SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. 128 f.
10. HULL, D. **An introduction to composite materials**. 1ª edição. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1981.
11. KERN, Andrea Parisi. **Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contrafortes de calçados em matriz de gesso para uso como material de construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

12. OLIVEIRA, Jorge Fernando de Sousa. **Estudos da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Agosto de 2007. 118f.
13. CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
14. SILVA, Rosana Vilarim da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. 157f.
15. BERNARDI, Stefania Tesi. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibras de aramida kevlar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Outubro de 2003. 179f.
16. LEÃO, Rafael Seixas dos Santos. **Compósitos reforçados por fibras de curauá: análise da influência do comprimento e proporção das fibras na resistência à tração dos compósitos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 50f.
17. MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. 2ª edição. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.
18. JÚNIOR, Marques Lima. **Fibras da semente do açaizeiro (euterpe oleracea Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e tecnologia de Materiais). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. 141f.
19. MOTA, R. C. S.; **Análise de viabilidade técnica de utilização da fibra de bananeira com resina sintética em compósitos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010. 107 f.
20. LEÃO, Mirtânia Antunes. **Fibras de licuri: um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. 109f.
21. SANTOS, Rodrigo Mauricio Costa dos. **Materiais compósitos de matriz poliéster reforçados por tecido de palha da costa (Raphiataedigera Mart.) e pelo híbrido tecido de palha da costa e fibras curtas de sisal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 57f.
22. JUNIOR, Osni Fontan. **Aplicação de tramas de fibras de pupunheira (Bactris Gasipaes, H.B.K) em compósitos híbridos com fibra de vidro em matriz de resina de poliéster insaturado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2009. 68f.

23. ROSSA, LÍLIAN VANESSA. **Avaliação das propriedades de compósitos de poli (Hidroxibutirato-CO-Valerato) reforçado com fibras de curauá.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias). Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2012. 99f.
24. MERLINI, CLAUDIA. **Análise experimental de compósitos de poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras de bananeira.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 104f.
25. PIRES, EDUARDO NASCIMENTO. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 73f.
26. BORGES, A. L. et al. **A cultura da banana / Embrapa mandioca e fruticultura tropical.** 3ª edição revisado e ampliado. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica (Coleção Plantar 56), 2006. p.110.
27. RAZERA, ILCE AIKO TANAKA. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica.** Tese (Doutorado em Ciências (Físico-química)). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. 189f.
28. BORGES, A. L. et al. **O cultivo da bananeira.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004.
29. FERRIOTTI, DANYELLE DE GODOY. **Proposta de aproveitamento do pseudocaule da bananeira (Musa Cavendish).** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2010. 56f.
30. ESMERALDO, M. A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural.** Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006. 119f.
31. ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS (ALMACO). Disponível em: <<http://www.almaco.org.br/compositos.cfm>>. Acesso em: 30 de setembro de 2014.
32. GILDO, CAMILA CAROLINE RENDEIRO. **Compósito poliéster reforçado por fibras de sisal: avaliação do comprimento e proporção das fibras nas propriedades mecânicas dos compósitos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 54f.
33. MENDES, REGINALDO AMARAL; SANTOS, HUDSON CARLOS MELO DOS. **Compósito polimérico reforçado com carga de aerossil, talco, pó de madeira e de açai.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 66f.

34. FRANCO, Leandro Augusto Lemos. **Análise fractográfica de compósitos poliméricos estruturais**. Dissertação (Mestrado em Ciência). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos-SP, 2003. 169f.
35. REZENDE, Mirabel C. **Fractografia de compósitos estruturais**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, vol. 17, nº 3, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v17n3/003.pdf>>. Acesso em: 13 de outubro de 2014.
36. American Society for Testing and Materials. **ASTM D 3039**. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2000.
37. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (METRIC). **ASTM D 638 M**, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1989.