

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**APLICAÇÃO DE TRAMAS DE FIBRAS DE PUPUNHEIRA (*Bactris Gasipaes*,
H.B.K.) EM COMPÓSITOS HÍBRIDOS COM FIBRA DE VIDRO EM MATRIZ DE
RESINA POLIÉSTER INSATURADO**

OSNI FONTAN JUNIOR
ORIENTADORA: DENISE ABATTI KASPER SILVA

JOINVILLE
2009

OSNI FONTAN JUNIOR

**APLICAÇÃO DE TRAMAS DE FIBRAS DE PUPUNHEIRA (*Bactris Gasipaes*,
H.B.K.) EM COMPÓSITOS HÍBRIDOS COM FIBRA DE VIDRO EM MATRIZ DE
RESINA POLIÉSTER INSATURADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE - como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, sob orientação da Professora Denise Abatti Kasper Silva.

JOINVILLE

2009

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me dar saúde e serenidade durante essa caminhada.

Aos meus pais, irmã e esposa, pelo apoio e compreensão.

Aos meus professores, que contribuíram para o aprimoramento do meu conhecimento, em especial à professora Denise Abatti Kasper Silva, pela dedicação incondicional e atenção dispensada durante o período deste trabalho.

À estagiária do projeto TFIBRA, Fernanda S. de Oliveira pelo apoio e dedicação durante o período de execução deste trabalho.

Enfim, à todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação.

Muito obrigado!

RESUMO

A estratégia de aplicar a fibra de pupunheira na forma de trama bidimensional em compósitos híbrido com fibra de vidro deve-se aos resultados de estudos anteriores que melhoraram a propriedade de resistência sob impacto. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de tramas bidimensionais de fibras dos segmentos foliares de pupunheira de forma híbrida com fibra de vidro em compósitos de resina poliéster insaturada no desempenho mecânico e na taxa de absorção de água desse material. As folhas da pupunheira utilizadas para a extração dos segmentos foliares e posteriormente das fibras foram coletadas no mesmo dia do corte da planta em propriedade particular localizada na Estrada Quiriri, SC 301, na região de Joinville, SC. As nervuras centrais dos segmentos foliares foram separadas uma a uma e em seguida submetidas a um processo de raspagem com faca para retirada de resíduos clorofilados obtendo-se dessa forma o que se denominou, neste trabalho fibra natural (FN). Em seguida, as fibras foram tramadas em suporte de elastômero. Elas foram fixadas em diversas furos com espaçamento de 10 mm. Foram confeccionadas placas contendo as seguintes proporções de matriz e fibras 90/10% (m/m) (sendo os 10% de fibras composto por diferentes proporções de mantas de fibra de vidro + tramas de fibra vegetal). Empregaram-se como controle, compósitos obtidos apenas com fibra de vidro e de resina pura. Os compósitos foram submetidos as análises de resistência a tração, sob impacto e análise térmica. As fraturas foram observadas em Microscópio Eletrônico de Varredura e o perfil de absorção de água também foi estudado. Nos ensaios de tração, a inserção das tramas de fibras naturais não alterou significativamente os resultados quando comparados com os corpos de prova confeccionados apenas com fibra de vidro. Esses resultados indicam a viabilidade em aplicar as fibras de pupunheira, nesse percentual, sem comprometer o desempenho mecânico previsto para os compósitos. A partir dos dados apresentados, de resistência sob impacto, pode-se concluir que aplicação das tramas da fibra da pupunheira permitiu ampliar em 94% esse desempenho, caso do compósito contendo 19% de fibra natural, relativamente aos corpos de prova que utilizaram apenas a fibra de vidro como reforço. Porém, de acordo com as micrografias, a interface matriz/fibra natural continua sendo o principal fator determinante para os resultados de ensaios de resistência mecânica, principalmente nos ensaios de tração. Com relação a degradação térmica, concluiu-se que a incorporação de fibra natural no compósito pode ser realizada sem problemas para temperaturas de trabalho inferiores a 300°C. O perfil de absorção de água dos corpos de prova quando submersos indica que esses compósitos absorvem menos de 3% de água.

Palavras-chaves: fibra de pupunheira, compósitos híbridos, resina poliéster

ABSTRACT

The strategy to implement the fiber of peach palm in the form weaves in composites to produce a hybrid glass fiber due to the results of previous studies that have improved the property of the impact strength. The aim of this study was to evaluate the effect of two-dimensional plots for fiber segments of peach palm leaf in hybrid glass fiber in composites of unsaturated polyester resin on the mechanical performance and the rate of water absorption of this material. The leaves of peach palm used for the extraction of leaf segments and then the fibers were collected on the same day the cutting of the plant on private property located in Quiriri Road, SC 301, in the region of Joinville, SC. The central rib of the leaf segments were separated one by one and then undergo a process of scraping with a knife to remove chlorophyll residue thus resulting in what is called in this work natural fiber (NF). Then the fibers were in support of elastomer are fucked. They were established in several holes with a spacing of 10 mm. Plates were prepared containing the following proportions of matrix and fiber 90/10 (%wt) (being 10% of fibers composed of different proportions of glass-fiber blankets + plots of vegetable fiber). Used as a control, obtained only with composite fiberglass and resin pure. The composites were submitted to analysis of tensile strength, on impact and thermal analysis. The fractures were observed in the scanning electron microscope and the profile of water absorption was also studied. In tensile tests, the insertion of the frame of natural fibers does not significantly alter the results compared with the bodies of evidence made only with glass fiber. These results indicate the feasibility of applying the peach palm fibers, in percentage, without compromising the mechanical performance for the composites. From the data presented, the impact on resistance, it can be concluded that application of the fiber plots of peach palm has 94% larger in this performance, if the composite containing 19% natural fiber, for bodies of evidence using only the glass fiber as reinforcement. However, according to the micrographs, the interface matrix / natural fiber is still the main determining factor for the results of tests of strength, especially in tensile tests. About thermal degradation, it was concluded that the incorporation of natural fiber in the composite can be performed without problems for the working temperatures below 300 ° C. The profile of absorption of water indicates that these composites absorbed less than 3% wt water.

Keywords: peach palm fiber, hybrid composites, polyester resin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Componentes de um compósito polimérico	15
FIGURA 2: Formação de uma resina poliéster comercial (básica) através da reação de um diol com um diácido.....	18
FIGURA 3: Organograma de classificação das fibras.....	19
FIGURA 4: Exemplos de pupunheira (<i>Bactris gasipaes</i>).....	24
FIGURA 5: Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção dos corpos de prova para realização dos ensaios.....	31
FIGURA 6: Imagens do processo de obtenção da fibra da pupunheira	32
FIGURA 7: Fibras tramadas em suporte de elastômero de poliuretano.....	32
FIGURA 8: Fibras já tramadas e ajustadas com espaçamento de 1 cm	33
FIGURA 9: Placa do compósito híbrido confeccionado para ensaio de impacto.....	36
FIGURA 10: Corpos de prova submetidos ao ensaio de tração.....	36
FIGURA 11: Garras da Máquina Universal de Ensaios, corpo de prova, extensômetro	37
FIGURA 12: Esquema do corpo de prova utilizado para ensaio de impacto.....	38
FIGURA 13: Representação esquemática do ensaio de impacto: tipo Izod e Charpy.....	39
FIGURA 14: Equipamento utilizado nos ensaios de tração.....	39
FIGURA 15: Equipamento utilizado para os ensaios de impacto.....	40
FIGURA 16: Corpos de prova submetidos ao ensaio de absorção de água	40
FIGURA 17: Micrografias das fraturas dos corpos de prova submetidos ao ensaio de tração. (a) corpo de prova confeccionado com fibra de vidro. (b) corpo de prova confeccionado com uma manta de fibra de vidro e uma trama de fibra natural	48
FIGURA 18: Imagens do MEV das fraturas dos corpos de prova submetidos ao ensaio de impacto e tração. (a) corpo de prova da amostra FN 12% submetido ao ensaio de impacto. (b) corpo de prova FV/FN/FV submetido ao ensaio de tração	49
GRÁFICO 1: Comparativo de resistência a tração dos diferentes corpos de prova submetidos ao ensaio.	44
GRÁFICO 2: Comparativo do alongamento dos diferentes corpos de prova submetidos a análise.	45

GRÁFICO 3: Comparativo do módulo de elasticidade dos diferentes corpos de prova submetidos a análise.....	46
GRÁFICO 4: Comparativo de resistência ao impacto dos diferentes corpos de prova submetidos a análise	47
GRÁFICO 5: Comportamento térmico dos compósitos submetidos ao ensaio de degradação térmica.	50
GRÁFICO 6: Curvas DTG obtidas para resina, fibra de vidro e compósitos híbridos com 12% e 19% de fibra natural em massa.....	52
GRÁFICO 7: Percentual de absorção de água dos compósitos submetidos ao ensaio	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Relação de equipamentos e materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho	30
TABELA 2: Ficha técnica da matriz utilizada	33
TABELA 3: Características dos corpos de prova confeccionados com 10% de fibra em massa para os ensaios de resistência a tração e ao impacto	34
TABELA 4: Valores de densidade e teor de vazios das amostras analisadas	43
TABELA 5: Valores de T_{onset} , T_{pico} e perda de massa dos compósitos submetidos ao ensaio de degradação térmica	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 COMPÓSITOS.....	13
2.2 RESINA POLIÉSTER INSATURADA (MATRIZ).....	17
2.3 FIBRAS (REFORÇOS)	18
2.3.1 FIBRAS QUÍMICAS.....	20
2.3.2 FIBRAS NATURAIS	21
2.4 PUPUNHEIRA	23
2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS COM FIBRAS VEGETAIS – ESTADO DA ARTE.....	26
2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS	28
3. METODOLOGIA	30
4. RESULTADOS	43
4.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DOS COMPÓSITOS	43
4.2 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO	44
4.3 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE IMPACTO.....	46
4.4 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS FRATURAS	48
4.5 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS	50
4.6 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	52
CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55

1. INTRODUÇÃO

A ascensão dos materiais compósitos tem sido facilitada pela introdução de novos materiais, melhorias nos processos de fabricação e desenvolvimento de novos métodos analíticos de teste (CARVALHO, 2003).

Uma boa sinergia entre os diferentes componentes que o formam, resultam numa gama de propriedades inerentes ao material como, por exemplo, elevadas propriedades mecânicas específicas e muitas vezes atribuições econômicas e ambientais, que os tornam mais interessantes do que os componentes isolados, propiciando uma demanda no seu uso (AMORIM *et al.* 2006; CASARIL *et al.* 2007).

Por outro lado, há a persistência de plásticos no meio ambiente, a rápida redução da capacidade dos aterros sanitários, a preocupação com as emissões de gases nos processos de incineração e o risco de exposição de seres humanos, bem como de outros animais, a agentes nocivos o que reforça a necessidade de desenvolver materiais alternativos e ambientalmente amigáveis (MOHANTY *et al.* 2005).

Assim, criar alternativas torna-se imperativo e por isso a aplicação de matérias-primas de fontes renováveis é objeto de diversos estudos, devido ao seu potencial na substituição de derivados petroquímicos, donde surgem os biopolímeros e os biocompósitos. (ARAÚJO, 2003; MOHANTY *et al.* 2005).

Dentre as estratégias de tornar os compósitos poliméricos menos agressivos ao meio ambiente está a aplicação das fibras naturais como reforço em polímeros, substituindo parcialmente as fibras sintéticas como amianto, kevlar, boro, carbono, nylon e vidro que, apesar de possuírem boas características mecânicas, apresentam um custo elevado, são abrasivas aos equipamentos de processamento, possuem alta densidade, não são biodegradáveis, geram produtos com um custo muito alto de reciclagem, além de algumas dessas fibras comprometerem a saúde humana (JOSEPH, 1999; MOTHE & ARAUJO, 2004).

Destaca-se aqui a importância em substituir total ou parcialmente a fibra de vidro, cujo emprego é comum, mas é um material de difícil reaproveitamento, tornando a geração de resíduos dessa natureza um problema quanto a sua reutilização e disposição final.

As fibras vegetais apresentam vantagens importantes como: baixo custo, baixa densidade, boa resistência mecânica, baixa abrasividade aos equipamentos de processo e também por serem provenientes de fontes renováveis de matéria-prima disponível em todo o mundo. Além disto, essas fibras são biodegradáveis e não são tóxicas ou poluentes, de modo que o seu descarte não acarreta problemas ambientais, apresentando ainda uma boa razão custo/benefício para serem usadas como reforço em matrizes poliméricas (BLEDZKI; GASSAN, 1999 *apud* CARVALHO, 2006; WESSLER *et al.*, 2004; MOTHÉ; ARAUJO, 2004; FREIRE; KLOHN, 2006).

A aplicação de materiais compósitos com fibras vegetais como reforço já está bem estabelecida e destaca-se em alguns setores como o de peças automotivas (SILVA *et al.* 2008), de materiais para a construção civil e para a indústria de embalagens rígidas (MOHANTY *et al.* 2005).

Outro fato relevante neste processo é a utilização das fibras provenientes de resíduos agro-industriais, contribuindo também para a minimização de resíduos desta natureza. Sobressaem-se aqui as fibras vegetais de sisal, juta, cânhamo, coca, curauá, abacaxi e abacá.

Quanto a aplicação de fibras de pupunheira em compósitos especificamente, verifica-se que não estão reportadas em literatura, exceto nos trabalhos desenvolvidos pelo grupo de Materiais Poliméricos da UNIVILLE desde 2005 e publicados a partir de então. Os estudos do grupo baseiam-se na aplicação de diferentes partes da pupunheira como carga em compósitos tendo como matriz a resina de poliéster insaturado ortoftálica. A proposta do grupo é gerar alternativas para agregar valor à fibra vegetal, de modo que possa ter um uso mais nobre do que o atual: cama e alimento para animais (SANTOS, 2007; MIRANDA, 2007; FARIAS, 2007).

Além disso, a fibra da pupunheira é proveniente de um material descartado pelos produtores rurais da região de Joinville/SC, ou seja, de origem local e que ao criarem uma cooperativa para produção de palmito de pupunha em conserva em meados de 2008, irão certamente aumentar a produção e conseqüentemente a quantidade de resíduos. Agregar valor ao resíduo pode tornar-se uma alternativa aos produtores, durante a entressafra.

A estratégia de aplicar a fibra de pupunheira na forma de trama bidimensional em compósitos para compor um híbrido com fibra de vidro recai sobre o fato de que os estudos anteriores apontaram que essas fibras assim arrançadas melhoraram a

propriedade da resina, de resistência sob impacto (FARIAS, 2007), mas o módulo de elasticidade e a resistência a tração foram pouco alterados.

Constatou-se então, que um estudo sobre um compósito híbrido fibra de vidro/fibra natural poderia contribuir tanto para minimizar o uso da fibra de vidro, como gerar alternativas de aplicação de parte dos resíduos gerados na cultura do palmito de pupunha agregando-lhes valor.

Sob essa perspectiva e considerando os trabalhos anteriores, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de tramas bidimensionais de fibras dos segmentos foliares de pupunheira de forma híbrida com fibra de vidro em compósitos de resina poliéster insaturada no desempenho mecânico e na taxa de absorção de água desse material.

Este trabalho contempla a seguir a revisão bibliográfica, onde está apresentado de forma concisa o que já se estudou em relação ao tema. Em seguida, temos a metodologia que descreve a maneira que o trabalho foi concebido, instrumentos e processos utilizados em cada etapa das atividades desenvolvidas até a confecção e métodos de análise dos corpos de prova produzidos. Os resultados e a discussão são apresentados após a metodologia e as conclusões apresentadas ao final deste estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPÓSITOS

Embora a palavra compósito pareça moderna, a utilização desses materiais é realizada a mais de 5.000 anos, um exemplo disso é a aplicação de palha e crina de cavalo para reforçar tijolos de barro (ASHBY, 2007).

Esses materiais são importantes porque permitem a combinação de propriedades de dois ou mais materiais diferentes para se obter um novo material com propriedades distintas (CARVALHO, 2003) ou que exibam uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem (CALLISTER, 2002).

Para Oréfice (2008) e Smith (1998) “o objetivo principal em se criar compósitos é de combinar diferentes materiais para produzir um único dispositivo cujas propriedades são superiores, ou melhores (em alguns aspectos), às propriedades de cada um dos componentes isoladamente”.

Esses conceitos fornecem a noção de que as propriedades dos compósitos podem ser moldadas.

Os compósitos podem ser classificados em metálicos, cerâmicos ou poliméricos e cada um possui uma característica específica. Os metálicos apresentam geralmente excelente ductilidade, condutividade térmica e elétrica. Os cerâmicos têm como características principais sua elevada resistência ao calor e extrema fragilidade. Já os poliméricos destacam-se principalmente pela baixa densidade e fácil conformação, além da elevada resistividade elétrica. (HAGE, 1989).

Leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade são algumas das propriedades que garantem aos compósitos o título de produto do futuro. Engenheiros e técnicos procuram cada vez mais os compósitos como solução para seus projetos de engenharia. Estados Unidos, Japão, Canadá, Europa e Brasil, têm no compósito um mercado em franca expansão (ABMACO, 2007).

A indústria de compósitos cresceu rapidamente nos últimos 30 anos e têm emergido como uma valiosa classe de materiais de engenharia porque oferecem muitos atributos não alcançados por outros materiais, ou simplesmente por apresentarem desempenho físico ou mecânico semelhante e serem mais baratos (CARVALHO, 2003; ASHBY, 2007).

Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases, uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada frequentemente de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. Nesse contexto, por “geometria de fase dispersa” subentende-se a forma das partículas, e seu tamanho, sua distribuição e sua orientação (CALLISTER, 2002).

Com a evolução dos estudos na área de compósitos poliméricos foi possível adotar a classificação considerando-se a forma física:

- a) carga fibrosa: possui elevada razão de aspecto (relação entre a maior e a menor dimensão de um corpo = L/D);
- b) carga não fibrosa ou particulada, podendo ser em forma de escamas ou de partículas mais ou menos anisométricas.

De acordo com a capacidade de reforço:

- a) carga ativa ou reforçante;
- b) carga inerte ou enchimento.

Além é claro, da sua natureza: orgânica, inorgânica, natural ou sintética. Dessa forma é possível classificar os compósitos poliméricos a partir de seus constituintes, conforme mostra a Figura 1.

Tecnologicamente, os compósitos poliméricos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa encontra-se na forma de uma fibra.

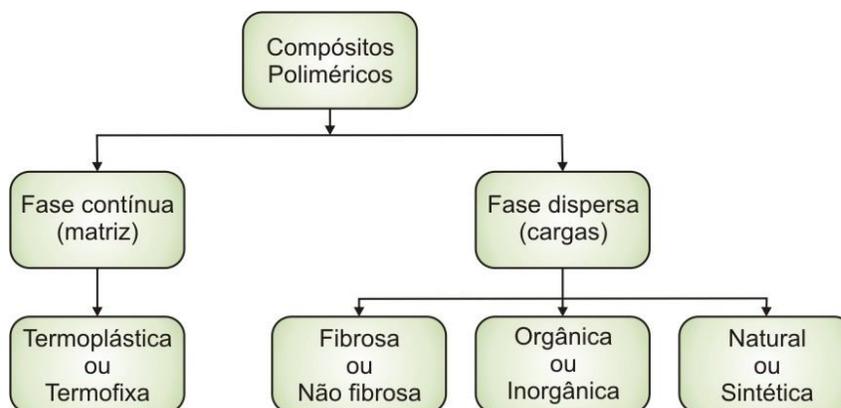


Figura 1: Componentes de um compósito polimérico
 Fonte: Rabello (2000)

Os projetos de compósitos reforçados com fibras incluem com frequência resistência e/ou rigidez alta em relação ao seu peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros de resistência específica e módulo específico, os quais correspondem, respectivamente, às razões do limite de resistência à tração em relação à densidade relativa e ao módulo de elasticidade em relação à densidade relativa (CALLISTER, 2002).

Entre os compósitos, os que utilizam fibra de vidro são os mais aplicados no desenvolvimento de produtos. Segundo Mano e Mendes (1999), a fibra de vidro é um material comumente utilizado em segmentos de mercado, por conta de características como resistência a variações de temperatura e por não permitir alterações substanciais das propriedades mecânicas. Devido à sua facilidade de processamento, permite a moldagem de peças pequenas ou de grandes dimensões como telhas corrugadas, cascos de barco, carrocerias de carros, piscinas, silos, tubos para esgoto industrial e luminárias decorativas.

Um compósito de fibra de vidro corresponde, simplesmente à presença de fibras de vidro contínuas ou descontínuas, contidas no interior de uma matriz polimérica; esse tipo de compósito é conhecido como *polímeros reforçados com fibra de vidro* (GFRP) e foram os primeiros a serem desenvolvidos em escala industrial (CALLISTER, 2002; ASHBY, 2007).

Apesar de suas características apropriadas para o desenvolvimento de compósitos, a fibra de vidro é um material de manuseio complexo, altamente tóxico para os que trabalham com ela (FARIAS, 2007).

Segundo Sanchez e Cavani (2003), além da dificuldade em trabalhar os resíduos de compósitos com fibra de vidro e de potenciais problemas de saúde e ambientais que podem provocar, vê-se cada vez mais a necessidade da procura por materiais alternativos à fibra de vidro.

A inalação da fibra de vidro expõe seus manipuladores a grandes riscos de câncer (YAM, 1996). O autor relata que estudos realizados pelo Conselho de Defesa dos Recursos Naturais (NRDC; Washington), mostram que os riscos de câncer ocasionados pela inalação da fibra de vidro são iguais ou maiores que os ocasionados por amianto. O câncer pode ocorrer nos olhos, pele ou sistema respiratório.

Além disso, é um material que dificilmente pode ser reciclado, pois exige operações adicionais de tratamento, poluindo com maior facilidade o meio ambiente (FARIAS, 2007).

A corrente da sustentabilidade entende que poluição é uma forma de desperdício e ineficiência dos processos produtivos pela perda de matérias-primas e insumos na fabricação de produtos. Assim, a busca da qualidade ambiental passa pela concepção do produto e do próprio processo produtivo, através de gerenciamento de resíduos, utilização de forma consciente das matérias-primas, minimização do consumo energético e dos insumos necessários ao processo (FERREIRA, 2004).

Segundo Mohanty *et al.* (2005), não é necessário produzir materiais com 100% de fibra natural como substitutos para materiais a base de petróleo. A solução viável é combinar derivados de petróleo e recursos naturais para confecção de produtos tendo como requisito propriedades com performance para real aplicação. Polímeros sintéticos reforçados com fibra natural, freqüentemente chamados de biopolímeros podem ser alternativas viáveis para reforçar compósitos de fibra de vidro.

A flexibilidade de se projetar e selecionar polímeros com características únicas capazes de se adequarem à diferentes situações garantiu uma diversidade de aplicações deste tipo de material como biomateriais. Dentre os biopolímeros, vêm se destacando mais recentemente os polímeros biodegradáveis que podem ser usados na substituição temporária de tecidos (enquanto estes se regeneram) ou como meio para a liberação controlada de fármacos (ORÉFICE, 2008).

Os biocompósitos são os materiais do futuro, por dar a possibilidade de manter o balanço entre ecologia e economia. O interesse e a pesquisa nesta área têm crescido de forma exponencial na última década e o interesse maior está na utilização de fibras naturais como reforço em componentes termoplásticos e termofixos. Embora os termoplásticos tenham a vantagem de permitir a reciclagem, os termofixos têm como meta o aperfeiçoamento de suas propriedades mecânicas na utilização de biocompósitos. As fibras naturais oferecem muitas vantagens como eficiência de energia, baixo custo, baixa densidade, alta rigidez, resistência específica aceitável e biodegradação. Mas existem algumas limitações, pois as biofibras são hidrofílicas na natureza e têm baixa compatibilidade com as respectivas matrizes poliméricas hidrofóbicas (METHA *et al.*, 2004).

2.2 RESINA POLIÉSTER INSATURADA (MATRIZ)

A matriz é responsável pela aparência do produto e de suas características superficiais e tem por função envolver, separar e proteger o reforço de ataques externos como resultados de abrasão mecânica ou de reações de substâncias químicas com o ambiente (CARVALHO, 2003).

A função fundamental da matriz em compósitos reforçados por fibras é a de transmitir as tensões aplicadas no compósito para o reforço. O módulo elástico da fibra é muito mais alto que o da matriz e só uma porção muito pequena dessa carga aplicada é suportada pela matriz. (CARVALHO, 2003).

O poliéster insaturado é fornecido dissolvido em um monômero insaturado, geralmente estireno. Essas resinas têm pontos de insaturação em sua cadeia molecular. Esses pontos de insaturação são duplas ligações covalentes entre dois átomos adjacentes. Essas duplas ligações ou insaturações, podem ser facilmente rompidas pela ação de radicais livres provenientes de substâncias catalisadoras apropriadas (CARVALHO, 1992).

O *crosslinking* polimérico é um processo exotérmico e, resumidamente, consiste de um sistema de cura à base de peróxido orgânico como catalisador e um ativador quando se deseja a cura em baixas temperaturas. Os peróxidos mais

utilizados são de metiletilcetona (MEK-P) e de benzoila. Os ativadores geralmente são os sais de cobalto, como naftenato de cobalto. Lesko define o *crosslinking* como interconexões entre moléculas poliméricas vizinhas (HAGE, 1989).

Minutos após ter iniciado a cura, atinge-se o estado de geleificação. Nestas condições o sistema de cura já proporcionou um número suficiente de ligações cruzadas entre as moléculas de poliéster, de tal forma que a resina não pode mais ser dissolvida. Portanto, atingindo o tempo de gel a reação de cura torna-se irreversível. Logo, a cura é uma etapa fundamental para que a matriz termofixa seja formada (HAGE, 1989).

As resinas de poliéster, depois de curadas, apresentam boas propriedades elétricas e oferecem boa resistência à corrosão e ataques químicos. Por outro lado, a resina pura é relativamente fraca e quebradiça (HAGE, 1989).

A seguir, a Figura 2 apresenta a reação de polimerização (cura):

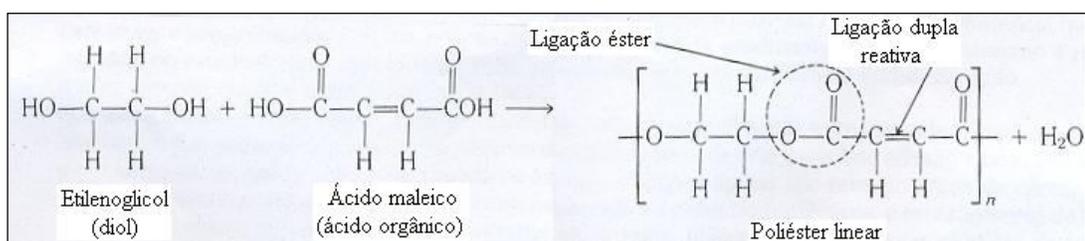


Figura 2: Formação de uma resina poliéster comercial (básica) através da reação de um diol com um diácido.

Fonte: Smith (1998).

2.3 FIBRAS (REFORÇOS)

Fibras são materiais que têm geometria aproximadamente uniforme, diâmetro reduzido em relação ao seu comprimento e natureza diferenciada, variando em função de suas propriedades físico-químicas. O aproveitamento de uma fibra como matéria-prima baseia-se em propriedades como: capacidade de alongamento, resistência à alta temperatura, comportamento térmico, resistência mecânica, densidade, baixo-custo e disponibilidade, entre outras. Nenhuma das fibras conhecidas satisfaz todas essas exigências, portanto, cada fibra está adequada

apenas à confecção daqueles produtos que exigem propriedades específicas (MANO, 1985, *apud* VIEIRA, 2008; MANO, 2001; CALLISTER, 2002; ASKELAND; PHULÉ, 2008).

Segundo Hage (1989), as fibras industriais, naturais e sintéticas, representam uma vasta proporção do total de polímeros consumidos no mundo; à medida que aumenta a população, crescem paralelamente as necessidades básicas de alimentação, vestuário e habitação.

Quanto a natureza os reforços podem ser: extremamente duros para promover aumento à dureza, resistência à abrasão; resistentes à ruptura para proporcionar elevada resistência à tração, à flexão e ao cisalhamento; rígidos para incrementar o módulo elástico; extremamente flexível para aumentar a resistência ao impacto; e, extremamente resistente termicamente para aumentar a estabilidade térmica (HAGE, 1989). Quanto as características geométricas do reforço podem ser: particulados, fibrosos ou laminados (HAGE, 1989; CARVALHO, 2003).

As fibras podem ser classificadas em químicas e naturais. As químicas dividem-se em sintéticas e artificiais. As fibras naturais podem ser orgânicas ou inorgânicas, sendo que as orgânicas são divididas em vegetais e animais, conforme apresentado na Figura 3 a seguir (TROTMAN, 1975; MANO, 2001; CARVALHO, 2003).

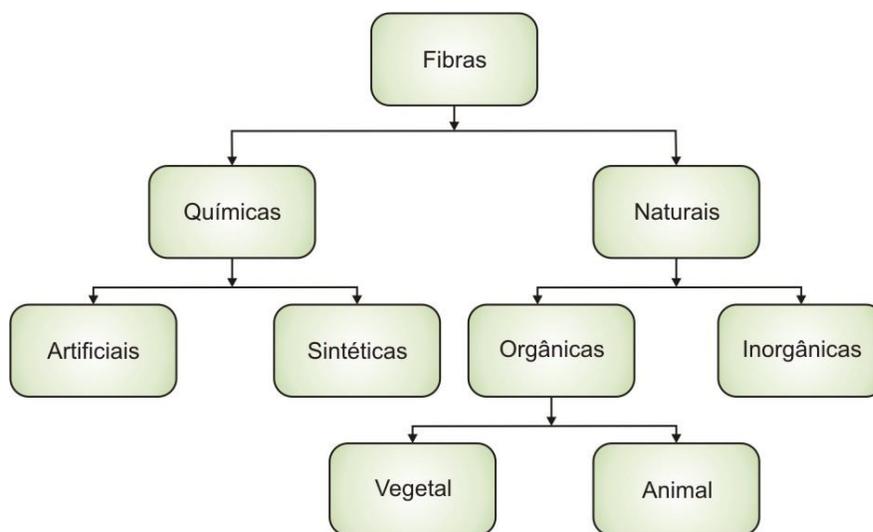


Figura 3: Organograma de classificação das fibras.
Fonte: Autor (2009).

2.3.1 FIBRAS QUÍMICAS

As fibras químicas foram desenvolvidas inicialmente com o objetivo de copiar e melhorar as características e propriedades das fibras naturais. À medida que suas aplicações foram crescendo, elas se tornaram uma necessidade, principalmente por causa do crescimento da população mundial (ANDRADE, 2006).

Atualmente, as fibras químicas são produzidas quase que exclusivamente como subproduto do petróleo, com características específicas para determinadas finalidades, representando uma alternativa para as necessidades de diversas indústrias, antes dependentes exclusivamente das fibras encontradas na natureza. Em razão de suas qualidades e excelente aceitação pelo mercado, as fibras químicas expandiram sua faixa de utilização, com aplicações específicas, além de ampliar os usos das fibras naturais (RHODIA, 2000).

Entre as fibras sintéticas, encontram-se as poliamidas, o poliéster e a poliacrilonitrila, entre outras. Geralmente estas fibras apresentam-se em formas de *roving* (pavio-fibras unidirecionais), mantas (fibras multidirecionais) e tecidos, salvo a fibra de boro; possui ótimas propriedades mecânicas e físicas, porém alto custo de aquisição (CALUNDANN, 1998).

O mesmo autor cita que uma característica comum de todas estas fibras é a estrutura de cadeia longa altamente orientada, além da alta tenacidade e dureza delas, as fibras sintéticas orgânicas oferecem baixa densidade, uma boa resistência química, sendo uma desvantagem dela a temperatura de uso limitada, onde geralmente é de aproximadamente 300 °C.

O tipo de fibra sintética mais utilizada em compósitos com matriz polimérica é a de vidro devido principalmente ao seu baixo custo, alta resistência à tração e grande inércia química. As desvantagens desta fibra são associadas ao baixo módulo de elasticidade (em comparação a outras fibras sintéticas), auto-abrasividade e à baixa resistência a fadiga quando agregada em compósitos (LEVY NETO; PARDINI, 2006 *apud* VIEIRA, 2008).

A fibra de vidro misturada com a resina termorrígida se transforma em um material de excepcionais propriedades mecânicas após a cura (GRUJICIC *et al.*, 2008; SOUTIS, 2005; MOUZAKIS; ZOGA; GALIOTIS, 2008, *apud* VIEIRA, 2008).

2.3.2 FIBRAS NATURAIS

As fibras orgânicas naturais mais importantes são de origem vegetal ou animal. Todas as fibras vegetais são de natureza celulósica, sendo colhidas de diferentes partes da planta: caule, folha, semente, etc (MANO, 2001).

As fibras naturais de origem animal podem ser obtidas de pêlo ou secreção animal. As fibras naturais inorgânicas referem-se às fibras minerais e aos asbestos (TROTMAN, 1975; MANO & MENDES, 1999).

Fisicamente, as fibras vegetais são compostas por várias fibrilas, umedecidas pelo material ligante da planta. As fibras são constituídas por células que apresentam tubos de polígonos irregulares com uma cavidade central oca. Os espaços desses polígonos são ocupados por um protoplasma celular denominado lúmen. Estas células representam a última divisão da fibra, repousando lado a lado e sobrepostas (HIMMERFARD, 1993; FONSECA, 1998).

De modo geral, essas fibras são higroscópicas e suas propriedades mecânicas são determinadas pelas características físicas, as quais sofrem influência das condições ambientais em que foram produzidas, levando a diferentes resultados para um mesmo tipo de fibra. Conseqüentemente, análises mais acuradas devem levar em consideração a procedência das amostras (HIMMERFARD, 1993; MOHANTY, 2005).

Muitas fibras são regularmente cultivadas como o algodão, linho, cânhamo, rami, sisal, juta, etc. O algodão é a única fibra vegetal unicelular, sendo a mais pura e de maior importância na indústria têxtil. As demais existem como subproduto de plantas com finalidade para alimento como o bagaço de cana, a casca do coco e o caule da bananeira. Um terceiro grupo corresponde àquelas fibras pouco conhecidas que só recentemente vêm sendo investigadas para aproveitamento como reforço de compósitos. Exemplos destas fibras são o curauá, a bucha cilíndrica e a piaçava (AQUINO *et al.* 2003).

As fibras naturais apresentam um grande potencial de aplicação na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões, e construção civil. As perspectivas futuras para as fibras naturais são muito boas também em outras áreas como, por exemplo, a indústria têxtil, atualmente com o seu mercado em expansão. Nos últimos anos, o uso de fibras

naturais como curauá, coco, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, juta e abacaxi como reforço em materiais poliméricos teve um acelerado crescimento (MOTHÉ & ARAÚJO, 2004).

A aplicação de fibras naturais como a fibra de coco, sisal, juta, cânhamo e outras fibras lignocelulósicas, como reforço de polímeros pode levar a materiais com boas propriedades mecânicas, térmicas, além de apresentar baixa densidade, flexibilidade, biodegradabilidade e baixo custo (BLEDZKI & GASSAN, 1999; BLEDZKI *et al.* 1998; JOSEPH & MATTOSO, 2000; MOHANTY *et al.* 2000 *apud* ABDULLAH-AL-KAFI *et al.* 2006; MUTJÉ *et al.*, 2006; MARTIN *et al.*, 2009; AHMED *et al.* 2007).

Fibras vegetais, por serem abundantes, de baixo impacto ambiental quando descartadas e apresentam propriedades mecânicas, físicas e térmicas adequadas às aplicações na indústria, estão se tornando alternativas atrativas do ponto de vista econômico e ambiental. No passado, o desconhecimento da estrutura das fibras vegetais e de suas propriedades, limitou sua utilização. Com os avanços nas pesquisas, a ascensão dos materiais compósitos tem sido facilitada pela introdução de novos materiais, melhorias nos processos de fabricação e desenvolvimento de novos métodos analíticos de teste (CARVALHO, 2003).

A orientação, concentração e distribuição das fibras também têm influência significativa na resistência e em outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras. CALLISTER (2002) nos apresenta duas possibilidades, (1) um alinhamento paralelo ao eixo longitudinal das fibras e (2) um alinhamento totalmente aleatório. Normalmente as fibras contínuas (longas) estão alinhadas e as fibras descontínuas (curtas) podem estar alinhadas ou orientadas aleatoriamente. De acordo com o autor, a melhor combinação das propriedades dos compósitos se dá quando a distribuição das fibras é uniforme.

Um grande número de estudos vem demonstrando que a adesão das fibras vegetais com a matriz é um fator crítico na melhoria das propriedades mecânicas do material compósito. Fibras lignocelulósicas são hidrofílicas, enquanto os polímeros usualmente utilizados como matrizes são hidrofóbicos. Desse modo, normalmente as interfaces fibra/matriz desenvolvidas são fracas, resultando em uma transferência de tensões não efetiva para as fibras. Soluções para tais problemas ainda estão sendo testadas, mas recaem principalmente na utilização de agentes de acoplamento, em processos de tratamento superficial das fibras e de modificações

químicas na resina, melhorando as características da interface fibra/matriz (SANCHEZ *et al.* 2002; MOHANTY, 2005; D'ALMEIDA, 2006).

2.4 PUPUNHEIRA

De acordo com a EMBRAPA (2009), o Brasil é o maior produtor, consumidor e já foi o maior exportador de palmito do mundo de acordo com informações do ano de 2004. Segundo Santos *et. al.* (2007), estima-se que aproximadamente 99% do palmito comercial brasileiro, em torno de 70 mil toneladas, originam-se do extrativismo, principalmente do açaí (*Euterpe oleracea*), na região do delta do rio Amazonas, e, em menor escala, do palmito juçara (*Euterpe edulis*), característico da Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica nas regiões sul e sudeste do país, apesar de ser protegido por legislação específica (REIS *et al.* 2000).

Uma alternativa para diminuir o impacto sobre as populações naturais do palmito juçara foi o cultivo de palmeiras como as plameiras-reais-da-Austrália (*Archontophoenix sp*) e a pupunha (*Bactris gasipaes* H.B.K.). Segundo Chaimsohn e Durigan (2007), o cultivo dessas palmáceas alternativas para produção de palmito tem crescido no Centro-Sul do país, e foram inicialmente introduzidas nessa região há cerca de 20 anos, tendo sua maior expansão a partir de meados da década de 90.

Neste contexto, Santos *et. al.* (2007) afirmam que “o cultivo da pupunha e da palmeira real para palmito constituem-se em importantes alternativas agro-ecológicas para diversificação e fonte de renda para sistemas de produção em várias regiões brasileiras”.

A pupunheira (*Bactris gasipaes*, H.B.K.) é uma palmeira pré-colombiana da família das Palmáceas, nativa dos trópicos úmidos americanos, que produz frutos comestíveis de sabor agradável e alto valor nutritivo. Apesar da espécie ter sido cultivada pelas tribos indígenas da América Central e Amazônia desde épocas remotas (1545), não se sabe com exatidão a sua origem, embora se tenha conhecimento de seu uso por índios que ocupavam as regiões quentes que vão desde o Estado do Pará até o sul do México (CARMO *et. al.*, 2003). Esta palmeira é conhecida pelo nome comum de pupunha, no Brasil; *peach palm* e *pewa nut*, em

Trinidad; *pejibaye*, na Costa Rica; *chontaduro* e *pijuayo*, no Equador e Peru; *gachipaes* na Venezuela e *pacanilla*, *cachipay*, *chontaduro* e *chonta*, na Colômbia.

Bactris gasipaes, é uma palmeira cespitosa (multicaule), que chega a atingir até 20 metros de altura. O diâmetro do estipe varia de 15 a 25 cm e o comprimento dos entrenós de 02 a 30 centímetros. Os entrenós apresentam numerosos espinhos rígidos, pretos ou marrons escuro, porém, encontram-se variedades desprovidas de espinhos. Folhas geralmente em número de 20 por indivíduo, pinado-crispadas, de 03 a 04 metros de comprimento, com a raque e a bainha revestidas de espinhos bem pequenos nos segmentos (LOPES *et. al.*, 2004).



Figura 4: Exemplos de pupunheira (*Bactris gasipaes*)
Fonte: Paginarural (2009).

Uma característica importante da pupunha é sua capacidade de perfilhamento (processo fisiológico contínuo de ramificação subterrânea), com até 05 perfilhos, mas é comum se encontrar indivíduos solitários, principalmente em plantios (PUPUNHA-NET, 2004). O palmito obtido da pupunha apresenta a característica de não sofrer escurecimento após o descascamento, que é comum tanto no palmito açaí, como no palmito juçara (LOPES *et. al.* 2004).

Nos últimos anos, com a seleção e a produção de plantas sem espinhos, consolidou-se mais uma vantagem dessa espécie. O palmito proveniente da exploração agrícola demora, aproximadamente, de 8 a 12 anos, após o plantio da

muda até o primeiro corte, tanto no caso do juçara (*Euterpe edulis*), como do açai (*Euterpe oleracea*). Na Costa Rica e no Peru, já existe a exploração agrícola de pupunha (*Bactris gasipaes*, H.B.K.), que oferece melhor condição em relação às espécies anteriores, tanto no tempo para o primeiro corte, 1,5 a 2 anos após o plantio da muda, quanto ao aproveitamento de perfilhos (manejo de perfilhos), que permite cortes sucessivos por 5 anos pelo menos, após o primeiro corte. A palmeira açai também perfilha, porém o tempo até o primeiro corte é maior e o palmito menor. Dessa forma, a exploração de palmito de pupunha tem como vantagens, a redução do custo de produção, o retorno mais rápido de capital e a exploração sucessiva durante, pelo menos, cinco anos (YUYAMA; COSTA, 1994; PUPUNHA-NET, 2007).

De acordo com Flori e D'oliveira (1995), Rodrigues *et al.* (2004) e EMBRAPA (2009), a pupunha (*Bactris gasipaes*, H.B.K.) apresenta-se como a melhor alternativa de cultivo para a produção racional (sustentável) de palmito, tendo em vista as suas qualidades agrônômicas, industriais e comerciais.

A pupunheira é uma planta tropical muito exigente em água. Para regiões com mais de dois meses seguidos de déficit hídrico, a irrigação torna-se necessária. Diversos trabalhos têm demonstrado que a produção de palmito acompanha a distribuição pluviométrica. Conseqüentemente, locais que apresentam um período seco prolongado terão sua produção prejudicada. Dentre os fatores limitantes à produção do palmito, o déficit hídrico é um fator contornável, uma vez que se pode dispor de um sistema de irrigação (MORO, 1996).

A pupunha é uma espécie domesticada, tendo tolerância climática muito mais ampla do que qualquer um de seus prováveis ancestrais (PUPUNHA-NET, 2009).

Segundo técnicos da Fundação 25 de Julho, na região de Joinville, as folhas e o caule que são retirados durante o processo de extração do palmito não têm um uso nobre, o que poderia favorecer economicamente o agricultor. São normalmente usados como adubo, camas de animais e material para queima em caldeiras.

Especificamente com relação a compósitos híbridos utilizando fibras da pupunheira, não se encontrou registros de trabalhos realizados com este tipo de fibra, exceto aqueles desenvolvidos pelo grupo de materiais poliméricos da UNIVILLE. Os estudos do grupo baseiam-se na aplicação de diferentes partes da pupunheira como carga ou reforço em compósitos tendo como matriz a resina de poliéster insaturado ortoftálica. A proposta desse grupo é gerar alternativas para agregar valor à fibra vegetal para que tenha um uso mais nobre do que é

comumente utilizada (cama e alimento para animais) (SANTOS, 2006; MIRANDA, 2007, SANTOS *et al*, 2008; FARIAS *et al*, 2009).

2.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS HÍBRIDOS COM FIBRAS VEGETAIS – ESTADO DA ARTE

Entre as estratégias de tornar os compósitos poliméricos menos agressivos com o meio ambiente está a aplicação das fibras naturais como reforço em polímeros, substituindo parcialmente as fibras sintéticas como amianto, kevlar, boro, carbono, nylon e vidro (JOSEPH, 1999; MOTHÉ & ARAUJO, 2004).

Segundo Vieira (2008) o estudo sobre compósitos reforçados por fibras naturais vem se desenvolvendo, sobretudo, em virtude da preocupação atual com a questão ambiental.

Compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais tais como juta, sisal, abacaxi, curauá e cânhamo, entre outras, são adequados a um grande número de aplicações e seu uso é vantajoso em termos econômicos e ecológicos (CARVALHO, 1997; MOHANTY, 2005).

Ainda podem-se ver outros exemplos de uso desses materiais ecológicos em termorrígidos, porém com uma frequência mais discreta na literatura (MONTEIRO *et. al.* 2006 *apud* VIEIRA, 2008). As propriedades de compósitos reforçados por fibras vegetais dependem de fatores como adesão fibra/matriz, fração volumétrica de fibra e orientação, entre as mais importantes (BALEY *et. al.*, 2006 *apud* VIEIRA, 2008).

Bessadok *et al.* (2009) relata que a interface fibra/matriz desempenha um papel importante nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, principalmente com relação ao nível de absorção de água de cada compósito. O autor estudou a utilização de tratamentos químicos que mostraram um ligeiro aumento no módulo de Young devido a presença das fibras Alfa, tratadas ou não, enquanto os ensaios de impacto de tração não obtiveram melhoras. Em geral, o desempenho mecânico dos compósitos foi muito semelhante, independentemente do tratamento das fibras, com exceção do tratamento com estireno, que melhorou a resistência ao impacto. Assim, observou-se que o tratamento com estireno reduz a absorção de água em compósitos reforçados com fibras naturais.

Em outro estudo, Akil *et. al.* (2009) realizou um comparativo das propriedades mecânicas em compósitos de poliéster insaturado reforçados por fibras de juta, após serem submetidos a diferentes ambientes aquosos: água destilada, água do mar e soluções ácidas, à temperatura ambiente. A exposição destes compósitos aos meios líquidos diminuiu a resistência devido ao enfraquecimento da interface fibra/matriz. No entanto, houve um aumento da tensão máxima devido ao aumento na ductilidade da fibra natural, resultado da ruptura da estrutura da celulose após a imersão.

Fibras naturais e sintéticas (juta e vidro) foram combinadas para produzir um compósito híbrido onde foram avaliadas as propriedades mecânicas e observou-se um aumento da resistência à tração com o aumento da proporção de fibra de vidro e fibra total no compósito híbrido (JOHN & NAIDU, 2004).

Estudos com compósitos contendo fibra de cânhamo, apesar de apresentar propriedades mecânicas inferiores aos compósitos com fibra de vidro foram avaliados por Mutjé *et al.* (2006), que concluiu que o tratamento químico da fibra de cânhamo aumentou a resistência a tração, à flexão e a rigidez dos compósitos em relação à fibra sem tratamento e, portanto, as propriedades mecânicas obtidas com o tratamento químico e devido a menor densidade da fibra de cânhamo, este compósito aponta perspectivas para a substituição da fibra de vidro em compósitos poliméricos, que devido ao seu baixo custo, pode ser utilizado como reforço em muitas aplicações.

Abdullah-Al-Kafi (2006), também relata sobre a aplicação de compósitos com fibras naturais. Segundo ele, após estudos realizados com compósitos poliméricos híbridos contendo fibras de vidro e fibras de juta tratados com radiação UV podem ser utilizados principalmente para a habitação de baixo custo e componentes para o interior de automóveis.

De acordo com Farias (2007), que realizou um estudo com fibras da pupunheira em compósitos poliméricos, ficou evidenciado que a aplicação de tramas melhorou a atuação mecânica (módulo de Young, resistência ao impacto, absorção e água) em relação aos compósitos confeccionados com o pó do mesmo material vegetal, sendo que apenas no ensaio de resistência à tração, a trama não agiu de forma significativa em relação ao pó.

Silva *et. al.* (2008), desenvolveu um compósito híbrido associando fibras de curauá com fibras de vidro em uma matriz de resina poliéster. Foram realizados ensaios de absorção de água para observar sua influência nas propriedades

mecânicas em flexão do laminado híbrido. Como comparativo, foram submetidos ao mesmo ensaio compósitos confeccionados apenas com fibra de vidro e compósitos confeccionados apenas com fibra de curauá. Após os ensaios mecânicos de flexão, observou-se que as propriedades do compósito híbrido ficaram muito próximas ao compósito de fibra de vidro, já o compósito somente com fibra de curauá teve um desempenho bastante inferior. Nos ensaios de absorção de água foi comprovada a eficiência da hibridização na redução do percentual de absorção de água do compósito apenas com fibra natural. O laminado híbrido (vidro/curauá) mostrou ser um promissor substituto para os compósitos de fibra de vidro, mesmo em aplicações de contato direto com a água.

2.6 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS

As propriedades mecânicas dos materiais poliméricos são de grande importância e interesse científico e tecnológico, devido aos requisitos e/ou exigências que diversos polímeros existentes devem atender na maior parte de suas aplicações. Valores de propriedades mecânicas, tais como resistência a tensão, módulo de elasticidade, alongação, entre outros, permitem a comparação do desempenho mecânico dos diferentes polímeros, assim como a avaliação dos efeitos decorrentes da modificação do polímero base (reforços, cargas, aditivos, plastificantes), para especificações, etc. Em termos práticos, a análise das propriedades mecânicas destes materiais é uma das considerações essenciais a serem feitas no processo de seleção dos materiais poliméricos para o projeto de uma peça ou de um produto. Esses valores de propriedades mecânicas são obtidos por meio de ensaios mecânicos padronizados, dentre os quais se destacam os ensaios de solitação mecânica sob tração, flexão e compressão (CANEVAROLO, 2003).

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de diversas propriedades tais como, resistência, elasticidade, plasticidade, resiliência, tenacidade, etc. A execução de ensaios tem por finalidade, principalmente, permitir a obtenção de

informações rotineiras do produto e desenvolver novas informações sobre os materiais utilizados (GARCIA *et al.* 2000).

3. METODOLOGIA

Para desenvolver este trabalho utilizaram-se os produtos químicos e equipamentos descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Relação de equipamentos e materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho.

Substância/Equipamento	Especificações	Marca	Observações
Resina	Polydine 6040 Ortoftálica, pré acelerada, dissolvida em monômero de estireno	Cray Valley	Confecção das placas de compósito Fibra/Resina
Fibra de vidro	Manta de fio picado 450g/m ² - M710	Owens Corning	
Catalisador	MEK-P		Mistura com resina
Tiras de elastômeros	04 tiras de aprox. 25 cm	-	Fixação das fibras naturais para confecção das tramas
Acetona	(CH ₃) ₂ CO; 1L = 0,79kg e p.m. 58,08	BIOTEC Reagentes Analíticos	Limpeza dos Beckers e recipientes de mistura da resina
Cera de carnaúba	Incolor	Poliflor	Como desmoldante
Molde	Dimensões 29,2 x 29,3cm, 15 x 13,5cm e 29,0 x 20,0cm	-	Molde de vidro para emplacamento
Máquina Universal de ensaios	Modelo DL 10000 BF	EMIC	Ensaio de tração
Máquina de ensaio de impacto		EMIC	Ensaio de impacto
Banho termostatizado			Banho para ensaio de absorção de água
Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV	Modelo Zeiss DSM 940A do CCT/UDESC	Zeiss	
Balança analítica	Laboratório Biotec I – PM 460 DeltaRange	Mettler	Pesagem das amostras cortadas para ensaio de absorção de água
Capela	Laboratório Meio ambiente	Scientech Brasil	Confecção dos compósitos
Recipiente plástico	-	-	Deposição das amostras com água para ensaio de absorção de água.
Pipeta	10 mL	-	Dosagem de Catalisador
Água deionizada	-	-	Procedimentos e banho para ensaio de absorção de água
Papel toalha	-	-	Procedimentos e secagem de amostras
Estante	-	-	Inserir amostras no banho para abs. Água
Becker	500mL	-	Mistura da resina e catalisador.

Fonte: Autor (2009).

O trabalho foi organizado em etapas conforme apresenta o fluxograma abaixo.

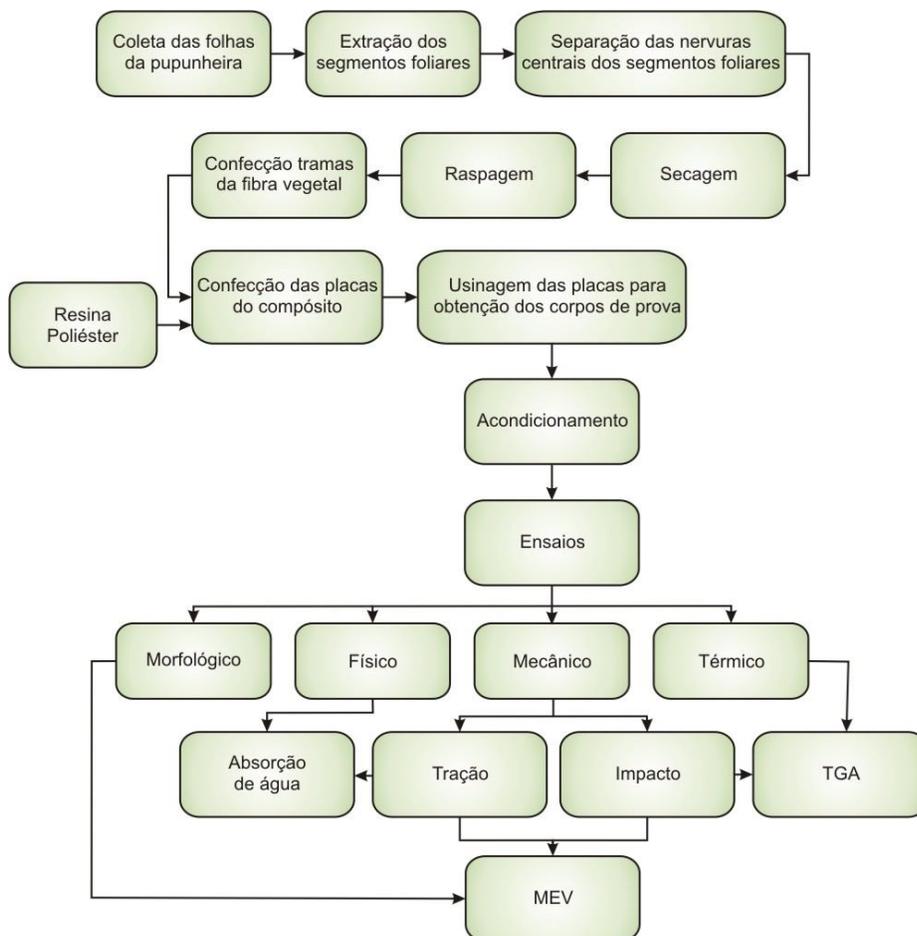


Figura 5: Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção dos corpos de prova para realização dos ensaios.

Fonte: Autor (2009)

As folhas da pupunheira (Figura 9 (a)) utilizadas para a extração dos segmentos foliares (Figura 9 (b)) e posteriormente das fibras que foram coletadas no mesmo dia do corte da planta para a extração do palmito em propriedade particular localizada na Estrada Quiriri, SC 301, na região de Joinville, SC.

As nervuras centrais dos segmentos foliares (Figura 9 (c)) foram separadas uma a uma (Figura 9 (d)) sendo posteriormente submetidas a um processo de raspagem com faca para retirada de resíduos clorofilados (Figura 9 (e)) obtendo-se dessa forma o que se denomina fibra natural (FN) neste trabalho. Posteriormente as

fibras foram cortadas de acordo com o tamanho dos moldes utilizados como referência.

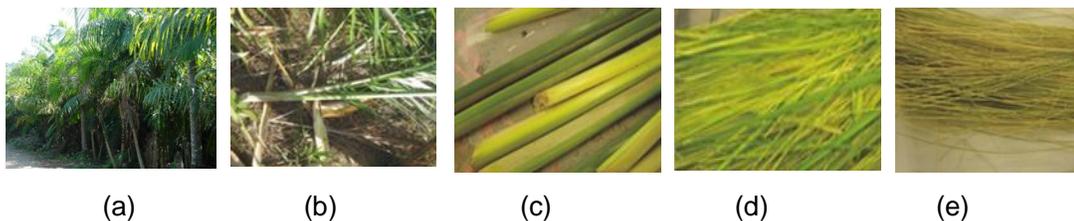


Figura 6: Imagens do processo de obtenção da fibra da pupunheira.
Fonte: arquivo do grupo.

Em seguida as fibras foram tramadas em suportes de elastômero. As fibras foram fixas por diversos furos com espaçamento de 1 cm, conforme mostra a Figura 10. Assim, tramaram-se as fibras intercalando-as perpendicularmente. Ajustadas as fibras para manterem o espaçamento de 1 cm uma para outra, pincelou-se nas fibras das extremidades da trama, a mesma resina utilizada como matriz para garantir a firmeza e estabilidade da trama evitando o desarranjo das fibras (Figura 11).

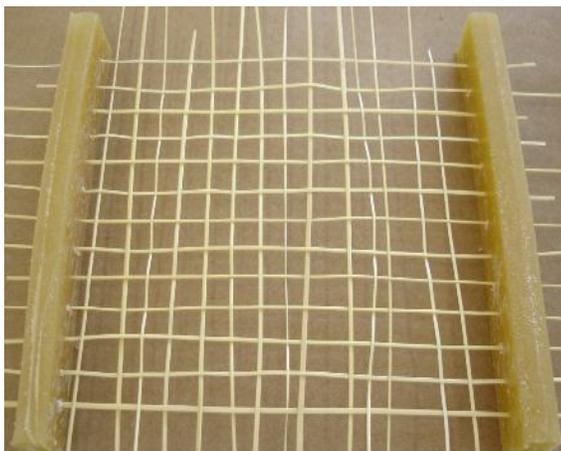


Figura 7: Fibras tramadas em suporte de elastômero de poliuretana.
Fonte: Autor (2008)



Figura 8: Fibras já tramadas e ajustadas com espaçamento de 1 cm.
Fonte: Autor (2008).

Como matriz para confecção dos compósitos, foi utilizada a resina poliéster insaturada do tipo ortoftálica, pré acelerada, dissolvida em monômero de estireno. As características dessa matriz, segundo o fabricante, estão apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2: Ficha técnica da matriz utilizada.

Viscosidade Brookfield a 25 °C	ASTM D - 2196	(cP)	180 – 350
Índice de Tixotropia	ASTM D - 2196		1,10 mínimo
Gel Time a 25°C	ASTM D - 2471	Minutos	10,0 - 13,0
Pico Exotérmico	ASTM D - 2471	° C	190 máximo
Índice de Acidez	ASTM D - 1639	(mg KOH/g)	25 máximo
Densidade a 25°C	ASTM D - 1475	g/cm ³	1,10 - 1,12
Dureza Barcol após 24 horas	ASTM D - 2583	-	38

Fonte: Cray Valley (2009)

Para a cura desta resina, o fabricante recomenda principalmente para os processos de laminação *hand lay-up* e *spray-up* o uso de 1 a 2,5% de peróxido de metiletilcetona (MEK-P). O percentual de 1 % foi aplicado neste estudo.

Para a confecção dos corpos de prova foram utilizadas fibras de vidro em forma de mantas, sendo estas fabricadas através de distribuição uniforme e aleatória, originando no plano da manta, laminados com propriedades isotrópicas.

Foram confeccionadas placas contendo as seguintes proporções de matriz e fibras 90/10% (m/m) (sendo os 10% de fibras composto por diferentes proporções de mantas de fibra de vidro + tramas de fibra vegetal). Empregaram-se como referências, compósitos obtidos apenas com fibra de vidro e corpos de prova de resina pura.

A composição dos corpos de prova para tração e impacto, bem como o volume do molde, massas de resina e fibras e percentual de fibra natural em cada compósito estão apresentados na Tabela 3. Nessa tabela, os números 1, 2, 3 e 4 representam o número de mantas de fibra de vidro (FV) e tramas de fibras naturais (FN) utilizadas em cada compósito, como por exemplo: 1FV/1FN, que corresponde a 1 manta de fibra de vidro e 1 trama de fibra natural.

O corpo de prova 1FV/1FN/1FV confeccionado para o ensaio de tração difere do corpo de prova 1FV/1FN somente no método de confecção, onde a manta de fibra de vidro foi aberta e intercalada com a trama de fibra natural.

Tabela 3: Características dos corpos de prova confeccionados com 10% de fibra em massa para os ensaios de resistência a tração e ao impacto.

Composição	Volume do molde (cm³)	90% matriz	10% Fibra		Proporção mássica de fibra natural/fibras totais (%)	Volume MEK-P (ml)
		Massa resina (g)	Massa fibra de vidro (g)	Massa fibra natural (g)		
Tração	Resina	239,44	268,17	-	-	2,39
	1FV/1FN	232,00	234,00	22,11	3,887	2,32
	1FV/1FN/1FV	232,00	234,00	21,20	4,87	2,32
	Fibra de vidro	232,00	234,00	26,00	-	2,32
Impacto	Resina	195,00	218,40	-	-	1,95
	2FN/4FV	199,50	201,10	19,72	2,62	1,99
	3FN/5FV	195,00	196,56	17,72	4,12	1,95
	4FN/4FV	195,00	196,56	16,15	5,687	1,95
	Fibra de vidro	195,00	196,56	21,84	-	1,95

Fonte: Autor (2009).

Para avaliar a resistência sob impacto foi possível trabalhar com proporções entre a fibra natural e a fibra de vidro de forma diversa. Nessas composições a fibra

natural pode ser incorporada em aproximadamente 12%, 19% e 26% m/m em relação a quantidade de fibra nos compósitos.

Depois de confeccionadas, as placas foram submetidas à usinagem para produção dos corpos de prova. Esses corpos de prova foram climatizados a temperatura de 23°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) e umidade relativa de 50% ($\pm 5\%$) durante pelo menos 48 horas, conforme norma ASTM 618. Devido ao processo manual de confecção dos corpos de prova, alguns deles apresentaram bolhas de ar, sendo descartados e não submetidos aos ensaios.

A determinação da densidade das amostras foi realizada conforme a norma NBR 11936, em duplicata. A partir dos valores obtidos nessa análise e os valores em massa expressos na Tabela 3 foi possível estimar o teor de vazios dos compósitos aplicando a seguinte equação:

$$V = 1 - \frac{(m_m/\rho_m + m_{fv}/\rho_{fv} + m_{fn}/\rho_{fn}) \rho_c}{m_c}$$

Na equação acima, V refere-se ao teor de vazios, m_m , m_{fv} , m_{fn} e m_c representam as massas da matriz, fibra de vidro, fibra natural e do compósito ($m_m + m_{fv} + m_{fn}$) respectivamente. O mesmo se aplica para os subscritos nos símbolos de densidade ($\rho_m, \rho_{fv}, \rho_{fn}$ e ρ_c) (ADAMS; CARLSSON; PIRES, 2003).

As dimensões dos corpos de prova de tração estão de acordo com a norma ASTM D638-02a e as dimensões dos corpos de prova de impacto são aquelas indicadas pela norma ASTM D256-06. A seguir, nas figuras 9 e 10 apresentam-se a placa e os corpos de prova confeccionados para os ensaios mecânicos.



Figura 9: Placa do compósito híbrido confeccionado para ensaio de impacto.
Fonte: Autor (2008).

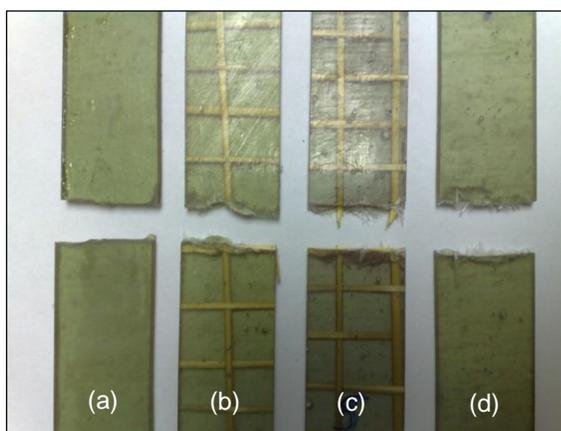


Figura 10: Corpos de prova submetidos ao ensaio de tração (a) resina, (b) 1FV/1FN, (c) 1FV/1FN/1FV e (d) FV.
Fonte: Autor (2009).

O ensaio de tração é o mais utilizado dentre os diversos tipos de ensaios disponíveis para avaliação das propriedades mecânicas dos materiais. Isto se deve ao fato de ter a vantagem de ser relativamente simples e de realização rápida além de fornecer informações essenciais para o projeto e a fabricação de peças e componentes. (GARCIA *et al.* 2000).

As cargas aplicadas aos corpos de prova são feitas através de um equipamento chamado Máquina Universal de Ensaio, a qual consiste basicamente de um arranjo constituído por duas travessas (uma delas fixa e outra móvel), uma

célula de carga, um mecanismo de direcionamento, garras para fixação dos corpos de prova e extensômetros (CANEVAROLO, 2003).

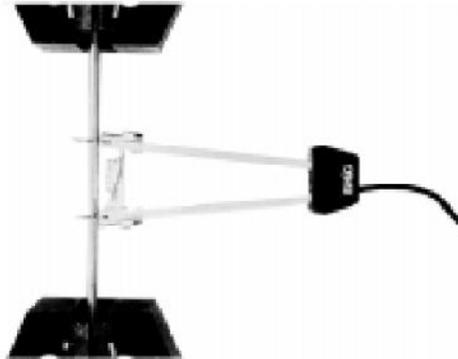


Figura 11: Garras da Máquina Universal de Ensaio, corpo de prova, extensômetro.
Fonte: Biblioteca Virtual USP (2009).

Os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados por meio dos ensaios de tração são: tensão de tração, resistência à tração, ponto de escoamento, tensão de tração no escoamento, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade (CANEVAROLO, 2003).

Segundo Aguilar e Silva (2006), o módulo de elasticidade é definido através da lei de Hooke. Esta lei descreve matematicamente o comportamento experimental de determinados materiais, nos quais a deformação (ϵ) é praticamente proporcional à tensão (σ) quando as deformações são pequenas:

$$\sigma = E\epsilon$$

A constante de proporcionalidade E é chamada de Módulo de Young ou de elasticidade. Como a deformação é adimensional, o módulo de Young tem as mesmas dimensões da tensão.

O módulo de Young está relacionado com a energia de ligação e o fator de empacotamento do arranjo atômico. Comumente é determinado na curva tensão/deformação obtida em ensaios de tração ou compressão. Este módulo avalia a resistência do material à deformação elástica. É uma medida da sua rigidez. Materiais com baixo módulo deformam muito elasticamente quando sujeitos a solicitações mecânicas. (AGUILAR; SILVA, 2006).

A resistência ao impacto é uma das propriedades mais requisitadas para a especificação do comportamento mecânico dos materiais. Esta propriedade depende de um grande número de variáveis, dentre elas a temperatura do ensaio, a velocidade do impacto durante o teste, a sensibilidade a entalhes padronizados, a força com que o corpo de prova sofre o impacto, a geometria do corpo de prova, as condições de fabricação do corpo de prova e as condições ambientais do ensaio. A maioria dos ensaios padronizados sob impacto é realizada utilizando-se corpos de prova com entalhe (Figura 11), ou seja, é feito um corte padronizado no corpo de prova e observa-se qual é a energia necessária para fazer com que este corte (entalhe) se propague através do corpo de prova até sua ruptura (CANEVAROLO, 2003).

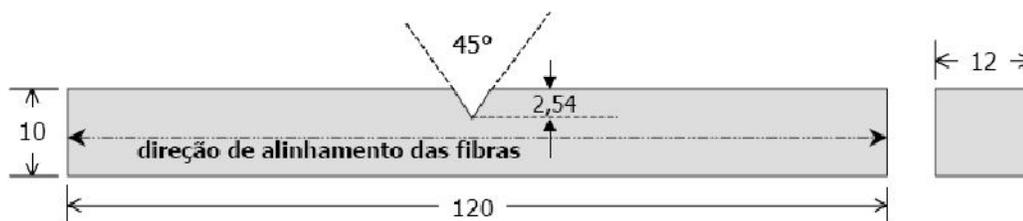


Figura 12: Esquema do corpo de prova utilizado para ensaio de impacto (dimensões em mm).
Fonte: Monteiro *et al.* (2006).

Os ensaios de impacto mais conhecidos são denominados Charpy e Izod, comumente utilizado nos Estados Unidos e na Europa respectivamente. A diferença entre estes ensaios está na configuração geométrica do entalhe e do modo de fixação do corpo-de-prova na máquina, conforme ilustra a Figura 7 (GARCIA *et al.* 2000).

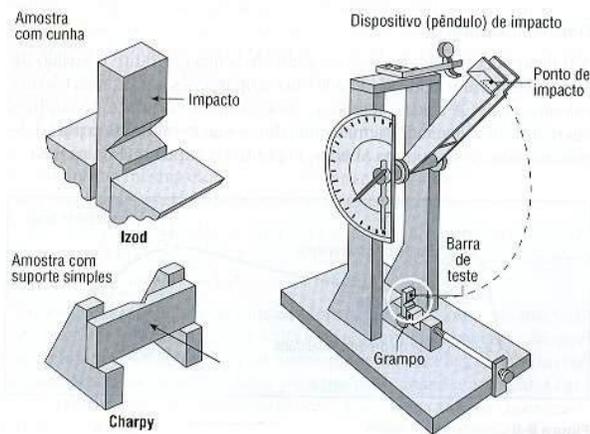


Figura 13: Representação esquemática do ensaio de impacto: tipo Izod e Charpy.
Fonte: Lesko (2004).

Os ensaios para a determinação das propriedades de resistência à tração, determinação do módulo de Young e deformação na ruptura foram estimados segundo as normas ASTM D638-02a e a resistência ao impacto foi avaliada aplicando-se o método Izod de acordo com as normas ASTM D256-06, ambos no Laboratório de Materiais da UNIVILLE, utilizando os equipamentos apresentados nas Figuras 15 e 16. Os valores de média e desvio padrão foram determinados para cada conjunto de condições para proceder-se a análises dos resultados.



Figura 14: Equipamento utilizado nos ensaios de tração.
Fonte: Autor (2008).

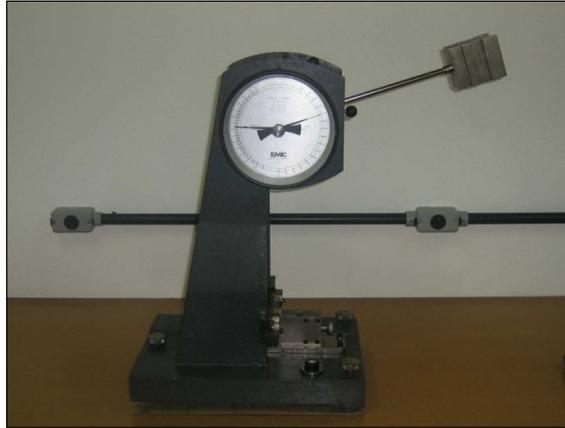


Figura 15: Equipamento utilizado para os ensaios de impacto.
Fonte: Autor (2008).

Para a preparação dos corpos de prova para os ensaios de absorção de água, utilizaram-se os mesmos procedimentos descritos na preparação dos corpos de prova para os ensaios mecânicos de tração (Tabela 3).

A norma ASTM D570-98 especifica para o corpo de prova uma espessura de $3,2\text{mm} \pm 0,20\text{mm}$, largura de $25,4\text{mm}$ e comprimento de $76,2\text{mm}$. Os ensaios foram realizados em quintuplicata para cada composição, como mostra a Figura 13.

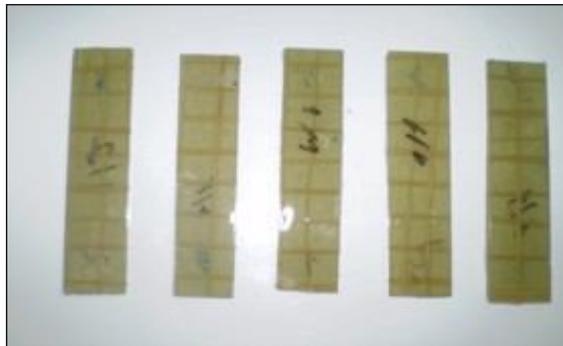


Figura 16: Corpos de prova submetidos ao ensaio de absorção de água.
Fonte: Autor (2009).

Realizaram-se ensaios de absorção de água dos compósitos conforme a norma ASTM D570-98 (2005). Os corpos de prova dos compósitos foram obtidos no formato de retângulo $75,2\text{ mm}$ por $25,4\text{ mm}$ com espessura de 3 mm de acordo com a norma ASTM D570-98, secos em estufa a vácuo por $(50 \pm 3)^\circ\text{C}$ por 24 horas,

resfriados em um dessecador e obtidas imediatamente suas massas em balança analítica de 0,0001g de precisão. As amostras condicionadas foram imersas em água destilada, mantidas a $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ no banho termostatzado por um período de 24 horas, primeiramente, secas com papel toalha na superfície para a retirada da umidade, medidas suas massas em balança analítica de 0,0001g de precisão e novamente recolocadas na água. Esse procedimento de imersão e pesagem foi repetido após uma semana, e posteriormente de duas em duas semanas até que a média das massas fosse menor que 1% do total do aumento da massa ou 5 mg. Neste caso a amostra pode ser considerada saturada. A diferença entre a amostra saturada e a amostra seca pode ser considerada como a água absorvida pelo corpo de prova.

Após os ensaios mecânicos é comum observar as fraturas do material ao microscópio para verificar os efeitos do esforço na superfície, bem como a morfologia e indícios da interação carga/matriz.

Para a avaliação do grau de adesão interfacial do material vegetal foram observadas as fraturas dos ensaios mecânicos ao microscópio eletrônica de varredura (MEV), após serem revestidos por uma fina camada de ouro.

Segundo Canevarolo (2003, p. 165) “As várias técnicas de microscopia eletrônica são hoje as principais ferramentas disponíveis para o estudo da estrutura fina e da morfologia de materiais”. Tem a capacidade de ampliação entre 20 e 100.000x, observando-se a superfície do material, o qual se encontra no equipamento sob alto ou baixo vácuo.

O microscópio incide um feixe de elétrons que varre a superfície de uma amostra. A imagem é criada através de detectores dos feixes de elétrons refletidos (elétrons secundários e/ou retroespalhados). É possível assim, fazer um exame a grandes ampliações das características da superfície e/ou microestruturas (CALLISTER, 2002).

As imagens têm alta profundidade de foco, o que significa obter diferentes relevos da superfície da amostra simultaneamente. Diferentemente do microscópio óptico, que usa luz para formação de imagem, os microscópios eletrônicos utilizam elétrons (CANEVAROLO, 2003).

Para o mesmo autor, os detectores de raios-x são usados mais especificamente para análise química. Assim, as imagens são tridimensionais e de altíssima resolução (o que garante obter alta ampliação de detalhes próximos sem

perda de nitidez), portanto, mais fáceis de interpretar que as imagens de projeção de microscopia de transmissão. A preparação de amostras e a obtenção de imagens são relativamente fáceis, o que justifica o fato do microscópio eletrônico de varredura ser hoje um dos equipamentos mais utilizados na pesquisa de materiais.

A análise térmica é um termo que envolve um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física ou química de uma substância, ou de seus produtos de reação, é monitorada em função do tempo ou temperatura, enquanto a temperatura da amostra, sob uma atmosfera específica, é submetida a uma programação controlada.

Uma das técnicas pertencentes a este grupo é a Termogravimetria (TG), uma técnica na qual a mudança da massa de uma substância é medida em função da temperatura enquanto esta é submetida a programação controlada. O termo Análise Termogravimétrica (TGA) é comumente empregado em polímeros (RODRIGUES; MARCHETTO, 2002).

A determinação das propriedades térmicas dos compósitos confeccionados foi realizada por análise termogravimétrica (TGA), no intervalo de temperatura entre 25 e 800 °C a uma taxa de aquecimento de 10⁰/min em atmosfera inerte (nitrogênio). A partir da análise obteve-se as curvas TG/DTG dos compósitos estudados.

4. RESULTADOS

4.1 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DOS COMPÓSITOS

Os valores de densidade registrados para a fibra vegetal aplicada neste estudo foi de $0,88 \text{ g.cm}^{-3}$. A densidade para a resina e os compósitos, bem como o teor de vazios obtidos para os compósitos são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04: Valores de densidade e teor de vazios das amostras analisadas.

Ensaio	Amostra	Densidade (g.cm^{-3})	Teor de Vazios (%)
Tração e Impacto	Resina	1,376	-
Tração	1FV/1FN	1,346	5,10
	1FV/1FN/1FV	1,407	0,47
Tração e Impacto	Fibra de vidro	1,336	7,35
Impacto	2FN/4FV	1,349	5,25
	3FN/5FV	1,288	8,86
	4FN/4FV	1,266	9,75

Verifica-se para as amostras de compósitos sujeitos a tração que a densidade aumenta em virtude da abertura da manta em duas partes e o teor de vazios registrado para essa amostra manteve-se abaixo de 1% o que é desejado. Para as amostras confeccionadas para o ensaio de impacto observa-se que a densidade desses compósitos cai com o aumento da fibra vegetal, o que era esperado uma vez que essas fibras apresentam densidade 34% inferior à fibra de vidro. Por outro lado o teor de vazios aumentou com a presença da fibra vegetal o que pode ser explicado em parte pelo volume que essas fibras apresentam em relação à fibra de vidro.

4.2 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO

Para os ensaios de tração, foram submetidas amostras das 4 (quatro) composições, apresentadas em detalhes na metodologia. Para todos os corpos de prova, exceto o confeccionado apenas com resina, foi utilizada a proporção 90/10 (matriz/fibra).

Cabe ressaltar que não foi possível realizar outras proporções de fibra natural para os corpos de prova submetidos ao ensaio de tração devido ao volume dessas fibras, pois esse incremento elevaria a espessura do corpo de prova, não tornando possível confeccioná-los dentro da padronização normatizada.

As composições dos corpos de prova submetidos aos ensaios e seu comparativo da resistência à tração podem ser observados no Gráfico 1.

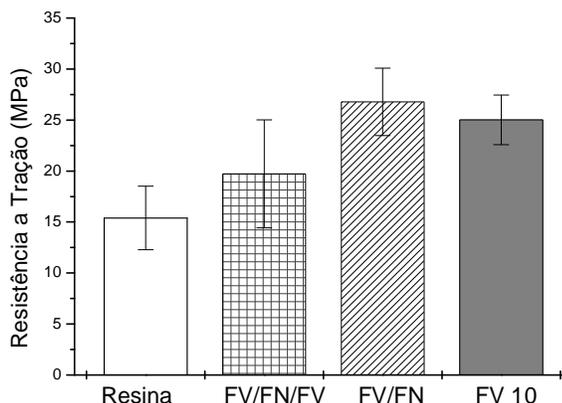


Gráfico 1: Comparativo de resistência a tração dos diferentes corpos de prova submetidos ao ensaio.

De acordo com essa figura nota-se que o corpo de prova confeccionado somente com resina apresentou uma baixa resistência à tração, relativamente aos demais, como já era esperado, devido a inexistência de reforços (fibra) nestes corpos de prova.

Analisando-se os compósitos, verifica-se que os valores registrados de resistência à tração não apresentaram diferença estatisticamente significativa. Logo a inclusão da trama de fibras de pupunheira manteve esse desempenho mecânico.

Cabe registrar que a amostra FV/FN/FV mostrou um valor médio inferior aos demais compósitos. Atribuiu-se esse ao efeito do desdobramento das mantas de fibra de vidro aplicadas nessa amostra. Considerando que houve a manutenção da proporção matriz/fibra adotada para os outros corpos de prova e a quantidade em massa de fibra de vidro semelhante, sugere-se que o desarranjo da manta de fibra de vidro durante a confecção dos corpos de prova foi a causa da perda de resistência à tração. Nasseh (2004) relata que quanto maior o número de estágios de moldagem da fibra de vidro, maior é a perda de suas propriedades mecânicas.

John e Naidu (2004), realizaram ensaios com compósitos híbridos contendo como reforço fibra de vidro e fibra de sisal, obtendo 25,93 MPa de resistência à tração para compósitos contendo 75% de fibra de vidro e 25% de fibra de sisal para 5% em volume de fibra em relação à matriz (resina poliéster insaturado).

Vieira (2008) obteve valores próximos ao resultado obtido com o compósito FV/FN em compósitos híbridos contendo 25% de fibra atuando como reforço, sendo deste percentual 75% de fibra de sisal.

Os valores obtidos para os híbridos nesse ensaio ficam próximos aos estudados por Farias (2007), tanto para o compósito contendo apenas uma trama de fibra natural (1FN) da pupunheira (27,6 MPa) quanto para o compósito contendo 10% de fibra de vidro (28,7 MPa). Isto sugere que para o evento de resistência a tração não é imperativo o uso de fibra de vidro como reforço.

Os resultados de alongamento (Gráfico 2) mostram que esse parâmetro não apresentou valores significativamente diferentes, embora, a exemplo do ensaio de tração, o compósito confeccionado com uma manta de fibra de vidro e uma trama de fibra natural (1FV/1FN) apresentou valores na ordem de 5,5%.

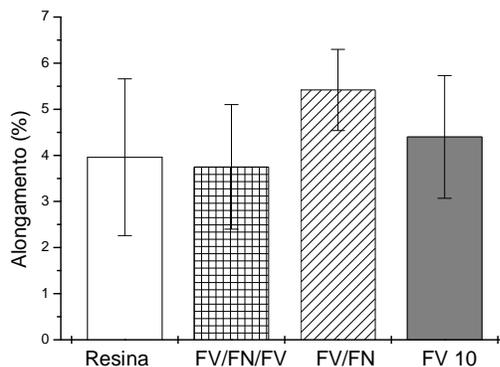


Gráfico 2: Comparativo do alongamento dos diferentes corpos de prova submetidos a análise.

O módulo de elasticidade não sofreu variações consideráveis para os compósitos, permanecendo na faixa de 5,5 GPa (Gráfico 3). Esta grandeza parece não ter sido influenciada pelo desdobramento das mantas de fibra de vidro, como observado nos valores de resistência à tração e alongamento. Os corpos de prova confeccionados apenas com resina que apresentaram valores inferiores aos compósitos. Verifica-se que os valores diversos registrados para o teor de vazios desses compósitos parecem não ter influenciado nas propriedades mecânicas obtidas sob tração para esses materiais.

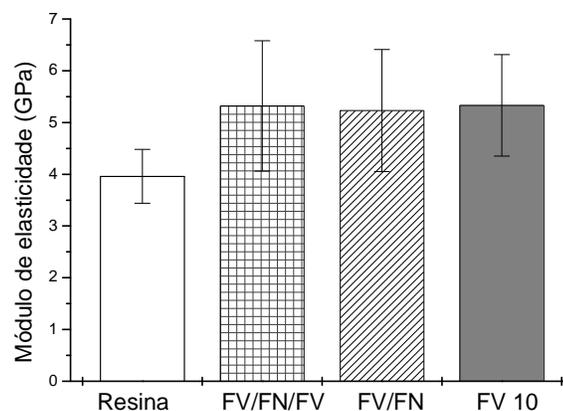


Gráfico 3: Comparativo do módulo de elasticidade dos diferentes corpos de prova submetidos a análise.

Os valores do módulo de elasticidade dos compósitos registrados neste estudo mostraram-se superiores aos obtidos por Abdullah-Al-Kafi *et al.* (2006), para compósitos híbridos de fibra de juta (25%) - fibra de vidro em poliéster, com percentual total de fibra de 25% em relação a matriz, onde o valor máximo ficou próximo de 4 GPa para o híbrido com fibra de vidro e de juta com tratamento UV.

4.3 AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS DE IMPACTO

Considerando a espessura dos corpos de prova submetidos ao ensaio de impacto, pode-se variar o percentual da fibra natural em relação à fibra de vidro, conforme descrito na Tabela 3, e os resultados apresentados no Gráfico 4, no qual

estão registrados os percentuais de fibra natural, relativo à massa de fibra de vidro, presente em cada compósito. Observa-se que foi possível obter composições com até 26% (m/m) de fibra natural tramada.

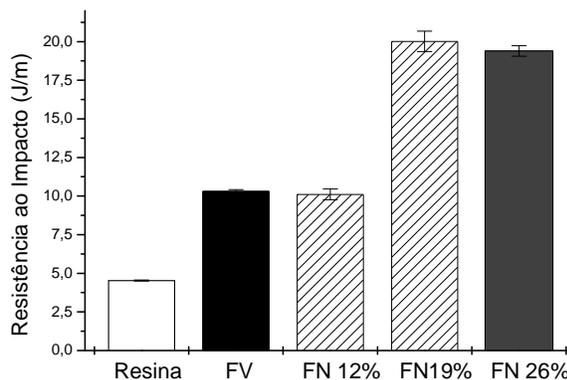


Gráfico 4: Comparativo de resistência ao impacto dos diferentes corpos de prova submetidos a análise.

Nesse ensaio verificou-se que a resina pura possui baixa resistência e que a presença de 10% de fibra de vidro duplicou seu valor. Observou-se também que a presença de tramas de fibra natural altera o comportamento do compósito em relação ao desempenho sob impacto. A presença de 12% de fibra natural mantém o desempenho obtido quando da presença apenas de fibra de vidro. Já 19% de fibra natural duplica o valor registrado para essa propriedade, sendo este conservado com o acréscimo de mais uma trama (correspondendo à amostra FN 26%).

Merece destaque o efeito do aumento de 7% na proporção de fibra natural entre as amostras FN 12% e FN 19%. Imaginou-se que esse fato poderia estar relacionado a possível diferença de posição do entalhe considerando-se as faces do corpo de prova. Entretanto verificou-se que todos os corpos de prova foram entalhados na mesma face, ou seja, naquela em que estava presente, na ordem, resina e fibra natural. Com essa hipótese descartada, sugere-se que o efeito é relativo à obtenção de uma proporção ótima fibra de vidro/trama de fibra natural.

Um fator importante quando se trabalha com fibras de origens distintas é que elas apresentam densidades diferentes. Nos ensaios sob impacto, foi possível uma variação maior de composições relativas: fibra de vidro/fibra natural.

Sob esse aspecto, verificou-se que foi possível obter compósitos com até 51,5% de fibra natural e que acima de 42,5% em volume de fibras tramadas, a resistência sob impacto é duplicada.

Sobre a análise deste ensaio também se observa que os altos valores registrados para o teor de vazios desses compósitos parecem não ter influenciado negativamente a propriedade mecânica, sob impacto, desses materiais.

4.4 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS FRATURAS

Após realizados os ensaios de resistência à tração e ao impacto, as fraturas dos corpos de prova submetidos e esses ensaios foram observadas ao MEV. A Figura 17 apresenta as imagens obtidas pelo MEV.

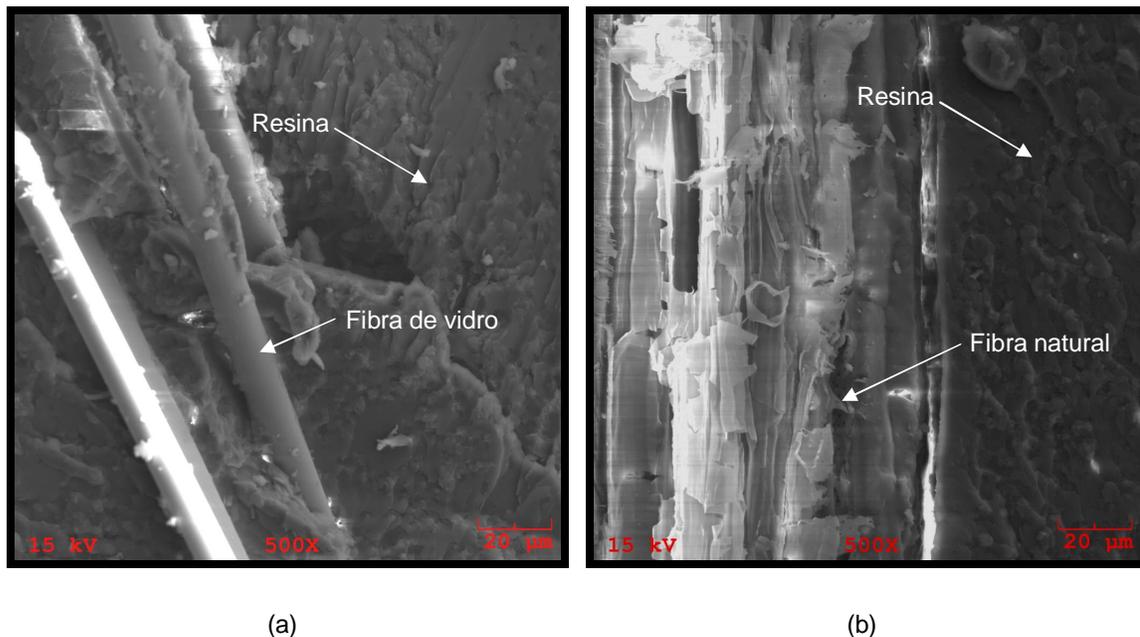


Figura 17: Micrografias das fraturas dos corpos de prova submetidos ao ensaio de tração. (a) corpo de prova confeccionado com fibra de vidro. (b) corpo de prova confeccionado com uma manta de fibra de vidro e uma trama de fibra natural.

As imagens acima mostram a textura das fibras de vidro (a) e vegetal (b), além da interface com a matriz. A fibra de vidro possui superfície lisa e está

levemente acima do plano da superfície polimérica o que indica a transferência de carga da matriz a esse reforço durante o esforço mecânico. Observa-se também uma trinca na matriz localizada entre duas fibras de vidro o que sugere uma forte interação entre elas.

Na Figura 18 (a), observa-se que a fibra natural, localizada no plano da matriz, sofreu estilhaçamento, o que indica que também houve transferência de carga durante o ensaio.

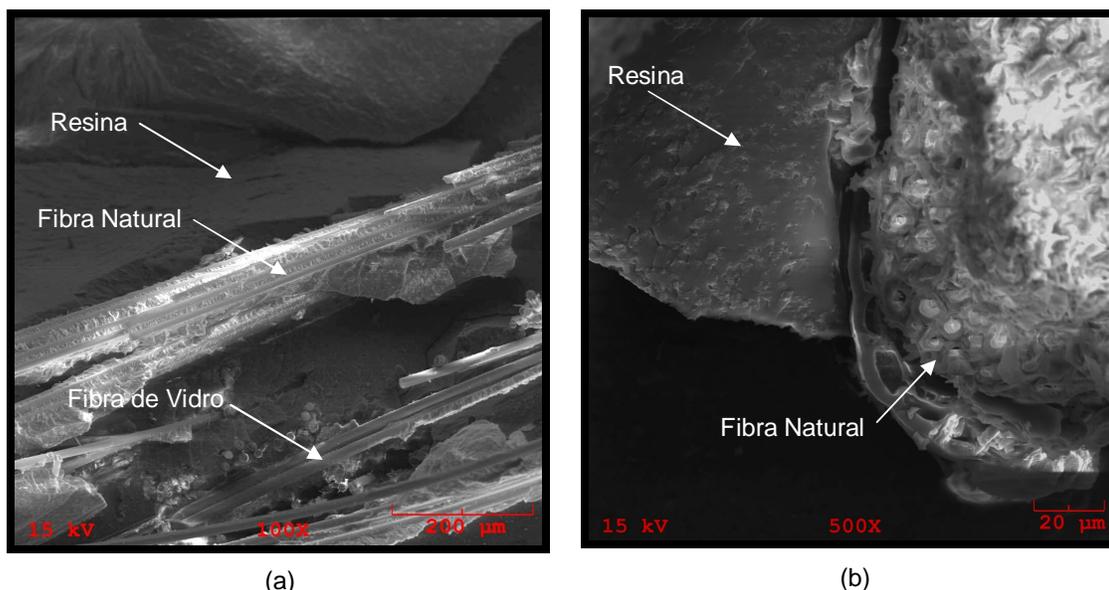


Figura 18: Imagens do MEV das fraturas dos corpos de prova submetidos ao ensaio de impacto e tração. (a) corpo de prova da amostra FN 12% submetido ao ensaio de impacto. (b) corpo de prova FV/FN/FV submetido ao ensaio de tração.

A micrografia (a) permite analisar vários aspectos do compósito híbrido, pois mostra a matriz, fibras de vidro e fibra vegetal. A fratura caracteriza-se do tipo frágil, com superfície disforme, há trincas na matriz próximas as fibras de vidro conforme observado no compósito apenas com esse reforço e, próximo a fibra vegetal ocorreu o deslocamento de parte da matriz o que sugere que em ambas as interfaces houve um comportamento semelhante das cargas independente da natureza. Esse fato corrobora os resultados registrados nos ensaios mecânicos sob tração.

Na imagem (b) observa-se a fibra natural, posicionada perpendicularmente a superfície da fratura, e destaca-se a distância entre a matriz e a fibra natural o que indica baixa adesão, fato já descrito por Santos, *et al.* (2008).

4.5 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS

Com relação ao comportamento térmico dos compósitos preparados para o ensaio de impacto, o ensaio de degradação térmica permitiu obter as curvas apresentadas no Gráfico 5, onde se observou que o processo de degradação ocorre em uma única etapa. Os valores de T_{onset} , T_{pico} e perda de massa são indicados na Tabela 4.

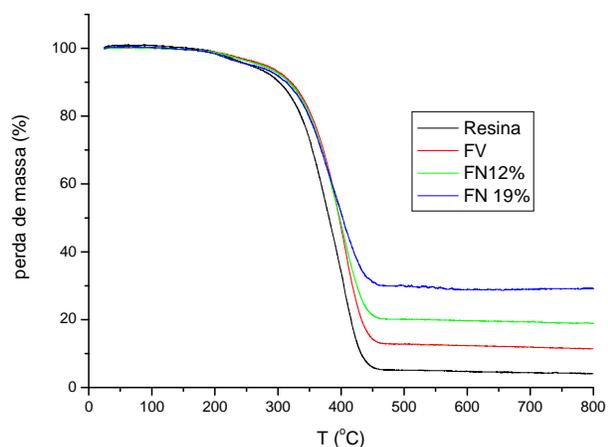


Gráfico 5: Comportamento térmico dos compósitos submetidos ao ensaio de degradação térmica.

A partir das informações obtidas nessa análise, verifica-se, como era esperado, que o acréscimo de material vegetal reduziu sensivelmente as duas temperaturas, quando se comparou à resina pura. Efeito inverso foi observado da presença exclusiva de fibra de vidro, que chega a aumentar em aproximadamente 18 °C a T_{onset} .

Tabela 5: Valores de T_{onset} , T_{pico} e perda de massa dos compósitos submetidos ao ensaio de degradação térmica.

Amostra	T_{onset} (°C)	T_{pico} (°C)	Perda de massa (%)
Resina	341,9	402,67	96,42
FV	359,8	405,03	88,62
FN 12%	337,9	402,86	80,98
FN 19%	336,5	395,77	70,91

As T_{pico} registradas para os compósitos híbridos mantiveram-se entre os valores registrados para a resina pura e somente com fibra de vidro, obedecendo a relação de quanto menor quantidade relativa de fibra de vidro mais próxima da temperatura registrada para a resina.

Esses valores sugerem que é possível aplicar os compósitos com até 19% de fibras naturais desde que a temperatura de trabalho seja inferior a 300 °C.

Por outro lado, registrou-se menor perda de massa a medida que a quantidade de fibra natural foi crescente. Esperava-se que o material vegetal perdesse massa durante essa análise, considerando o intervalo de temperatura aplicado.

Segundo Santos (2008), a perda de massa registrada para compósitos com 10% de fibra de pupunheira foi de 79%, semelhante ao obtido nesse estudo para a composição FN 12%, o que indica que a presença da fibra de vidro, neste caso, não influencia a degradação térmica do compósito que apresenta fibra natural de pupunheira. A mesma autora registrou ainda que após o processo de degradação térmica da fibra de pupunheira, sob atmosfera de nitrogênio o conteúdo em massa de material vegetal permanecia em torno de 17%. Acredita-se que essas fibras devam apresentar alto teor de sais inorgânicos, mas não há registro na literatura sobre essa composição.

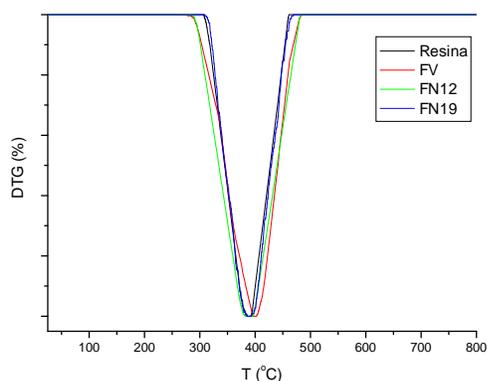


Gráfico 6: Curvas DTG obtidas para resina, fibra de vidro e compósitos híbridos com 12% e 19% de fibra natural em massa.

4.6 AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Como já apresentado na metodologia deste trabalho, o ensaio de absorção de água foi realizado com os mesmos compósitos submetidos ao ensaio de tração, apresentando os seguintes percentuais de absorção, conforme ilustra o Gráfico 6 a seguir:

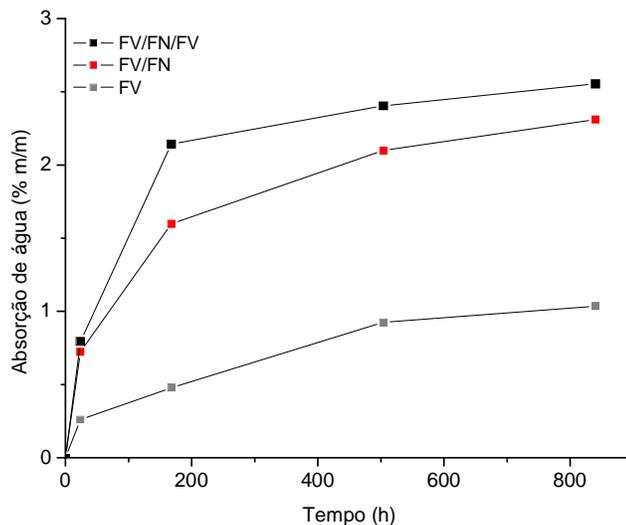


Gráfico 7: Percentual de absorção de água dos compósitos submetidos ao ensaio.

Os valores resultantes do ensaio indicam que o corpo de prova contendo como reforço apenas fibra de vidro registrou os menores valores de absorção de água, como era esperado, devido a inexistência de matéria vegetal, absorvendo ao final de 840 horas aproximadamente 1% de água. Já o compósito que mais absorveu água foi o confeccionado com duas mantas de fibra de vidro e uma trama de fibra natural (FV/FN/FV). Esse fato foi atribuído ao desarranjo da manta para a confecção do compósito. Para essa composição, a absorção de água foi de 2,7%.

Os corpos de prova FV/FN absorveram, em 168 horas, 25% menos água que as amostras FV/FN/FV. Entretanto, essa diferença reduz a 9,8% em 840 horas, o que indica que no decorrer do tempo essas amostras apresentarão valores semelhantes, porém, não ultrapassando 3% de absorção de água.

Durante os ensaios foi possível observar que a permeação da água ocorre mais intensamente nas regiões usinadas dos corpos de prova, onde as bordas das tramas de fibra estão expostas. Acredita-se que esse efeito pode ser minimizado, com a impermeabilização desses pontos com a própria resina.

Silva *et al* (2008) registraram, em seu estudo com compósitos híbridos de fibras de curauá e vidro, um percentual próximo de 2% de absorção de água após aproximadamente 4500 horas, valor semelhante ao registrado para as amostras FV/FN.

Já Vieira (2008) obteve esse mesmo percentual de absorção de água para compósitos híbridos com 25% de fibra de fibra, sendo estas compostas por 50% de fibra de sisal e 50% de fibra de vidro em volume.

CONCLUSÃO

Nos ensaios de tração, a inserção das tramas de fibras naturais não alterou significativamente os resultados quando comparados com os corpos de prova confeccionados apenas com fibra de vidro como reforço. Esses resultados indicam a viabilidade em aplicar as fibras de pupunheira, nesse percentual, sem comprometer o desempenho mecânico previsto para os compósitos.

A partir dos dados apresentados, de resistência sob impacto, pode-se concluir que aplicação das tramas da fibra da pupunheira permitiu ampliar em 94% esse desempenho, caso do compósito contendo 19% de fibra natural, relativamente aos corpos de prova que utilizaram apenas a fibra de vidro como reforço.

Porém, de acordo com o que foi observado nas micrografias, a interface matriz/fibra natural continua sendo o principal fator determinante para os resultados de ensaios de resistência mecânica, principalmente nos ensaios de tração.

Com relação a degradação térmica, concluiu-se que a incorporação de fibra natural no compósito pode ser realizada sem problemas para temperaturas de trabalho inferiores a 300°C.

O perfil de absorção de água dos corpos de prova quando submersos indica que esses compósitos absorvem menos de 3% de água.

Esse conjunto de resultados demonstra que esses compósitos apresentam potencial para a fabricação de produtos que possam demandar grande resistência ao impacto, desempenho sob tração semelhante aos com fibra de vidro (10%) e exposição a temperaturas de até 300 °C.

Consideração importante a ser comentada foi o fato da abertura da manta de fibra de vidro para intercalar com a trama de fibra natural na confecção do compósito. Observou-se que esta ação reflete-se no desempenho da resistência à tração desses compósitos devido a simples manipulação da fibra de vidro.

Entende-se que é necessário a obtenção de dados referentes as propriedades mecânicas somente das fibras da pupunheira, incluindo a realização de um estudo sobre os efeitos da impermeabilização das bordas dos compósitos no perfil de absorção de água.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH-AL-KAFI; ABEDIN, M. Z.; BEG, M. D. H. and PICKERING; KHAN, K. L.; MUBARAK, A. Study on the Mechanical Properties of Jute/Glass Fiber-reinforced Unsaturated Polyester Hybrid Composites: Effect of Surface Modification by Ultraviolet Radiation. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Vol. 25, No. 6/2006.

ABMACO - Associação Brasileira de Compósitos. Compósitos. Disponível em <<http://www.abmaco.org.br/compositos.cfm>> . Acesso em: 17 jun. 2007.

ADAMS, D.; CARLSSON, L. A.; PIPES, B. R. Experimental characterization of advanced composite materials. 3a. Edição CRC Press, 2003.

AGUILAR, A.P. e SILVA, E.C.S. Corrêa. Análise da Capacidade de Deformação do Concreto: Módulo de Young X Módulo de Deformação M.T.P. *In*: 17º CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

AHMED, K. SABEEL; VIJAYARANGAN, S; RAJPUT, CHHAYA. Mechanical Behavior of Isothalic Polyester-based Untreated Woven Jute and Glass Fabric. Hybrid composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Vol. 25, No. 15/2006.

AHMED, K. SABEEL; VIJAYARANGAN, S; KUMAR, ANISH. “Low Velocity Impact Damage Characterization of Woven Jute–Glass Fabric Reinforced Isothalic Polyester Hybrid Composites”. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Vol. 26, No. 10/2007.

AKIL, Hazizan Md; CHENG, Leong Wei; ISHAK, Z.A. Mohd; BAKAR, A. Abu; RAHMAN, M.A. Abd. Water absorption study on pultruded jute fibre reinforced unsaturated polyester composites. **Journal Composites Science and Technology**,

2009. Disponível em: <homepage: [www.elsevier.com/ locate/compscitech](http://www.elsevier.com/locate/compscitech)> Acesso em: 20 abr. 2009.

AMORIM, W., QUEIROZ, G., CALADO, V., BASTIAN, F., Processamento de Placa Espessa de Compósito através de Moldagem por Transferência de Resina. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, pp. 316 – 323, 2006.

ANDRADE, Tarcisio Eloi Júnior. Produção de Alumina Biomórfica a partir de Sisal e de Outros Materiais Ligninocelulósicos. *In*: UFRN – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS, Natal - RN, 2006.

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, pp. 1495-1497, 2003.

ARAÚJO, C. R. - **Cinética de Decomposição Térmica de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

ASHBY, M. F., JONES, D. R.H. **Engenharia de Materiais**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier v. 2, 2007.

ASKELAND, Donald R.; PHULE, Pradeep P., **Ciência e Engenharia dos Materiais**. Ed. Cengage, 2008.

ASTM D-256-06: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, 2006.

ASTM D570-98: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics, 2005.

ASTM D638-02a: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, 2002.

ASTM D-1475: Standard Test Methods for Density of Liquid Coatings, Inks, and Related Products, 2008.

ASTM D-1939: Practice for Determining Residual Stresses in Extruded or Molded Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Parts by Immersion in Glacial Acetic Acid, 1999.

ASTM D-2196: Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational (Brookfield Type) Viscometer, 2005.

ASTM D-2471: Standard Test Method for Gel Time and Peak Exothermic Temperature of Reacting Thermosetting Resins, 2008.

ASTM D-2583: Standard Test Method for Indentation Hardness of Rigid Plastics by Means of a Barcol Impressor, 2001.

BALEY, C.; BUSNEL, F.; GROHENS, Y.; SIRE, O. "Influence of chemical treatments on surface properties and adhesion of flax fibre – polyester resin". **Composites: Part A; Applied Science and manufacturing**, v 37, p. 1626-1637, out 2006.

BESSADOK, A.; ROUDESLI, S.; MARAIS, S.; FOLLAIN, N.; LEBRUN, L.. Alfa fibres for unsaturated polyester composites reinforcement: Effects of chemical treatments on mechanical and permeation properties. France, 2009. *In* : JOURNAL HOMEPAGE COMPOSITES: PART A 40 (2009) 184–195. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/compositesa>> .Acesso em: 23 mar.2009.

BLEDZKI AK, GASSAN J. Composites reinforced with cellulose based fibers. **Prog Polym Sci**, 1999.

BLEDZKI, A.K.; REIHMANE, S. & GASSAN, J. Thermoplastics Reinforced with Wood Fillers: A Literature Review. **Polymer-Plastic Technology**, v.37, n.4, p.451-68,1998.

CALLISTER JR., William D. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CALUNDANN G., JAFFE M., JONES R. S. and YOON H., **Fibre reinforcement for composite materials**. Ed. Bunsell A R, Elsevier, Amsterdam, 1998.

CANCHÉ-ESCAMILLA G., CAUICH-UPUL J.I., MENDIZÁBAL E., PUIG J.E., VÁSQUEZ –TORRES H., HERERA FRANCO P.J. **Composites: Part A**, v. 30, p. 349-359, 1999.

CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Editora Artliber. São Paulo, 2003.

CARMO, C. A. F. de S.; EIRA, P. A.; SANTOS, R. D.; BERNARDI, A. C. C.; GOMES, J. B. V.; OLIVEIRA, R. P.; LUMBRERAS, J. F.; NAIME, U. J.; GONÇALVES, A. O.; FIDALGO, E. C. C.; AGLIO, M. L. D. **Aspectos culturais e zoneamento da pupunha no Estado do Rio de Janeiro**. Embrapa Solos, 48 p. n. 58. Rio de Janeiro, 2003.

CARVALHO, A. **“Manual Técnico da Fiberglass do Brasil”**, São Paulo, 1992.

CARVALHO, Laura Hecker. Chemical Modification of Fiber for Plastic Reinforcement in Composites. *In: LEÃO, A. L.; CARVALHO, F. X.; FROLLINI, E.; LIGNOCELLULOSIC – PLASTIC COMPOSITES*. USP/UNESP, Brasil, 1997.

CARVALHO, Francisco José Xavier. **Tecnologia dos Compósitos**. *In: ABMACO: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS*, 2000. Disponível em <<http://www.abmaco.org.br>> . Acesso em: 05 jun. 2008.

CARVALHO, Laura Hecker de. **Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras Vegetais**. DEMa/CCT/UFCG. 2003.

CARVALHO, L. H.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro. **POLÍMEROS: CIÊNCIA E TECNOLOGIA**, vol. 16, n° 1, p. 33-37, 2006.

CASARIL, A.; GOMES, E. R.; SOARES, M.R.; FREDEL, M.C.; AL-QURESHI, H.A. Análise micromecânica dos compósitos com fibras curtas e partículas. **Revista Matéria**. v. 12, n. 2, pp. 408 – 419, 2007.

CAVANI, C. S.; SANCHEZ, C. G. ; LEAL, C. V. ; SANCHEZ, E. M. S.. “Polyester resin composite with sugar cane bagace: influence of fibers treatment in flexural and tensile strenght and accelerated aging”. IN: PPS-2004 AMERICA'S REGIONAL MEETING, **Anais do PPS-2004**, Florianópolis 2004.

CHAIMSOHN, Francisco Paulo; Durigan, Maria Eliane. **Rentabilidade do cultivo de palmeira-real vs. pupunha para produção de palmito**. Disponível em <<http://www.pejibaye.ucr.ac.cr/Produccion1.htm> >. Acesso em: 06 jan. 2007.

CRAY VALLEY. Resina. Disponível em:
<<http://www.crayvalley.com.br/produtos/resina/boletins/6040-01.php>>. Acesso em: 14 jul. 2009.

CULTIVO DA PUPUNHA. *In*: INPA – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. CPCA – Centro de Pesquisas em Ciências Agronômicas. Disponível em <www.inpa.gov.br/cpca/areas/pupunha.html>. Acesso em: 20 jun. 2009.

D’ALMEIDA, A. L. F. S.; BARRETO, D. W.; CALADO, V.; D’ALMEIDA, J. R. M., Efeito de Tratamentos Superficiais em Fibras de Piaçava sobre o Comportamento Dinâmico-Mecânico de Compósitos de Matriz Poliéster Isoftálica. 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Foz do Iguaçu, 2006.

ELIAS, Hans-Georg. **An introduction to plastics**. Weinheim: VCH, 1993.

EMBRAPA. **Processamento do Palmito de Pupunheira em Agroindústria Artesanal - Uma atividade rentável e ecológica**. *In*: Embrapa Agrobiologia Sistemas de Produção, 2004. Disponível em:
<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pupunha/PalmitoPupunheira/importancia.htm>> Acesso em: 22 jul 2009.

EMBRAPA. PUPUNHA. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pupunha/PalmitoPupunheira/introducao.htm>>. Acesso em: 11 jul. 2009.

FARIAS, Marcelo A. **Compósitos de resina poliéster insaturado reforçados com fibra e pó de pupunheira: caracterização mecânica e perfil de absorção de água**. TCC - Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville 2007.

FARIAS, M. A. de ; FARINA, M. Z. ; PEZZIN, A. P. T. ; SILVA, D. A. K. 2009. Unsaturated polyester composites reinforced with fiber and power of peach palm: mechanical characterization and water absorption profile. MATERIALS SCIENCE & ENGINEERING. C, BIOMIMETIC MATERIALS, SENSORS AND SYSTEMS, v. 29, p. 510-513.

FERNANDES, Bruno Souza; FORNARI, Celso Carlino Maria Junior. Avaliação da Reidratação das Fibras Secas de Coco. Ilhéus, 2007. *In*: XIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E 9ª SEMANA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UESC CIÊNCIAS EXATAS, DA TERRA E ENGENHARIAS. Ilhéus, 2007.

FERREIRA, Mario dos Santos. **A Função Design e a Corrente da Sustentabilidade: Eco-Eficiência de um Produto**. São Paulo: P&D Design, 2004.

FLORI, J.E., D'OLIVEIRA, L.O.B. **O cultivo da pupunha sob irrigação no semi-árido do nordeste brasileiro**. Petrolina: EMBRAPA, CPTSA, 1995.

FONSECA, V. M.; **Estudo Comparativo das Propriedades mecânicas em compósitos poliéster/sisal quimicamente tratado**. Dissertação Mestrado. PPGEM, UFRN, 1998.

FREIRE, E.; KLOHN, Tobias Guagliardo. Processabilidade e propriedades mecânicas de compósitos estirênicos com fibras naturais e químicas. *In*: XIV ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES DA UCS, 2006. Caxias do Sul, 2006.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Álvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GRUJICIC, M.; BELL, W. C.; THOMPSON, L. L.; KOUDELA, K. L.; CHEESEMAN, B. "A. Ballistic-protection performance of carbon-nanotube-doped-poly-vinyl-ester-epoxy matrix composite armor reinforced with E-glass fiber mats. *MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, v. 479, p. 10-22, 2008.

HAGE Jr., Elias. *Compósitos e Blendas Poliméricas*. In: IBM - INSTITUTO LATINO – AMERICANO DE TECNOLOGIA. Campinas: 1989.

HIMMERFARD, D.; **Encyclopédia of Polymer and Technology, John Willy e sons Inc.**; Fiber Vegetable. p. 619-712, 1993.

JOHN, K; NAIDU, S. V. Tensile Properties of Unsaturated Polyester-Based Sisal Fiber-Glass Fiber Hybrid Composites. *JOURNAL OF REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES*, Vol. 23, No. 17/2004.

JOSEPH, K. *et al.* Natural Fibers Reinforced Thermoplastic Composites. In: Frollini, E.; Leão, A.L.; Mattoso, L.H.C. **Natural Polymers and Agrofibers Based Composites**. Empresa Instrumentação Agropecuária, p.159-201. São Carlos, 2000.

JOSEPH, Kuruvilla; MEDEIROS, Eliton S.; Carvalho, Laura H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. **Polímeros**, v.9, n.4, p. 136-141, 1999.

JOSEPH, K.; CARVALHO, L. H. Propriedades de compósitos híbridos de poliéster insaturado/tecidos híbridos de juta e algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, p. 834-839. São Carlos: ABPol, 1999.

LESKO, Jim. **Design industrial: Materiais e Processos de Fabricação**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Ciência e tecnologia: Compósitos Estruturais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

LOPES, A. S.; HERNANDEZ, F.B.T.; ALVES JÚNIOR, J.; VALÉRIO FILHO, W.V. Manejo da Irrigação na Cultura da Pupunha no Noroeste Paulista. *Engenharia Rural*, v.15. p. 7-14, 2004.

MANO, E. B., **Introdução à polímeros**. São Paulo: Edgard Blücher, 1985.

MANO, Eloisa Biasotto. **Introdução a Polímeros**. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 2001.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a Polímeros**. 2.ed. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1999.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Identificação de Plásticos, Borrachas e Fibras**. Ed. Edgard Blücher, v. 1. São Paulo, 2000.

MARTIN, Adriana R.; MARTINS, Maria A.; MATTOSO, Luiz H. C.; SILVA, Odilon R. R. F.. Caracterização Química e Estrutural de Fibra de Sisal da Variedade *Agave sisalana*. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 1, p. 40-46, 2009.

MATOS, Jivaldo do Rosário; MIYANO, Miriam Hisami; SIQUEIRA, Lilian; MOURA, Maria de Fátima Vitória de; LUIZ, José Marques. Ilustração da influência da razão de aquecimento nos resultados de Termogravimetria. **Química Nova**, 23(1) 2000.

MATTOSO, L. H. C.; FRAGALLE, E. P. Uso de fibras vegetais na indústria automobilística: necessidade ecológica, oportunidade para o Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 9-1, 1996.

METHA, G.; MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; DRZAL, L.T. "Effect of novel sizing on the mechanical and morphological characteristics of natural fiber reinforced unsaturated polyester resin based bio-composites". **Journal of Materials Science**, v. 39, p. 2961-2964, 2004.

MIRANDA, Marcos Aurélio. **Avaliação das propriedades mecânicas: tração e impacto, para matriz de poliéster insaturada reforçada com pó da pupunheira (*Bactris gasepae* h.b.k.).** TCC - Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE. Joinville, 2007.

MOHANTY, A. K., MISRA, M. AND HINRICHSEN, G. **Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview**, *Macromol. Mater. Eng.* 276/277, p. 1–24, 2000.

MOHANTY, A. K., MISRA, M., DZRAL, L.T. **Natural fibers, biopolymers and biocomposites**. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2005.

MONTERIO, Sérgio N.; AQUINO, Regina C. M. P.; LOPESA, Felipe P. D.; D'ALMEIDA José R., **Polímeros – versão impressa** v.15, n. 1. São Carlos, 2005.

MONTEIRO, S. N.; AQUINO, R. C. M. P.; LOPES, F. P. D.; CARVALHO, E. A.; D'ALMEIDA, J. R. M. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, p. 197-203, 2006.

MONTEIRO, A, Sergio N.; AQUINO, Regina Coeli M. P.; LOPESA, Felipe P. D.; D'ALMEIDA C., José Roberto M.. Tenacidade ao Entalhe por Impacto Charpy de Compósitos de Poliéster Reforçados com Fibras de Piaçava. 2006. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, pp. 204 – 210, 2006.

MORASSI, J. O. Fibras naturais: aspectos gerais e aplicação na indústria automobilística. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 11, 1994, São Paulo: ABPol: ABM: ABC, 1994. p.1259-1262.

MORO, J.R. **Produção de palmito de pupunha**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 1996. 28p. (Manual, 87).

MOTHÉ, Cheila G.; ARAUJO, Carla R.. Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras de Curauá. Escola de Química, UFRJ **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 14, nº 4, p. 274-278, 2004.

MOUZAKIS, D. E.; ZOGA, H.; GALIOTIS, C. "Composites part B: engineering: Accelerated environmental ageing study of polyester/glass fiber reinforced composites (GFRPCs)", v.39, p. 467-475, 2008.

MUTJÉ, P.; GIRONÉ, J. S, LÓPEZ, A.; LLOP, M. F. and VILASECA, F.. "Hemp Strands: PP Composites by Injection Molding: Effect of Low Cost Physico-chemical Treatments". Group Lepamap, Department of Chemical Engineering University of Girona, Girona 17071, Spain. JOURNAL OF REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES, Vol. 25, No. 3/2006.

NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. Ed. Booklook, 3ª edição. Rio de Janeiro, 2004.

ORÉFICE, Prof. Rodrigo. *In*: LABORATÓRIO DE ENG. DE POLÍMEROS E COMPÓSITOS – LEPCOM - UFMG. Disponível em: < <http://www.demet.ufmg.br/docentes/rodrigo/r2.htm> >. Acesso em: 01 abr. 2008.

OWENS CORNING. Disponível em:
< <http://www.owenscorning.com.br> >. Acesso em: 03 ago. 2009.

PAGINARURAL. PUPUNHA, foto. Disponível em:
<http://www.paginarural.com.br/Imagens/Imagens/0001dez07/Pupunha1.gif>. Acesso em: 30 jun. 2009.

PUPUNHA-NET. 2004. *In*: A revista da pupunha. Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br/pupunha>> Acesso em: 6 fev. 2004.

PUPUNHA-NET. *In*: Rede de pesquisa e desenvolvimento da pupunha no Brasil. Disponível em: <<http://www.inpa.gov.br/pupunha>>. Acesso em: 02 jun. 2007.

PUPUNHA-NET, disponível em:

<<http://www.inpa.gov.br/pupunha/revista/clement-intro.html>> Acesso em: 11 jul. 2009.

PUPUNHA-NET. 2009. *In*: A revista da pupunha. Disponível em:<<http://www.inpa.gov.br/pupunha>> Acesso em: 13 julho 2009.

RABELLO, M.S. **Aditivos de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2000.

REDIGHIERI, Karla Isabel; COSTA, Dilma Alves. Propriedades mecânicas e absorção de água dos compósitos de PEBDREC e partículas de madeira de reflorestamento. *Rev. Univ. Rural, Sér. Ci. Exatas e da Terra. Seropédica, RJ, EDUR*, v. 25, n. 1., p. 28-35, 2006.

REIS, M. S.; MARIOT, A.; RESENDE, R.; GUERRA, M. P., *In*: *Euterpe edulis* Martius (PALMITEIRO): BIOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO. Itajaí/SC, p. 281-303, 2000.

RHODIA; Histórico das Fibras Têxteis, Centro de desenvolvimento têxtil, Rhodia S.A., 2000.

RODRIGUES, Guilherme V.; MARCHETTO, Otávio. **Análises Térmicas**. 2002. Disponível em < <http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EMC5733/Apostila.pdf>>. Acesso em: 20 setembro 2009.

RODRIGUES, D. P.; VINSON, C.; CIAMPI, A. Y.; FARIAS, I. P.; LEMES, M. R.; ASTOLFI-FILHO, S.; CLEMENT.; C. R. Primer note novel microsatellite markers for *Bactris gasipaes* (Palmae). *In*: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - MOLECULAR ECOLOGY NOTES. P. 575–576. Manaus, 2004.

SALAZAR, Vera Lúcia Pimentel; CARASCHI, José Cláudio; Leão, Alcides Lopes. Avaliação dos produtos de emissão a partir da pirólise de assentos automotivos feitos de fibra de coco e de espuma de poliuretano. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 10, n.2, p. 162-166, 2005.

SANCHEZ, Elisabete M.S.; CAVANI, Claudia Santos. Compósito Poliéster insaturado – bagaço de cana: melhoria da adesão matriz/fibra e envelhecimento acelerado. *In: VIII ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, PUC-SP, 2003.*

SANCHEZ, E. M. S. ; SANCHEZ, C. G. ; SOUZA, R. A. . Compósitos de Bagaço de Cana com Resina de Poliéster Insaturado. Influência do tratamento das Fibras na Adesão Fibra-Matriz. *In: 25ª REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 2002, Poços de Caldas - MG. Livro de Resumos da 25ª Reunião da Sociedade Brasileira de Química, 2002. v. QM092.*

SANTOS, Adriane Shibata. **Estudo da viabilidade de aplicação de fibras da pupunheira (*Bactris gasepaes* h. B.k) como alternativa à fibra de vidro no desenvolvimento de produtos.** Dissertação (Mestrado) - Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE. Joinville, 2007.

SANTOS, A. S.; FARINA, M. Z. ; PEZZIN, A. P. T. ; SILVA, D. A. K. (2008). The Application of Peach Palm-Fibers as Alternative of Fiber Reinforced Polyester Composites. *JOURNAL OF REINFORCED PLASTICS AND COMPOSITES*, v. 27, p. 1805-1817.

SANTOS, Álvaro F.; BEZERRA, José L.; TESSMANN, Dauri J.; POLTRONIERI Luiz S. **Ocorrência de *Curvularia senegalensis* em pupunheira e palmeira real no Brasil.** 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/fb/v28n2/a17v28n2.pdf>>. Acesso em: 28 julho 2009.

SAVASTANO Jr., H. Fibras de coco em argamassas de cimento Portland para produção de componentes de construção civil. Dissertação (Mestrado). EPUSP, São Paulo, 1987. *In: XIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E 9ª SEMANA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UESC Ciências Exatas, da Terra e Engenharias.*

SILAEX, P - MEK. Disponível em: <<http://www.silaex.com.br/p-mek.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2008.

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

SMITH, W. F. **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3ª Edição. Portugal: Editora McGraw-Hill, 1998.

SOUTIS, C. Fibre reinforced composites in aircraft construction. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 41, p. 143-151, 2005.

TROTMAN, E. R.; **Dyeing and chemical technology of textile fibres**, 5 ed., Charles Griffin & Company Ltda, London, 1975.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Biblioteca virtual disponível em: <http://www.bibvirt.futuro.usp.br/content/download/6093/48927/file>. Acesso em: 20 dez. 2008.

VELMURUGAN, R; MANIKANDAN, V. Mechanical properties of palmyra/glass fiber hybrid composites. **Composites: Part A**, 2007.

VIEIRA, Cristiane A. B. **Avaliação de Processos de Fabricação de Mantas Híbridas de Fibra de Vidro e Sisal em Compósitos Poliméricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Caxias do Sul, 2008.

WESSLER, K.; FOGAGNOLO, C.; EVERLING, M.; BERNARDO, H. P.; SOBRAL, J. C.; PEZZIN, A. P. T.; BALZER, P. S.; ARAUJO, M.I.S. Obtenção e caracterização de compósitos de resina de poliéster insaturada e fibras de bananeira. *In*: CONGRESSO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS DO MERCOSUL - SULMAT, Joinville, 2004.

YAM, Phillip. Fiber that may not be good for you. **Chemical Week**, v. 158, n. 36, p. 49, set. 1996.

YUYAMA, K.; COSTA, S. S. Estudo da altura do corte da pupunheira para extração do palmito. **Revista brasileira de fruticultura**, Cruz das Almas, v.16, p.77-82, 1994.