

**ALEXANDRE MANEIRA DOS SANTOS**

**ESTUDO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS POLIPROPILENO / FIBRAS DE  
VIDRO E COCO PARA APLICAÇÕES EM ENGENHARIA**

**CURITIBA**

**2006**

**ALEXANDRE MANEIRA DOS SANTOS**

**ESTUDO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS POLIPROPILENO / FIBRAS DE  
VIDRO E COCO PARA APLICAÇÕES EM ENGENHARIA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Thais Helena Sydenstricker

Co-orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Sandro C. Amico

**CURITIBA**

**2006**

## DEDICATÓRIA

Muitas são as pessoas presentes em nosso dia a dia, fazendo-nos renovar continuamente nossas esperanças. Algumas destas pessoas são especiais, outras, por motivos justificados, são mais especiais ainda. Neste momento em que mais uma etapa da minha vida é concluída, dedico este trabalho

- Ao meu pai Claudemir (*in memoriam*), meu eterno ídolo;
- À minha mãe Terezinha, por toda dedicação e carinho;
- À minha esposa Ana Cristina pelo companheirismo e apoio;
- Ao meu querido filho Christian, companheiro, que apesar da tenra idade soube entender a importância desta etapa da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos àqueles que, pessoalmente ou em pensamento, estiveram ao meu lado nesta caminhada.

Aos meus irmãos André Luis e Cláudia pelo apoio em todos os momentos,

Aos meus familiares pela torcida,

Aos professores orientadores Thais Sydenstricker e Sandro Amico pela paciência e direcionamento do trabalho,

À amiga Val pelo apoio nas horas difíceis e pelas dicas,

Aos colegas Fabio Tomczak, Reinaldo Strapasson e Waldyr Ota pela força,

Aos professores Maurício Gondak, Marcio e Rodrigo do Centro de Educação Tecnológica Tupy pela colaboração e apoio durante o processamento dos compósitos,

Ao parceiro Samuel Estevão pela força de vontade e disposição em cooperar com o trabalho,

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho.

Muito obrigado.

## EPÍGRAFE

**Viver é acreditar no impossível e realizá-lo. Antes de Santos Dumont, ninguém achava possível fazer voar um aparelho mais pesado que o ar, mas ele acreditou nisso e, com determinação, criou o avião. Quando lhe disserem que alguma coisa em que você acredita é impossível, tenha paciência, talvez estas pessoas não saibam realmente que a vida é um eterno ato de transformar o impossível em realidade. Quanto maior a dificuldade, maior o mérito em superá-la.**

**Roberto Shinyashiki**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>TRABALHO PUBLICADO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS GERAIS DO TRABALHO.....	8
<b>2. OS MATERIAIS COMPÓSITOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. AS MATRIZES POLIMÉRICAS.....</b>	<b>13</b>
<b>4. FIBRAS DE REFORÇO PARA COMPÓSITOS.....</b>	<b>18</b>
4.1 FIBRAS DE VIDRO.....	20
4.2 FIBRAS VEGETAIS.....	20
4.2.1 Fibras de Coco.....	26
<b>5. PROPRIEDADES DA INTERFACE.....</b>	<b>30</b>
<b>6. METODOLOGIA E PLANO DE TRABALHO.....</b>	<b>36</b>
6.1 MATERIAIS.....	36
6.2 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	36
6.2.1 Moagem das Fibras de Coco.....	36
6.2.2 Dimensão das Fibras de Coco.....	37
6.2.3 Tratamento das Fibras de coco.....	37
6.2.4 Mistura das Fibras de coco com Polipropileno.....	38
6.2.5 Processo de Extrusão dos compósitos.....	38
6.2.6 Processo de Injeção dos compósitos.....	39
6.3 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	40
6.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS.....	41
6.4.1 Análise Termogravimétrica.....	41
6.4.2 Análise Microscópica.....	42
6.5 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	42
6.5.1 Ensaio de Tração.....	42
6.5.2 Ensaio de Impacto.....	43

6.5.3 Ensaio de Fluidez.....	43
6.5.4 Ensaio de Contração.....	43
6.5.5 Ensaio de Dureza.....	43
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>44</b>
7.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS DE COCO.....	44
7.2 COMPRIMENTO DAS FIBRAS DE COCO.....	44
7.3 PERDA DE MASSA DURANTE PROCESSAMENTO DAS FIBRAS.....	47
7.4 EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DAS FIBRAS.....	48
7.5 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DAS FIBRAS DE COCO.....	50
7.6 AVALIAÇÃO DOS COMPÓSITOS POLIPROPILENO/FIBRA DE COCO.....	51
7.7 AVALIAÇÃO DOS COMPÓSITOS POLIPROPILENO/FIBRA DE VIDRO.....	56
7.8 AVALIAÇÃO DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS POLIPROPILENO COM FIBRAS DE VIDRO E COCO.....	60
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>66</b>
<b>9. SUGESTÕES.....</b>	<b>67</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – BMW SÉRIE 7 E AS FIBRAS NATURAIS.....	4
FIGURA 2 – PRODUÇÃO E ÁREA PLANTADA DE COCO ( <i>COCOS NUCIFERA</i> ) NO BRASIL.....	5
FIGURA 3 – COMPÓSITOS UTILIZADOS NA AERONAVE TUCANO DA EMBRAER.....	12
FIGURA 4 – <i>COCOS NUCIFERA L</i> .....	26
FIGURA 5 – PARTES DO COCO.....	27
FIGURA 6 - RECEBIMENTO DAS FIBRAS DE COCO.....	36
FIGURA 7 – PROCESSO DE MOAGEM DAS FIBRAS DE COCO.....	37
FIGURA 8 – TRATAMENTO DAS FIBRAS COM SOLUÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NaOH).....	38
FIGURA 9 – (a) POLIPROPILENO ANTES DA MISTURA; (b) FIBRAS DE COCO ANTES DA MISTURA; (c) POLIPROPILENO E FIBRAS DE COCO MISTURADOS.....	38
FIGURA 10 – ESQUEMA DE UMA EXTRUSORA COM SUAS RESPECTIVAS PARTES.....	39
FIGURA 11 – ESQUEMA DE UMA INJETORA. (a) FECHAMENTO DO MOLDE E INICIO DO PROCESSO DE INJEÇÃO; (b) PREENCHIMENTO DA CAVIDADE DO MOLDE; (c) ABERTURA DO MOLDE LIBERANDO O PRODUTO INJETADO.....	40
FIGURA 12 – ENSAIO DE TRAÇÃO.....	42
FIGURA 13 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS DIFERENTES TAMANHOS DE FIBRAS DE COCO.....	44
FIGURA 14 - DISPERSÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DE COCO PARA CADA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	46
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DO COMPRIMENTO DE FIBRAS DE COCO PARA CADA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	46
FIGURA 16 - AMOSTRAS DE FIBRAS DE COCO (DISTRIBUIÇÃO “A”).....	47
FIGURA 17 – PERDA DE MASSA DURANTE OS PROCESSOS DE CLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DAS FIBRAS DE COCO.....	48
FIGURA 18 – (a) FIBRA DE COCO “IN NATURA”; (b) FIBRA DE COCO APÓS TRATAMENTO NaOH 1%; (c) FIBRA DE COCO APÓS TRATAMENTO NaOH 2%; (d) FIBRA DE COCO APÓS TRATAMENTO NaOH 5%.....	49

FIGURA 19 – ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DA FIBRA DE COCO COM DIFERENTES TRATAMENTOS.....	51
FIGURA 20 – DIAGRAMA TENSÃO X DEFORMAÇÃO.....	53
FIGURA 21 – ÍNDICE DE CONTRAÇÃO DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE COCO.....	53
FIGURA 22 – DUREZA SHORE D DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE COCO.....	54
FIGURA 23 – IMPACTO DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE COCO.....	55
FIGURA 24– ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE PP E COMPÓSITOS PP+10%FC E PP+15%FC.....	55
FIGURA 25– DIAGRAMA DE TENSÃO X DEFORMAÇÃO DOS COMPÓSITOS PP+20%FV E PP+30%FV.....	57
FIGURA 26– AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE FIBRAS DE COCO NA QUEBRA DE FIBRAS DE VIDRO DURANTE O PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS.....	58
FIGURA 27 – MÓDULO DE YOUNG DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE VIDRO ANTES E APÓS PROCESSO DE EXTRUSÃO A 150°C.....	59
FIGURA 28 – ÍNDICE DE FLUIDEZ DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE VIDRO ANTES E APÓS PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	59
FIGURA 29 – REGIÃO DE RUPTURA DO CORPO DE PROVA DO COMPÓSITO COMERCIAL PP+20%FV.....	60
FIGURA 30 – MÓDULO DE YOUNG DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS PP/FIBRAS DE VIDRO E COCO.....	61
FIGURA 31 – IMPACTO DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS PP/FIBRAS DE VIDRO E COCO.....	62
FIGURA 32 – ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS.....	63
FIGURA 33 – (a) DIFERENÇA DIMENSIONAL ENTRE FIBRAS DE VIDRO E COCO; (b) FIBRA DE VIDRO; (c) FIBRA DE COCO.....	63
FIGURA 34 – (a) COMPÓSITO DIST. C 5% APÓS PROCESSO DE EXTRUSÃO; (b) VISTA FRONTAL DA REGIÃO DE RUPTURA DO CORPO DE PROVA DIST. C 5%; (c) E (d) VISTA LATERAL DA REGIÃO DE RUPTURA DO CORPO DE PROVA DIST. C 5%.....	64
FIGURA 35 – (a) REGIÃO DE RUPTURA DO COMPÓSITO HÍBRIDO DIST. B 2%; (b) E (c) FIBRA DE COCO APÓS RUPTURA EM ENSAIO DE TRAÇÃO (d) DETALHE DA REGIÃO DE RUPTURA DA FIBRA DE COCO.....	65

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 – FIBRAS VEGETAIS NO BRASIL .....	5
TABELA 2 – COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENTRE TERMOPLÁSTICOS E TERMORRÍGIDOS.....	13
TABELA 3 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FIBRAS VEGETAIS E FIBRAS CONVENCIONAIS USADAS COMO REFORÇO.....	18
TABELA 4 – MÓDULO ESPECÍFICO DE FIBRAS VEGETAIS E SINTÉTICAS.....	19
TABELA 5 – COMPOSIÇÃO DE FIBRAS ORIUNDAS DE CULTIVO PRINCIPAL E DE SUBPRODUTOS DA AGRICULTURA.....	24
TABELA 6 – MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONFECÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	36
TABELA 7 – IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	41
TABELA 8 – DIMENSÃO DAS FIBRAS DE COCO ESTUDADAS.....	48
TABELA 9 – PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE COCO.....	51
TABELA 10 – PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS PP/FIBRA DE VIDRO ANTES E APÓS PROCESSO DE EXTRUSÃO.....	56
TABELA 11 – PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS PP/FIBRAS DE VIDRO E COCO.....	61

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ASTM	American Society for Testing and Materials
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	Monômero de Propileno
CH <sub>4</sub>	Metano
E-Vidro	Fibra de vidro usada na indústria eletrônica
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FC	Fibra de Coco
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FV	Fibra de Vidro
GEE	Gases do Efeito Estufa
HDT	Temperatura de Deflexão Térmica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
N <sub>2</sub>	Gás Nitrogênio
NA	Não se aplica
NaOH	Hidróxido de Sódio
NO	Óxido de Nitrogênio
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEEK	Poli(éter-éter-cetona)
PEEL	Poliéter-éster-elastômero
PIB	Produto Interno Bruto
PP	Polipropileno
PPS	Poli(sulfeto de fenileno)
PVC	Policloreto de Vinila
SBS	Copolímero de Estireno-butadieno-estireno
TGA	Sigla do idioma inglês para Análise Termogravimétrica

## RESUMO

Neste trabalho foi estudado o comportamento mecânico de compósitos híbridos de polipropileno / fibras de vidro e coco preparados com fibras de coco tratadas com soluções aquosas de hidróxido de sódio (NaOH) em diferentes concentrações ou sem tratamento. A partir de um compósito comercial PP / 20% fibra de vidro, foram analisados os efeitos da adição de fibras de coco de diferentes comprimentos e tratadas com distintas concentrações de solução de hidróxido de sódio. Avaliou-se o efeito do tamanho de fibras no desempenho final dos compósitos em testes de tração e impacto. Partindo do polímero PP comercial, foram estudadas também as propriedades dos compósitos PP / fibra de coco com diferentes percentagens de fibras e o efeito dos processos de extrusão e injeção nesses compósitos em relação aos reforçados com fibras de vidro ou híbridos. A morfologia das fibras foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) que também foi usada para avaliação da interface fibras / matriz dos compósitos. Os índices de fluidez e de contração dos compósitos foram avaliados antes e após o processamento por injeção. A adição de fibras de coco ao compósito de PP / fibras de vidro não resultou em aumento significativo nas propriedades mecânicas dos compósitos embora a dureza e a resistência ao impacto tenham aumentado.

**Palavras-chave:** fibras de coco, compósitos híbridos, polipropileno, propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

In this work Polypropylene/glass fiber/coir hybrid composites prepared with NaOH solutions treated fibers were studied. The effects of the addition of coir fibers of different length and treated with distinct NaOH solution concentrations on the performance of a commercial PP/20% glass composite were evaluated. It was evaluated the effect of the length of fibers on the composite tensile and impact strengths. It was also studied properties of PP/coir fibers composites prepared with different fiber content and the effect of the extrusion and injection process on these materials, also compared with PP/glass or PP/glass/coir composites. The morphology of fibers and the evaluation of the interface between matrix and fibers were analyzed by scanning electronic microscopy (SEM). Melt flow index and contraction of composites were evaluated before and after injection molding. Although the addition of coir fiber to PP/glass fiber composites did not result on a significant increase on mechanical properties, toughness and impact strength were improved.

**Key-words:** coir fibers, hybrid composites, polypropylene, mechanical properties.

**TRABALHO PUBLICADO**

SANTOS, A. M.; SYDENSTRICKER, T. H. D.; AMICO, S. C. **The study of Hybrid Polypropylene / Glass and Coir Fiber Composites for Engineering Applications.**  
In: 41<sup>o</sup> International Symposium on Macromolecules, 16-21 jul. 2006, Rio de Janeiro.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A instalação dos três pólos petroquímicos no Brasil a partir da década de 1970, o de São Paulo em 1972, o de Camaçari (BA) em 1977 e o de Triunfo (RS) em 1982, permitiu o desenvolvimento da indústria de polímeros no Brasil. Antes disso, unidades isoladas os produziam em quantidades inexpressivas para a composição do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Hoje este setor representa cerca de 2% do PIB do país. O estabelecimento dessa indústria no Brasil ocorreu por iniciativa governamental, através da adoção de um modelo societário de empresa chamado modelo tripartite. Neste modelo 1/3 do capital era proveniente da Petroquisa, 1/3 de sócio privado nacional e 1/3 de sócio estrangeiro, geralmente fornecedor da tecnologia, que era explorada pela formação de *joint-ventures*. (HEMAIS, 2001).

A indústria de plásticos move-se ao redor do mundo buscando oportunidades nos mercados emergentes de alto crescimento. O setor é dominado por um grande número de companhias multinacionais que atuam em várias etapas da cadeia produtiva. Embora a indústria de plástico seja global, a base de produção de muitas resinas migrou para países como Arábia Saudita, China e Coréia do Sul. Os produtores dos mercados mais desenvolvidos com os Estados Unidos, a Europa Ocidental e o Japão responderam a essa migração direcionando suas indústrias para produtos de maior valor agregado e racionalizando a capacidade de produção a fim de elevar a rentabilidade. Os mercados-chave para a indústria de plásticos incluem a área econômica da China, Japão, América do Norte e do Sul, Sudeste Asiático e Europa Ocidental. Por causa de seu tamanho e do nível de desenvolvimento econômico, não é de surpreender que o Japão, a América do Norte e a Europa Ocidental sejam os maiores mercados para resinas plásticas, totalizando 90% do consumo mundial de polímeros (UNICAMP, 2002).

O consumo mundial de resinas plásticas (PEAD, PEBD, PP, PS e PVC) foi de aproximadamente 114 milhões de toneladas em 1999. Deste total, Europa Ocidental e os Estados Unidos representam 27% cada. Em seguida aparecem China (12,6%), Japão (8,6%) e Coréia do Sul (3,4%) e o Brasil (ocupando a sexta posição com 3,2%). No que se refere ao consumo de resinas por setores de uso final em 1999 tem-se: 40% embalagem, 18% na indústria da construção, 8% na indústria automotiva,

7,5% nas indústrias eletro-eletrônicas, 2,5% na agricultura, 19% em outras aplicações e 5% na indústria em geral (UNICAMP, 2002).

A substituição de materiais tradicionais por polímeros na indústria vem sendo gradualmente executada ao longo das últimas décadas, tendo se intensificado o ritmo de substituição nos últimos 20 anos. Os polímeros têm demonstrado um alto grau de confiabilidade e muitas vantagens sobre os materiais convencionais. Além de maior flexibilidade de projeto e economia na produção, sua baixa densidade é essencial para a redução do consumo de combustíveis. Aproximadamente, para 100 kg de polímeros empregados em um veículo, 200 a 300 kg de outros materiais deixam de ser empregados, refletindo no peso final do carro. Dessa forma, estimando-se a vida útil de um veículo em 150.000 quilômetros, pode-se economizar 750 litros de combustível devido ao uso de plásticos. Além disso, a utilização de polímeros favorece a injeção de peças complexas com alto nível de produção e qualidade sem falar na resistência à corrosão (HEMAIS, 2003 e SUDDELL, 2000).

A média de 30 quilos de polímeros empregada por veículo, na década de 70, passou a representar cerca de 180 kg no final da década de 90 (APC, 1999). A questão que ora se levanta, a partir do uso de plásticos na indústria automobilística, é sobre a disponibilidade de fornecimento de matérias-primas por parte da indústria de polímeros no Brasil.

A seleção de materiais orientados para o futuro é indispensável nos dias de hoje em razão dos aspectos tecnológicos e econômicos decorrentes das diretrizes promulgadas pela legislação da União Européia sobre os carros em fim de vida útil, ocorrida em setembro de 2000. Em decorrência desta lei, foi estabelecida uma cota de reciclagem para veículos sucataados, a qual será de 80% até o ano de 2006, passando a 85% até o ano de 2015, incluindo uma exigência de aproveitamento térmico de 85% até 2006 e 95% até o ano de 2015 (KLEBA, 2004; MARSH, 2003).

Considerando-se o volume dos materiais, empregam-se mais polímeros na construção de um carro do que metais. A disponibilidade do fornecimento de matérias-primas por parte da indústria de polímeros para o setor automotivo de acordo com suas premissas é a principal problemática (HEMAIS, 2003).

As crises do petróleo de 1973 e 1979, entretanto, trouxeram a consciência para o problema da escassez e da vulnerabilidade do uso de apenas materiais provenientes de fontes não-renováveis. Diante deste contexto, pesquisadores e indústrias buscam o desenvolvimento de novos materiais capazes de conciliar a alta performance dos polímeros de engenharia com a questão ecológica e focada na preservação ambiental que nos cerca nos dias de hoje.

As fibras vegetais têm sido investigadas para uso como reforço em compósitos de matrizes poliméricas, pois aliam propriedades que levam em consideração aspectos que vão de encontro a esta nova ordem mundial, de forte apelo ecológico, e características como baixo custo, baixa densidade, fonte renovável, biodegradabilidade, o fato de serem atóxicas e não abrasivas, possuem boas propriedades térmicas e alto módulo específico o que as tornam fortes candidatas em potencial para estas aplicações (BLEDZKI e GASSAN, 1999).

A utilização de fibras vegetais em produtos comerciais contribui para gerar riquezas e reduzir o impacto ambiental causado pela produção e descarte de bens de consumo já que são materiais abundantes, de fonte renovável e contribuem para o melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro. As fibras vegetais podem ser utilizadas como reforços em polímeros termoplásticos, termorrígidos e borrachas.

A indústria automotiva começou a usar compósitos com fibras vegetais por razões técnicas e comerciais. As fibras vegetais aparecem como uma valiosa alternativa aos materiais sintéticos e sua utilização tem crescido drasticamente nos últimos anos. As fibras vegetais apresentam ainda um potencial de redução do peso do veículo em até 40% quando comparado com as fibras de vidro, que estão presentes na maioria dos compósitos da indústria automotiva. A indústria automotiva alemã tem aumentado o seu uso de 4.000 toneladas em 1996 para 15.500 toneladas em 1999 enquanto que o resto da Europa teve seu consumo aumentado de 300 toneladas para 6.900 toneladas no mesmo período. Projeções para 2005 e 2010 sugerem que o consumo de fibras vegetais na indústria automotiva européia cresça de 50 a 70 mil toneladas em 2005 para mais de 100.000 toneladas em 2010 (SUDELL, 2002).

A BMW investe continuamente no desenvolvimento destes materiais buscando, entre outros aspectos, a preocupação com as questões ecológicas, o preço e a disponibilidade destes materiais na natureza (BMW GROUP, 2006). O BMW série 7, por exemplo, emprega 24 kg de materiais renováveis, dentre os quais mais de 13 Kg são fibras vegetais (Figura 1). Estes materiais são utilizados nos revestimentos de portas além de outras partes internas do veículo.



FIGURA 1: BMW série 7 e as fibras vegetais.

Nos últimos anos, especial atenção vem sendo dada para a minimização ou reaproveitamento de resíduos sólidos gerados nos diferentes processos industriais. Um material deixa de ser resíduo pela sua valorização como matéria-prima, para a produção de novos produtos. Neste caso, o resíduo passa a ser tratado como subproduto do processo produtivo (VALLE, 1995). Em países tropicais, os resíduos gerados pela agroindústria da fibra natural podem constituir importante fonte de matéria-prima para a produção de componentes, dependendo das quantidades disponíveis e da dispersão geográfica, haja vista os custos de coleta e transporte (JOHN, 1997). A Tabela 1 apresenta algumas fibras vegetais de interesse bem como seus centros produtores no Brasil.

TABELA 1: Fibras vegetais no Brasil

<b>Fibra</b>	<b>Nome Botânico</b>	<b>Parte da Planta</b>	<b>Centros Produtores</b>
Sisal	<i>Açave sisalana</i>	Folha	Semi-árido da Bahia e Paraíba
Piaçava	<i>Attalea funifera</i>	Bainha foliar	Região de Valença - BA
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	Mesocarpo do fruto	Região de Recife - PE, Aracaju - SE
Algodão	<i>Gossypium herbaceum</i>	Semente	Campina Grande - PB
Celulose de Eucalipto	<i>Eucaliptus grandis</i>	Tronco	Aracruz - ES
Rami	<i>Boemmiria nivea</i>	Caule	Região de Londrina - PR
Banana	<i>Musa cavendishii</i>	Pseudocaule	Vale do Ribeira - SP
Malva	<i>Urena lobata</i>	Caule	Amazônia

O aumento crescente do coco verde natural para a industrialização de sua água vem aumentando a geração do rejeito, que corresponde a cerca de 85% do peso do fruto. Cerca de 70% dos resíduos gerados pelos usuários das praias do nordeste brasileiro consistem de casca de coco verde. Seu consumo está disseminado por todos os estados da federação e como consequência direta, ocorre a geração do resíduo formado pelas cascas que contribuem para a diminuição da vida útil dos aterros, onde são normalmente dispostas (SENHORAS, 2003, GHAVAMI, 1999).

O aumento da produção de coco está intimamente correlacionado ao aumento do consumo e, por conseguinte, ao crescimento da geração de resíduos. A Figura 2 mostra um crescimento de cerca de 162% na produção de coco no Brasil de 1990 a 2002 ou de quase 100% se considerarmos o período de 1997 a 2002.

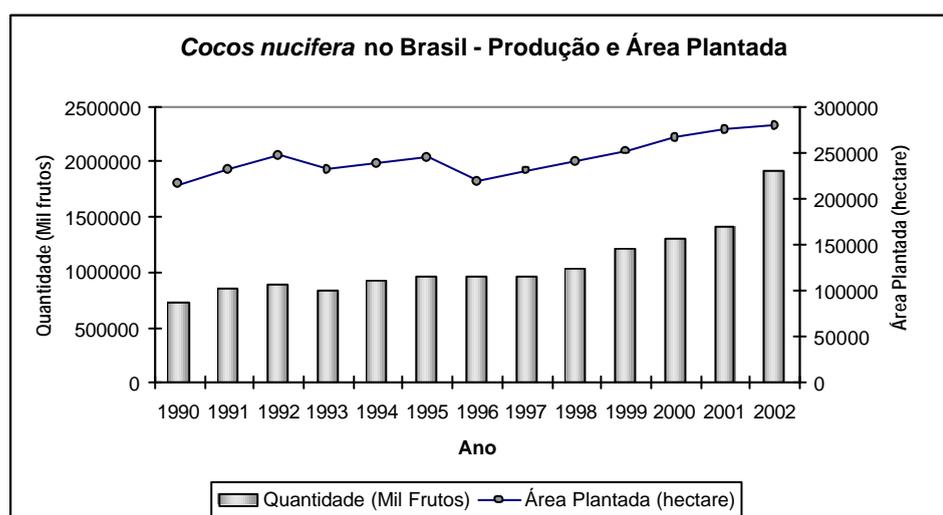


FIGURA 2: Produção e área plantada de coco (*Cocos nucifera* no Brasil)  
 FONTE: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2002).

Admitindo-se que cada coco tem, em média, 2 kg de massa, o aumento verificado neste último período foi de cerca de 1,92 milhões de toneladas de coco

com a geração de aproximadamente 3,84 toneladas do fruto, que seria, também, a quantidade do fruto geradas em 2002 (IBGE, 2002).

A matéria orgânica quando disposta em aterros pode sofrer processo de decomposição anaeróbica resultando na formação de gás metano. A quantidade deste gás, gerada pelo processo anaeróbico, representa de 5 a 20% do total produzido e é emitida para a atmosfera como consequência das atividades antrópicas. O metano é um dos mais importantes gases produzidos pela disposição do resíduo sólido urbano em aterros e contribui para o agravamento do efeito estufa (IPCC, 1996).

Segundo Passos (2005), os meios científicos e a sociedade de um modo geral têm discutido e expressado grande preocupação com o futuro do planeta em consequência das atividades antrópicas. O aumento considerável da concentração de gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NO na atmosfera provocou fenômenos em escala mundial, tais como a maior incidência de raios ultravioleta na terra, como consequência da depleção da camada de ozônio, e o aumento da temperatura média do planeta, atribuído, por grande parte da comunidade científica, aos denominados gases indutores do efeito estufa, mais comumente conhecidos como gases do efeito estufa (GEE).

Sabe-se que o efeito estufa é um fenômeno natural que possibilitou que a temperatura média da Terra fosse cerca de +15°C e não de -15°C, caso tal evento não ocorresse. Entretanto, o aumento da concentração dos GEE, associado ao aumento da intensidade da radiação solar incidente na superfície do planeta, tem contribuído para que a temperatura média da terra venha aumentando (BAIRD, 2002).

No relatório Climate Change 2001: The Scientific Basis (IPCC, 2001), é mencionada a elevação da temperatura média da superfície terrestre de 0,6±0,2°C desde o século 19, com dois períodos com taxa de crescimento visíveis: de 1910 a 1945 e de 1976 até os dias atuais. Nesses períodos, a taxa de aumento da temperatura foi da ordem de 0,15°C / década.

O Brasil é grande consumidor de coco verde. O Distrito Federal consome cerca de um milhão de cocos verdes por mês, o que resulta no descarte de mais de mil toneladas mensais de cascas, segundo cálculos de distribuidores do produto na região. Esse lixo, propício à hospedagem do mosquito da dengue, demora de 10 a 12 anos para se decompor representando risco ao ambiente e à saúde da população (BARROSO, 2006).

O Nordeste brasileiro é uma região de grande beleza natural, embora apresente os mais baixos indicadores de desenvolvimento humano do país e necessite de ações que promovam os desenvolvimentos social e econômico de comunidades carentes. A pobreza das comunidades costeiras tem aumentado nos últimos anos e muitas terras de preservação do governo foram irregularmente ocupadas. No aterro do Janguruçu, bairro pobre de Fortaleza no Ceará, um projeto da EMBRAPA foi aprovado para o aproveitamento da casca de coco. Nesse local, pertencente ao governo, há cerca de 17.000 pessoas vivendo com uma renda menor que US\$ 30,00 por mês e que estão sendo beneficiadas com a construção de uma unidade-piloto de produção de fibra de coco com recursos do Banco Mundial no valor total de US\$ 254 mil. A EMBRAPA visa inicialmente apoiar a extração de pó e fibra da casca de coco verde para fabricação de produtos com essa matéria prima para melhorar a qualidade de vida da população local. O pó será usado para substratos agrícolas e composto orgânico, e a fibra será usada para a produção de vasos em substituição ao xaxim, matéria prima extraída do samambaiáçu, espécie em extinção. Uma unidade de artesanato fabricará capachos e produtos afins usando a fibra, dessa forma empregando mulheres da comunidade local. Será implementada uma horta comunitária, usando parte do substrato agrícola e composto orgânico produzidos na unidade de reciclagem (HOMMA, 2006).

Para Sachs (1986), a reciclagem de resíduos, a conservação de energia e da água criam empregos autofinanciados pelas comunidades que se utilizam dessas matérias-primas. Esse é um campo ainda pouco explorado na busca de oportunidades de empregos, onde considerações sociais, econômicas e ambientais seguem juntas, e que oferece um ponto de partida conveniente para o planejamento de estratégias de ecodesenvolvimento.

O coco-da-Bahia é bastante utilizado comercialmente no Brasil e após beneficiamento produz uma grande quantidade de biomassa que não encontra plena aplicação comercial, sendo grande parte descartada no meio-ambiente. As fibras de coco são materiais abundantes no Brasil, não-abrasivos, de fonte renovável, biodegradáveis e de baixo custo. A EMBRAPA está incentivando projetos que utilizem a matéria-prima proveniente do coco, seja ela pó, fibra ou resíduos, pois apóia a replicação no Brasil da unidade piloto de Fortaleza para produção de pó e fibra de coco. A utilização combinada de fibras de coco e de vidro no reforço de polipropileno formando compósitos híbridos pode ser uma alternativa vantajosa para redução do custo do produto aliado às vantagens do uso de fibras vegetais. Entretanto, as vantagens e limitações destes compósitos híbridos necessitam ser investigadas cientificamente para que futuras aplicações comerciais possam ser identificadas (AMICO e SYDENSTRICKER, 2005).

### 1.1 OBJETIVOS GERAIS DO TRABALHO

- Fabricar compósitos de polipropileno e fibras de coco a partir de um polímero comercial de PP.
- Conduzir tratamento químico nas fibras de coco para auxiliar na adesão com a matriz de polipropileno na tentativa de melhorar o seu desempenho.
- Fabricar compósitos híbridos de polipropileno e fibras de vidro e de coco a partir de compósitos comerciais de PP/20% fibra de vidro.
- Estudar a influência de parâmetros como tamanho das fibras, percentagem de hidróxido de sódio no tratamento químico e o desempenho dos compósitos após o processo de extrusão e injeção.
- Avaliar os compósitos produzidos (TGA, ensaios de tração, resistência ao impacto, dureza, índice de fluidez, índice de contração, resistência à umidade, microscopia óptica e eletrônica).

## 2. OS MATERIAIS COMPÓSITOS

Os compósitos representam um caso de particular importância dentro do grupo das misturas poliméricas imiscíveis. Materiais compósitos são resultantes da combinação entre dois ou mais materiais de modo a formar um novo produto com características diferentes dos seus constituintes originais. Estes materiais são produzidos através da mistura física de uma fase dispersa que pode ser na forma de partículas, fibras ou mantas em uma fase contínua, denominada de matriz (SHELDON, 1982; BODIG e JAYNE, 1993; HULL, 1981).

O papel da matriz é manter a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitir as forças de cisalhamento entre as camadas das fibras (para que o compósito resista à dobras e à torções) e protegê-las do ambiente exterior (MANO, 1991; ALLEN e THOMAS, 1999).

Segundo Mano (1991), o componente estrutural pode ser um material orgânico ou inorgânico (metálico ou cerâmico), de forma regular ou irregular, fibroso (tecido ou não-tecido) ou pulverulento (esférico ou cristalino), com fragmentos achatados (como flocos) ou como fibras muito curtas, de dimensões quase moleculares, de material monocristalino (“whisker”). Os materiais estruturais devem apresentar resistência, rigidez e maleabilidade que, geralmente, se encontram nas fibras. O seu papel é suportar as cargas máximas e impedir que as deformações ultrapassem limites aceitáveis.

Durante os últimos 20 anos, um substancial desenvolvimento de compósitos para aplicações estruturais foi observado. A principal motivação dessa grande evolução foi a possibilidade de se produzir compósitos com altas propriedades mecânicas e baixas densidades que, potencialmente, poderiam substituir materiais usualmente utilizados como o aço e a madeira. A combinação de polímeros de alto desempenho com fibras cerâmicas ou poliméricas de alto módulo elástico e resistência mecânica, permitiu a produção de novos compósitos com um grupo de propriedades específicas (por unidade de peso) superiores ao aço, alumínio e outros. Esses compósitos apresentam, em geral, altas razões módulo/peso e resistência/peso superiores à de materiais cerâmicos, poliméricos e metálicos.

As propriedades mecânicas dos compósitos são afetadas por duas fases: a fase estrutural, geralmente possui módulo alto e elevada resistência mecânica e é representada por um material fibroso; a fase matricial possui módulo baixo e em geral é capaz de grande alongamento sendo tipicamente constituída de um material plástico, não quebradiço. Em relação ao peso, os compósitos revelam propriedades mecânicas que podem exceder consideravelmente às dos metais. A combinação de excelentes propriedades mecânicas e leveza estrutural torna os compósitos interessantes materiais de aplicação em engenharia (MANO, 1991).

As propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados por fibras curtas dependem de muitos fatores como adesão fibra-matriz, fração volumétrica de fibras, razão de aspecto das fibras e orientação (HULL, 1981; AGARWAL e BROUTMAN, 1980).

As frações volumétricas e mássicas das fibras devem ser devidamente estudadas, visto que há uma faixa mínima e máxima que irá influenciar no reforço. Geralmente, o aumento do reforço promove as propriedades mecânicas (JOSEPH, 1999; MURKHERJEE e SATYANARAYANA, 1984), embora um alto carregamento de reforço pode favorecer a aglomeração de fibras e a baixa dispersão da matriz.

A orientação das fibras também é outro fator significativo nas propriedades mecânicas dos compósitos. Sabe-se que fibras orientadas têm uma resistência à tração ao longo do seu eixo e a transferência de tensão no compósito assim fabricado é favorecida (AGARWAL e BROUTMAN, 1980; FOLKES, 1985).

Outro fator importante que envolve os compósitos são os teores de vazios que se formam durante o processamento destes materiais. Os vazios podem ocorrer por duas causas: primeiramente, devido à incompleta molhabilidade de resina sobre as fibras, resultando em formação de bolhas de ar que podem ficar presas devido à alta viscosidade da resina; segundo, devido à presença de compostos voláteis que se formam no processo de cura das resinas termorrígidas (HULL, 1981).

O uso de compósitos ocorre desde a pré-história, onde mistura argila com palha de trigo ou de arroz produzia materiais com melhor maleabilidade e com menor desenvolvimento de fraturas (MOSLEMI, 1999). Em 5000 a.C., o homem

utilizou uma combinação de junco e piche na construção de botes, onde o piche serviu como adesivo (SHELDON, 1982).

Segundo McMullen (1984), o uso de argila reforçada com madeira e outras fibras naturais e o papel machê, usado pelos egípcios na antiguidade, são alguns exemplos de uso e formulação de compósitos de conhecimento tradicional. O autor faz um interessante relato histórico sobre o uso de vários compósitos nas estruturas de aviões, desde o uso de gelatina e amido reforçados com fibras de celulose até os compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de carbono.

A partir da década de 60, os materiais compósitos de alto desempenho foram introduzidos de maneira definitiva na indústria aeroespacial. O desenvolvimento de fibras de carbono, boro, quartzo ofereceram ao projetista a oportunidade de flexibilizar os projetos estruturais, atendendo as necessidades de desempenho em vôo de aeronaves e veículos de reentrada na atmosfera. O crescente uso de polímeros reforçados com fibras de carbono no setor aeronáutico deve-se, principalmente, ao constante desafio que esta indústria possui na obtenção de componentes que exibam os maiores valores de resistência mecânica e de rigidez específicas entre os materiais disponíveis. A substituição do alumínio por compósitos poliméricos estruturais, por exemplo, permite uma redução de peso de 20 a 30%, além de 25% na redução do custo final de obtenção das peças (REZENDE e BOTELHO, 2000).

As aplicações estruturais de compósitos num Boeing 767 rondam os 3% em peso, mas esta pequena percentagem equivale a um ganho em peso de 635 Kg. Cerca de 30% da superfície exterior é em compósito, trazendo benefícios em termos de corrosão e resistência à fadiga (SILVA, 2006).

A Figura 3 apresenta a aeronave Tucano produzida pela EMBRAER, mostrando os componentes fabricados em compósitos termorrígidos, utilizando como reforço fibras de carbono, kevlar e vidro.

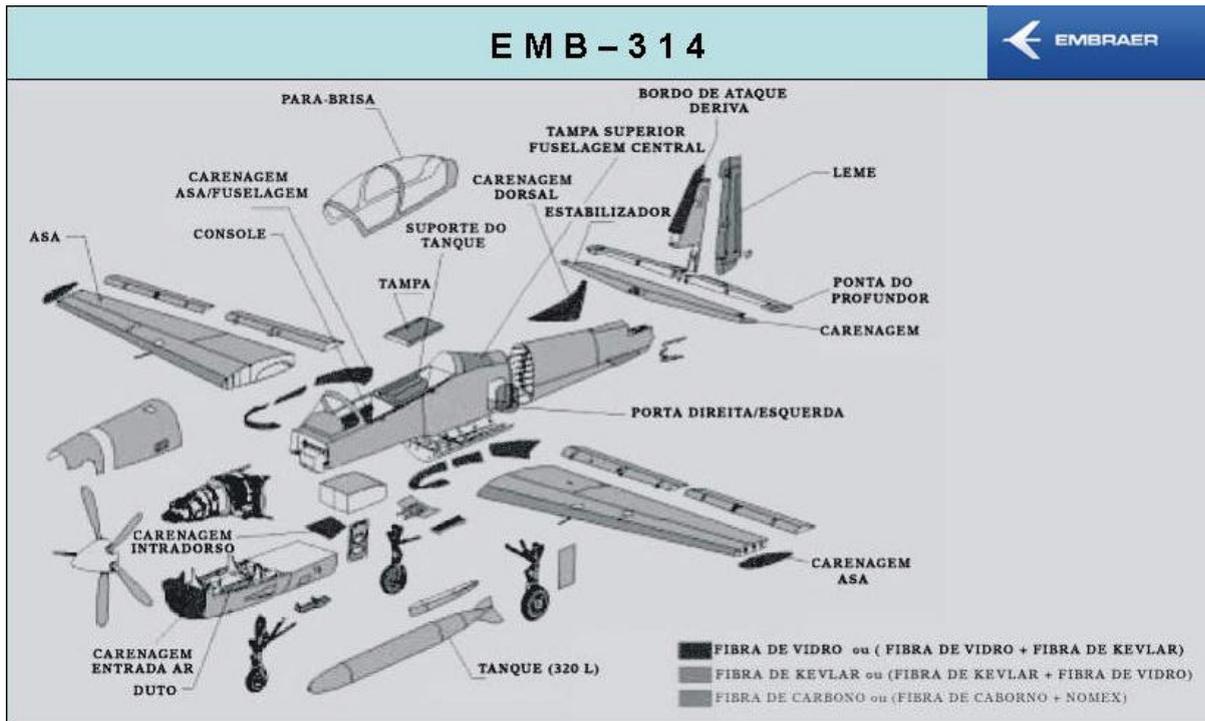


FIGURA 3: Compósitos utilizados na aeronave TUCANO da EMBRAER  
 FONTE: Rezende e Botelho, 2000

O uso de compósitos termoplásticos reforçados com fibras contínuas também tem sido ampliado no setor aeroespacial, devido, principalmente, à redução drástica da fadiga, maiores valores de resistências ao impacto e ao fogo, baixa absorção de umidade, temperatura de serviço mais elevada e grande versatilidade na produção em série, exibindo propriedades mecânicas iguais ou superiores às apresentadas pelos compósitos termorrígidos. No setor aeronáutico, o uso de compósitos termoplásticos é promissor na construção de fuselagens, permitindo com isto uma redução de peso em torno de 25%, em relação às estruturas metálicas hoje utilizadas (REZENDE e BOTELHO, 2000).

### 3. AS MATRIZES POLIMÉRICAS

Os compósitos poliméricos podem ser termoplásticos ou termorrígidos. A principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando há um decréscimo de temperatura. Por outro lado, os termorrígidos não se tornam fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares (reticulação). A Tabela 2 apresenta as principais características de polímeros termoplásticos e termorrígidos.

TABELA 2: Comparação das propriedades entre termoplásticos e termorrígidos.

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

Os polímeros termorrígidos são mais utilizados para uso estrutural em materiais compósitos por apresentarem algumas vantagens em relação aos termoplásticos, tais como alta estabilidade térmica, elevada rigidez, alta estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento térmico e elétrico, resistência à fluência e à deformação sob carregamento. Esses materiais podem também ser misturados fisicamente com fibras em métodos de processamento bastante simples.

As resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas; as quais são usadas principalmente para compor compósitos reforçados com fibras de vidro. As resinas epóxi são mais caras e além das aplicações estruturais, também são muito utilizadas em aplicações aeroespaciais por possuírem melhores propriedades mecânicas e melhores resistências à umidade do que os poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas. Em aplicações de altas temperaturas, são empregadas as resinas poli-imidas, seu limite superior de temperatura para utilização em regime contínuo é de aproximadamente 230°C.

Misha et al. (2003) estudaram a performance mecânica dos seguintes compósitos híbridos: poliéster / fibras de vidro e Palf (fibra da folha do abacaxi) e poliéster / fibras de vidro e sisal. A maioria das resinas utilizadas nos compósitos industriais é termorrígida. Por volta de 65% dos compósitos produzidos atualmente para as diversas aplicações utilizam as fibras de vidro e matrizes de poliéster ou éster vinil. As resinas de poliéster insaturados são largamente utilizadas graças ao seu baixo custo, fácil manuseio e bom balanceamento das propriedades mecânicas, elétricas e químicas. No entanto, compósitos termorrígidos são materiais frágeis que podem colapsar sem aviso prévio já que não possuem o mecanismo de escorregamento de cadeia umas sobre as outras antes da fratura.

A utilização das resinas termoplásticas tem crescido desde a criação dos novos termoplásticos resistentes à altas temperaturas tais como as poliamidas, polisulfonas (Union Carbide Ltd), poliéter sulfona (ICI), poliéter éter sulfona (ICI), dentre outros materiais (COLLYER e CLEGG, 1995).

As resinas termoplásticas são longas moléculas com comprimento da ordem de 20 a 30 nm (DAVIS et al., 1982) e fluem facilmente sob tensão sem elevadas temperaturas, permitindo assim que sejam fabricadas na forma solicitada e mantendo a forma quando resfriada à temperatura ambiente. Esses polímeros podem ser repetidamente aquecidos, fabricados e resfriados e, conseqüentemente, serem reciclados.

A combinação de baixa densidade, resistência química, custo baixo e um balanço entre rigidez e tenacidade permite que termoplásticos ocupem espaço de outros materiais em muitas aplicações importantes (ELMAJDOUBI e VU-KHANH, 2003).

As mais atrativas características oferecidas pelos compósitos termoplásticos são o potencial de produção a baixo custo, alta tenacidade à fratura, boa resistência ao impacto, boa resistência à propagação de microtrincas, fácil controle de qualidade e a possibilidade de reciclagem de matéria-prima (FERREIRA, 1999).

As resinas termoplásticas também podem ser classificadas da seguinte forma segundo Whelan e Goff (1990):

- Termoplásticos de uso geral: Este grupo cobre a maioria dos plásticos utilizados atualmente, entre eles estão o polietileno, polipropileno e poliestireno. São materiais de baixo custo. As propriedades modestas deste grupo podem ser melhoradas (por exemplo, pela adição de cargas), tornando-os mais competitivos com outras classes de termoplásticos;
- Termoplásticos de engenharia: Oferecem uma combinação de propriedades de interesse, como alta resistência e módulo, tenacidade e/ou resistência ao desgaste, ao ataque químico e ao calor. São bastante empregados em substituição a peças metálicas, sendo os mais importantes desta categoria as poliamidas, poliacetais, policarbonatos, poliésteres termoplásticos e poli(óxido de fenileno) modificado;
- Termoplásticos elastômeros: Grupo relativamente novo de materiais que exhibe propriedades combinadas entre as normalmente associadas com elastômeros tradicionais e a facilidade e rapidez de processamento de termoplásticos, podendo, inclusive, ser re-processado. São baseados em polímeros especificamente fabricados (por exemplo, estireno-butadieno-estireno – SBS ou poliéter-éster-elastômero – PEEL) ou baseados em blendas de elastômeros e plásticos (e.g. blenda de polipropileno e etileno-propileno), e
- Blendas ou misturas: Normalmente utilizadas para gerar materiais incomuns, estendendo a performance de plásticos existentes, com mais agilidade, versatilidade e por um custo menor que o associado ao desenvolvimento de novos materiais.

Embora a classificação acima seja utilizada, não é muito fácil distinguir os plásticos e, devido às mudanças químicas em sua estrutura ou à adição de cargas e reforços, um mesmo polímero pode ocupar mais de uma categoria ou competir com polímeros de outras categorias. O PP, por exemplo, pode ser enquadrado como termoplástico de uso geral ou de engenharia dependendo da aplicação final e utilização ou não de reforço.

Segundo Kasliwal et al. (2005), o uso de fibras naturais em resinas termoplásticas normalmente é benéfico por causa da sua disponibilidade, capacidade de renovação e grau de eficiência favorável em termos de resistência/peso. Como resultado desses fatores, compósitos plásticos reforçados com fibras naturais têm recebido atenção na modificação de resinas termoplásticas como PP, PEAD e PVC. Esses compósitos são potencialmente aplicáveis em pisos, componentes de mobília, batentes de portas, assoalhos para sistemas de construção usando estruturas leves e paletes para armazenamento. Outra aplicação potencial é a manufatura de painéis interiores de automóveis, devido ao aumento de rigidez da resina termoplástica proporcionada por estas fibras e à elevação de temperatura de amolecimento.

Funck e Steffens (2006) afirmam ainda que a tecnologia de fabricação de estruturas híbridas compósitas constituídas de termoplásticos abre possibilidades construtivas totalmente novas e econômicas para componentes estruturais submetidos a altas solicitações, com alto grau de integração de funções e baixo peso.

Atualmente, o consumo de compósitos termoplásticos está aumentando em relação aos compósitos termorrígidos devido à questão ecológica. Esta tendência é devido ao desenvolvimento de polímeros de alta performance, tais como poli(éter-éter-cetona) (PEEK), poli(sulfeto de fenileno) (PPS) ou policarbonato (PC) chamados plásticos de engenharia, que oferecem excelentes propriedades mecânicas. Entretanto, o polipropileno que foi primeiramente polimerizado em 1955 por Natta, tem também sido reconhecido como um bom material polimérico. A razão disto é a sua versatilidade de projeto em nível molecular a um custo atrativo (HAMADA, 2000).

Tancrez et al. (1994) comentaram que o polipropileno é um material muito utilizado na indústria devido às inúmeras qualidades, tais como a facilidade de produção, as boas características mecânicas, devido, em grande parte, a sua natureza semicristalina e a sua inércia química, sendo possível sua aplicação mesmo em meios corrosivos.

O uso de polipropileno com fibra de vidro é ainda objeto de muita investigação científica e tecnológica, em função do grande atrativo deste compósito para aplicações de engenharia cada vez mais exigentes, como requerida na indústria automobilística, na qual os requisitos da relação custo/desempenho mecânico devem ser otimizados. Portanto a grande maioria dos desenvolvimentos está concentrada na melhoria das características materiais dos compósitos, isto é, das propriedades da matriz polimérica, do reforço fibroso e da interface polímero-reforço (LOPES e SOUZA, 1999).

O polipropileno é um termoplástico que é originado pelo monômero chamado propileno ( $C_3H_6$ ) e é polimerizado por um processo de reação de poliadição e a massa molar geralmente está entre 80.000 e 500.000. É um polímero semicristalino que possui uma densidade aproximada de  $0.90 - 0.91 \text{ g/cm}^3$  e índice de refração 1.45. A sua temperatura de transição vítrea a temperatura de fusão estão em torno de  $-18^\circ\text{C}$  e  $165^\circ\text{C}$ , respectivamente. Como é um polímero com alta cristalinidade, em torno de 60 a 70%, a sua resistência mecânica e a sua dureza são relativamente boas. O módulo de elasticidade, a resistência à tração, resistência ao escoamento e o alongamento estão em torno de 1.14 – 1.55 GPa, 31.0 - 41.4 MPa, 31.0 – 37.2 Mpa e 100 – 600%, respectivamente (CALLISTER, 1997).

As propriedades de polímeros semi-cristalinos como o PP são basicamente determinadas pela morfologia cristalina desenvolvida durante a moldagem. Os fatores que mais influenciam na cristalinidade do polímero são fixados durante a síntese. Assim, a massa molar e sua distribuição, a regularidade da cadeia (estereorregularidade) e a morfologia do PP são ditados pelo tipo de catalisador Ziegler-Natter utilizado durante a síntese, embora mudanças de propriedades relativas à mudanças na cristalização do material podem ser atribuídas ao fenômeno de pós-cristalização. As regiões semi-cristalinas do PP são ligadas pelas regiões amorfas e influenciam fortemente nas propriedades mecânicas (FIEBIG, 1999).

#### 4. FIBRAS DE REFORÇO PARA COMPÓSITOS

Uma das mais importantes formas de materiais poliméricos são as fibras, que podem ser descritas como flexíveis, macroscopicamente homogêneas, com alta relação entre comprimento e seção transversal. As fibras podem ser classificadas de acordo com sua origem em fibras naturais e sintéticas. As fibras naturais são derivadas de animais, vegetais e minerais.

As propriedades físicas de uma fibra dependem de sua estrutura química e cada uma tem seu próprio aspecto quando analisada e submetida ao microscópio. As fibras vegetais são bastante heterogêneas, pois dependem do tipo de solo, das condições climáticas, dos fertilizantes utilizados, do tipo de colheita, das folhas, dos frutos ou do caule dos vegetais.

Dentre os materiais compósitos, o reforço tipo fibra tem despertado grande interesse em engenheiros da indústria de diversos setores como automotiva, da construção mecânica, metalúrgica, farmacêutica, naval, aeronáutica, aeroespacial entre outras. Uma vez que a forma fibrosa de um material possui elevada resistência à tração e alto módulo de elasticidade (Tabela 3), este tipo de material é usado atualmente como material de engenharia em combinação com uma matriz que, além de envolver e proteger a fibra deforma sob a ação de uma força e lhe distribui a tensão, impedindo a propagação de falhas (SCHWARTZ, 1984).

TABELA 3: Propriedades mecânicas de fibras vegetais e de fibras convencionais usadas como reforço

Fibra	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Alongamento (%)	Resistência à Tração (Mpa)	Módulo de Elasticidade (Gpa)
<b>Coco</b>	<b>1,2</b>	<b>30,0</b>	<b>175</b>	<b>4,0 - 6,0</b>
Algodão	1,5 - 1,6	7,0 - 8,0	287 - 597	5,5 - 12,6
Juta	1,3	1,5 - 1,8	393 - 773	26,5
Linho	1,5	2,7 - 3,2	345 - 1035	27,6
Cânhamo	***	1,6	690	***
Rami	***	3,6 - 3,8	400 - 938	61,4 - 128
Sisal	1,5	2,0 - 2,5	511 - 635	9,4 - 22,0
Kraft <sup>a</sup>	1,5	***	1000	40,0
E-vidro <sup>b</sup>	2,5	2,5	2000 - 3500	70,0
<b>Carbono (padrão)</b>	<b>1,4</b>	<b>3,3 - 3,7</b>	<b>3000 - 3150</b>	<b>63,0 - 67,0</b>

FONTES: Bledzki & Gassan, 1999

a - Kraft de madeira leve;

b - Fibra de vidro usada na indústria eletrônica (E).

Um critério decisivo para a escolha do tipo adequado de fibra é o seu módulo de elasticidade. Uma comparação entre os valores de resistência de diversas fibras convencionais e tropicais com os correspondentes às fibras de vidro mostrou que, por exemplo, os valores absolutos característicos das fibras tropicais eram de apenas metade do nível correspondente aos valores característicos da fibra de vidro. Contudo, devido ao fato de sua densidade ser aproximadamente 45% menor, as fibras naturais apresentam níveis de resistência específica comparáveis aos da fibra de vidro (KLEBA, 2004).

Quando a gravidade específica da fibra é considerada, as fibras vegetais exibem valores comparavelmente maiores do que as fibras de vidro (Tabela 4). Estas propriedades específicas são a maior vantagem do uso de fibras vegetais em compósitos para aplicações que requerem estas propriedades aliadas à redução de massa. Além disso, o custo das fibras vegetais é menor, são materiais de fonte renovável, biodegradável e não são abrasivas aos equipamentos como as fibras de vidro e carbono. Se for considerada a densidade das fibras vegetais em relação à fibra de vidro, as fibras vegetais apresentam excelentes propriedades específicas.

TABELA 4: Módulo Específico de fibras vegetais e sintéticas.

Fibra	Gravidade Específica	Módulo de Elasticidade (GPa)	Módulo Específico
<b>Juta</b>	1,3	55	38
<b>Sisal</b>	1,3	28	22
<b>Linho</b>	1,5	27	50
<b>Cânhamo</b>	1,07	35	32
<b>E-vidro</b>	2,5	72	28
<b>Abacaxi</b>	1,56	62	40
<b>Kevlar-49</b>	1,45	131	125
<b>PAN-II</b>	1,75	390	250

FONTES: SAHEB e JOG, 1999; CALLISTER, 1997.

Wambua et al. (2003) realizaram testes comparativos entre algumas fibras vegetais (sisal, coco, etc.) e concluiu que as propriedades mecânicas das fibras vegetais testadas são comparáveis às propriedades conseguidas com a fibra de vidro sendo, em alguns casos, superiores. Este estudo sugere que os compósitos com fibras vegetais têm potencial para substituição das fibras de vidro.

#### 4.1 FIBRAS DE VIDRO

As fibras de vidro constituem um dos principais materiais de reforço para matrizes poliméricas devido a seu baixo custo, boa resistência química e possibilidade de aumento de resistência mecânica através da manipulação dos seus constituintes. Estes materiais são empregados desde a indústria automobilística, aeronáutica, naval, embalagens até a indústria civil. A eficiência de reforço das fibras descontínuas é menor do que as fibras contínuas. Entretanto, os compósitos reforçados com fibras descontínuas estão se tornando cada vez mais importantes no mercado comercial devido à facilidade de moldagem. As fibras de vidro são silicatos com conteúdo de agentes modificadores que são usados visando redução das temperaturas necessárias para se atingir viscosidades altas o suficiente para se produzir fibras além de agentes silanos que as compatibilizam com diversas matrizes termoplásticas.

A produção das fibras de vidro envolve fusão dos reagentes (fonte de borato - Borax, sílica volatilizada, caulim, dolomita, soda em pó) que, em geral, estão na forma de óxidos e carbonatos. Esta fusão ocorre em temperaturas entre 1200 e 1400°C. Após a fusão, é realizado o puxamento através de feiras de platina (orifícios com pequeno diâmetro) e posterior enrolamento dos filamentos e/ou corte (fibras) dependendo da aplicação do mercado. Normalmente, as fibras são recobertas por emulsões e agentes silanos que as protegem da abrasão e/ou de outras fontes de defeitos superficiais que podem ocorrer durante a fabricação. A escolha do agente silano dependerá da matriz com a qual a superfície da fibra interagirá. O recobrimento, juntamente com o material que constitui a matriz, promove a formação de uma barreira efetiva entre o ambiente e o agente de reforço. Além disso, facilita o manuseio, o processamento das fibras de reforço e promove adesão interfacial, conferindo resistência, rigidez e durabilidade ao compósito final. Normalmente este recobrimento é feito com agentes de acoplamento, como por exemplo, os agentes silanos.

#### 4.2 FIBRAS VEGETAIS

Houve um grande avanço tecnológico no desenvolvimento de novos materiais e as fibras naturais passaram a ter menor uso. Com o surgimento das fibras

sintéticas, o consumo das fibras vegetais teve uma queda de cerca de 40% (D'ALMEIDA, 1987). Nos últimos anos, a crise energética, o baixo grau necessário para o processamento destas fibras, sua abundância, baixo custo e os problemas relacionados pelo uso de fibras sintéticas ao meio ambiente, tem novamente despertado a atenção e o interesse de pesquisadores de todo o mundo.

Recentemente, tem-se buscado retomar o uso de tecnologias consagradas e, também, desenvolver novos compósitos utilizando recursos naturais renováveis, com grande incremento no uso das fibras naturais de celulose, coco, linho, sisal, rami, juta e cânhamo, entre outras. Os plásticos reforçados com fibras de vidro, até recentemente com uma posição de domínio em vários setores da indústria, passaram a ter a competição de vários compósitos reforçados com fibras vegetais (PASSOS, 2005).

Vários estudos têm sido realizados sobre as aplicações das fibras de sisal, juta e coco em compósitos reforçados, podendo-se citar os de Joseph et al. (1992), Toledo Filho et al. (1997) e Heitzmann et al. (2001), voltados para analisar em especial a melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, quando reforçados com fibras vegetais. Outros autores têm procurado entender a correlação entre estrutura e várias outras propriedades (mecânicas, dinâmicas e reológicas), visando à otimização do desempenho de compósitos de sisal e outros termoplásticos (polietileno), termorrígidos (resina epóxi) e elastômeros (borracha natural). Em resumo, eles mostram a potencialidade da aplicação industrial das fibras vegetais na utilização de novos materiais (compósitos).

O interesse nos materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais está crescendo rapidamente em termos de aplicações industriais e pesquisa fundamental. Elas são renováveis, baratas, completa ou parcialmente recicláveis e biodegradáveis. Estas fibras são incorporadas num material que serve de matriz, tais como plásticos termorrígidos, termoplásticos ou biopolímeros e borrachas (KOZLOWSKI, 2003).

Leão et al. (1998) estudaram sobre a utilização das fibras naturais em materiais de construção, embalagens e na indústria automotiva. Segundo os autores, estas fibras apresentam vantagens consideráveis e podem ser utilizadas

com diferentes polímeros tais como PVC, PP e PE apresentando largas aplicações. Foram consideradas diversas propriedades das fibras naturais dentre as quais a fibra de curauá apresentou os melhores resultados.

Dentro desse quadro de oportunidades, a indústria automobilística desponta como exemplo de um bom consumidor de fibras vegetais e, em especial, das fibras de sisal e coco, já contando com amplo “know-how” na aplicação de fontes renováveis na produção de vários componentes. Urge, portanto, a necessidade de se aproveitar as pesquisas já realizadas com essa cultura, as quais comprovam suas inúmeras possibilidades alternativas de aproveitamento, dando-lhe uma nova dimensão de mercado.

As fibras vegetais são formadas basicamente de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose, um polissacarídeo linear de alta massa molecular, é o principal constituinte estrutural, sendo responsável pela estabilidade e resistência das fibras.

A celulose é a base estrutural das fibras vegetais e está distribuída em todas as plantas, desde árvores desenvolvidas até organismos primitivos. Na fibra, a celulose está associada com outras substâncias como lignina e as hemiceluloses, ambas em quantidades consideráveis (FENGEL e WEGENER, 1989; DENCE e REEVE, 1996).

Fibras com grande quantidade de celulose seriam econômica e tecnicamente viáveis para serem usadas na produção de têxteis, papel e como reforços em compósitos, entretanto, deve-se observar não só o teor de celulose contida nas fibras, mas também a qualidade e qual será o uso final das fibras obtidas.

Segundo Chand et al. (1988), a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras são diretamente proporcionais ao teor de celulose e inversamente proporcionais ao ângulo das microfibrilas. Já o alongamento máximo de ruptura aumenta com o ângulo, pois é maior o trabalho de fratura necessário para o estiramento das microfibrilas.

As hemiceluloses são polissacarídeos com peso molecular variando de 25.000 a 35.000 formado pela polimerização de vários açúcares, incluindo glucose,

xilose, galactose, arabinose e manose, porém com grau de polimerização cerca de um décimo a um centésimo daquele encontrado para a celulose nativa. As hemiceluloses constituem cerca de 20 a 30% das fibras sendo predominantemente encontradas nas paredes celulares primárias e secundárias (LEWIN e GOLDENSTEIN, 1991).

A hemicelulose normalmente atua como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina, não estando diretamente correlacionada à resistência e dureza das fibras. Algumas frações de hemiceluloses se tornam parcial ou totalmente solúveis em água depois de terem sido extraídas com álcali. Soluções alcalinas de hidróxido de sódio e potássio são as mais utilizadas para a extração de hemiceluloses (AZUMA, NOMURA e KOSHIJIMA, 1985).

A lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos, que une as fibras celulósicas, formando a parede celular. Fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular e protegendo os carboidratos (açúcares) contra danos físicos e químicos. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade e a taxa de hidrólise. Fibras com alto teor de lignina serão rígidas e fortes.

A pectina é um polissacarídeo, rico em ácido galacturônico, presente nas paredes celulares e com função aglutinante. Já os componentes minerais são os responsáveis pela formação das cinzas após a incineração das fibras.

Os extrativos recebem este nome devido à sua facilidade de serem extraíveis com água, solventes orgânicos neutros, ou volatilizados a vapor. São responsáveis por determinadas características das plantas, tais como cor, odor, sabor e propriedades abrasivas (BROWNING, 1963).

Os extrativos são removidos durante os tratamentos químicos alcalinos (BLEDKZI e GASAN, 1999). Eles compostos podem influenciar negativamente na compatibilidade química entre fibras e matriz polimérica, visto que muitos deles são ácidos graxos e compostos fenólicos (CHAND, 1989; TITA, 2002).

Deve-se, no entanto, encontrar uma concentração ótima no tratamento alcalino no sentido de promover uma adesão adequada entre fibras e matriz sem comprometer as características mecânicas das fibras.

Brahmakumar et al. (2005) estudaram o efeito da camada natural de graxa presente nas fibras de coco nas propriedades mecânicas de compósitos de matriz de PEBD. A extração da graxa das fibras de coco resulta em redução da adesão interfacial fibra/matriz, o que reduz o desempenho dos compósitos.

As fibras de juta, linho, rami e sisal (convencionais) são fibras com percentuais altos de celulose, sendo indicadas para uso como material de reforço em compósitos. Os percentuais elevados de lignina nas fibras de juta e sisal habilitam-nas a terem comportamento adicional de fortalecimento dos compósitos, principalmente daqueles submetidos a processos de aquecimento. A Tabela 5 mostra a composição de algumas fibras celulósicas.

TABELA 5: Composição de Fibras oriundas de cultivo principal e de subprodutos da agricultura

Fonte de Fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Cinza (%)	Água (%)
Casca de coco	36 - 43	0,15 - 0,25	20 - 45	3,0	2,7 - 10,2	10 - 12
Algodão	82,7	5,7	***	5,7	NA	10
Juta	64,4	12,0	11,8	0,2	NA	10
Linho	64,1	16,7	2,0	1,8	NA	10
Rami	68,6	13,1	0,6	1,9	NA	10
Sisal	65,8	12,0	9,9	0,8	NA	10
Forragem de Milho	38 - 40	28	7 - 12	NA	3,6 - 7,0	9
Folha de Abacaxi	70 - 82	18	5 - 12	NA	0,7 - 0,9	10 - 13
Bagaço de Cana	32 - 48	19 - 24	23 - 32	NA	1,5 - 5,0	8,8
Folha da Bananeira	60 - 65	6 - 8	5 - 10	NA	4,7	10 - 15
Palha de Trigo	33 - 38	26 - 32	17 - 19	NA	6 - 8	10
Palha de Arroz	28 - 36	23 - 28	12 - 14	NA	14 - 20	6,5
Talo de Sorgo	27	25	11	NA	***	8 - 12
Palha de Cevada	31 - 45	27 - 38	14 - 19	NA	2 - 7	8 - 12

FONTE: Reddy & Yang, 2005; Bledzki & Gassan, 1999; Khedari et al., 2005; Toledo Filho et al., 2004; van Dam et al., 2004  
NA: Não avaliado

Singleton et al. (2003) estudaram as propriedades mecânicas dos compósitos PEAD reciclados e fibras de linho. As fibras de linho constituídas por 60% de celulose, 15% de hemicelulose, 2-3% de pectina, 2% de lignina e 1% de cera apresentaram os melhores resultados de resistência mecânica na matriz PEAD reciclado em uma fração volumétrica de 15 a 20%.

Razera et al. (2000) realizaram a caracterização das fibras de coco de onde obtiveram a seguinte composição: celulose 43,4%, lignina 38,3%, hemicelulose 14,7%, umidade 10,5% e finos 3,5%.

As duas plantas produtoras de fibra mais importantes, as quais podem ser cultivadas sob as condições típicas da Europa Central, são o linho e o cânhamo. Particularmente, o plantio de cânhamo está sendo atualmente subvencionado em escala nacional. Além disso, outras plantas produtoras de fibras adequadas para uso como material de reforço, tais como sisal, curauá, rami, coco, juta de Java (Kenaf), são adequadas para cultivo, por exemplo, tanto na América do Norte e do Sul como na África (KLEBA, 2004).

As fibras vegetais oferecem diversas vantagens sobre fibras de vidro tais como:

- As fibras da planta são um material de fonte renovável e sua disponibilidade é praticamente ilimitada.
- Quando os plásticos reforçados são sujeitados, na extremidade de seu ciclo de vida, a um processo de combustão, a quantidade liberada de CO<sub>2</sub> das fibras é neutra com respeito à quantidade assimilada durante seu crescimento.
- A natureza abrasiva de fibras vegetais é muito mais baixa comparada àquela das fibras de vidro, o que leva a uma vantagem de ordem técnica, reciclabilidade e processamento do compósito em geral.
- As fibras vegetais quando utilizadas como reforço em matrizes biodegradáveis representam uma grande vantagem do ponto de vista ambiental no final do seu ciclo de vida.

Joshi et al. (2003) comparam as fibras naturais com as fibras de vidro sob diversos aspectos e estuda a viabilidade da substituição das fibras de vidro pelas fibras naturais em função do baixo custo, baixo peso e por apresentar uma alternativa ambientalmente mais favorável, quando comparadas às fibras de vidro.

#### 4.2.1 Fibras de coco

A fibra de coco, também chamada COIR (coco em inglês), é uma massa fibrosa castanho-avermelhada contida entre a casca externa do coco e o invólucro externo do núcleo. O coqueiro, palma de coco ou coconut palm é talvez a árvore mais conhecida dos trópicos e uma das mais importantes economicamente. O coqueiro cresce nas costas arenosas através dos trópicos e na maioria das regiões subtropicais. Ele é uma palma alta e reta, usualmente de 10 a 20 m de altura, sendo o seu fruto utilizado como fonte de alimentação e bebida, óleo, fibra, combustível, madeira e outros produtos (Figura 4). O coco é cultivado e utilizado na Índia e na Ásia Continental há pelo menos 3000 anos e chegou ao Brasil pela colonização portuguesa (PINO, 2005).

Segundo Tassara (1996), o *Cocos nucifera* chegou ao Brasil (Bahia) em 1553, a bordo das embarcações portuguesas, provenientes das ilhas de Cabo Verde. Da região do Recôncavo Baiano, espalhou-se por toda a costa do Brasil levado, provavelmente por dispersão natural, através das correntes marítimas. O coqueiro e seus frutos estão presentes em mais de oitenta países ao redor do globo.



FIGURA 4: *Cocos nucifera* L.

No Brasil, os coqueiros mais comuns são encontrados em duas variedades: a gigante e a anã. Os frutos obtidos, tanto numa variedade como na outra, têm as mesmas características e utilidades. No primeiro caso, como o coqueiro é uma planta de grande longevidade, podendo viver além dos 150 anos, chega a atingir 35 metros de altura. Isso dificulta bastante a coleta dos frutos, tornando-a uma atividade arriscada e que exige do apanhador grande destreza, prática e coragem. Dos 6 aos 9 anos de idade o coqueiro inicia a produção de frutos, que se estabiliza quando chega aos 12 anos, alcançando uma média de 70 cocos por pé ao ano. Esta é a

variedade mais comum em todo o Nordeste brasileiro, região responsável por cerca de 85% da produção nacional e mais de 90% da área plantada, ocupando principalmente os Estados de Alagoas, Sergipe e Bahia. O coqueiro anão - introduzido no Brasil em 1925, vindo da Malásia - não alcança mais do que 10 metros de altura, o que facilita bastante a coleta dos frutos. É mais precoce do que a variedade gigante, iniciando sua frutificação no segundo ano após o plantio, também apresentando maior produtividade, cerca de 200 frutos por pé ao ano. Em compensação, vive apenas 20 anos, ou seja, bem menos tempo do que o centenário coqueiro comum (TASSARA, 1996).

A remoção da fibra do coco pode ser feita embebendo-a com água salobra por um período de algumas semanas, para facilitar a extração das fibras, presumidamente devido ao processo bacteriológico. Depois as mesmas são submetidas a um processo de batidas com martelos de madeira e depois penteadas. Treze a quinze cocos fornecem mais ou menos 1 Kg de fibras. A fibra de melhor qualidade é usada na fabricação de cordas e esteiras, as fibras curtas e grossas usadas com enchimento de colchões e assentos e as fibras longas e grosseiras usadas na fabricação de pincéis (MENDES, 2000).

A casca do coco é fibrosa e existe um "caroço" interno (o endocarpo) que é duro e tem três poros de germinação que são claramente visíveis na superfície exterior, uma vez que a casca é removida (Figura 5).

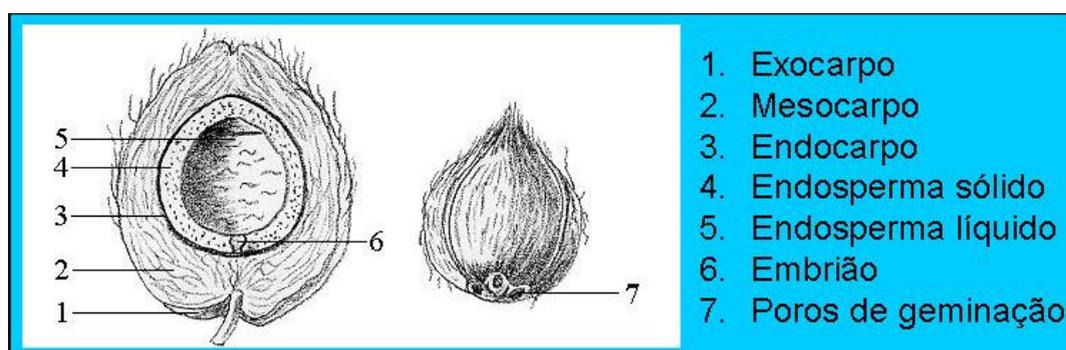


FIGURA 5: Partes do coco

A fibra de coco verde tem sido muito estudada para a utilização na composição de novos materiais (biocompósitos) com polímeros tais como polietileno, poliéster, polipropileno. Neste caso, a utilização da fibra de coco para a obtenção de biocompósitos é importante por serem materiais baratos, naturais e renováveis. A

maioria destes biocompósitos apresenta um aumento de biodegradação em relação à matriz. Além disso, a fibra de coco verde age como um componente reforçador da matriz dos polímeros. Assim, altera as propriedades mecânicas destes compostos tais como resistência em relação à tensão, tração e alongação na ruptura (SENHORAS, 2003).

Amim et al. (2001) investigaram as características dos materiais confeccionados pela mistura de polipropileno com fibras de coco. As fibras do coco são constituídas de materiais lignocelulósicos, obtidos do mesocarpo do coco (*Cocos nucifera*). Possuem grande durabilidade, atribuída ao alto teor de lignina (41 a 45%), quando comparadas com outras fibras naturais. As fibras normalmente devem ser adicionadas em materiais cujo processamento seja inferior a 220°C, pois acima dessa temperatura, observa-se a degradação das mesmas.

As fibras das cascas de coco têm percentual menor de celulose, entretanto a quantidade de lignina é muito grande, cerca de duas a quatro vezes os valores existentes para a juta e o sisal, conferindo-lhe, então, um comportamento singular frente às outras fibras. O teor de lignina nas fibras varia em função da idade do fruto, sendo o percentual de cerca de 20% encontrado em fibras oriundas de coco jovem, colhido com seis meses, e de aproximadamente 35% no fruto maduro, com 11 meses (van DAM, 2004).

Um dos mais importantes exemplos de desenvolvimento sustentável é a aplicação de fibras de coco em almofadas de assento e encosto de bancos para veículos. O material veio para substituir o poliuretano (polímero derivado do petróleo) que após a reação química entre um diisocianato e um polioliol, produz a espuma dentro da cavidade de um molde. Ao contrário do poliuretano que leva 410 anos para se degradar, a fibra de coco é 100% biodegradável e renovável. Na Europa, a fibra de coco já é utilizada em estofamentos de carros desde a década de 40 e no Brasil, desde os anos 70. No entanto, na década de 90, os preços até 30% superiores aos da espuma de poliuretano afugentaram as montadoras.

Em 2000, a empresa Poematec, situada no Distrito Industrial de Ananindeua / PA, reabriu o mercado nacional ao desenvolver um projeto de modernização da produção que conseguiu reduzir satisfatoriamente o custo da matéria-prima, hoje

apenas 5% mais cara do que o poliuretano. A expectativa da empresa é de que o aperfeiçoamento da tecnologia de produção iguale ao preço de fibras de coco e do poliuretano em 2004. O novo processo de produção venceu a etapa norte do Prêmio FINEP, em 2000, e já conquistou a Daimler Chrysler, que utiliza o estofamento no modelo Classe A, nos encostos de cabeça e banco dos caminhões produzidos em São Bernardo do Campo / SP. O fornecimento de fibras à empresa paraense é dado pelas cooperativas comunitárias rurais de oito distritos do Pará. Isso se traduz em, aproximadamente, 4.000 novos empregos criados na produção de fibra de coco, incluindo produtores agrícolas, e cerca de 400 empregados na planta de extração de fibra e manufatura de encostos e assentos da empresa.

Sob o ponto de vista socioeconômico, a atividade desta e de outras empresas que estão trabalhando com matérias-primas naturais é muito importante, já que, há 12,8 milhões de pessoas na região norte vivendo em condições mínimas de saneamento básico, alimentação e educação, o que corresponde a 7,6% da população brasileira. Uma das grandes vantagens técnicas do produto em fibra de coco é a presença da substância Alumina, que, em caso de incêndio, não deixa as chamas se alastrarem pelo banco. Já os estofamentos em poliuretano são altamente inflamáveis e, quando em combustão, liberam o gás cianídrico que, além de poluente, pode matar em dez segundos se inalado. Outra vantagem é a presença de tanino, um fungicida natural que inibe o aparecimento de ácaros e fungos. Segundo a empresa, a durabilidade dos componentes de bancos em fibra de coco é 30% superior, o que lhe confere mais uma vantagem sobre o poliuretano, além de proporcionar maior conforto térmico ao motorista (REIS NETO, 2003).

## 5. PROPRIEDADES DA INTERFACE

Um dos parâmetros mais importantes em materiais compósitos, com uma ou mais fases contínuas, é a interface entre o reforço e a matriz. A interface é a região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito. A região interfacial é a principal responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço. A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início das falhas, comprometendo o desempenho dos compósitos.

A interação entre os componentes na região interfacial depende na prática de dois fatores: o grau de contato (molhabilidade) das superfícies na interface, e das forças coesivas (adesividade) nesta região. Estes fatores são interdependentes, pois, se não houver suficiente área de contato entre os componentes será difícil assegurar boa adesividade entre as fases. A molhabilidade de uma superfície pela outra depende por sua vez da energia superficial destas e da área superficial de contato.

A maior dificuldade no processo de compatibilização entre os componentes do compósito é combinar as diferentes características químicas destes. Em razão das diferentes naturezas das ligações químicas envolvidas e da diferença entre os coeficientes de expansão térmica, a adesividade na interface torna-se um parâmetro bastante complexo no desenvolvimento de compósitos.

Fouche (1995) explora em seu trabalho os principais tipos de adesão entre superfícies:

- Adesão por interdifusão: Os átomos ou moléculas de dois componentes do compósito podem interdifundir na interface para promover a adesão. Este fenômeno de difusão acontecerá apenas em condições favoráveis de adesividade e de contato entre as superfícies. Este mecanismo é aplicável em materiais cujas moléculas possuem alto grau de mobilidade assim como afinidade entre os dois tipos de moléculas. A interdifusão pode ser promovida pela presença de solventes ou agentes plastificantes e a difusão dependerá da conformação molecular, dos constituintes envolvidos e da facilidade da mobilidade molecular.

- Adesão eletrostática: Esta adesão ocorre entre a matriz e o material de reforço quando as superfícies são carregadas negativa e positivamente. Isto promove uma atração eletrostática entre os componentes do compósito que dependerá da diferença de carga das duas superfícies, apesar de não contribuir fortemente com a interação final entre fibra/matriz.
- Adesão química: Este modelo considera o tipo de ligação química envolvido na interface entre as superfícies tais como as ligações iônicas, covalentes ou ligações metálicas. Esta adesão se dá em função da compatibilidade entre a ligação química da matriz polimérica com a ligação química da fibra. Como exemplo, têm-se os agentes de acoplamento como os silanos que promovem o acoplamento de óxidos (silanol) da superfície do vidro com as moléculas da matriz polimérica.
- Adesão mecânica: Consiste numa adesão de intertravamento ou chaveamento mecânico das duas superfícies. Este tipo de adesão é o tipo mais eficaz, quando a força é aplicada paralelamente a interface, aumentando consideravelmente a força de cisalhamento. Em muitos casos, a adesão mecânica não ocorre sem a ajuda de algum outro mecanismo de adesão.

Neste contexto, pode-se citar ainda o modelo de adesão promovido pelas reações ácido-base e ainda a adesão promovida por absorção e reação superficial.

As fibras celulósicas devem ser secas e tratadas para que se tenha um grau de adesão aceitável entre fibra e matriz, e assim alcançar o pleno potencial de reforço das fibras. A secagem das fibras é necessária para evitar a influência negativa da presença de umidade na interface entre fibras e os diferentes constituintes (BLEDZDKI e GASSAN, 1999).

Biocompósitos de matriz de polipropileno reforçados por fibras lignocelulósicas têm sido utilizados em indústrias de bens duráveis e automotivas. Segundo Mohanty et al. (2001), tratamentos das fibras tais como desengraxamento, graftização, branqueamento, acetilação ou reação com álcalis, peróxidos, silanos ou

isocianatos são essenciais para a obtenção de materiais com melhores desempenhos.

As fibras de reforço podem ser modificadas por métodos físicos e químicos. As modificações químicas e físicas das fibras naturais podem conferir a determinada matriz maior adesão, estabilidade dimensional, termoplasticidade e resistência à degradação biológica (ROWELL, 1996; KOZLOWSKI, 2003).

Os métodos físicos como estiramento, calandragem e tratamento térmico, no entanto, não modificam a composição química das fibras. O tratamento físico modifica as propriedades de superfície das fibras e podem influenciar no mecanismo de ligação em polímeros (SAHEB e JOG, 1999).

Muitos autores têm estudado a influência dos tratamentos químicos das fibras no comportamento mecânico dos compósitos a fim de otimizar estas características e promover a utilização destes compósitos como alternativas viáveis em substituição inclusive aos compósitos que utilizam fibras de vidro.

Wambua et al. (2003) compararam a resistência mecânica de algumas fibras vegetais em compósitos de polipropileno e discutiram a viabilidade técnica em se substituir as fibras de vidro pelas fibras vegetais. Neste estudo, os compósitos com fibras de coco apresentaram baixas propriedades mecânicas, entretanto sua resistência ao impacto foi superior aos compósitos com fibras de juta de Java (Kenaf).

Com base em Mattoso et al. (1998), os estudos mostraram que existem várias finalidades para as quais a modificação química das fibras de sisal pode ser utilizada, dependendo de sua aplicação. Quando se considera o uso de fibras em ciência dos materiais, para a substituição parcial ou total de plásticos ou outras fibras sintéticas ou minerais, pelo menos três aspectos podem ser considerados:

- Tratamento superficial da fibra para remoção de agentes cimentantes, levando à desfibrilação em fibras elementares individuais. As fibras elementares expandem a sua área interfacial fibra-plástico, aumentando a região de transferência de solicitação mecânica do plástico para a fibra.

- Modificação química da superfície das fibras, tornando-as apolares e, portanto, mais compatíveis com os plásticos sintéticos comerciais, o que melhora a adesão fibra-plástico.
- Termoplastização da fibra: modificação química da fibra, em todo o volume, de forma a transformá-la em um polímero com comportamento semelhante ao dos termoplásticos comerciais.

Nos compósitos de termoplásticos, a interação interfacial é, em muitos casos, muito fraca. Em particular, com polímeros poliolefínicos como o polipropileno, existe uma baixa ou nenhuma reação química entre a fibra e a matriz. Além disso, a morfologia do polímero na interface não é somente afetada por tratamento das fibras, mas pode ser diretamente afetada por interação com a fibra, deixando ocorrer a transcristalização, que dificulta a transferência de tensão para a fibra. O interesse do polipropileno nas aplicações como matriz em compósitos vem crescendo e a adesão deste polímero apolar com a superfície da fibra também apolar é um importante desafio (THOMASON e SCHOOLENBERG, 1994).

Fibras de vidro contínuas são produzidas a partir de matéria-prima de vidro fundido e estes filamentos são recobertos com solução de agentes de acoplamento silano. A seleção de agente de acoplamento é também crucial na formação de uma boa interface (HAMADA, 2000).

Kalaprasad et al. (2004) estudaram a influência da composição relativa de fibras curtas de sisal/fibras de vidro, sua distribuição e comprimento de fibra nas propriedades de tração de compósitos híbridos de matriz de polietileno de baixa densidade (PEBD). Foi realizado um estudo da modificação superficial das fibras e do PEBD para aumento da adesão fibras/matriz e compatibilização com álcalis, anidrido acético, ácido esteárico, permanganato, anidrido maleico, silano e/ou peróxidos. O tratamento que resultou em maior aumento do módulo e da resistência à tração foi o com uso de peróxido de benzoíla que promoveu a graftização de polietileno nas fibras.

Prasad et al. (1983) estudaram o tratamento de fibras de coco com solução de hidróxido de sódio a 5% e constataram que a resistência à tração destas fibras

em uma matriz de poliéster aumenta em 15% quando estas são submetidas a uma temperatura de 27-29°C por 72 a 76 horas. Rout et al. (2001) também estudaram a influência da modificação superficial das fibras de coco através de tratamento químico com hidróxido de sódio em concentrações de 0, 2, 5 e 10% nos compósitos poliéster/fibra de coco e constataram melhoras significativas nas suas propriedades mecânicas e redução de absorção de água quando comparados com as fibras que não sofreram tratamento.

A substância alcalina reage com o material cimentante, em particular as hemiceluloses, levando à destruição das estruturas de mantas e separação de fibras em filamentos finos. Este processo é chamado de fibrilação, o qual quebra o feixe de fibras em fibras menores, aumentando a área superficial efetiva, que são favoráveis para a molhabilidade da resina. Então a ligação entre fibra e a matriz na interface pode ser promovida (RAY, 2001).

Albuquerque et al. (2000) estudaram o efeito da molhabilidade e das condições de envelhecimento nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de matriz de poliéster reforçados por juta orientada uniaxialmente.

Adicionalmente, o tratamento alcalino leva a uma diminuição do ângulo espiral, tornando-o mais próximo do eixo da fibra e aumentando a orientação molecular. Um grau razoável de randomicidade é introduzida na orientação dos cristalitos devido à remoção de material não celulósico.

Bismarck et al. (2001) caracterizaram fibras de sisal e coco modificadas quimicamente e estudaram seu comportamento quanto à absorção de água. O MEV foi a ferramenta utilizada pelos autores para mostrar a modificação da morfologia das fibras necessária à produção de compósitos de bom desempenho, baixo custo e amistosos em relação ao meio ambiente.

Rozman et al. (1999) verificaram que compósitos híbridos de matriz de PP com alto teor de fibra de vidro e baixo teor de fibra de coco têm desempenho comparáveis aos compósitos com alto teor de fibra de coco e baixo teor de fibra de vidro. No entanto, sem compatibilização entre os materiais e padronização do

tamanho de fibras, em comparação ao PP os compósitos híbridos apresentam menor resistência à flexão, à tração e ao impacto.

John et al. (2004) estudaram o comportamento mecânico dos compósitos híbridos poliéster/fibras de vidro e sisal. As fibras de sisal, com comprimento médio de 10 mm, foram tratadas com solução aquosa de hidróxido de sódio a 2% e com trimetoxi silano. Ambos os tratamentos apresentaram comportamento bastante similar. Os valores de resistência ao impacto sofreram um aumento com o aumento da percentagem de fibra de vidro no compósito híbrido.

Herrera-Franco et al. (2003) estudaram o comportamento mecânico do polietileno de alta densidade reforçado com fibras contínuas de henequen. Para promover a adesão fibra-matriz, foi realizado um tratamento alcalino.

Rajulu et al. (2005) estudaram as propriedades mecânicas das fibras naturais de *Hildegardia populifolia* em matriz de poliéster. Utilizando fibras com diâmetro 0,18 mm, comprimento de 1,0 a 1,5 cm e tratamento com uma solução aquosa de 2% de hidróxido de sódio, verificou-se que os compósitos obtidos com as fibras tratadas apresentaram um aumento nas propriedades mecânicas da ordem de 15,6% em relação aos compósitos com fibras não tratadas.

Pandey et al. (2003) verificaram que o método de preparação dos compósitos PP/fibras de coco afeta a foto e a biodegradação dos compósitos. Estes autores estudaram a resistência de compósito PP / fibra de coco ao ataque biológico e à fotodegradação. Foram utilizados dois métodos para preparação dos compósitos, mistura reativa de PP, anidrido maleico e um peróxido orgânico na presença de fibras de coco ou graftização de anidrido maleico em PP seguida da esterificação com as fibras de coco.

## 6. METODOLOGIA E PLANO DE TRABALHO

### 6.1 MATERIAIS

As fibras de coco utilizadas neste trabalho foram fornecidas pela Embrapa Agroindústrias Tropical de Fortaleza – CE. Estas fibras chegaram à Universidade Federal do Paraná embaladas em sacos de rafia e previamente secas e compactadas. A Figura 6 mostra as fibras de coco na sua condição de recebimento.



FIGURA 6: Recebimento das Fibras de Coco

A Tabela 6 mostra os materiais da empresa Polibrasil Resinas S/A utilizados para confecção dos compósitos PP + fibra de coco (HP4000U) e compósitos híbridos PP + fibras de vidro e coco (PBD F076 e F151 PR01).

TABELA 6: Materiais utilizados para a confecção dos compósitos

Fabricante	Polímero	Código	% Carga
Polibrasil	Polipropileno	HP4000U	Zero
Polibrasil	Polipropileno	PBD F076	20% Fibra Vidro
Polibrasil	Polipropileno	F151 PR01	30% Fibra Vidro

### 6.2 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

#### 6.2.1 Moagem das Fibras de Coco

A moagem das fibras de coco foi realizada através do moinho de facas do laboratório de polímeros da Universidade Federal do Paraná (Figura 7). Estuda-se neste trabalho o efeito originado por três distribuições distintas de granulometria (distribuição “A” formadas por fibras curtas, distribuição “B” formada por fibras médias e distribuição “C” formada por fibras longas). Estas distribuições foram conseguidas em função das peneiras utilizadas na classificação do material e do número de vezes que o material passou pelo processo de moagem.



FIGURA 7: Processo de moagem das fibras de coco.

### 6.2.2 Dimensão das Fibras de Coco

A classificação das fibras foi realizada através do conjunto de Peneiras VIA TESTE 76773 Kuhardt TYP VSM 200 com tempo de classificação de 10 minutos. Foram utilizadas as peneiras com as malhas de 3,35 mm; 1,70 mm; 850  $\mu\text{m}$ ; 600  $\mu\text{m}$ ; 425  $\mu\text{m}$  e 212  $\mu\text{m}$ .

### 6.2.3 Tratamento das Fibras de Coco

Neste trabalho foram estudados compósitos com fibras de coco que sofreram três diferentes tratamentos alcalinos e ainda com fibras que não sofreram tratamento algum, ou seja, fibras “in natura”. Para o tratamento foram utilizadas três concentrações distintas de solução de NaOH (1%, 2% e 5%).

O tratamento das fibras de coco consistiu na imersão de uma quantidade de fibra de coco previamente moída na solução de NaOH (100g de fibra de coco para cada litro de solução de NaOH). Estas fibras ficaram em contato com a solução alcalina por uma hora em temperatura de  $25\pm 5^\circ\text{C}$  sob vigorosa agitação mecânica (Figura 8). Após este período, as fibras de coco foram lavadas com água deionizada a fim de remover todas as impurezas e as substâncias solúveis provenientes do tratamento químico. Estas fibras foram então secas em estufa a temperatura de  $60\pm 10^\circ\text{C}$  por 24 horas.



FIGURA 8: Tratamento das fibras com solução de hidróxido de sódio (NaOH)

#### 6.2.4 Mistura das Fibras de Coco com Polipropileno

Após o tratamento das fibras de coco, estas foram misturadas com a matriz polimérica a fim de originar os compósitos. Em dois sacos plásticos distintos foram pesadas as quantidades necessárias de polipropileno para o processo de extrusão ( $2,5 \pm 0,5$  Kg) e a quantidade necessária de fibras tratadas (conforme a percentagem desejada). O conteúdo do saco plástico das fibras foi despejado no saco plástico da matriz polimérica e agitado vigorosamente a fim de proporcionar a mistura destes dois componentes (Figura 9).



FIGURA 9: (a) Polipropileno antes da mistura; (b) Fibras de coco antes da mistura; (c) Polipropileno e fibras de coco misturados.

#### 6.2.5 Processo de Extrusão dos Compósitos

Para a extrusão dos materiais, foi utilizada uma extrusora Hansen Tipo H60 com sete zonas de aquecimento do Centro de Educação Tecnológica Tupy em Curitiba. A Figura 10 mostra o desenho esquemático de uma extrusora com suas respectivas partes. Os compósitos foram extrudados a uma velocidade de fuso de 400 r.p.m. e com o seguinte perfil de temperatura:  $140^{\circ}\text{C}$  nas zonas 1 e 7 (zona de

alimentação e zona da bucha do cabeçote) e 150°C nas zonas intermediárias da extrusora (zonas 2 a 6).

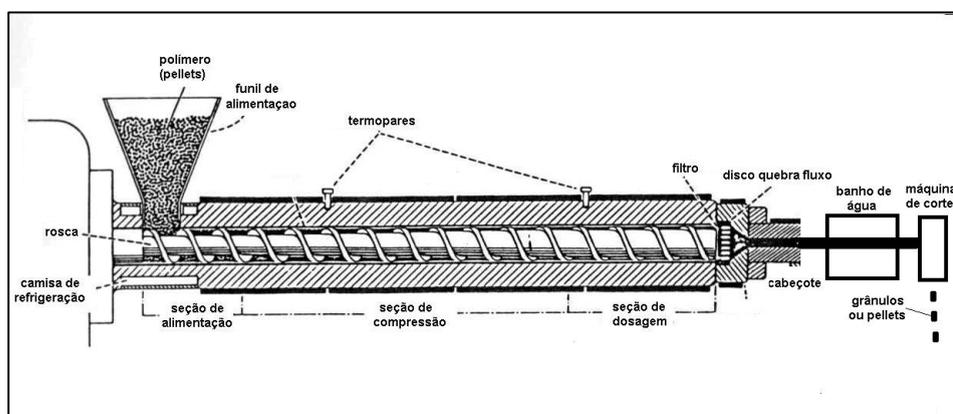


FIGURA 10: Esquema de uma extrusora com suas respectivas partes

### 6.2.6 Processo de Injeção dos Compósitos

Para a injeção dos corpos de prova foram utilizados um molde de corpo de provas e uma máquina injetora MIR de 100 toneladas com diâmetro do cilindro de 45 mm com curso máximo de dosagem de 150 mm do Centro de Educação Tecnológica Tupy em Curitiba. A injetora dispõe de cinco zonas de aquecimento: zona 1 na alimentação, zonas 2, 3 e 4 no canhão de injeção e zona 5 no bico. Os compósitos foram injetados com o seguinte perfil de temperatura: 220°C na zona 1, 190°C nas zonas 2, 3 e 4 e 210°C na zona 5. Os corpos-de-prova para os ensaios de tração e impacto foram obtidos por intermédio do molde de corpos-de-prova para ensaios mecânicos do Centro de Educação Tecnológica Tupy em Curitiba. A Figura 11 mostra o desenho esquemático de uma injetora ilustrando as etapas do processo de injeção.

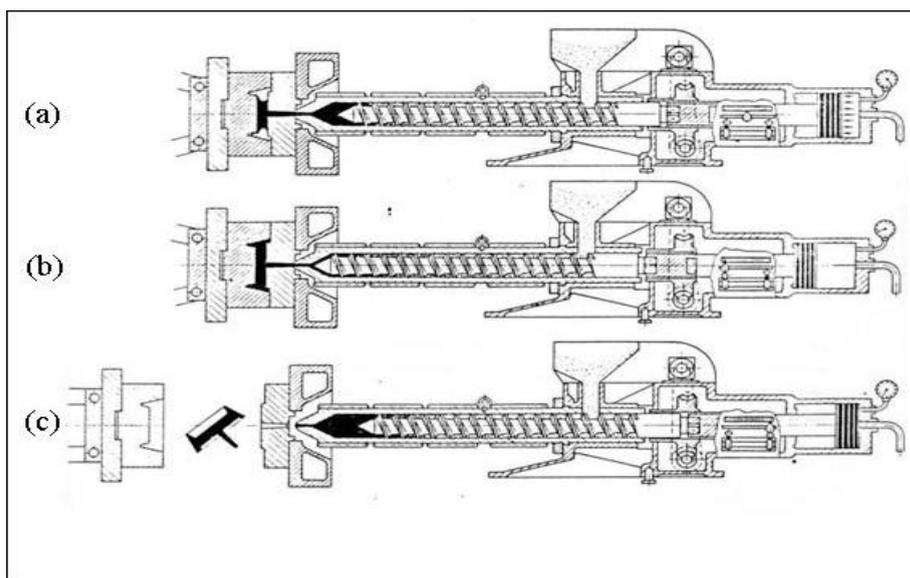


FIGURA 11: Esquema de uma injetora. (a) Fechamento do molde e início do processo de injeção; (b) Preenchimento da cavidade do molde; (c) Abertura do molde liberando o produto injetado.

### 6.3 IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram identificadas de acordo com o tratamento químico efetuado bem como o tamanho das fibras de coco empregadas para cada compósito. O trabalho se divide em duas etapas distintas. Na primeira etapa deseja-se estudar o comportamento mecânico do compósito PP + fibra de coco no intuito de verificar quais as características resultantes deste compósito. Nesta primeira etapa, foram ensaiadas as amostras de PP e PP com as seguintes percentagens de fibras de coco: 10, 15, 20 e 30 por cento. Os compósitos foram obtidos a partir de fibras de coco longas (distribuição C) com um tratamento químico alcalino com solução de hidróxido de sódio a 5%. Na segunda etapa, objetiva-se estudar um compósito híbrido formado por polipropileno e fibras de vidro e coco. Para tal, utilizou-se um compósito comercial PP + 20% fibra de vidro e a partir deste, originaram-se outros compósitos com variações no seu tratamento químico e no tamanho das fibras de coco, conforme Tabela 7.

TABELA 7: Identificação das amostras

Compósitos	% PP	% Fibra de Vidro	% Fibra de Coco	Tratamento Químico	Tamanho das fibras de Coco	Nomenclatura
PP + fibra de coco	100,0	0,0	0,0	NA	Dist. C	PP
	90,0	0,0	10,0	5% NaOH	Dist. C	PP+10%FC
	85,0	0,0	15,0	5% NaOH	Dist. C	PP+15%FC
	80,0	0,0	20,0	5% NaOH	Dist. C	PP+20%FC
	70,0	0,0	30,0	5% NaOH	Dist. C	PP+30%FC
PP + fibra de vidro após processo de extrusão	80,0	20,0	0,0	NA	NA	PP+20%FV
	80,0	20,0	0,0	NA	NA	PP+20%FV Extrusão
	70,0	30,0	0,0	NA	NA	PP+30%FV
	70,0	30,0	0,0	NA	NA	PP+30%FV Extrusão
Compósito híbrido PP + fibras de vidro e coco	72,7	18,2	9,1	NA	Dist. A	Dist. A
	72,7	18,2	9,1	1% NaOH	Dist. A	Dist. A 1%
	72,7	18,2	9,1	2% NaOH	Dist. A	Dist. A 2%
	72,7	18,2	9,1	NA	Dist. B	Dist. B
	72,7	18,2	9,1	1% NaOH	Dist. B	Dist. B 1%
	72,7	18,2	9,1	2% NaOH	Dist. B	Dist. B 2%
	72,7	18,2	9,1	5% NaOH	Dist. C	Dist. C 5%

NA: Não se aplica

## 6.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS

### 6.4.1 Análise Termogravimétrica

As análises por TGA têm sido utilizadas para várias finalidades, até mesmo para o estudo da dispersão de reforços particulados de vidro em matrizes poliméricas, já que estes materiais apresentam estabilidades térmicas bastante distintas (LIANG e LI, 2001).

A estabilidade térmica de amostras de fibra de coco foi avaliada através de análise termogravimétrica sob atmosfera de  $N_2$  com taxas de  $20^\circ C/minuto$  até  $850^\circ C$ .

A caracterização por Análise Térmica (TGA) das amostras de fibras “in natura” e tratadas quimicamente com NaOH foram realizadas em um equipamento Netzsch DSC 209, no Laboratório de Análise Térmica, do LACTEC-UFPR.

### 6.4.2 Análise Microscópica

A análise microscópica foi realizada na Universidade Federal do Paraná por um Microscópio Eletrônico de Varredura JEOL JSM-6360LV utilizando voltagem de aceleração do feixe de elétrons de 15 kV.

A verificação do comprimento das fibras de vidro e coco e algumas imagens provenientes de microscópio óptico foram feitas no laboratório de análise de sujidades da empresa Volkswagen Audi a partir de um Estereoscópio Zeiss KL 1500 LCD.

## 6.5 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

### 6.5.1 Ensaio de Tração

No ensaio de tração, a força (ou tensão) é medida enquanto a amostra está sendo deformada a uma taxa constante; e tem, tradicionalmente, sido o mais popular e universal teste usado dentro dos testes mecânicos.

O ensaio de tração foi realizado no laboratório central da empresa Volkswagen Audi em uma Máquina Universal de Tração Modelo INSTRON 5585 com capacidade máxima 20 toneladas. Os ensaios foram feitos conforme a norma (ASTM 683M) e os corpos de prova foram tracionados a uma velocidade de 2,5 mm/min. Os valores de alongamento foram medidos através de extensômetro de 50,0 mm. Para cada compósito avaliado, foram ensaiados quinze corpos-de-prova. A Figura 12 ilustra a realização do ensaio de tração.



FIGURA 12: Ensaio de Tração

### **6.5.2 Ensaio de Impacto**

Os testes de impacto são testes de fratura a alta velocidade que mede a energia para romper a amostra. Nos testes de impacto Izod e Charpy, um pêndulo com um peso é jogado contra a amostra (com entalhe ou não) e a energia necessária para romper a amostra é determinada através da perda de energia cinética do pêndulo (NIELSEN, 1974).

Os ensaios de impacto foram realizados em uma máquina de Impacto Microtest modelo N 5102 segundo a norma ASTM D 1238 Método Charpy e o entalhe do corpo de prova foi feito em uma máquina de entalhe EMIC PME 2565, ambos no Centro de Educação Tecnológica Tupy em Curitiba. Os corpos-de-prova foram entalhados conforme a norma citada e os ensaios foram realizados utilizando a média de oito corpos-de-prova.

### **6.5.3 Ensaio de Fluidez**

Os ensaios de índice de fluidez foram realizados no Centro de Educação Tecnológica Tupy em Curitiba em um Plastômetro Microtest Sigma modelo 0102 série CRI conforme a norma (ASTM D 1238).

### **6.5.4 Ensaio de Contração**

O objetivo deste teste é ver o quanto o corpo de prova contraiu após o processo de injeção, para isso utilizou-se uma fórmula matemática para ver o quanto a amostra contraiu usando o comprimento do corpo de prova (LCP) e o comprimento da cavidade (LCM) segundo a fórmula:  $(LCM-LCP)/LCM*(100)$ , realizado conforme a norma ASTM D 955.

### **6.5.5 Ensaio de Dureza**

Os ensaios de dureza shore D foram realizados no Centro de Educação Tecnológica Tupy em Curitiba em um Durômetro Woltest modelo GS 702 segundo a norma ASTM D – 2240.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS DE COCO

As fibras foram classificadas em três condições diferentes em função do número de vezes que a amostra passou pelo processo de moagem. Assim, foram denominadas como Fibras Curtas (distribuição “A”) as fibras provenientes de uma passagem tripla pelo processo de moagem resultando em uma distribuição ao longo da peneira com malha de 300  $\mu\text{m}$ ; como Fibras Médias (distribuição “B”) as fibras provenientes de uma passagem dupla pelo processo de moagem resultando em uma distribuição ao longo da peneira com malha de 425  $\mu\text{m}$  e como Fibras Longas (distribuição “C”) as fibras provenientes de uma única passagem pelo processo de moagem resultando em uma distribuição ao longo da peneira com malha de 850  $\mu\text{m}$  conforme Figura 13.

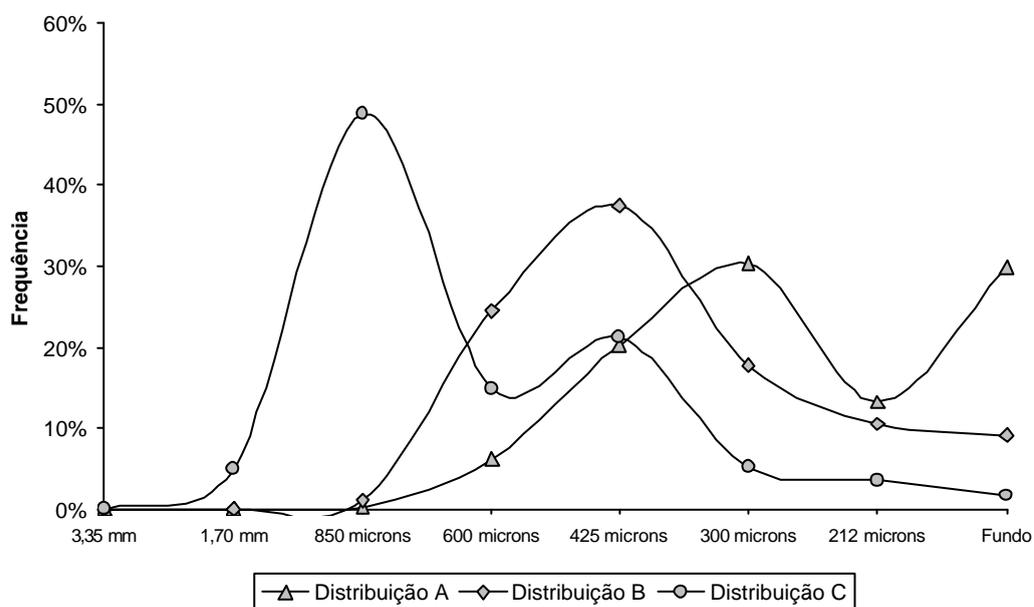


FIGURA 13: Análise granulométrica dos diferentes tamanhos de fibras de coco

### 7.2 COMPRIMENTO DAS FIBRAS DE COCO

As fibras estudadas apresentaram três comprimentos distintos. Neste estudo, foram consideradas 100 amostras de cada distribuição granulométrica. Estes valores são mostrados na Tabela 8.

TABELA 8: Dimensão das fibras de coco estudadas

<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Distribuição "A"</b>	<b>Distribuição "B"</b>	<b>Distribuição "C"</b>
<b>Comprimento Médio ( l )</b>	2,1	4,8	7,2
Desvio Padrão	1,0	1,5	2,1
Mínimo Valor	0,3	1,1	3,8
Máximo Valor	5,0	9,8	13,5
<b>Diâmetro Médio ( d )</b>	0,22	0,21	0,27
Desvio Padrão	0,11	0,11	0,12
Mínimo Valor	0,1	0,1	0,1
Máximo Valor	0,6	0,5	0,5
<b>Comprimento Crítico ( l/d )</b>	9,5	22,9	26,7

Os valores de comprimento médio, diâmetro médio foram obtidos através de medições em estereocópio. Nessa avaliação foram consideradas 100 amostras de cada distribuição. Para efeito de cálculo do desvio padrão também foram consideradas as 100 amostras. Como houve um aumento significativo do comprimento das fibras sem alteração significativa do seu diâmetro, pode-se caracterizar ainda neste trabalho três comprimentos críticos ( l/d ) bastante distintos.

Ainda que tenha sido feito um esforço no sentido de ser selecionado um tamanho específico de fibras de coco para utilização neste trabalho, as fibras naturais apresentam como uma das suas principais características a formação de populações bastante heterogêneas.

Esta dispersão dimensional das fibras dificulta de certa forma a repetibilidade dos resultados e torna mais complexo o processo de utilização das fibras naturais em escala industrial tendo em vista a sua instabilidade. Conforme explorado no capítulo 4, as fibras são bastante heterogêneas, pois dependem do tipo de solo, das condições climáticas, dos fertilizantes utilizados, do tipo de colheita, das folhas, dos frutos ou do caule dos vegetais. As Figuras 14 e 15 ilustram a dispersão do comprimento das fibras para cada distribuição granulométrica.

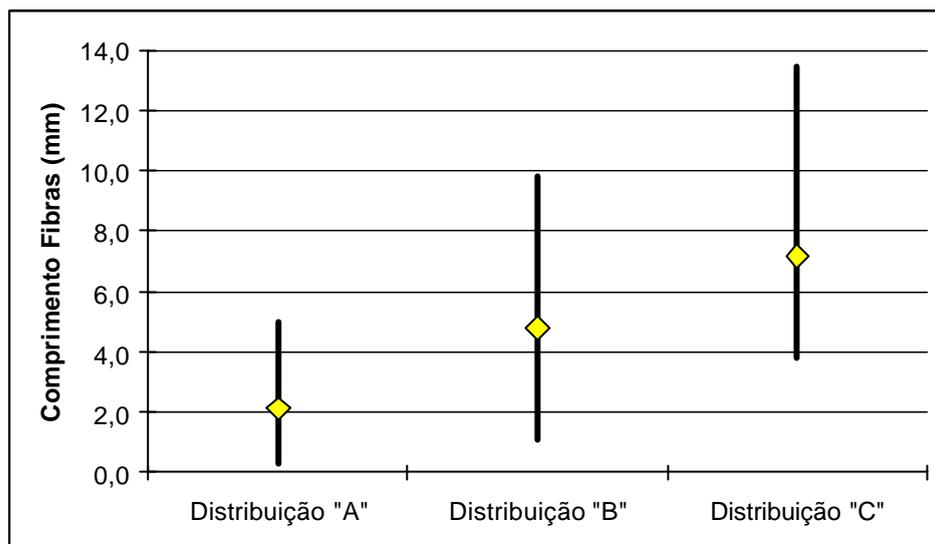


FIGURA 14: Dispersão do comprimento de fibras de coco para cada distribuição granulométrica

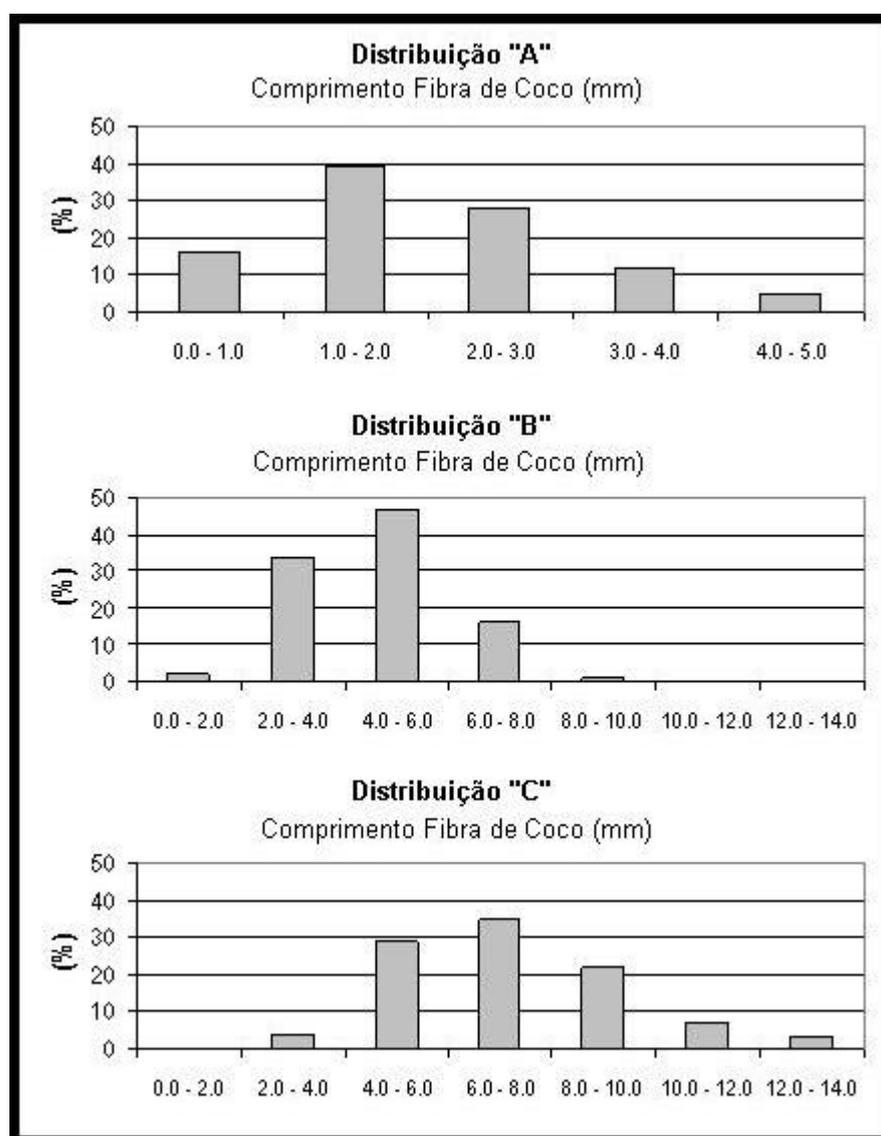


FIGURA 15: Distribuição do comprimento de fibras de coco para cada distribuição granulométrica

A Figura 16 ilustra a alta dispersão dimensional de fibras disponíveis em uma amostra de fibras de coco de distribuição “A” utilizando microscópio de varredura eletrônica com aumento de 30 vezes.

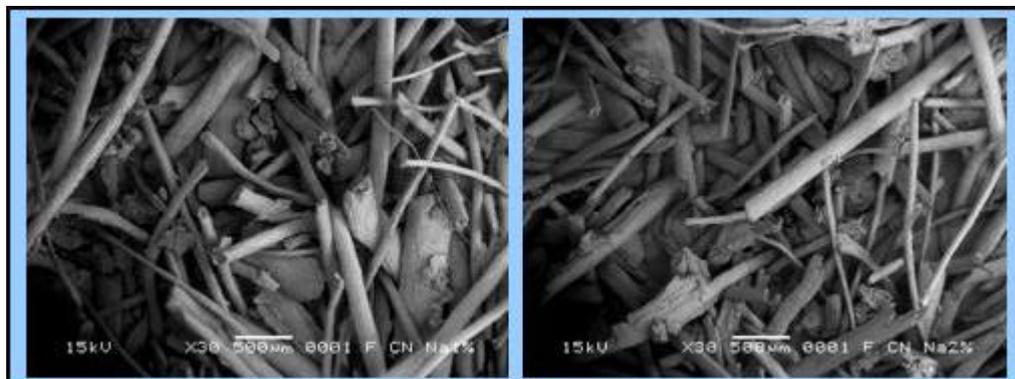


FIGURA 16: Amostras de Fibras de Coco (Distribuição “A”)

### 7.3 PERDA DE MASSA DURANTE PROCESSAMENTO DAS FIBRAS

Após a classificação das fibras de coco, realizou-se o tratamento químico das mesmas com uma solução de hidróxido de sódio. Em relação às fibras que foram processadas e as fibras classificadas, tratadas e secas prontas para mistura na matriz polimérica, existiu um perda de massa no processo. Esta perda se deveu primeiramente pela própria classificação das fibras e depois pelo fato de que o tratamento químico das fibras também gerou perdas em função do ataque químico que solubilizou os extrativos que estavam associados à fibra e, também, em função dos processos de filtragem e lavagem das fibras.

A Figura 17 mostra a perda de massa que ocorreu no processo de preparação das fibras partindo de uma quantidade de 100g de fibra de coco bruta. Esta quantidade de fibras apresenta comprimento de fibras com distribuição “C” e foi tratada com uma solução de hidróxido de sódio a 5%. Nota-se que, para uma situação inicial de 100,0 g de fibra bruta, são geradas 34,6 g de fibras classificadas e tratadas prontas para a mistura com o material polimérico, ou seja, há uma perda de massa de 65,4% nesse processo. Este perda é ocasionada primeiramente pela classificação das fibras nas peneiras que retêm uma grande parte das fibras que não são objeto deste estudo e ainda, pelo processo de lavagem e secagem do material cuja eficiência não atinge 100%. Outro aspecto relevante é a solubilização dos

extrativos que, em função do tratamento químico com NaOH, são extraídos pelo processo de lavagem.

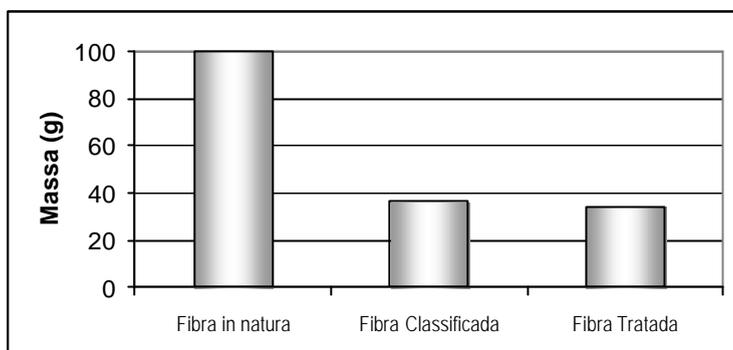


FIGURA 17: Perda de massa durante os processos de classificação e tratamento das fibras de coco

#### 7.4 EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE TRATAMENTO DAS FIBRAS

Através da avaliação por microscopia eletrônica de varredura (Figura 18), pode-se discutir sobre a eficiência do processo de tratamento das fibras de coco. Esta avaliação comparativa ilustra a fibra de coco “in natura”, ou seja, sem nenhum tratamento alcalino, a fibra de coco com tratamento alcalino 1% NaOH, a fibra de coco com tratamento alcalino 2% NaOH e a fibra de coco com tratamento alcalino 5% NaOH. Através da microscopia eletrônica de varredura pode-se verificar a morfologia da fibra “in natura” e qual o impacto do tratamento alcalino na morfologia das fibras. É através da modificação na superfície da fibra que se consegue promover uma melhor adesão com a matriz polimérica.

As Figuras 18a, 18b e 18c foram obtidas com um aumento de 500 vezes enquanto que a figura 18d foi obtida com um aumento de 1000 vezes. O aumento de 1000 vezes facilitou a visualização da morfologia da fibra após um tratamento químico com concentração de 5% de hidróxido de sódio.

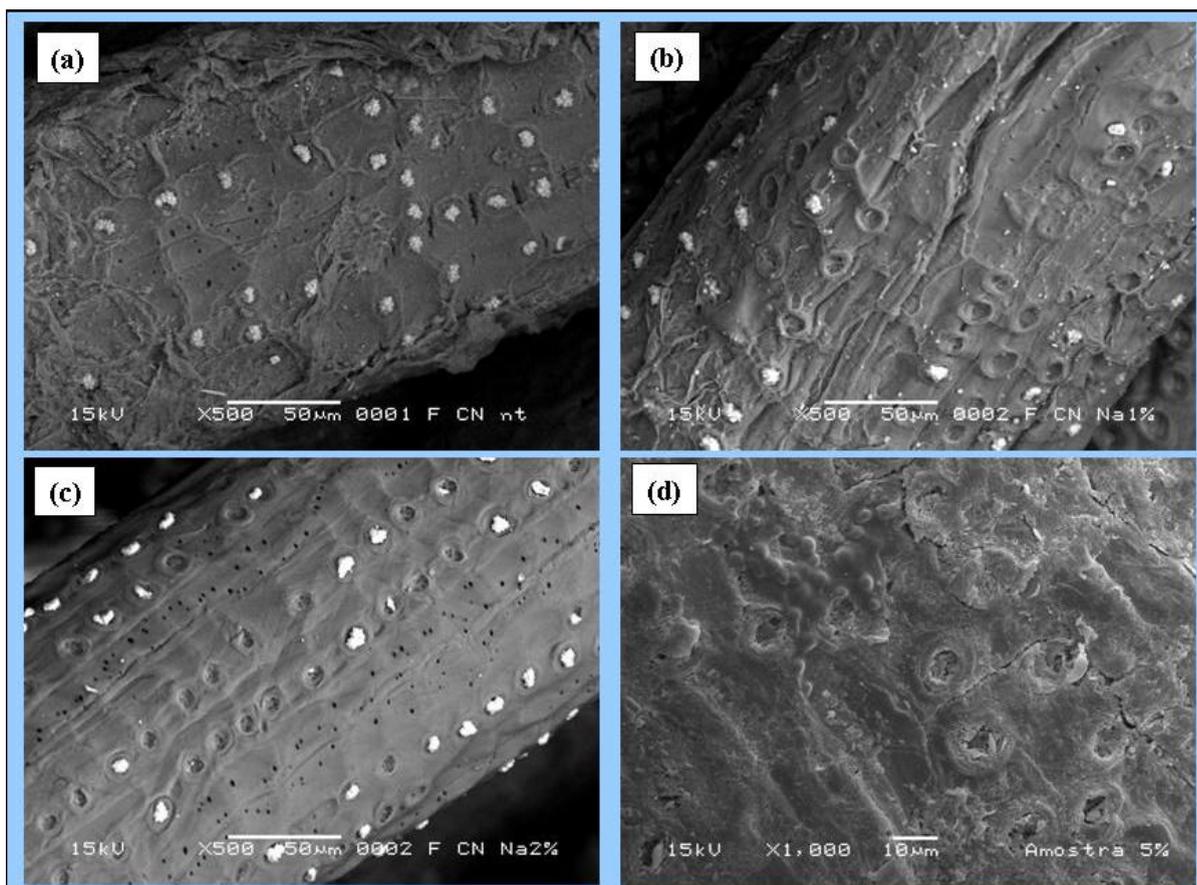


FIGURA 18: (a) Fibra de coco “in natura”; (b) Fibra de coco após tratamento NaOH 1%; (c) Fibra de coco após tratamento NaOH 2%; (d) Fibra de coco após tratamento NaOH 5%

A Figura 18a representa uma fibra “in natura”, ou seja, sem tratamento químico algum. Pode-se verificar nesta situação que a superfície da fibra é bastante rugosa e apresenta uma série de partículas globulares de aproximadamente  $10\ \mu\text{m}$  de diâmetro em espaços regulares da superfície da fibra denominadas tiloses (PRASAD, 1983).

Na Figura 18b, certa quantidade de tiloses é removida da superfície da fibra em função do tratamento químico a que esta fibra foi submetida (hidróxido de sódio 1%). Nota-se também uma considerável alteração na morfologia da fibra.

A Figura 18c retrata uma fibra após tratamento químico com NaOH 2%. Nesta condição, existe uma remoção ainda maior das tiloses. As tiloses são um material rico em sílica como demonstrado por Calado et al. (2000). As fibras de coco tratadas nesta condição apresentam ainda uma superfície pouco rugosa caracterizada pelos orifícios deixados pelas tiloses removidas e pela ausência dos ácidos graxos e outros extrativos da fibra.

Já a Figura 18d retrata uma fibra bastante atacada pela solução alcalina. Espera-se que esta rugosidade criada pelo ataque químico favoreça o intertravamento entre as fibras e a matriz conforme discutido no capítulo 5 favorecendo as propriedades mecânicas dos compósitos. Verifica-se que, nessa concentração de hidróxido de sódio, todas as tiloses foram removidas da superfície da fibra. Nota-se ainda que a solução de hidróxido de sódio a 5% apresentou após o ataque químico uma cor mais escura e uma viscosidade maior quando comparada com a solução de hidróxido de sódio utilizada nos outros tratamentos.

### 7.5 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DAS FIBRAS DE COCO

As curvas de TG da Figura 19 sugerem que houve uma ligeira melhora nas propriedades térmicas das fibras onde se empregou o aumento da concentração de NaOH durante o tratamento químico.

O termograma obtido é típico de material lignocelulósico, onde se pode constatar que na região até 100°C há perda de umidade do material. O início da degradação inicia-se na região de 250°C, temperatura a partir da qual não é recomendável a utilização de fibras de coco como reforço de compósitos.

Cada região de temperatura pode ser associada aos constituintes característicos das fibras, porém estes valores não podem ser seguidos à risca, visto que há formação de compostos derivados durante os processos de pirólise, mas, mesmo assim estes compostos derivados em tais faixas de temperatura podem ser associados aos seus constituintes originais (BROWNING, 1963).

Verifica-se a partir da Figura 19 que até 100°C (faixa de temperatura relativa à perda de água e substâncias voláteis) a perda de massa é praticamente igual durante os dois tratamentos. A perda de massa de 200 a 260°C está associada à degradação das hemiceluloses; a região entre 240 e 350°C está relacionada à decomposição da celulose e a região que compreende as temperaturas de 280 a 500°C está relacionada à decomposição da lignina (SJÖSTRÖM, 1993).

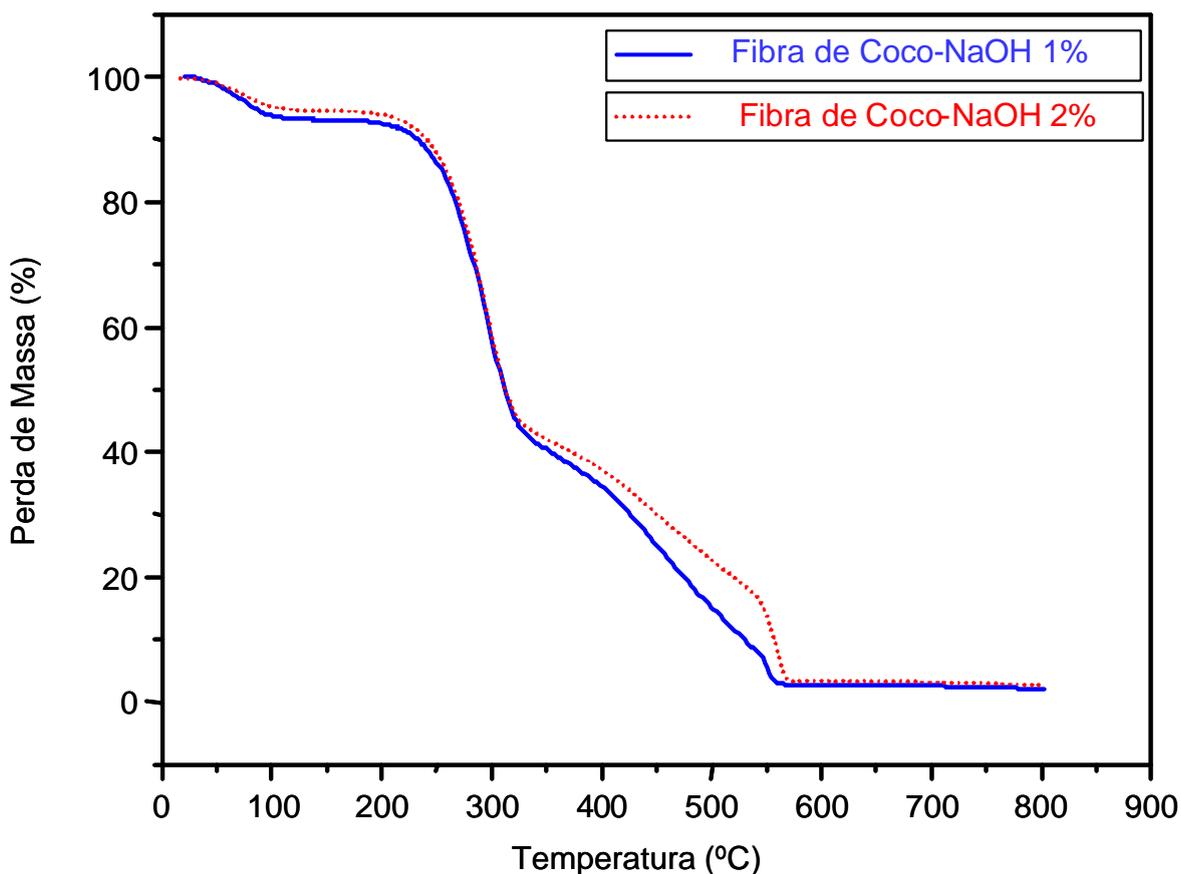


FIGURA 19: Análise Termogravimétrica da fibra de coco com diferentes tratamentos

## 7.6 AVALIAÇÃO DOS COMPÓSITOS POLIPROPILENO/FIBRA DE COCO

A análise a seguir avalia o comportamento mecânico de um polipropileno comercial após a inclusão de fibras de coco tratadas com solução aquosa 5% de hidróxido de sódio (NaOH). Foram ensaiadas 5 amostras com diferentes concentrações de fibra de coco conforme ilustra a Tabela 9:

Tabela 9: Propriedades dos compósitos PP/Fibra de coco

	Tensão na Ruptura (MPa)	Tensão na Carga Máxima (MPa)	Módulo Young (MPa)	Alongamento (%)	Dureza Shore "D"	Impacto (J/mm <sup>2</sup> )	Índice de Contração
PP	18,7 ± 0,2	26,8 ± 0,7	1411 ± 16	> 60	53 ± 2	17 ± 1	1,92 ± 0,04
PP + 10%FC	19,1 ± 1,1	24,5 ± 0,3	1629 ± 191	13,4 ± 2,2	53 ± 0	32 ± 2	1,70 ± 0,05
PP + 15%FC	18,5 ± 1,9	23,9 ± 0,4	1729 ± 80	10,6 ± 1,5	54 ± 2	32 ± 1	1,41 ± 0,07
PP + 20%FC	22,0 ± 0,6	22,7 ± 0,5	1745 ± 125	5,5 ± 0,6	57 ± 1	30 ± 2	1,25 ± 0,09
PP + 30%FC	21,5 ± 0,7	22,3 ± 0,6	1777 ± 122	5,1 ± 0,4	58 ± 2	34 ± 3	1,19 ± 0,11

Sabe-se que as propriedades mecânicas são decisivas e podem definir as possibilidades de aplicação dos compósitos.

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades referentes ao comportamento de um material sujeito à ação de forças e esforços, que são

expressos como função de tensões e/ou deformações. As tensões representam a resposta interna aos esforços externos que atuam sobre uma determinada área em um corpo (CALLISTER, 1997).

A resistência mecânica do polipropileno apresenta um pequeno decréscimo com a inclusão das fibras de coco. Segundo Geethamma et al. (1998), a performance das fibras de coco como reforço em compósitos é insatisfatória mesmo quando comparada com outras fibras vegetais em função de vários fatores como o baixo teor de celulose, altos teores de lignina e hemicelulose, elevado ângulo microfibrilar e alta variação do diâmetro.

Por outro lado, os ensaios mecânicos mostraram em um ligeiro acréscimo do módulo de Young com o aumento da percentagem de fibras de coco; um ganho significativo na resistência ao impacto e na dureza e redução significativa no índice de contração. Isso pode significar que a fibra de coco pode representar um potencial elemento modificador para o polipropileno ainda que a adesão da matriz polimérica com a fibra não tenha sido muito eficaz.

O alongamento dos compósitos apresenta um decréscimo significativo à medida que aumenta a concentração de fibras no polímero (Figura 20). O mesmo acontece quando se avalia o índice de contração. Pode-se afirmar que a presença das fibras de coco neste meio atua no sentido de favorecer a estabilidade dimensional do compósito (Figura 21). Na verdade, o PP é muito cristalino e, portanto contrai mais do que um polímero amorfo. As fibras de coco ocupam volume e reduzem o teor de PP no material, reduzindo assim a contração do compósito.

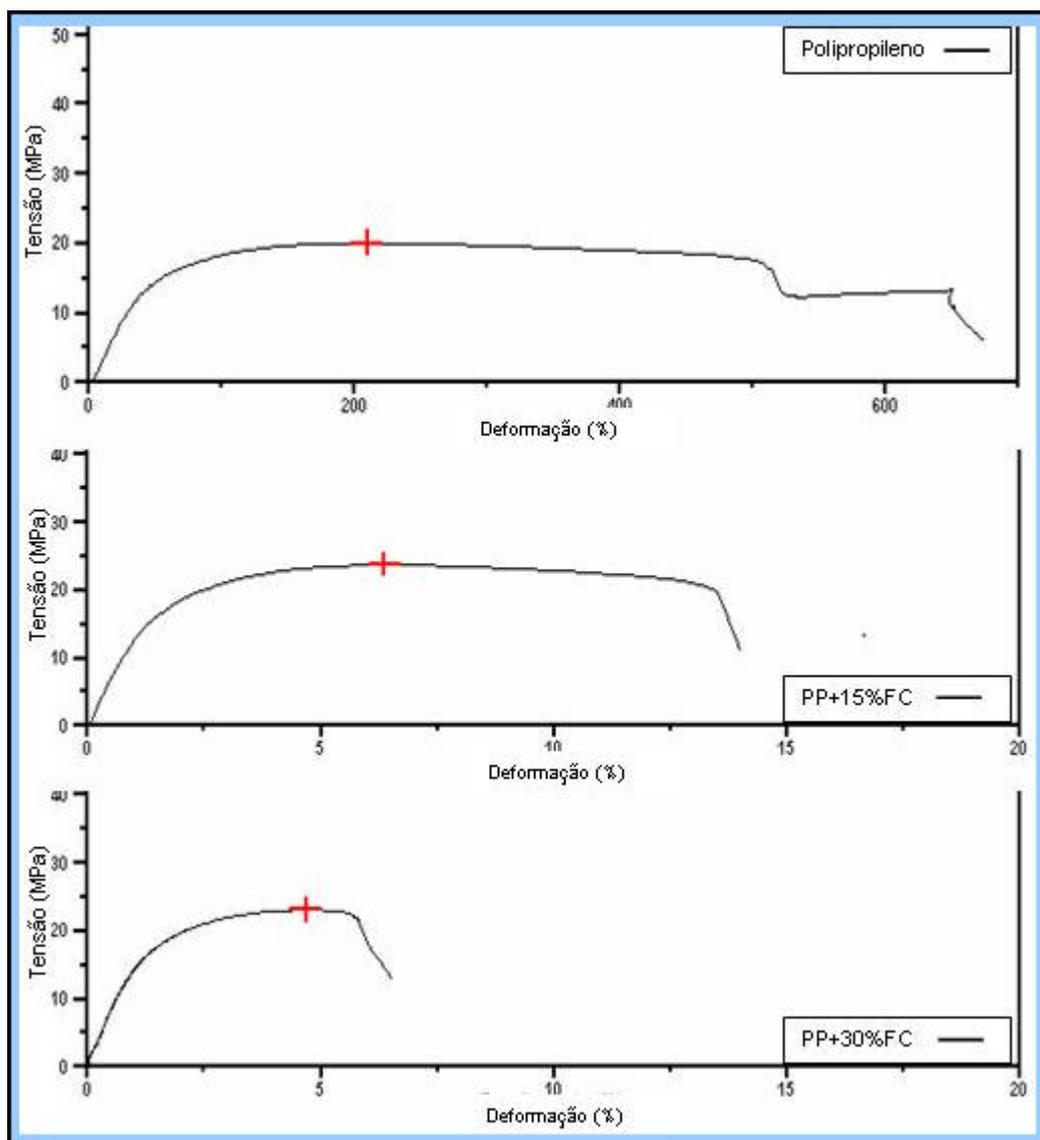


FIGURA 20: Diagrama Tensão x Deformação

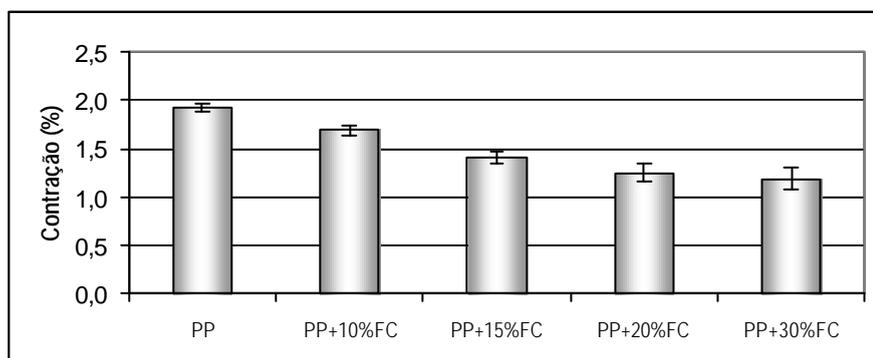


FIGURA 21: Índice de contração dos compósitos PP/Fibra de coco

Outro aspecto relevante para a performance destes compósitos é o aumento da dureza (Figura 22) e da resistência ao impacto (Figura 23), ambos favorecidos pelo aumento da percentagem de fibras de coco nos compósitos. No teste de

impacto, as fibras podem aumentar a resistência ao impacto por dois mecanismos de dissipação de energia:

1. As fibras podem ser arrancadas (pull-out) da matriz e dissipar energia durante a fricção mecânica. Ao mesmo tempo, o seu arrancamento previne a concentração de tensão nas áreas ao longo da fibra;
2. As fibras dissipam energia durante o processo de descolagem (dewetting) tendendo a cessar a propagação da trinca.

As fibras também tendem a reduzir a resistência ao impacto por dois mecanismos:

1. Reduzem drasticamente o alongamento até a ruptura, assim podem reduzir a área sobre a curva tensão-deformação;
2. A concentração de tensão ocorre nas extremidades das fibras, áreas de adesão fraca e regiões onde as fibras se tocam.

Assim, dependendo da natureza do compósito e do tipo do teste de impacto, as fibras podem diminuir ou aumentar a resistência ao impacto (NIELSEN, 1974).

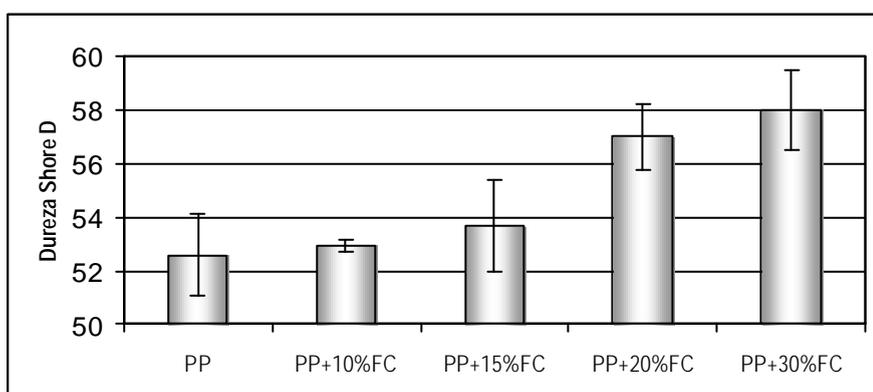


FIGURA 22: Dureza Shore D dos compósitos PP/Fibra de coco

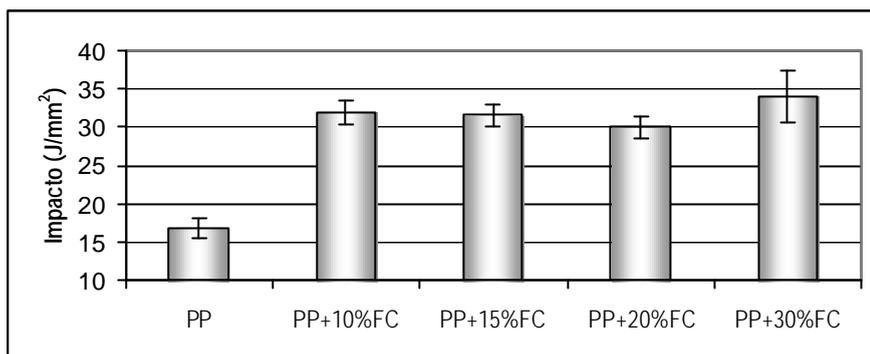


FIGURA 23: Impacto dos compósitos PP/Fibra de coco

A análise termogravimétrica do polipropileno e dos seus respectivos compósitos PP+10%FC e PP+15%FC (Figura 24) mostram que existe uma perda de massa expressiva dos compósitos a partir de 250°C em função do início da degradação das fibras de coco. A perda expressiva de massa do polipropileno só inicia por volta de 350°C. Por outro lado, a presença de fibras de coco no polímero diminui a taxa de perda de massa do material entre 500°C e 800°C.

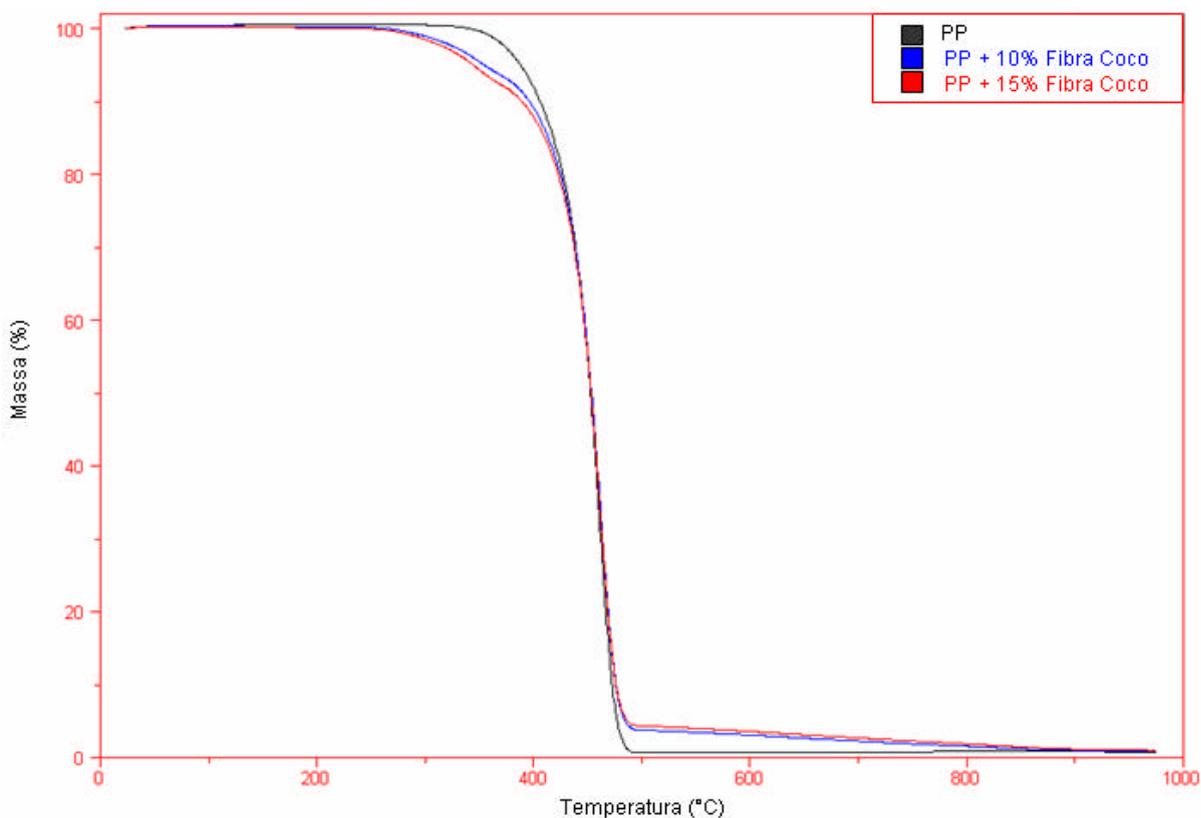


FIGURA 24: Análise Termogravimétrica de PP e compósitos PP+10%FC e PP+15%FC

## 7.7 AVALIAÇÃO DOS COMPÓSITOS POLIPROPILENO/FIBRA DE VIDRO

A avaliação abaixo considera os compósitos comerciais polipropileno + 20% fibra de vidro e polipropileno + 30% fibra de vidro. Estes compósitos terão suas propriedades avaliadas antes e após o processo de extrusão. Objetiva-se com esta análise quantificar qual o impacto sofrido por estes compósitos quando submetidos a este processo. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 10.

TABELA 10: Propriedades dos compósitos PP/Fibra de vidro antes e após o processo de extrusão

	PP + 20% Fibra de Vidro		PP + 30% Fibra de Vidro	
	Sem Extrusão	Com Extrusão	Sem Extrusão	Com Extrusão
Tensão na Ruptura (MPa)	52,3 ± 2,2	50,1 ± 1,1	64,1 ± 1,4	65,4 ± 1,6
Tensão na Carga Máxima (MPa)	55,0 ± 2,2	52,9 ± 0,6	67,4 ± 1,4	68,2 ± 1,0
Módulo de Young (MPa)	4487 ± 497	4753 ± 667	6463 ± 786	6723 ± 454
Alongamento (%)	3,4 ± 0,2	3,7 ± 0,3	3,0 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Impacto (J/mm <sup>2</sup> )	61,5 ± 3,9	58,3 ± 3,9	71,6 ± 2,1	70,1 ± 2,2
Fluidez (g/10min)	10,39 ± 0,12	12,97 ± 0,07	3,50 ± 0,07	5,54 ± 0,02
Dureza Shore D	60 ± 2	60 ± 3	62 ± 1	62 ± 1
Índice de Contração	0,21 ± 0,03	0,23 ± 0,04	0,16 ± 0,04	0,14 ± 0,02

A resistência mecânica do compósito aumentou com o aumento do teor de fibras (Figura 25). A maioria dos artigos cita um aumento apreciável de resistência com o aumento da quantidade de reforço (THOMASON, 1996).

O processo de extrusão a que o material foi submetido não ocasionou alteração significativa nas propriedades mecânicas do material. Fu et al. (2000) encontraram apenas um aumento marginal de resistência à tração com o aumento da quantidade de reforço, para o mesmo sistema compósito, que foi justificado pela redução dos comprimentos médios das fibras nos compósitos com diferentes teores de fibras, ou seja, o efeito do aumento do teor de fibras foi praticamente anulado pela redução do comprimento das fibras.

De fato, o processo de extrusão pode ter contribuído com a diminuição do comprimento médio das fibras o que pode ter ocasionado uma redução dos valores de tensão para o compósito PP+20%FV. Este mesmo fenômeno não foi constatado para o compósito PP+30%FV possivelmente em função do maior teor de fibra de vidro no compósito. A redução no comprimento da fibra durante o processo ocorre através de quebras das fibras nos seus pontos mais fracos ou com falhas (THOMASON, 2002).

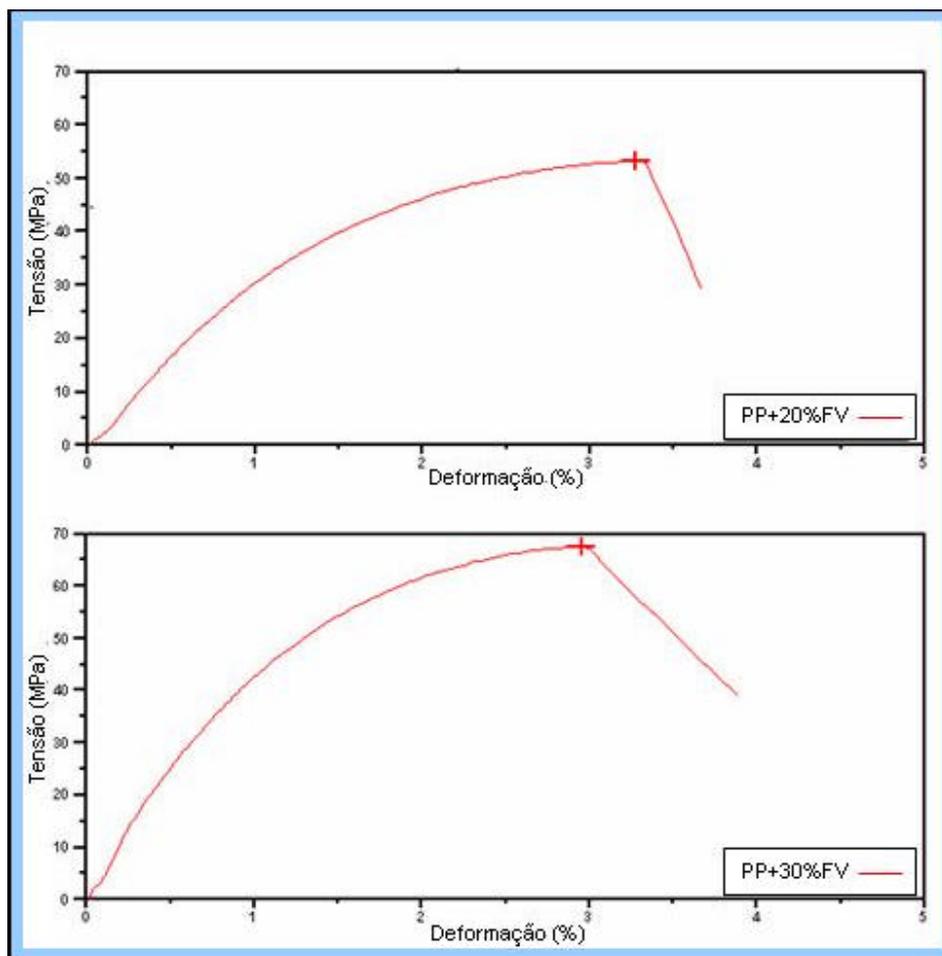


FIGURA 25: Diagrama Tensão x Deformação dos compósitos PP+20%FV e PP+30%FV

Segundo Ota (2004), a distribuição de comprimentos das fibras é significativamente afetada pela moldagem por injeção. Após a injeção a 170°C, o comprimento médio das fibras no compósito PP+20%FV e no seu compósito injetado variou de 1137  $\mu\text{m}$  para 637  $\mu\text{m}$ , enquanto que para o compósito PP+30%FV estas médias foram de 777  $\mu\text{m}$  e 422  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

A Figura 26 ilustra a distribuição granulométrica das fibras de vidro em duas situações distintas: a primeira situação avalia o comprimento das fibras de vidro do compósito comercial PP+20%FV após processamento por extrusão e injeção e a segunda situação avalia o impacto no comprimento das fibras de vidro após processamento do compósito híbrido Dist. C 5%. Objetiva-se a partir desta comparação avaliar qual o impacto da presença das fibras de coco na quebra das fibras de vidro durante os processos de extrusão e injeção dos compósitos.

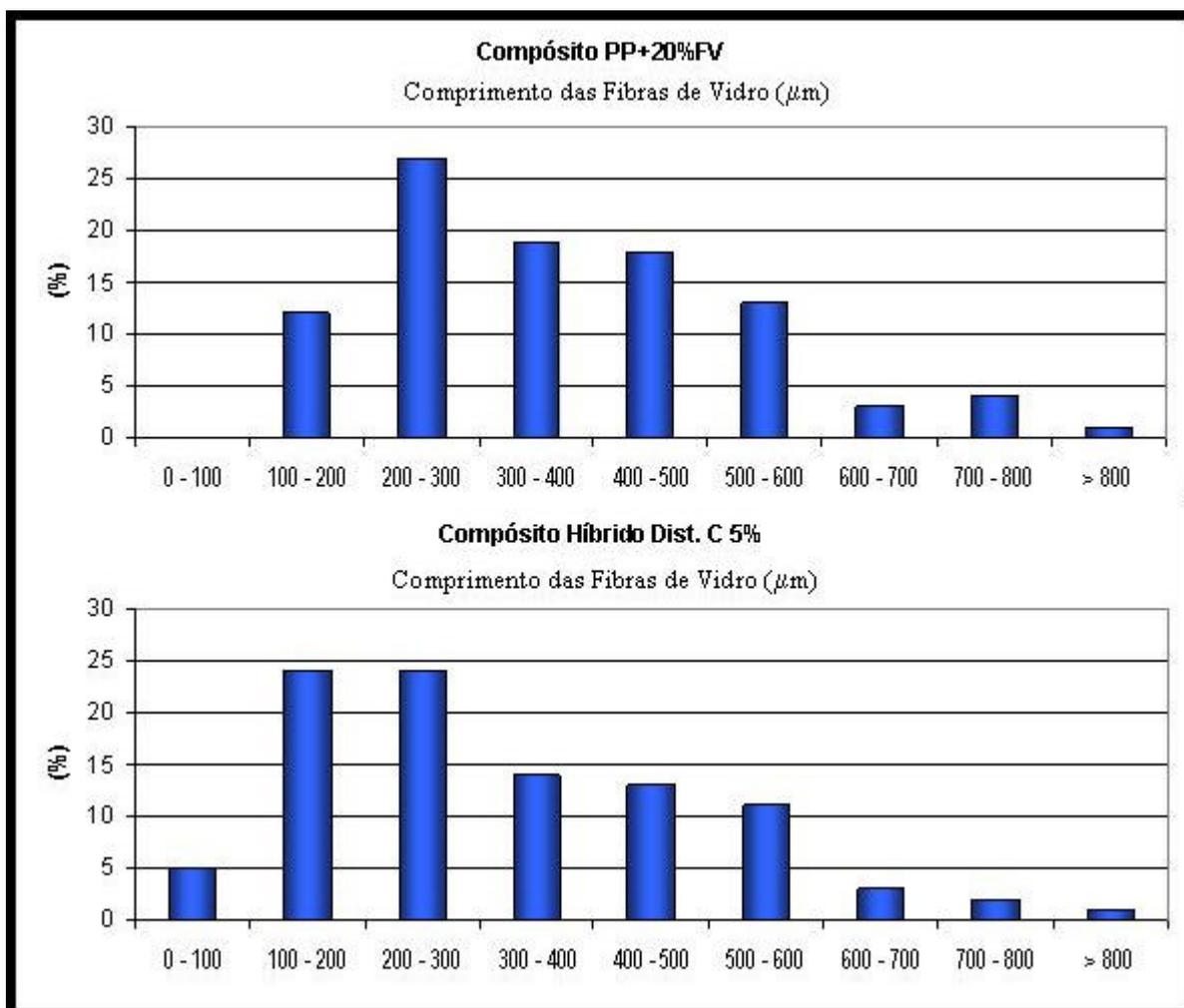


FIGURA 26: Avaliação da presença de fibras de coco na quebra das fibras de vidro durante processamento dos compósitos

De acordo a figura acima, as duas situações são bastante similares, todavia o compósito híbrido com fibras de coco e vidro apresentou um nível de quebra de fibras de vidro ligeiramente maior com comprimento médio de fibras de vidro de 318  $\mu\text{m}$  contra 373  $\mu\text{m}$  para as fibras de vidro provenientes do compósito PP+20%FV. Os diâmetros das fibras de vidro se mantiveram para as duas situações em torno de 27  $\mu\text{m}$ . Isto sugere que a presença de fibras de coco no compósito Dist. C 5% não contribui para preservação do tamanho das fibras de vidro durante o seu processamento.

Neste trabalho foi observado, entretanto, um aumento no módulo de Young de 4487 MPa para 4753 MPa para o compósito PP + 20% Fibra de Vidro e de 6463 para 6723 MPa para o compósito PP + 30% Fibra de Vidro (Figura 27) de onde se

conclui que o processo de extrusão não impacta de forma tão significativa nas características mecânicas do compósito.

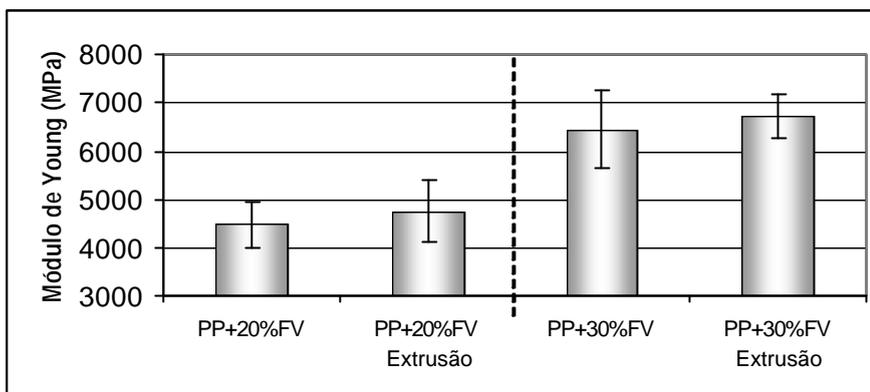


FIGURA 27: Módulo de Young dos compósitos PP/Fibra de vidro antes e após processo de extrusão a 150°C

O parâmetro que obteve alteração mais significativa em função do processo de extrusão foi o índice de fluidez. Um estudo de Hinsken et al. (1991) demonstrou um aumento considerável deste índice para o PP após um ciclo de extrusão adicional a 260°C, o qual passou de 3,1 para 13,8 g/10min em função da quebra de cadeias moleculares que ocasionou diminuição de massa molecular. Neste trabalho, um comportamento similar para o índice de fluidez foi encontrado conforme ilustra a figura 28.

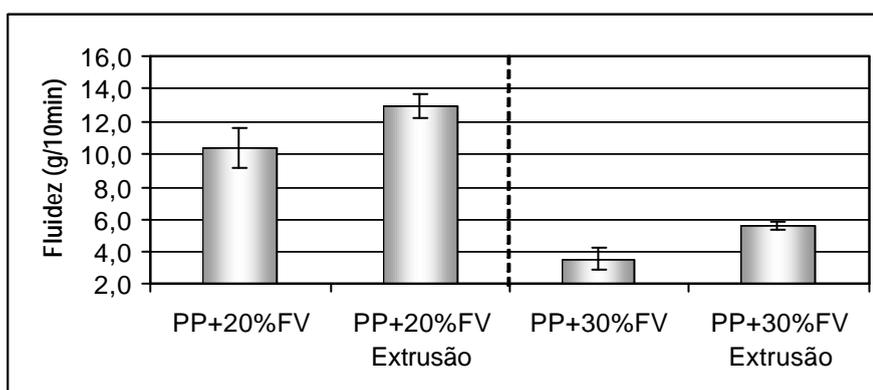


FIGURA 28: Índice de Fluidez dos compósitos PP/Fibra de vidro antes e após processo de extrusão

De qualquer forma, o processo de extrusão é uma maneira bastante eficaz de promover a homogeneização na preparação de compósitos híbridos. A seguir será analisado o comportamento de compósitos híbridos de polipropileno com fibras de vidro e coco. A incorporação das fibras de coco no compósito comercial PP + fibra

de vidro foi realizada por intermédio do processo de extrusão conforme descrito no capítulo 6.

Com relação à análise termogravimétrica destes compósitos, Ota (2004) afirma que a presença de fibras de vidro causa uma pequena alteração na estabilidade térmica do polipropileno, perceptível a partir de 250°C a 300°C, por exemplo, enquanto o PP não reforçado apresenta uma perda de massa de 16%, os compósitos PP+20%FV e o PP+30%FV, perderam 13 e 10% de massa, respectivamente. A 350°C estas diferenças já estão bastante acentuadas, e o PP, PP+20%FV e o PP+30%FV conservam, respectivamente, 27%, 44% e 58% de suas massas iniciais.

Wang et al. (2003) afirmam que a incorporação de fibras de vidro em matrizes de PP/EPDM (etileno-propileno-dieno termopolímero) exerce um importante papel em aumentar a estabilidade térmica do compósito. No caso do PP/EPDM, o aumento da estabilidade é da ordem de 100°C.

A região de ruptura de um corpo de prova do compósito comercial PP+20%FV pode ser verificada através da análise de microscopia eletrônica na Figura 29.

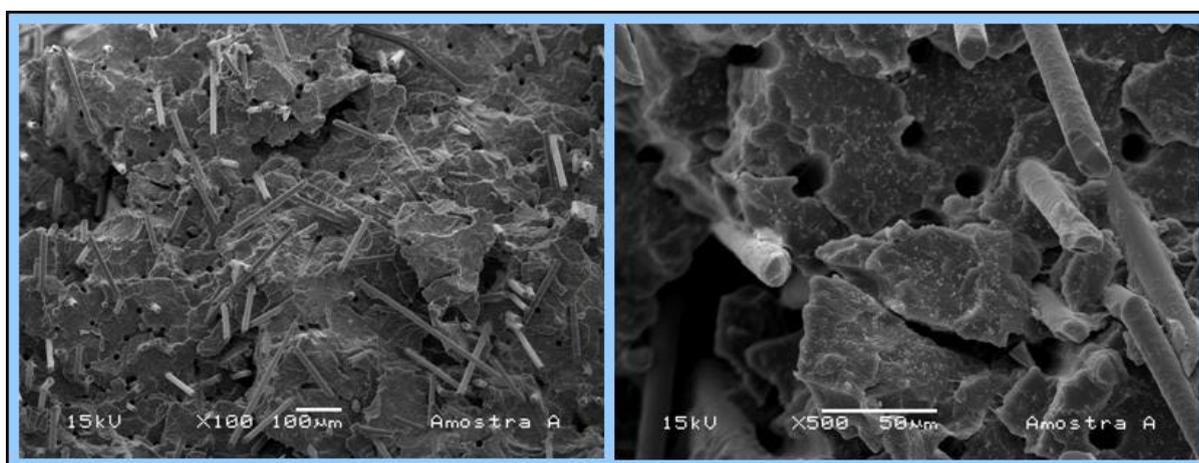


FIGURA 29: Região do ruptura de corpo de prova do compósito comercial PP+20%FV

## 7.8 AVALIAÇÃO DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS POLIPROPILENO COM FIBRAS DE VIDRO E COCO

Segue na Tabela 11 os resultados dos ensaios referentes ao compósito híbrido PP + fibras de vidro e coco resultantes da incorporação de fibras de coco em

um compósito comercial de PP + 20% fibra de vidro. As amostras apresentam uma variação na distribuição do comprimento das fibras de coco (distribuições A, B e C) e ainda uma variação na concentração da solução de hidróxido de sódio responsável pelo tratamento das fibras de coco (1, 2 e 5%).

TABELA 11: Propriedades dos compósitos Híbridos PP/Fibras de vidro e coco

	Distribuição "A"			Distribuição "B"			Dist. "C"
	in natura	NaOH 1%	NaOH 2%	in natura	NaOH 1%	NaOH 2%	NaOH 5%
Tensão na Ruptura (MPa)	33,7 ± 1,4	35,0 ± 1,1	36,7 ± 1,0	35,5 ± 1,4	35,8 ± 0,8	35,4 ± 1,6	36,1 ± 1,0
Tensão na Carga Máxima (MPa)	36,3 ± 1,1	37,8 ± 1,1	39,4 ± 0,8	37,8 ± 1,6	38,7 ± 0,8	37,9 ± 1,3	38,7 ± 0,9
Módulo de Young (MPa)	4006 ± 235	4066 ± 296	4401 ± 259	4055 ± 275	4073 ± 441	4334 ± 321	4210 ± 308
Alongamento (%)	3,0 ± 0,1	3,0 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,4 ± 0,2	2,1 ± 0,2	2,4 ± 0,1
Impacto (J/mm2)	42,3 ± 2,3	42,6 ± 1,2	46,0 ± 2,3	43,5 ± 2,3	45,4 ± 2,6	46,5 ± 1,3	48,4 ± 2,6
Fluidez (g/10min)	11,42 ± 1,40	14,87 ± 0,60	14,73 ± 1,90	11,52 ± 0,75	14,47 ± 1,72	13,78 ± 0,65	14,29 ± 1,84
Dureza Shore D	57 ± 0	57 ± 0	57 ± 2	58 ± 1	58 ± 1	57 ± 1	58 ± 1
Índice de Contração	0,24 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,19 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,23 ± 0,01	0,22 ± 0,02	0,27 ± 0,03

Apesar da maioria dos parâmetros estudados não ter variado significativamente em função da distribuição do comprimento das fibras e do tratamento químico, deve-se ressaltar o comportamento do módulo de Young que é crescente com o aumento da concentração de hidróxido de sódio no intervalo de 1 a 2% (Figura 30).

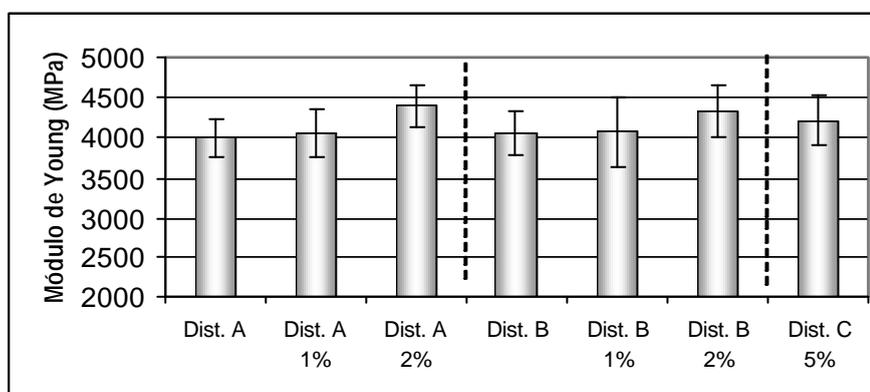


FIGURA 30: Módulo de Young dos compósitos híbridos PP/Fibras de vidro e coco

Os valores de impacto dos compósitos híbridos apresentaram um aumento considerável desta propriedade em função da concentração empregada para o tratamento das fibras de coco bem como em função da distribuição do comprimento das fibras, ou seja, a resistência ao impacto encontrada para o compósito cujas fibras de coco foram tratadas com uma concentração de 5% de NaOH e distribuição

granulométrica “C” é 14% maior que o impacto utilizando nas fibras *in natura* e distribuição “A”, tal como ilustra a Figura 31.

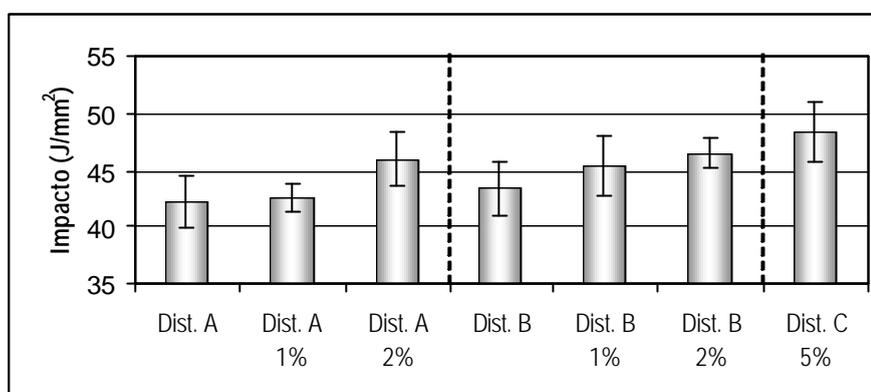


FIGURA 31: Impacto dos compósitos híbridos PP/Fibras de vidro e coco.

O teor de absorção de água num compósito formado por fibras vegetais também é um fator que deve ser observado, uma vez que a absorção de água é uma característica intrínseca destas fibras. Se o compósito absorve uma alta quantidade de umidade, pode, de certa forma, comprometer suas propriedades ao longo do tempo. Esta absorção está diretamente relacionada à própria característica da fibra ou ainda ao processamento do compósito. Dependendo da compactação do compósito, sua estrutura pode se tornar mais ou menos vulnerável à entrada de água. Os ensaios realizados neste trabalho consistiram em medições sucessivas de massa dos corpos-de-prova realizadas semanalmente durante três semanas. A diferença de massa encontrada entre as medições representa o quanto de água que está sendo absorvida pelo compósito. O PP apresentou durante os ensaios uma absorção de água da ordem de 0,01% considerando o estado inicial e a terceira medição realizada 21 dias após o início do ensaio. Da mesma forma, o corpo-de-prova PP+20%FV Extrusão apresentou uma absorção de água da ordem de 0,05%, valor ligeiramente superior ao PP sem reforço. Os compósitos híbridos avaliados apresentaram uma absorção maior que os demais, entretanto podemos considerar estes valores satisfatórios tendo em vista a utilização de uma fibra vegetal. Para a amostra Dist. A 2% foi encontrado o valor de 0,17% de absorção de água; a amostra Dist. B 2% apresentou 0,20% de absorção de água enquanto que a amostra Dist. C 5% apresentou uma absorção de água da ordem de 0,17%. O tamanho das fibras

bem como o tratamento alcalino utilizado não interferiram de forma significativa nos resultados de absorção de água.

A Figura 32 apresenta o acompanhamento do ensaio de absorção de água nos compósitos híbridos. Verifica-se que a absorção de água se dá de forma mais significativa na primeira semana do ensaio. Depois deste período, os valores tendem a se estabilizar.

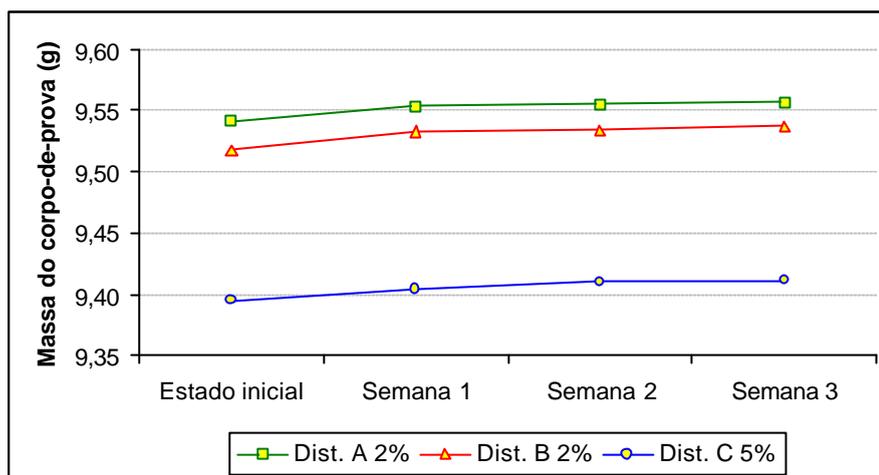


FIGURA 32: Ensaio de absorção de água dos compósitos híbridos

A Figura 33 ilustra a morfologia das fibras de vidro e coco bem como a diferença dimensional entre ambas. Verifica-se na Figura 33a que a fibra de coco é bem maior que a fibra de vidro. Enquanto que a fibra de coco de distribuição “A” (amostra de menor comprimento) tem um comprimento da ordem de 2,1 mm com diâmetro médio de 0,22 mm, a fibra de vidro possui um comprimento da ordem de 1,1 mm (OTA, 2004) com diâmetro médio de 0,03 mm. Na Figura 33b pode-se constatar a morfologia da fibra de vidro bastante regular e cilíndrica. A Figura 33c mostra um corte transversal na fibra de coco ilustrando a sua morfologia irregular e sua complexidade estrutural conforme discutido no capítulo 4.

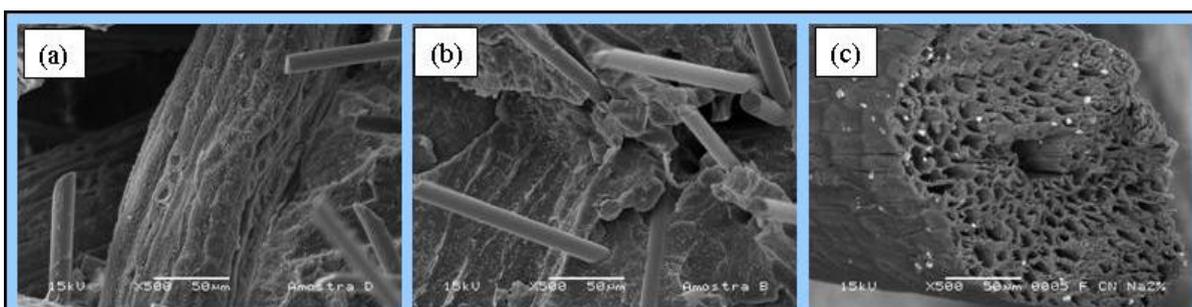


FIGURA 33: (a) Diferença dimensional entre fibras de vidro e coco; (b) Fibra de vidro; (c) Fibra de coco

As propriedades mecânicas de um dado compósito estão diretamente relacionadas à formação de uma boa interface entre as fibras e a matriz, conforme discutido no capítulo 5. A Figura 34 ilustra a dispersão das fibras de vidro e coco no compósito. A Figura 34a ilustra o compósito após processo de extrusão. Verifica-se nesta figura que tanto as fibras de vidro como as fibras de coco estão orientadas no sentido dado pelo processo de extrusão. As Figuras 34b, 34c e 34d mostram a região de ruptura de um corpo de prova (Dist. C 5%) após ensaio de tração. Verifica-se que a região de ruptura é caracterizada por uma densidade de fibras de vidro significativamente maior que fibras de coco. Este situação sugere que exista uma incompatibilidade entre as duas fibras, ou seja, a inserção de fibras de coco neste meio, aliada à diferença dimensional entre as fibras pode ter ocasionado um aumento dos espaços vazios durante a tração deste material, contribuindo inclusive para a diminuição das propriedades mecânicas do compósito comercial PP+20%FV.

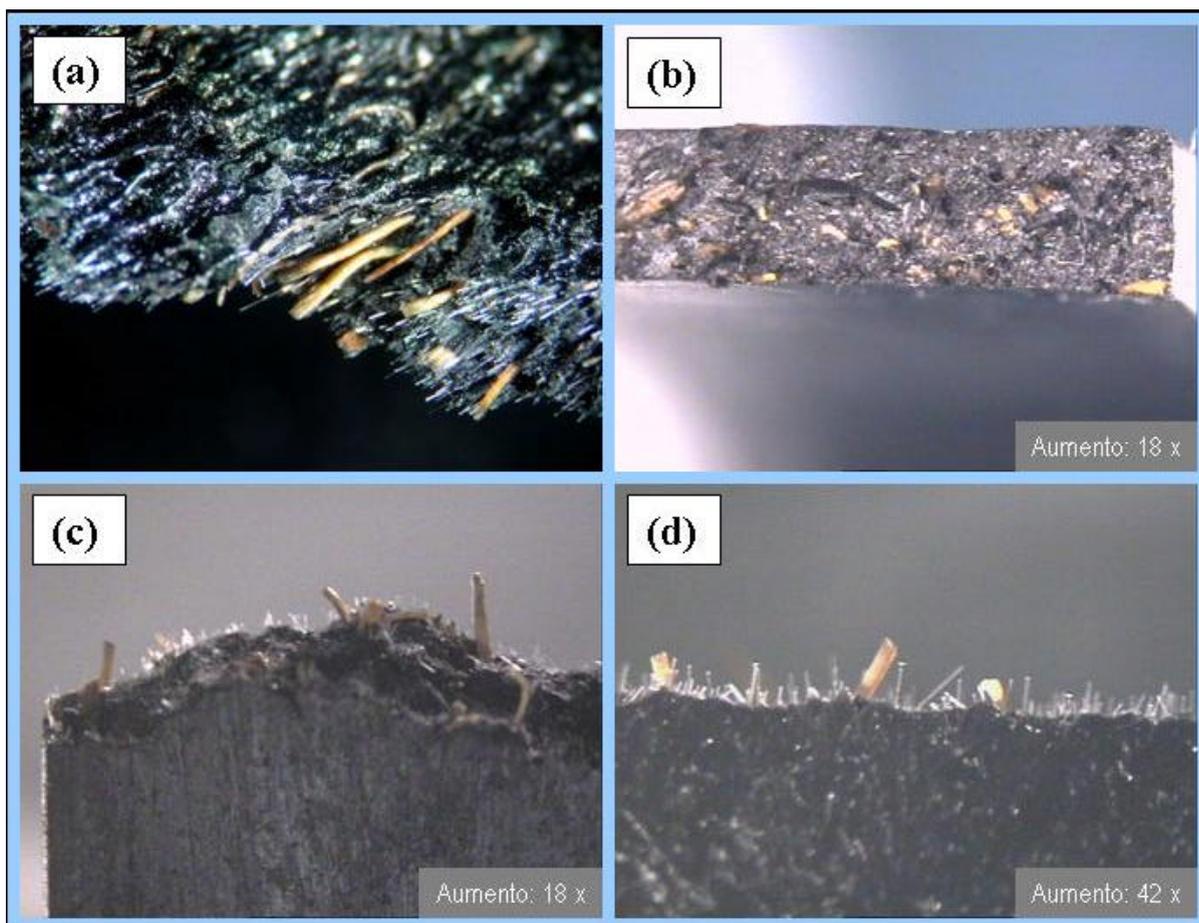


FIGURA 34: (a) Compósito Dist. C 5% após processo de extrusão; (b) Vista frontal da região de ruptura do corpo de prova Dist. C 5%; (c) e (d) Vista lateral da região de ruptura do corpo de prova Dist. C 5%

Uma avaliação mais precisa a respeito da interface das fibras de vidro e coco pode ser feita através da utilização de um microscópio de varredura eletrônica (Figura 35). A figura 35a ilustra a superfície de ruptura de um corpo de prova do compósito híbrido Dist. B 2%. Pode-se verificar a diferença entre a população de fibras de vidro em relação às fibras de coco bem como a divergência dimensional entre as fibras, tema já discutido acima. Na Figura 35b a extremidade de uma fibra de coco após ruptura em teste de tração. Além da extremidade da fibra se caracterizar por uma ruptura forçada, pode-se verificar também que a sua superfície apresenta resíduos da matriz o que sugere que, apesar das propriedades mecânicas não terem sofrido acréscimo significativo, há alguma compatibilidade entre fibra e matriz. As Figuras 35c e 35d também ilustram esta situação na qual houve uma ruptura da fibra de coco pelo ensaio de tração. A Figura 35d ilustra o detalhamento da região de ruptura da fibra. Verifica-se que esta morfologia é bem diferente de quando a fibra de coco sofre ruptura pelo processo de moagem (figura 33c).

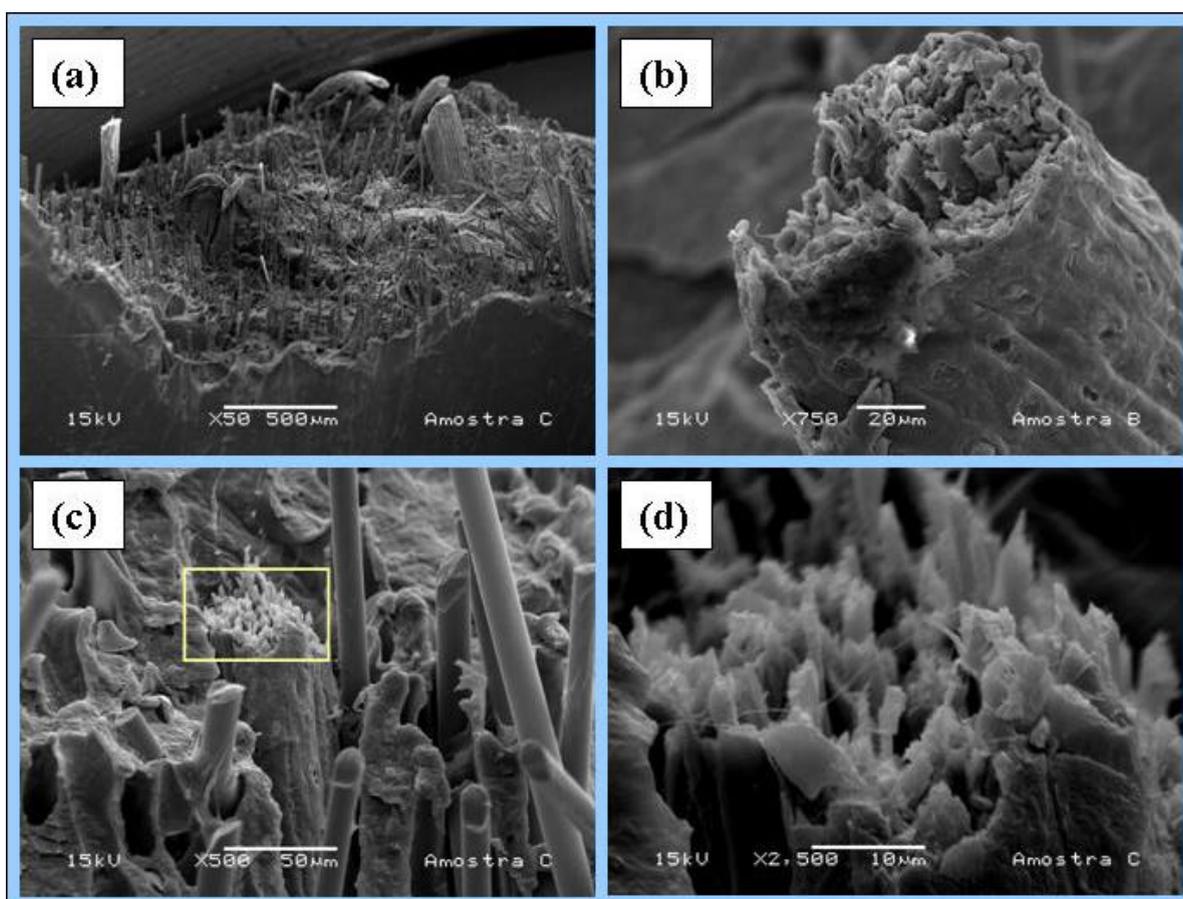


FIGURA 35: (a) Região de ruptura de compósito híbrido Dist. B 2%; (b) e (c) Fibra de coco após ruptura em ensaio de tração; (d) Detalhe da região de ruptura da fibra de coco

## 8. CONCLUSÕES

1. A inclusão das fibras de coco na matriz de polipropileno estudada provoca um aumento no módulo de Young, impacto e dureza, entretanto resulta em uma diminuição dos valores de alongamento e contração. Os valores de tensão sofrem pouca influencia com o aumento da percentagem de fibra de coco na matriz de polipropileno.
2. O processo de extrusão através do qual o compósito foi submetido apresentou pouca influência nas características mecânicas do material, com exceção dos módulos de Young e índice de fluidez que apresentaram um pequeno aumento nestas características evidenciado, principalmente, pela quebra das fibras durante o processo de extrusão.
3. A presença de fibras de coco no compósito PP+20%FV não contribuiu para a diminuição da quebra de fibras de vidro que, naturalmente, ocorre nos processos de extrusão e injeção.
4. As fibras de coco submetidas a um tratamento alcalino com solução de hidróxido de sódio apresentaram alterações significativas em sua morfologia. Enquanto que a fibra “in natura” apresenta uma superfície rugosa e composta por uma grande quantidade de tiloses, as fibras tratadas apresentam uma superfície mais lisa, entretanto, mais severamente atacada, indicando uma solubilização dos extrativos presentes na superfície da fibra e com uma quantidade significativamente menor de tiloses.
5. Os compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco apresentaram uma correlação direta entre a concentração de NaOH e os valores de módulo de Young e resistência ao impacto. As demais características mecânicas por sua vez não apresentaram alterações significativas no sentido de justificar a presença das fibras de coco no compósito. Este fato pode ser atribuído à vulnerabilidade da fibra de coco como reforço em compósitos ou ainda a não utilização de um sistema/processo ótimo para o emprego destas fibras.

## 9. SUGESTÕES

As fibras de coco, material abundante na natureza e com consumo crescente nas grandes capitais, são uma fonte bastante interessante de estudos principalmente pela sua característica de preservação do meio ambiente. Os compósitos híbridos polipropileno e fibras de vidro e coco fruto deste trabalho apresentaram algumas características positivas e que devem ser melhoradas nos próximos trabalhos. Por outro lado, outros parâmetros ficaram abaixo das expectativas e devem ser mais detalhadamente explorados em outras abordagens.

O primeiro tema sugerido para estudos diz respeito ao impacto da utilização de duas fibras tão dimensionalmente diferentes. De um lado as fibras de vidro surgem como um material bastante estável, regular e de dimensões bastante reduzidas quando comparadas com as fibras de coco cuja característica é a dispersão dimensional típica de uma fibra vegetal e com uma dimensão significativamente maior que as fibras de vidro. Possivelmente, esta variação dimensional pode ter afetado de forma significativa as propriedades mecânicas principalmente no ensaio de tração. Por outro lado, os valores de módulo de Young encontrados neste trabalho foram bastante satisfatórios e sugerem que existe a possibilidade da utilização da fibra de coco como um reforço. Neste contexto, sugere-se ainda que sejam estudadas também outras fibras como a fibra de curauá que tem apresentado características mecânicas bastante favoráveis sendo inclusive utilizada já em larga escala pela indústria automobilística.

Uma outra situação a ser avaliada diz respeito aos parâmetros de processo para o tratamento das fibras de coco com hidróxido de sódio. Através da microscopia eletrônica verificou-se que existe de fato um ponto ótimo no qual a fibra de coco possui as suas melhores características de adesão ao polímero. Como sugestão fica a possibilidade de se tratar as fibras com concentrações que variem de 5 a 10 por cento para que se avaliem as características dos compósitos neste tratamento. A utilização de maiores temperaturas de tratamento em tempos menores pode tornar este processo viável em escala industrial.

Outra sugestão a ser considerada é a quantidade de fibra de coco a ser utilizada nos compósitos. Se os compósitos tivessem sido produzidos com uma percentagem maior de fibra de coco da ordem de 20 a 30 por cento, talvez os compósitos pudessem ter características mais expressivas sejam elas favoráveis ou contrárias à utilização das fibras de coco. A utilização da ordem de 10 por cento de fibras de coco deixou os resultados muito próximos uns dos outros o que de certa forma dificultou a tomada de decisões e a análise dos parâmetros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. **Analysis and Performance of Fiber Composites**. John Wiley & Sons, ed. 1, New York, USA, 1980.
2. ALBUQUERQUE A. C.; JOSEPH K.; DE CARVALHO L. H.; D'ALMEIDA J. R. M. Effect of wettability and ageing conditions on the physical and mechanical properties of uniaxially oriented jute-roving-reinforced polyester composites. **Composites Science and Technology**, 60(6), pp. 833-844, 2000.
3. ALLEN, S. M.; THOMAS, E. L. **The structure of materials**, John Wiley & Sons, 1999.
4. AMIM, P. R. P.; PACHECO, E. B. A. V. Mistura Polipropileno e fibra de coco. **Jornal de Plásticos**, jun.2004.
5. AMICO, S. C.; SYDENSTRICKER, T. H. **Desenvolvimento de compósitos híbridos polipropileno/fibras de coco e de vidro para aplicações de engenharia**, Curitiba, 2005. 21 f. Projeto de Pesquisa - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná.
6. APC (American Plastic Council). **Plastic vehicles: making inroads in the automotive world, April 1999**. Disponível em: <www.americanplasticscouncil.org>. Acesso em 24 set. 2006.
7. AZUMA, J.; NOMURA, T.; KOSHIJIMA, T. Lignin-carbohydrate complexes containing phenolic acids isolated from the culm of bamboo. **Agric. Biol. Chem** v. 49, p. 2661-2669, 1985.
8. BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
9. BARROSO, T.; COSTA, V. **Cooperativa de vendedores de coco vai utilizar tecnologia da Embrapa**. Disponível em <www.embrapa.br/noticias/>. Acesso em 07 jun. 2006.
10. BISMARCK A.; MOHANTY A. K.; ARANBERRI-ASKARGORTA I.; CZAPLA S.; MISRA M.; HINRICHSEN G.; SPRINGER J. **Surface characterization of natural fibers; surface properties and the water up-take behavior of modified sisal and coir fibers**. *Green Chemistry*, 3(2), pp. 100-107, 2001.
11. BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composite Reinforced with Celulose Based Fibers**. *Prog. Polym. Sci.*, Elsevier, v.24, p.200-272, 1999.
12. BMW GROUP, **Renewable raw materials in car production**. Disponível em <<http://www.nfcc.co.uk/nfcclibrary/productreport/download.cfm?id=78#search=%22bmw%20renewable%20raw%20materials%22>>. Acesso em 09 set. 2006
13. BODIG J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. Krieger Publ. Comp. Malabar, 1993.

14. BRAHMAKUMAR M.; PAVITHRAN C.; PILLAI R. M. Coconut fibre reinforced polyethylene composites: Effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. **Composites Science and Technology**, 65(3-4), pp. 563-569, 2005.
15. BROWNING, B. L. **The Chemistry of Wood**. New York, Interscience, 1963.
16. CALADO, V.; BARRETO, D. W.; D'ALMEIDA, J. R. M. The effect of a chemical treatment on the structure and morphology of coir fibers. **Journal of Materials Science Letters**, p. 2151-2153, 2000.
17. CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**, ed. 4, John Wiley & Sons, USA, 1997.
18. CHAND, N. TIWARY, R. K., ROGHATI, P. K. Bibliography: Resource Structure Properties of Natural Cellulosic Fibres. In: Annotated Bibliography. **Journal of Materials Science**, v.23, n.2, 1988.
19. CHAND, N; VERMA, S.; KHAZANCHI, A. C. SEM and Strength Characteristics of Acetylates Sisal Fiber. **Journal of Materials Science Letters**, Chapman and Hall, v.8, p. 1307-1309, 1989.
20. CHOUDHURY, N. R.; CHAKI, T. K.; BHOWMICK, A. K. **Thermal characterization of thermoplastic elastomeric natural-rubber polypropylene blends**, *Thermochemica Acta*, 176: 149-161, 1991.
21. COLLYER, A. A.; CLEGG, D. W. **An introduction to fiber reinforced thermoplastics**, Sheffield City Polytechnic, Sheffield, UK, 1995.
22. DAVIS, H. E.; TROXELL, G. E.; HAUCK, G. F. W. **The testing of engineering materials**, ed. 4, p. 371, McGraw-Hill, USA, 1982.
23. D'ALMEIDA, J. R. M. **Propriedades mecânicas da fibra de juta**, Ciência e Cultura, IMEIRJ, Rio de Janeiro, 1987.
24. DENCE, C. W.; REEVE, D.W. **Pulping bleaching: Principles and Practice**. Atlanta: Tappi, 1996.
25. ELMAJDOUBI, M.; VU-KHANH, T. **Effect of cooling rate on fracture behaviour of polypropylene**, Elsevier Science, Canada, 2003.
26. FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Walter de Gruyter, USA, p. 66-100, 1989.
27. FERREIRA, J. A.; COSTA J. D.; REIS P. N. B. **Static and fatigue behaviour of glass-fibre-reinforced polypropylene composites**, Elsevier Science, Portugal, 1999.
28. FIEBIG, J.; GAHLEITNER, M.; WOLFSCHWENGER, J. **Ageing of polypropylene: processes and consequences**, *Polymer Testing*, p. 257-266, 1999.

29. FOLKES, M. J. **Short Fiber Reinforced Thermoplastics**. Research Studies Press, ed. 1, England, 1985.
30. FOUCHE, G. Polymer engineering and science. **An overview of the basic aspects of polymer adhesion. Part 1: fundamentals**. Jun. 1995, v. 35, n. 12. Centre de Recherche Paul Pascal, France.
31. FU S. Y.; LAUKE, B.; MADER, E.; YUE CY; HU, X. **Tensile properties of short-glass-fiber and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites**, Compos Part A Appl S 31 (10): 1117-1125, 2000.
32. FUNCK, R.; STEFFENS, M. Como obter peças estruturais leves e de alto desempenho a partir de compósitos termoplásticos. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo, n.89, p. 32-39, jan. 2006.
33. GEETHAMMA, V. G., MATHEW, K. T., LAKSHMINARAYANAN, R., THOMAS S. Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre. **Polymer**, Great Britain, v. 39, n. 6-7, p. 1483-1491, 1998.
34. GHAVAMI K.; TOLEDO FILHO R. D.; BARBOSA, N. P. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres, **Cement and Concret Composites**, v.21, p. 39-48, 1999.
35. HAMADA, H.; FUJIHARA, K.; HARADA, A. **The influence of sizing conditions on bending properties of continuous glass fiber reinforced polypropylene composites**, Elsevier Science, Japan, 2000.
36. HEITZMANN, L. F. et al. **Aplicação de materiais de fontes renováveis na indústria automobilística** – Daimler Chrysler do Brasil Ltda. SIMEA, 2001.
37. HEMAIS, C. A., BARROS, H. M., PASTORINI, M. T. O Processo de Aquisição de Tecnologia pela Indústria Petroquímica Brasileira. **Polímeros**, São Carlos, v.11, n.4, 2001.
38. HEMAIS, C. A., Polímeros e a Indústria Automotilística. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.13, n.2, p. 107-114, 2003.
39. HERRERA-FRANCO, P. J., VALADEZ-GONZÁLEZ, A. **Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites**, 2003.
40. HILL CAS, KHALIL HPSA. **Effect of fiber treatments on mechanical properties of coir or oil palm fiber reinforced polyester composites**. Journal of Applied Polymer Science, 78(9), pp. 1685-1697, 2000.
41. HINSKEN, H.; MOSS, S.; PAUQUET JR, ZWEIFEL, H. **Degradation of polyolefins during melt processing**. Polymer degradation and stability, 34 (1-3), p. 279-293, 1991.
42. HOMMA, A. K. O. **O desenvolvimento da agroindústria no estado do Pará**. Disponível em <[http://www.cpatu.embrapa.br/pup\\_outros/rev20011213\\_08.pdf](http://www.cpatu.embrapa.br/pup_outros/rev20011213_08.pdf)>. Acesso em 07 set. 2006.

43. HULL, D. **An Introduction to Composite Materials**, Cambridge Univ. Press. Cambridge, UK, ed.1, 1981.
44. IBGE, **Relatório de Produção Agrícola Municipal (PAM/2002)**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2002/default.shtm>>. Acesso em 19 set. 2006.
45. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**. v.3: Reference Manual, p. 1-20, 1996. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6ref1.pdf>>.
46. IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Changes 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, Cambridge University, 2001.
47. JOHN, K., NAIDU, S. V. **Sisal Fiber-Glass Fiber Hybrid Composites -The Impact and Compressive Properties**, 2004.
48. JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: **Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil**, 1996, São Paulo. Anais...São Paulo:EP-USP/Antac, p. 21-30, 1997.
49. JOSEPH, K., MATTOSO, L. H. C. **Recent developments in natural fibre based polymer composites**. In: International Symposium on Natural Polymer and Composites, 4., 2002, São Pedro-SP.
50. JOSEPH, K. et al. **Viscoelastic properties of short sisal-fiber-filled low-density polyethylene composites: Effects of fiber length and orientation materials letters**. Amsterdam: [s.n], 1992.
51. JOSEPH, K. MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados por Fibras Curtas de Sisal. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. out./dez.. p. 136-141, 1999.
52. JOSHI, S. V., DRZAL, L. T., MOHANTY, A. K., ARORA, S. **Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?**, 2003.
53. KALAPRASAD G.; FRANCIS B.; THOMAS S.; KUMAR C. R.; PAVITHRAN C.; GROENINCKX G.; THOMAS S. **Effect of fibre length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fibre reinforced low density polyethylene composites**. *Polymer International*, 53(11), pp. 1624-1638, 2004.
54. KASLIWAL, S. G.; JONES, J. W. Misturadores contínuos realizam boa formulação de termoplásticos com fibras naturais. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo, n.83, p. 110-121, jul. 2005.
55. KHEDARI, J.; WATSANASATHAPORN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-base soil-cement block with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n.1, p. 111-116, jan. 2005.

56. KLEBA, I.; ZABOLD, J. Poliuretano com fibras naturais ganha espaço na indústria automotiva. **Revista Plástico Industrial**, São Paulo, n.75, p. 88-99, nov. 2004.
57. KOZLOWSKI, R.; WLADYKA-PRZYBYLAK, M. **Recent developments in composites from natural fibers and polymers**, 2003.
58. LEÃO, A. L.; ROWELL, R.; TAVARES, N. **Applications of natural fibers in automotive industry in Brazil - Thermoforming process**. Science and Technology of Polymers and Advanced Materials, New York, 1998.
59. LEWIN, M.; GOLDENSTEIN, I. **Wood structure and composition. International fiber science and technology series**. USA: Marcel Dekker, v.11, 1991.
60. LIANG, J. Z.; LI, R. K. Y. **Measurement of dispersion of glass beads in PP matrix**, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 20 (8): 630-638, 2001.
61. LOPES, P. E.; SOUZA, J. A. **A influência das condições de processamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibras de vidro**, 1999, Brasil.
62. MANO, E.B. **Polímeros como materiais de engenharia**, Editora Edgar Blücher Ltda, 1991. p. 124-128.
63. MATTOSO, L. H. et al. **Aplicação de fibras de sisal na indústria automobilística para reforço de plásticos**. [s.l]:[s.n], 1998.
64. MARSH, G. Next step for automotive materials, **Materials Today**, v.6, n.4, p. 36-43, abr. 2003.
65. McMULLEN, P. Fibre Resin Composites for aircraft primary structures: a short history, 1936-1984. **Composites**, v. 15, n. 3, jul. 1984.
66. MENDES, J. U. L.; LADCHUMANANANDASIVAM, R.; SILVA, L. C. F.; MARINHO, G. S. **A fibra do coco como isolante térmico**. In: Simpósio Internacional de Engenharia Têxtil, 1, 2000, UFRGN.
67. MISHRA, S.; MOHANTY, A. K.; DRZAL, L. T.; MISRA, M., PARIJA, S.; NAYAK, S. K.; TRIPATHY, S. S. **Studies on mechanical performance of biofibre-glass reinforced polyester hybrid composites**, 2003.
68. MOHANTY A.K.; MISRA M.; DRZAL L.T. **Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview**. Composite Interfaces, 8(5), pp. 313-343, 2001.
69. MOSLEMI, A. A. Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. **Advanced Performance Materials**, v. 6, p. 161-179, 1999.
70. MUKHERJEE, P. S.; SATYANARAYANA, K. G. Structure and Properties of Some Vegetal Fibers. Part 1-Sisal Fiber. **Journal of Materials Science**, Chapman & Hall, v.19, p. 3925-3934, 1984.

71. NIELSEN, L. **Mechanical properties of Polymers and Composites**, v. 2, Marel Dekker Inc, USA, 1974.
72. OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. Curitiba, 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Federal do Paraná.
73. PANDEY J. K.; AHMAD A.; SINGH R. P. **Ecofriendly Behavior of Host Matrix in Composites Prepared from Agro-Waste and Polypropylene**. Journal of Applied Polymer Science, 90(4), pp. 1009-1017, 2003.
74. PASSOS, P. R. A. **Destinação Sustentável de Cascas de Coco Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas**. Rio de Janeiro, 2005. 166 f. Tese (Doutorado em ciências em planejamento estratégico) – Programa de pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
75. PINO, G. A. H. **Biossorção de Metais Pesados utilizando Pó da Casca de Coco Verde (*Cocos nucifera*)**. Rio de Janeiro, 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC – RJ.
76. PRASAD, S. V., PAVITHARAN, ROHATGI, P.K. Alkali treatment of coir fibres for coir-polyester composites. **Journal of Materials Science**, p. 1443-1454, 1983.
77. RAJULU, A. V., RAO, G. B., DEVI, L. G.RAMAIAH, S., PRADA D. S., BHAT, K. S., SHYLASHREE, R. **Mechanical Properties of Short, Natural Fiber *Hildegardia populifolia*-reinforced Styrenated Polyester Co**, 2005.
78. RAY, D.; SARKAR, B. K.; RANA, A. K.; BOSE, N. R. The mechanical Properties of Vinylester Resin Matrix Composites Reinforced with Alkali-Treated Jute Fibers. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Elsevier, v. 32, p. 119-127, 2001.
79. RAZERA, I. A. T., TRINDADE, W. G., LEÃO, A. L., FROLLINI, E. **Jute and Curauá fibers as reinforcement in phenolic and lignophenolic matrix composites**. In: International Symposium on Natural Polymers and Composites, 4., 2002, São Pedro-SP.
80. REDDY, N.; YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for applications. **Trends in Biotechnology**, v.23, n.1, p. 22-27, jan. 2005.
81. REIS NETO, O. P.; **Fundamentos para a viabilidade econômica da utilização de matérias-primas de fontes renováveis na fabricação de bens de consumo**. Campinas, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Deapartamento de Engenharia de Fabricação, Universidade Estadual de Campinas.
82. REZENDE, M.C.; BOTELHO, E. C. O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial. **Polímeros**, São Carlos, v. 10, n. 2, Jun. 2000.
83. ROUT J, MISRA M, TRIPATHY SS, NAYAK SK, MOHANTY AK. **The influence of fiber surface modification on the mechanical properties of coir-polyester composites**. Polymer Composites, 22(4), p. 468-476, 2001.

84. ROWELL, R. M. **Utilization of natural fibers in plastic composites problems and opportunities**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1996.
85. ROZMAN HD, TAN KW, KUMAR RN, ABUBAKAR A, ISMAIL H, ISHAK ZAM, ISMAIL H. **Effect of lignin as a compatibilizer on the physical properties of coconut fiber-polypropylene composites**. European Polymer Journal 36(7), pp. 1483-1494, 2000.
86. SACHS, I. **ECODESENVOLVIMENTO: Crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.
87. SAHEB, D. N.; JOB, J. P. Natural Fiber Polymer Composites: A Review. **Advances in Polymer Technology**. John Wiley & Sons, v.18, n.4, p. 351-363, 1999.
88. SCHWARTZ, M. M. **Composite Material Handbook**, New York, McGraw Hill, 1984.
89. SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. Campinas, 2003. 36 f. Monografia, Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas.
90. SHELDON, R.P., **Composite Polymeric Materials**, ed.1, Applied Sci. Pub., England, 1982.
91. SILVA, A. **Compósitos**. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em <[https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/53756/1/Compositos\\_0.pdf#search=%22comp%C3%B3sitos%22](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/53756/1/Compositos_0.pdf#search=%22comp%C3%B3sitos%22)> Acesso em: 24 set. 2006.
92. SINGLETON, A. C. N., BAILLIE, C. A., BEAUMONT, P. W. R., PEIJS, T. **On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fibre-recycled polymer composite**, 2003.
93. SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry. Fundamentals and Applications**, Academic Press, 2. ed, San Diego, 1993.
94. SUDELLE, B. C., EVANS, W. J., ISAAC, D. H., CROSKY, A., **A survey into the application of natural fibre composites in the automotive industry**. Natural Polymers and Composites, 4, 2002, São Paulo. Anais...São Paulo, 2002. p. 455-460.
95. TANCREZ, J. P; RIETSCH, F; PABIOT, J. **Characterization of fiber length in different types of short-glass-fiber-reinforced polypropylene composites**. 1. Methodology, study on materials before injection, European Polymer Journal, 30 (7): 803-808, 1994.
96. TASSARA, H. **Frutas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/especiais/frutasnobrasil/coco.html>> Acesso em 09 out. 2006.
97. THOMASON, J. L.; SCHOOLENBERG, G. E. **An investigation of glass fibre/polypropylene interface strength and its effect on composite properties**, Composites, Netherlands, 1994.

98. THOMASON, J. L. **The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 1. Tensile and flexural modulus**, Elsevier Science, UK, 1996.
99. THOMASON, J. L. **The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection moulded long and short fibre PP**, Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 33 (12): 1641-1652, 2002.
100. TITA, S. P. S.; PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. Resistência ao Impacto e outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos; Matrizes Termofixas Fenólicas reforçadas com Fibras de Cana-de açúcar. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.12, n.4, p. 288-239, 2002.
101. TOLEDO FILHO, R. D.; GHAVAMI, K.; LIMA, P. R. L. **Flexural toughness of sisal and coconut fibre reinforced cement mortar composites**. 1997.
102. TOLEDO FILHO, R. D. et al. Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres. **Cement and Concrete Composites**, In press, correct proof. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com>> Acesso em 16 nov. 2004.
103. UNICAMP. Instituto de Economia. **Estudo da competitividade das cadeias integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comercio**. Cadeia: Plásticos. Campinas, 2002.
104. VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: O desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. p. 117. São Paulo: Pioneira, 1995.
105. van DAM, J. E. G. et al, Process for production of high density/high performance binderless boards from hole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin. **Industrial Crops and Products**. v.19, n.3, p. 207-216, 2004.
106. WANG W. Z.; TANG, L. X.; QU B. J. Mechanical properties and morphological structures of short glass fiber reinforced PP/EPDM composite, **European Polymer Journal**, 39 (11): 2129-2134, 2003.
107. WAMBUA P, IVENS J, VERPOEST I. **Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?**. Composites Science and Technology, 63(9), p. 1259-1264, 2003.
108. WHELAN, T.; GOFF, J. **Injection Molding of Engineering Thermoplastics**. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.