

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

VERA CRISTINA MARCZUK

**REAPROVEITAMENTO DE PALLETS INDUSTRIAIS PARA
PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS**

**VOLTA REDONDA
2015**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**REAPROVEITAMENTO DE PALLETS INDUSTRIAIS PARA
PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação da Prof^a. Dra. Daniella Regina Mulinari, na área de concentração de Processamentos e Caracterização de Materiais Poliméricos, linha de pesquisa de Materiais Poliméricos.

Orientada:

Vera Cristina Marczuk

Orientadora:

Prof. Dra. Daniella Regina Mulinari

VOLTA REDONDA

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

M316r Marczuk, Vera Cristina.

Reaproveitamento de pallets industriais para preparação e caracterização mecânica de compósitos poliméricos. / Vera Cristina Marczuk. – Volta Redonda: UniFOA, 2015.

67 p. Il.

Orientador(a): Daniella Regina Mulinari

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2015.

1. Materiais compostos - dissertação. 2. Polímeros. I. Mulinari, Daniella Regina. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD 620.118

FOLHA DE APROVAÇÃO

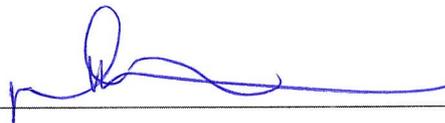
Aluno: Vera Cristina Marczuk

REAPROVEITAMENTO DE PALLETS INDUSTRIAIS PARA PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

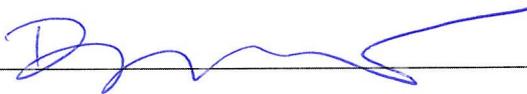
Orientador:

Profa. Dra. Daniella Regina Mulinari

Banca Examinadora



Profa. Dra. Daniella Regina Mulinari



Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato



Profa. Dra. Erica Leonor Romão

A grandeza de uma terra e o grau de civilização de seu povo podem ser julgados pela forma como cuida e se relaciona com seus animais.

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me ensinado através dos tropeços da vida que não se consegue paz, provocando conflito; não se consegue a paciência sem cultivar o equilíbrio; não se colhe amizade sem desenvolver a compreensão; enfim, não se constrói um mundo melhor, sem aprender a amar com a dignidade e a transparência que o verdadeiro amor possui.

À minha mãe que me apoiou em todos os momentos, apegando-se as suas preces que tanto me auxiliaram nas horas difíceis. Agradecer seria muito pouco a dizer para aquela que chorou e sorriu dividindo todos os momentos comigo, para ela só me resta dizer: EU TE AMO. Sei que está olhando por mim aí de cima.

Ao meu namorado Edinho, que teve que conviver sem saber quem iria encontrar quando abrisse a porta, a Vera alegre por estar conseguindo ultrapassar os momentos tumultuados, ou a Vera que em prantos achava que não iria conseguir. Foram momentos difíceis que graças a ele ficaram mais suaves.

À minha orientadora Professora Dr^a Daniella Regina Mulinari pela paciência, apoio e crescimento intelectual facilitando a confecção desta dissertação.

Ao meu sobrinho Rômulo pelas palavras certas na hora exata.

Aos técnicos de laboratório Dirceu e Ricardo pela ajuda nos experimentos.

À Professora Ilda Cecília não pela professora brilhante que sempre nos impressiona com a sua inteligência, mas a Ilda Cecília solidária, companheira, que sempre acreditou em mim.

Obrigada a todos que de certa forma contribuíram para a conclusão deste trabalho, mesmo que essa contribuição tenha sido uma palavra de incentivo.

MARCZUK, V. C. **Reaproveitamento de pallets industriais para preparação e caracterização mecânica de compósitos poliméricos**. 2015. 67 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha. Campus Três Poços. Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda.

RESUMO

Atualmente a preocupação social, política e econômica com a proteção do meio ambiente têm-se refletido na defesa de recursos florestais. Desse modo, a combinação de agentes de reforço naturais e polímeros, de modo a fabricar produtos baratos que substituam os materiais de madeira tradicionais, oferecem diversas aplicações. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos de polipropileno (PP) reforçado com fibras provenientes de pallets industriais de pinus para viabilizar seu uso em caixas para transporte de animais. Devido à falta de compatibilização química das fibras com a matriz foi utilizado polipropileno graftizado com anidrido maléico (PP-g-MA) como agente compatibilizante. As fibras foram misturadas ao PP, nas proporções de 5 e 10 % (m/m). As misturas foram realizadas em um misturador termocinético e, em seguida, foram injetadas para a confecção de corpos de prova. Os compósitos foram caracterizados pelos ensaios mecânicos de tração, flexão, impacto e dureza. Também foi avaliada a absorção de água nos compósitos e a exposição ao intemperismo. Os resultados obtidos revelaram o uso do agente compatibilizante influenciou nas propriedades mecânicas, diferentemente dos demais compósitos não compatibilizados. Foi possível obter materiais mais rígidos e menos deformáveis, que apresentaram propriedades mecânicas adequadas para aplicações, em que o PP é utilizado, a custo mais baixo.

Palavras-chave: polipropileno, *pallets* industriais, agente compatibilizante, propriedades mecânicas.

MARCZUK, V. C. **Reuse of industrial pallets for preparation and mechanical characteristics of composite polymeric.** 2015. 67 f. Dissertação (mestrado profissional em materiais) – Fundação Oswaldo Aranha. Campus três poços. Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda.

ABSTRACT

Currently social concern, political and economic to environmental protection has been reflected in the defense of forest resources. Thus, the combination of natural polymers and reinforce agents, in order to manufacture inexpensive products that replace traditional wooden materials, offer several applications. The objective of this study was to develop and to evaluate the mechanical properties of polypropylene (PP) reinforced with fibers from industrial pallets composites to enable their use in boxes for transport of animals. Due to lack of chemical compatibility of the fibers with the matrix was used maleic anydride popypropylene (PP-g-MA) as coupling agent. The fibers were mixed with the PP in the proportions of 5 to 10% (wt/wt). The mixtures were performed in a thermokinetic mixer and then were injected for obtain specimens. The composites were characterized by mechanical tests of tensile, flexural, impact and hardness. Also it was evaluated the water absorption and the exposure to weathering. Results showed the use of coupling agent influenced the mechanical properties. It was possible to obtain more rigid and less deformable material, presenting mechanical properties suitable for applications in which PP is used, the lower cost.

Keywords: polypropylene, industrial pallets, coupling agent, mechanical properties.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades das fibras naturais quando comparadas às fibras de vidro	25
Tabela 2 - Descrição dos compósitos de PP reforçados com fibras	37
Tabela 3 - Índices de cristalinidade das fibras provenientes de pallets industriais....	44
Tabela 4 - Dimensões das fibras antes a após a mistura com PP	48
Tabela 5 - Valores do limite de resistência à tração	50
Tabela 6 - Valores do limite de resistência à flexão	54
Tabela 7 - Valores do limite de resistência à flexão	55
Tabela 8 - Absorção de água nos materiais	58
Tabela 9 - Resistência à tração dos materiais antes e após o intemperismo.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caixa de transporte de animais domésticos	17
Figura 2 - Esquema de classificação para vários tipos de compósitos	19
Figura 3 - Estruturas isoméricas: polipropileno atático (a); polipropileno isotático (b); polipropileno sindiotático (c).....	23
Figura 4 - Segmento do mercado de produtos em PP.....	24
Figura 5 - Representação provável da interação entre as fibras celulósicas com o PP-g-MA.....	27
Figura 6 - Comportamento tensão-deformação para polímeros frágeis (curva A), plásticos (curva B) e altamente elásticos (curva C).....	30
Figura 7 - Plaina (a) utilizada para obtenção das fibras em flocos (b).....	32
Figura 8 - Fluxograma empregado na metodologia deste trabalho	35
Figura 9 - Homogeneizador (a) e detalhe da cápsula de mistura (b).	36
Figura 10 - Calandra (a); Material obtido após a mistura (b).....	36
Figura 11 - Máquina Injetora	37
Figura 12 - Máquina de ensaio mecânico EMIC.....	38
Figura 13 - Corpo de prova de acordo com a Norma ASTM D638.....	39
Figura 14 - Dispositivo usado para o ensaio de flexão.....	39
Figura 15 - Corpo de prova de acordo com a Norma ASTM D790.....	40
Figura 16 - Máquina PANTEC para ensaio de impacto Charpy	40
Figura 17 - Ensaio de Dureza utilizando um Durômetro.....	41
Figura 18 - Corpos de prova imersos em água para o ensaio de absorção de água	42
Figura 19 - Câmara de intemperismo acelerado marca Equilan	43
Figura 20 - Difratogramas de Raios X das fibras provenientes de pallets industriais	44
Figura 21 - MEV das fibras provenientes dos pallets <i>in natura</i> 50X (a); 100X (b); 500X (c e d); 800X (e); 1000X (f).	46
Figura 22 - Corpos de prova obtidos para os ensaios mecânicos.....	47
Figura 23 - MO dos compósitos: a) CP5%- 50X; (b) CP10%- 50X; (c) CP5%- 50X; (d) CP10%- 50X.....	48
Figura 24 - Comportamento do PP puro e dos compósitos no ensaio de tração	49
Figura 25 - MEV dos compósitos CP10% após o ensaio de tração ampliados 50X (a); 100X (b); 500X(c); 1000X(d)	52

Figura 26 - MEV dos compósitos CPA10% após o ensaio de tração ampliados 50X (a); 100X (b); 500X (c); 1000X (d).....	53
Figura 27 - MEV dos compósitos após o ensaio de impacto: (a, b) CP 5%; (c, d) CP 10%; (e, f) CPA 5%; (g, h) CPA 10%.	56
Figura 28 - Dureza Shore A do PP puro e dos compósitos.....	57
Figura 29 - Absorção de água do PP puro e dos compósitos	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Caixa de transporte para animais	17
2.2	Compósitos poliméricos	18
2.3	Polipropileno como matriz polimérica	21
2.4	Reforço	24
2.5	Modificação química das fibras	26
2.6	Processamento dos compósitos	28
2.7	Propriedades mecânicas	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Materiais	32
3.2	Análise das fibras	33
3.2.1	Difratometria de Raios X (DRX)	33
3.2.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	34
3.3	Obtenção dos compósitos	34
3.4	Ensaio Mecânico dos Materiais Compósitos	38
3.4.1	Tração	38
3.4.2	Flexão	39
3.4.3	Impacto	40
3.4.4	Dureza	41
3.5	Morfologia e microestrutura dos materiais	41
3.6	Estudo de absorção de água	42
3.6.1	Exposição ao intemperismo acelerado	43
4	RESULTADOS	44
4.1	Análise das fibras	44
4.1.1	Difratometria de Raios X (DRX)	44
4.1.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	45
4.2	Obtenção dos compósitos	47
4.3	Ensaio de tração	49
4.4	Ensaio de flexão	54
4.5	Ensaio de impacto	54

4.6	Ensaio de dureza	57
4.7	Estudo de absorção de água	58
4.8	Exposição ao intemperismo acelerado.....	59
5	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil descarta cerca de 250 mil toneladas de lixo diariamente, sendo que destes, cerca de 7,5 mil toneladas são compostos de plásticos. Desta forma, as indústrias passaram a investir na busca de novas técnicas e tecnologias para atividades e a considerar também a variável ambiental em suas estratégias de produção.

Dessa tomada de consciência ambiental, o uso de madeira plástica tornou-se uma solução viável economicamente, competitiva e com vantagens quando comparada à madeira convencional.

Este material é chamado de WPC, cuja sigla provém do inglês *Wood polymer composites* (compósitos plástico-madeira) que consiste em um produto inovador por oferecer acabamento estético e beleza para o ambiente, benefício no consumo e compromisso com a preservação do planeta (OLIVEIRA & COSTA, 2013).

A madeira plástica apresenta algumas características interessantes, tais como, são resistentes à corrosão de intempéries, imunes às pragas, cupins, insetos e roedores, livres de manutenção e pintura, mantendo aparência da madeira natural, o que torna uma alternativa ideal para quem colabora com a questão ecológica de forma consciente e lucrativa.

Existem vários produtos obtidos a partir da madeira plástica que vão desde dormentes para ferrovias e tampas de bueiros, até moveis, cercas, bancos, espreguiçadeiras, lixeiras e até artefatos utilizados na construção civil (TRIGUEIRO; BOCARDI, 2012).

Dentre as diversas fibras naturais, destacam-se os pallets industriais, os quais são obtidos de madeira à base de materiais lignocelulósicos. A produção de madeira serrada no Brasil consome em torno de 33,5 milhões de metros cúbicos em toras, gerando aproximadamente metade desse volume em resíduos, que são descartados ou reciclados apenas parcialmente (TROMBETTA, 2010). Então, buscando diminuir esses resíduos as fibras provenientes dos pallets industriais são economicamente viáveis para serem utilizadas como reforço em matrizes poliméricas.

Nessa pesquisa utilizaram-se como reforço fibras provenientes de pallets, que são estrados de madeira utilizados para movimentação de cargas, tendo como função viabilizar a otimização do transporte de cargas através do uso de empilhadeiras.

Desta forma, para ampliar as aplicações das fibras provenientes de pallets automobilísticos foi estudada a viabilidade técnico-científica e definição de parâmetros para desenvolver compósitos de PP reforçados com fibras provenientes de pallets automobilísticos de pinus para aplicações em caixas de transportes de animais.

Para a obtenção dos compósitos foram utilizados os processos de mistura, utilizando um misturador termocinético e de moldagem por injeção, de acordo com as seguintes etapas de desenvolvimento e caracterização:

- 1) Obter, triturar e peneirar as fibras provenientes dos pallets;
- 2) Caracterizar as fibras: Difractometria de Raios X e Microscopia Eletrônica de Varredura;
- 3) Obter os corpos de prova para a realização de ensaio de tração, flexão, impacto e dureza;
- 4) Avaliar o uso do agente compatibilizante na obtenção dos compósitos;
- 5) Analisar as propriedades mecânicas e a fratura;
- 6) Estudar a absorção de água nos compósitos;
- 7) Avaliar a exposição ao intemperismo nos compósitos;
- 8) Avaliar os resultados obtidos;
- 9) Consolidar o conhecimento adquirido dos dados coletados, por meio de publicação em periódicos indexados e congressos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Caixa de transporte para animais

A Caixa de Transporte para Animais Domésticos chamados de *Pet* é muito comum para cães e gatos, principalmente para transportá-los em viagens longas ou simplesmente para levá-los ao veterinário sem acidentes no percurso (Figura 1). Ela permite que o proprietário transporte seus animais com segurança, conforto e evita qualquer transtorno quando o animal está estressado. A maioria das caixas de transportes tem abertura frontal, são versáteis e práticas no dia a dia.

Figura 1 - Caixa de transporte de animais domésticos



No Brasil, viajar com cães soltos dentro do carro é uma infração grave e pode render uma multa, além de causar problemas que podem prejudicar tanto o animal como os seus donos. O certo é transportar os animais de estimação dentro do veículo, no banco de trás, em uma caixa de transporte.

Para Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), que regula a circulação de ônibus intermunicipais no país, o transporte de animais nesses veículos é permitido, desde que sejam observados os locais e os limites máximos de peso e dimensão estipulados para a bagagem, cães e gatos devem ser levados nas caixas de transporte específicas para esses animais.

No caso de viagens de aviões, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) determina que, além da vacina e do atestado, os animais devem ser levados na caixa para transporte de animais, com compartimento de água e comida e um forro (tapete absorvente) para o caso de necessidades, como a de urinar, no bagageiro da aeronave. A regra vale para viagens dentro do Brasil e para os Estados Unidos.

Muitas pessoas acreditam que a caixa de transporte é ruim para o animal, mas a verdade é que quando ele se habitua à caixa de transporte, ele passa a se sentir seguro ao estar nela.

A maioria das caixas de transporte é feita de plástico, que precisa ser rígida, pois o animal pode tentar sair e, se o plástico for maleável, pode dobrar a caixa e causar um incidente. Além disso, a caixa precisa ser bem ventilada, com aberturas laterais e frontalmente fechada por uma grade de metal ou de plástico.

Uma caixa de transporte fabricada com material compósito polimérico poderá ter baixo custo, competir com os materiais tradicionais e diminuir os danos ao meio ambiente, pois utilizará matéria prima proveniente de fontes renováveis, além de permitir que a caixa de transporte seja um acessório fundamental para garantir a proteção e segurança dos animais de estimação.

2.2 Compósitos poliméricos

Os compósitos são produzidos quando dois ou mais materiais são utilizados em conjunto para resultar em uma combinação de propriedades que não pode ser obtida de outra maneira. Estes materiais podem ser selecionados para resultar em combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, densidade, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade (ASKELAND & WRIGHT, 2014).

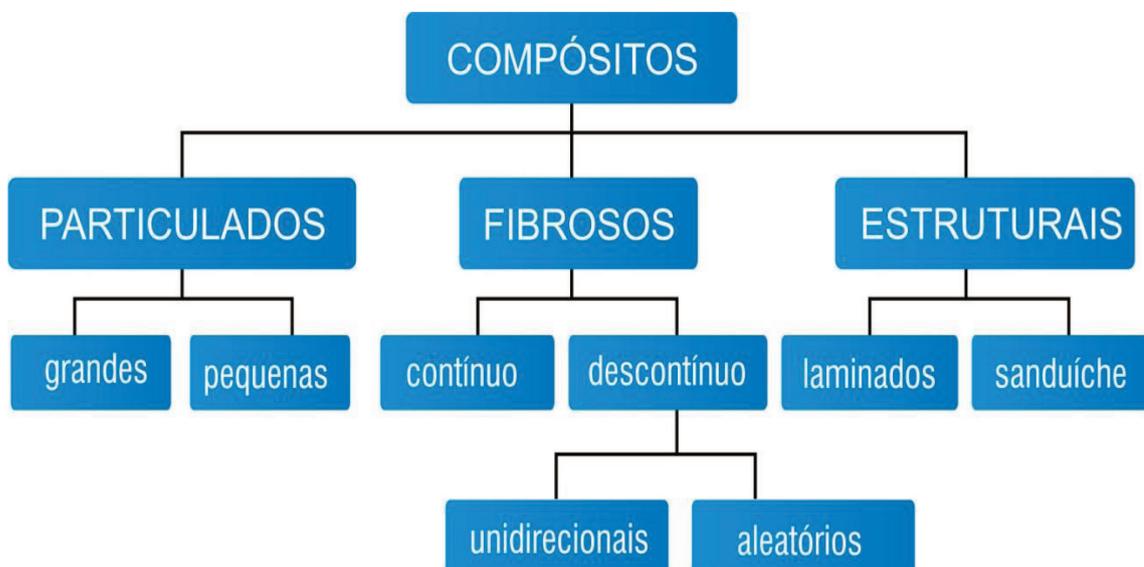
Portanto, a característica principal dos compósitos é combinar, a nível macroscópico, pelo menos duas fases denominadas de matriz e reforço (LEVY NETO & PARDINI, 2006). A matriz tem como principal função distribuir a carga pelo

compósito, enquanto o reforço é responsável por resistir aos esforços solicitados (BENINI, 2011).

As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, suas relativas porções, e a geometria da fase dispersa que compreende o formato de suas partículas, seu tamanho, distribuição e orientação. Existem três tipos de compósitos: reforçados com partículas, reforçados com fibras e estrutural (VENTURA 2009).

Os compósitos podem ser divididos em três classes, dependendo do tipo de reforço utilizado, sendo: compósitos de reforço particulado; compósitos de fibras descontínuas, que podem ser unidirecionais ou aleatórias; e os reforçados com fibras contínuas, podendo ser unidirecionais, bidirecionais ou multidirecionais (FINKLER, 2005). Além disso, existem pelo menos duas subdivisões para cada grupo, como evidenciado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de classificação para vários tipos de compósitos



Fonte: (GONÇALVES, 2010).

Os reforços fibrosos são caracterizados pelo comprimento e muitas vezes pelo diâmetro da secção transversal da fibra. A razão entre estas grandezas (comprimento/diâmetro) é chamada razão de aspecto (RAMIRES, 2010). Os reforços particulados possuem dimensões que são aproximadamente as mesmas em todas

as direções e podem reforçar compósitos com diferentes geometrias. O uso de reforços particulados às vezes resulta em mudança significativa nas propriedades do material final quando comparado à matriz sem reforço (RAMIRES, 2010).

Nos compósitos laminados, é utilizado um único tipo de fibra, que pode apresentar orientações definidas e distintas entre as lâminas. Por outro lado, nos compósitos híbridos são utilizados dois ou mais tipos de fibras de reforço (LEVY NETO & PARDINI, 2006).

Nos últimos anos, o uso de fibras naturais de origem vegetal em compósitos poliméricos teve um crescimento, devido aos aspectos ambientais, sociais e econômicos (MARA, HAGHANI, HARRYSON, 2014). Estes compósitos são uma alternativa viável na substituição, em muitas aplicações, como de polímeros reforçados com fibras de vidro e outras cargas devido às suas características tais como, baixa densidade, abundância e custo (AKIL & ZAMRI, 2014).

Historicamente, diversos pesquisadores têm utilizado fibras particuladas como reforço em termoplásticos (MISSAGIA, 2013; PAES *et al*, 2011; BLEZIK *et al.*, 2005).

Clemons (2002) estudou o uso de pó ou fibras de madeira (2 a 50%) reforçados sobre matrizes termoplásticas (polietileno, polipropileno e poliestireno) e evidenciou um aumento nas propriedades de rigidez à flexão.

Correa *et al.* (2003) avaliaram propriedades mecânicas dos compósitos de poliestireno de alto impacto (HIPS) reforçados com três tipos de resíduos de madeira *Pinus* com e sem tratamento com anidrido maleíco (PP-MAH). Os autores verificaram excelentes resultados com a inserção do compatibilizante PP-MAH.

Khouylou (2006) desenvolveu e comparou propriedades físicas e mecânicas de compósitos com pastas cimentícias (cimento com areia e água) e serragem de madeira sem espécie definida com resina de poliéster insaturado, contendo estireno e/ou metacrilato de metila (MMA). Os resultados mostraram que a resistência à compressão e o módulo de flexão foram comparados às do betão (concreto convencional) de alta qualidade sendo sua porosidade significadamente reduzida.

Ashori e Nourbakhsh (2009) prepararam compósitos de polietileno de alta densidade reciclado e polipropileno reforçados com fibras papel de jornal. Os painéis fabricados foram prensados a quente e a avaliação das propriedades físicas de densidade e absorção de água mostrou que a utilização do polipropileno como agente de acoplamento melhorou a interface entre os elementos constituintes. Foi observado que compósitos feitos de polietileno de alta densidade promoveram propriedades mecânicas superiores moderadas quando comparadas aos compósitos feitos de puro polipropileno.

Hisham *et al.* (2011) desenvolveram materiais compósitos em resina epóxi reforçados com resíduos de produtos de madeira obtidos da indústria madeireira originários de vários tipos de madeira em três tamanhos diferentes. A análise de variância revelou ser significativo o tamanho das fibras na rigidez e resistência à tração, apresentando os maiores valores aos compósitos fabricados com as fibras de maior comprimento.

2.3 Polipropileno como matriz polimérica

Os polímeros são macromoléculas formadas por unidades repetitivas denominadas monômeros. A palavra polímeros vem do grego *poli* que significa muitos e *meros* que significa partes. A nomenclatura utilizada para os polímeros usa o monômero da síntese e não a unidade repetitiva. No caso da nomenclatura do Polietileno, o etileno ($H_2C=CH_2$) é o monômero usado na síntese, apesar da unidade repetitiva da cadeia polimérica ser $(CH_2-CH_2)_n$.

Os polímeros mais usados em compósitos poliméricos são os termoplásticos e os termorrígidos e a sua escolha como matriz polimérica dependerá das suas propriedades físicas, mecânicas e térmicas exigidas para uma determinada aplicação, como também do processo de fabricação escolhido e do custo associado (MULINARI, 2009).

Mulinari (2009) afirma que a principal característica entre os dois tipos de polímeros está no seu comportamento quando aquecido, uma vez que os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes devido às

características de se tornarem fluídos quando estão sob altas temperaturas e depois se solidificarem quando há um decréscimo de temperatura.

A matriz polimérica tem o papel de manter a integridade estrutural do compósito através da ligação com a fase dispersa em virtude de suas características coesivas e adesivas, além de transferir o carregamento para a fase dispersa (BENINI, 2011).

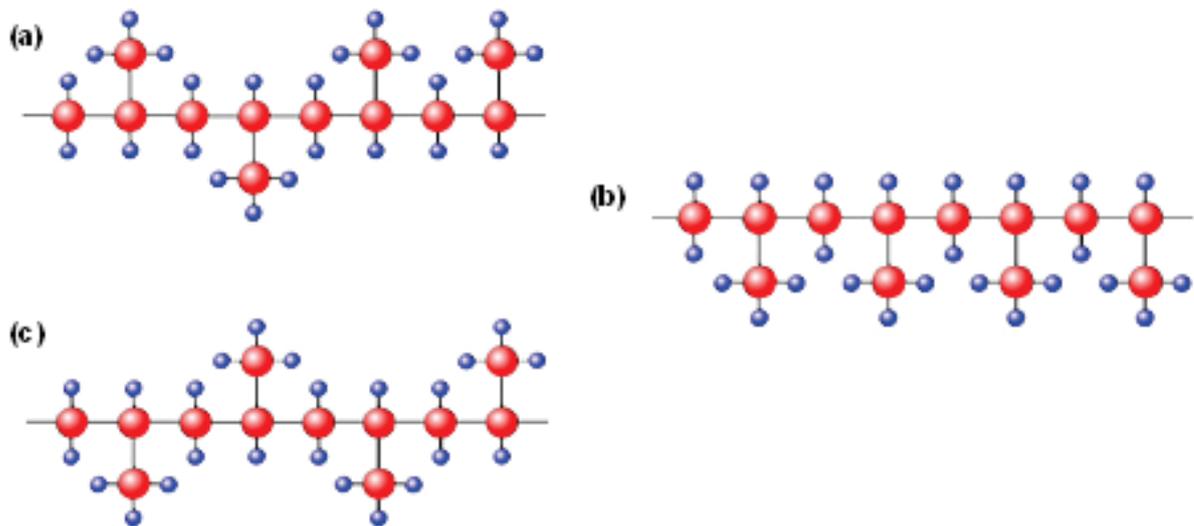
Dentre as matrizes poliméricas, as poliolefinas (PP, PE e PS) têm ganhado destaque, pois correspondem a aproximadamente 60% da demanda de termoplásticos, onde só os polietilenos representam 40% desse valor (REDIGHIERI, 2006).

Nos últimos anos, o polipropileno foi o polímero que apresentou o maior crescimento no Brasil, em face da eficiência das plantas industriais, da grande versatilidade e conseqüentemente pelas várias aplicações possíveis (MORAES, 2013).

Por este motivo foi o material escolhido como matriz para este trabalho, além das suas características atrativas, como baixo custo, facilidade de processamento e reciclagem e também por apresentar boa resistência ao impacto.

O polipropileno (PP) é produzido pela polimerização do propileno, um subproduto gasoso do refino de petróleo, em condições específicas de temperatura e pressão e com uso de catalisador. O polipropileno pode ser atático (Figura 3 a), quando não houver regularidade na disposição do grupo metila; isotático (Figura 3 b), quando todos os grupos metila estão do mesmo lado e no mesmo plano da cadeia polimérica ou sindiotático (Figura 3 c), quando grupos metilas estão dispostos acima e abaixo do plano da cadeia de forma alternada. O polipropileno atático não possui nenhuma ordem em particular.

Figura 3 - Estruturas isoméricas: polipropileno atático (a); polipropileno isotático (b); polipropileno sindiotático (c).

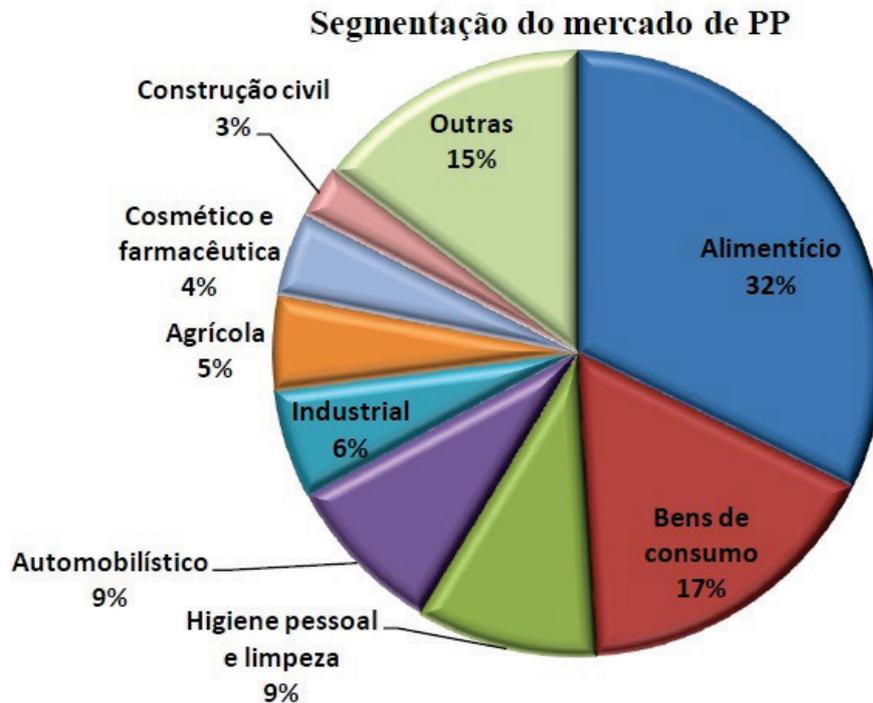


Fonte: (CUNHA, 2010).

Os estereoisômeros apresentam diferenças no comportamento físico e mecânico. As estruturas isotática e sindiotática são cristalizáveis devido à sua regularidade ao longo da cadeia, mas diferem uma da outra em relação às células unitárias e sua temperatura de fusão. O isotático possui um grau de cristalinidade maior, o que resulta em propriedades mecânicas de rigidez e de resistência à tração. O polipropileno sindiotático é menos rígido e apresenta ponto de fusão menor que o isotático, porém possui melhor resistência ao impacto. O polipropileno atático por outro lado é amorfo (HANAMOTO, 2005).

A Figura 4 evidencia a segmentação do mercado de polipropileno. A principal aplicação do PP é no setor alimentício, responsável por 32% do total, as demais são em embalagens, tampas, potes, frascos, garrafas e galões. O setor de bens de consumo contribui com 17%, no qual as principais aplicações são em utilidades domésticas, embalagens e caixas. O setor de higiene pessoal e limpeza e o setor automobilístico contribuem cada um com aproximadamente 9% do mercado (PETRY, 2011).

Figura 4 - Segmento do mercado de produtos em PP.



Fonte: ABIQUIM (2010).

O polipropileno tem sido utilizado como matriz para a obtenção de compósitos reforçados com diversas fibras naturais: sisal/PP (JEENCHAM *et. al.*, 2014), coco verde/PP (ISHIZAKI *et. al.*, 2006) bananeira/PP (BECKER *et al.*, 2011), palmito/PP (PUPO, 2012), bagaço de cana/PP (CERQUEIRA; BAPTISTA; MULINARI, 2011) e outras (EL-SABBAGH, 2014).

2.4 Reforço

Nos últimos anos, as fibras naturais de origem vegetal têm sido amplamente utilizadas como reforço em matrizes poliméricas para obtenção de compósitos, devido às suas características quando comparadas às fibras sintéticas, tais como, biodegradabilidade, baixa densidade, baixa abrasividade e atóxica (DAÍ & FAN, 2014; THAKUR & THAKUR, 2014).

A Tabela 1 apresenta as propriedades típicas de algumas fibras naturais como: linho, cânhamo, juta, rami, coco, sisal e algodão em comparação com a fibra de vidro.

Tabela 1 - Propriedades das fibras naturais quando comparadas às fibras de vidro

Propriedades	Vidro	Linho	Cânhamo	Juta	Rami	Coco	Sisal	Algodão
Densidade (g/cm ³)	2,55	1,4	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,51
Rigidez (GPa)	73	60-80	70	10-30	44	6	38	12
Alongamento na ruptura (%)	1	1,2-1,6	1,6	1,8	2	15-25	2-3	3-10
Absorção de água (%)	--	7	8	12	12-17	10	11	8-25

Fonte: (NALDONY, 2013).

Ashori e Nourbakhsh (2009) avaliaram o uso de material reciclado de fibras de madeira e plásticos para a obtenção de compósitos. Os polímeros utilizados foram o polietileno de alta densidade reciclado e polipropileno. O material lignocelulósico para este estudo consistiu em fibras de papel de jornal. Os painéis fabricados foram prensados a quente e a avaliação das propriedades físicas de densidade e absorção de água mostrou que a utilização do polipropileno como agente de acoplamento melhorou a interface entre os elementos constituintes. Foi observado que compósitos feitos de polietileno de alta densidade apresentaram propriedades mecânicas superiores moderadas quando comparadas aos compósitos feitos de puro polipropileno.

Nadolny (2013) estudou o comportamento dos compósitos com matriz de polietileno de alta densidade - PEAD reciclado, reforçado por diferentes fibras lignocelulósicas (pinus, coco ou eucalipto) buscando o aproveitamento de materiais para gerar produtos de alto valor agregado para aplicações na área da construção civil e arquitetura. Os resultados obtidos apresentaram diferenças nas propriedades mecânicas nos materiais compósitos preparados com as diferentes fibras vegetais testadas. A fibra de eucalipto foi a que apresentou os melhores resultados para os ensaios de absorção de água, tensão no teste de resistência à flexão e tensão na resistência à compressão.

2.5 Modificação química das fibras

Na preparação de materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais deve-se levar em conta a interface entre o reforço e a matriz, região na qual ocorre o contato entre os componentes do compósito, pois a incompatibilidade entre as fases pode conduzir a propriedades mecânicas inferiores.

A região interfacial é responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço e uma adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início das falhas, comprometendo o desempenho dos compósitos (MULINARI, 2009).

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 (MULINARI, 2009).

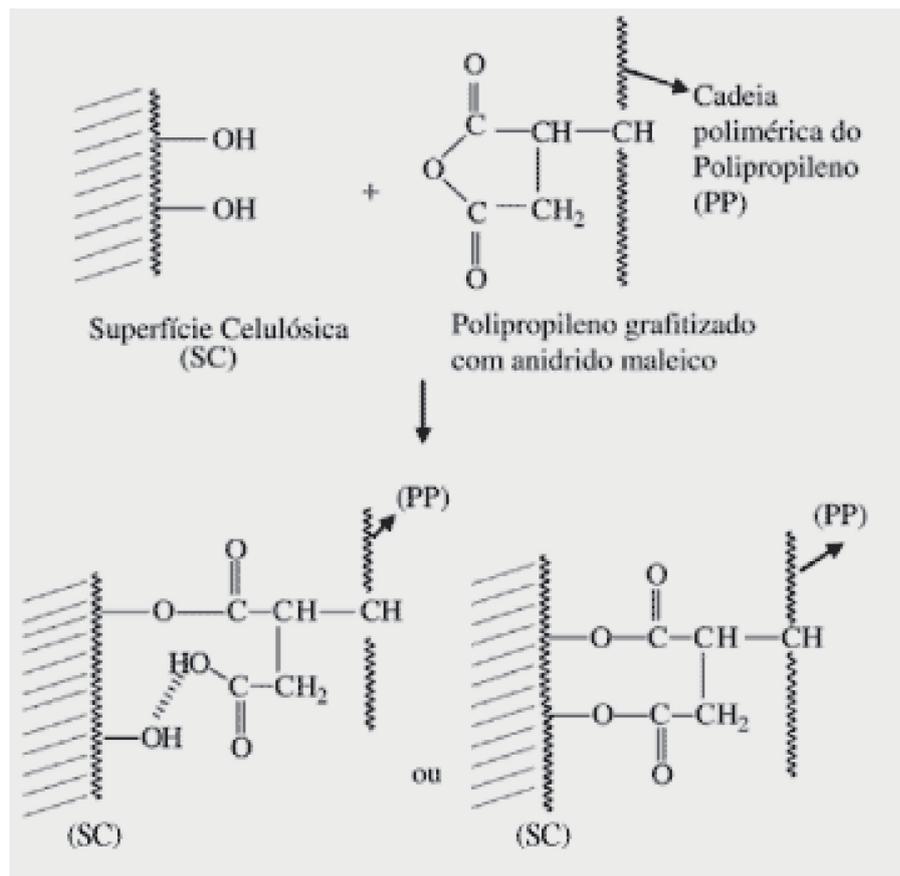
Para aumentar a adesão interfacial entre as fibras naturais e matrizes poliméricas várias estratégias têm sido propostas, dentre elas os tratamentos químicos e/ou uso do agente compatibilizante (EL-SABBAGH, 2014; SHALWAN & YOUSIF, 2014). O agente compatibilizante em contato com a superfície do reforço interage fortemente com as fibras através das ligações covalentes ou ligações de hidrogênio causando uma melhor interação entre fibra e matriz.

As poliolefinas maleatadas são os materiais mais utilizados como compatibilizantes em compósitos reforçados com fibras naturais. O anidrido maléico é utilizado para modificar a poliolefina, tornando-a mais polar e assim, promovendo uma melhor adesão interfacial entre a matriz e a fibra com consequente melhora nas propriedades mecânicas. As poliolefinas maleatadas possuem dois tipos de grupos funcionais, um deles é o da poliolefina, capaz de formar emaranhamentos com a matriz polimérica do compósito e o outro, o anidrido maléico, quando graftizado à poliolefina, é capaz de reagir fortemente, através da formação de ligações

covalentes, com a fibra da celulose nas temperaturas utilizadas no processo de extrusão (NADOLNY, 2013).

A interação covalente ocorre com os grupos hidroxilas da celulose e resulta na formação de um éster de celulose livre de ácido, ligados à cadeia polimérica. A estrutura é mais dispersa na matriz polimérica quando comparada com a fibra de celulose não modificada (NADOLNY, 2013). A Figura 5 mostra um esquema da interação entre a superfície das fibras o PP-g-MA.

Figura 5 - Representação provável da interação entre as fibras celulósicas com o PP-g-MA



Fonte: (Correa et al., 2003)

Do ponto de vista mecânico, os agentes compatibilizantes atuam no sentido de evitar o processo de delaminação da fibra na matriz polimérica que ocorre por incompatibilidade química e acaba comprometendo as propriedades do compósito

devido à transferência ineficiente de esforços na interface fibra-matriz (CORREA *et al.*, 2003).

Teores de 0,5% em massa de anidrido maléico (MA) no polipropileno funcionalizado com anidrido maléico (PP-g-MA) têm sido considerados como suficientes para promover melhorias nas propriedades mecânicas de compósitos.

2.6 Processamento dos compósitos

Durante o processamento dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, o material está sujeito à temperatura, ao esforço de cisalhamento e à maior ou menor exposição ao oxigênio, pois passam diversas fases de processamento para chegar ao seu formato final. As duas principais fases realizadas na fabricação desses materiais compósitos são: mistura (fibra/matriz) e moldagem (DE PAOLI, 2008).

Existe uma ampla variedade de equipamentos de mistura que podem ser utilizados na etapa de mistura, tais como misturadores internos e as extrusoras de rosca simples ou dupla (BENINI, 2011).

A escolha dos equipamentos é fundamental para as propriedades dos compósitos, pois as fibras naturais têm estrutura essencialmente hidrofílica incompatível com as matrizes termoplásticas hidrofóbicas, o que pode ocasionar aglomerados de fibras que prejudicam as propriedades do compósito (BENINI, 2011).

Vários processos de transformação de plásticos têm sido usados na produção de compósitos poliméricos, tais como, o processo de extrusão e o misturador termocinético de alta intensidade (MULINARI, 2009)

Nas extrusoras dupla rosca, duas roscas giram lado a lado dentro de um barril de furo interno e, normalmente, as roscas estão intercaladas. As roscas podem ambas girar no mesmo sentido (corrotacional) ou em sentido oposto (contra-rotacional). A extrusora dupla rosca possui vantagens comparadas à rosca simples, tais como, ação de mistura mais intensa que na extrusora simples, flexibilidade na

configuração da geometria da rosca, dosagem de material em diferentes pontos da extrusora, controle preciso da dosagem através de alimentadores. Outra diferença principal entre essas extrusoras é o perfil de velocidades (MULINARI, 2009).

Por outro lado, o uso de um misturador termocinético de alta intensidade (sistema batelada) permite uma distribuição homogênea das fibras naturais dentro da matriz. No misturador termocinético a fonte de aquecimento é gerada pela alta rotação das palhetas, fazendo com que o material fique em atrito entre as palhetas e as paredes da cápsula de mistura. Essa técnica é muito efetiva na dispersão das fibras no termoplástico, porém a ação do cisalhamento intenso causa uma diminuição no comprimento das fibras no compósito.

Neste trabalho foi utilizado para a obtenção dos compósitos um misturador termocinético de alta intensidade, pois permitiu excelente distribuição homogênea das fibras naturais dentro da matriz.

2.7 Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais são avaliados por meio de ensaios mecânicos padronizados, dentre os quais se destacam os ensaios de sollicitação mecânica sob tração, flexão, impacto, e outros (CANEVAROLO, 2004).

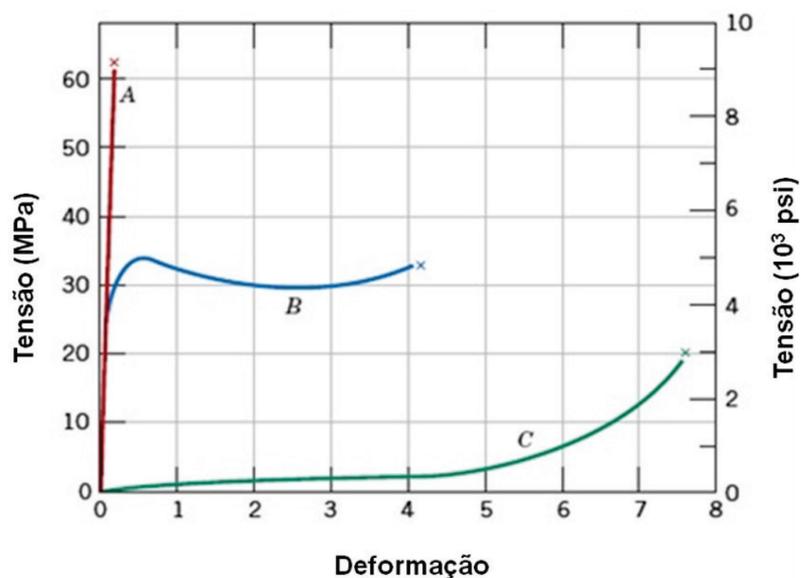
Nos ensaios de tração, os corpos de prova são fixados em dispositivos chamados de garras, as quais são acopladas à travessa fixa e à móvel da Máquina Universal de Ensaios. A taxa de deformação de tração é controlada pelo mecanismo de direcionamento, enquanto a tensão de tração sustentada pela amostra é registrada pela célula de carga.

Os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados através dos ensaios de tração são resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade. A resistência à tração é avaliada pela carga aplicada por unidade de área no momento da ruptura. O alongamento representa aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento da ruptura. Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações

entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio, o qual é conhecido como gráfico tensão-deformação. O módulo de elasticidade ou módulo de Young é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. Para materiais poliméricos as técnicas de ensaio sofrem algumas alterações quanto ao ensaio realizado para materiais metálicos, devido às propriedades específicas dos polímeros (CALLISTER Jr., 2007).

Nesse caso, são encontrados três tipos diferentes de comportamento tensão-deformação para os materiais poliméricos. No gráfico da Figura 6 estão as três curvas que representam os diferentes comportamentos dos polímeros: frágil, plástico e altamente plástico. A curva A é característica de um polímero frágil que sofre fratura enquanto se deforma elasticamente. Para um material plástico, curva B, o comportamento é semelhante àquele encontrado para muitos materiais metálicos, a deformação inicial é elástica, seguida por escoamento e uma região de deformação plástica. O comportamento representado pela curva C é totalmente elástico, típica de materiais como a borracha, apresentada por uma classe de polímeros conhecida como elastômeros (CALLISTER Jr., 2007). Os ensaios de tração para materiais poliméricos são feitos de acordo com o método ASTM D 638-03.

Figura 6 - Comportamento tensão-deformação para polímeros frágeis (curva A), plásticos (curva B) e altamente elásticos (curva C).



Fonte: CALLISTER Jr., 2007.

No ensaio de flexão as propriedades mais interessantes a serem observadas são a resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão, o qual é encontrado da mesma forma que no ensaio de tração, calculando-se a razão entre tensão e a deformação dentro do momento elástico do ensaio. No ensaio de flexão a solicitação mecânica maior será na parte externa do corpo de prova que estará sujeito a dobramento no momento da ruptura. Esse ensaio pode ser realizado com carregamento em um sistema de três pontos e carregamento com sistema de quatro, o segundo possui um tensão aplicada constante (CALLISTER Jr., 2007). Os ensaios são descritos nas normas ASTM D790.

O ensaio de impacto é um ensaio dinâmico empregado para análise de fratura frágil dos materiais. Têm-se dois tipos de ensaios de impacto, Charpy e Izod. A energia gasta no impacto é usualmente dividida pela espessura do corpo de prova na região do entalhe ($J.m^{-1}$), ou pela área original do corpo de prova sem entalhe ($kJ.m^{-2}$). Os ensaios de impacto nesses compósitos são feitos de acordo com o método ASTM D 6110-06.

O ensaio de dureza mede a resistência da superfície de um material à penetração por um objeto rígido. Os ensaios de dureza para material compósito são feitos de acordo com o método ASTM D 2240. Neste tipo de ensaio o indentador é pressionado sobre a amostra por 10 segundos em 5 pontos aleatórios.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a confecção do compósito foram utilizadas fibras descontínuas aleatórias provenientes de pallets industriais, gentilmente fornecidos pela Peugeot, localizada em Resende – RJ. Primeiramente as fibras foram cortadas em uma plaina da Baldan (modelo DPC-4), como evidenciada na Figura 7. Em seguida foram trituradas e peneiradas em uma peneira de 10 e 28 mesh. Posteriormente, as fibras peneiradas foram colocadas em estufa para secagem, com a finalidade de remover umidade.

Figura 7 - Plaina (a) utilizada para obtenção das fibras em flocos (b)



(a)



(b)

O polipropileno utilizado neste trabalho foi fornecido pela BRASKEM. O PP utilizado em grânulos foi o homopolímero H503, indicado para peças injetadas que possui elevada rigidez, excelente resistência ao impacto e boa estabilidade dimensional, segundo o fabricante. O polipropileno graftizado com anidrido maléico (PP-g-MA) foi fornecido pela Epolene.

3.2 Análise das fibras

Para avaliar as propriedades físicas e morfológicas das fibras provenientes dos pallets industriais, as mesmas foram caracterizadas pelas técnicas de Difractometria de Raios X (DRX) e Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

3.2.1 Difractometria de Raios X (DRX)

Os difratogramas de Raios X das fibras provenientes dos pallets industriais foram obtidos para determinar o tipo de estrutura física, ou seja, os parâmetros de redes e os espaçamentos interplanares da rede cristalina do material, permitindo identificá-lo mediante comparação com estruturas cristalinas já conhecidas, determinando se o material é amorfo ou cristalino.

Os difratogramas foram obtidos em um difratômetro de Raios X da marca Shimadzu modelo XDR-6100, disponível no Centro Universitário de Volta Redonda, com fonte de radiação $\text{CuK}\alpha$ e varredura entre 10 e 50°, com passo angular de 5s/ponto de contagem.

Com os resultados obtidos no difratômetro foi possível calcular os índices de cristalinidade das fibras por meio da Equação (1) definida pelo método empírico de Segal *et al.* (1959), que fornece um valor aproximado:

$$I_c = \frac{I_{(002)} - I_{(am)}}{I_{(002)}} \times 100 \quad (1)$$

na qual:

$I_c \rightarrow$ Índice de cristalinidade em porcentagem;

$I_{(002)} \rightarrow$ Pico de intensidade de difração que representa o material cristalino perto de $2\theta = 22^\circ$;

$I_{(am)} \rightarrow$ Pico de intensidade da difração que representa o material amorfo perto de $2\theta = 16^\circ$.

3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura Hitachi-TM-3000, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda, usando elétrons secundários, a fim de obter informações quanto à morfologia das fibras. As amostras foram fixadas em um suporte com auxílio de uma fita de carbono autocolante dupla face e submetidas ao recobrimento metálico com ouro.

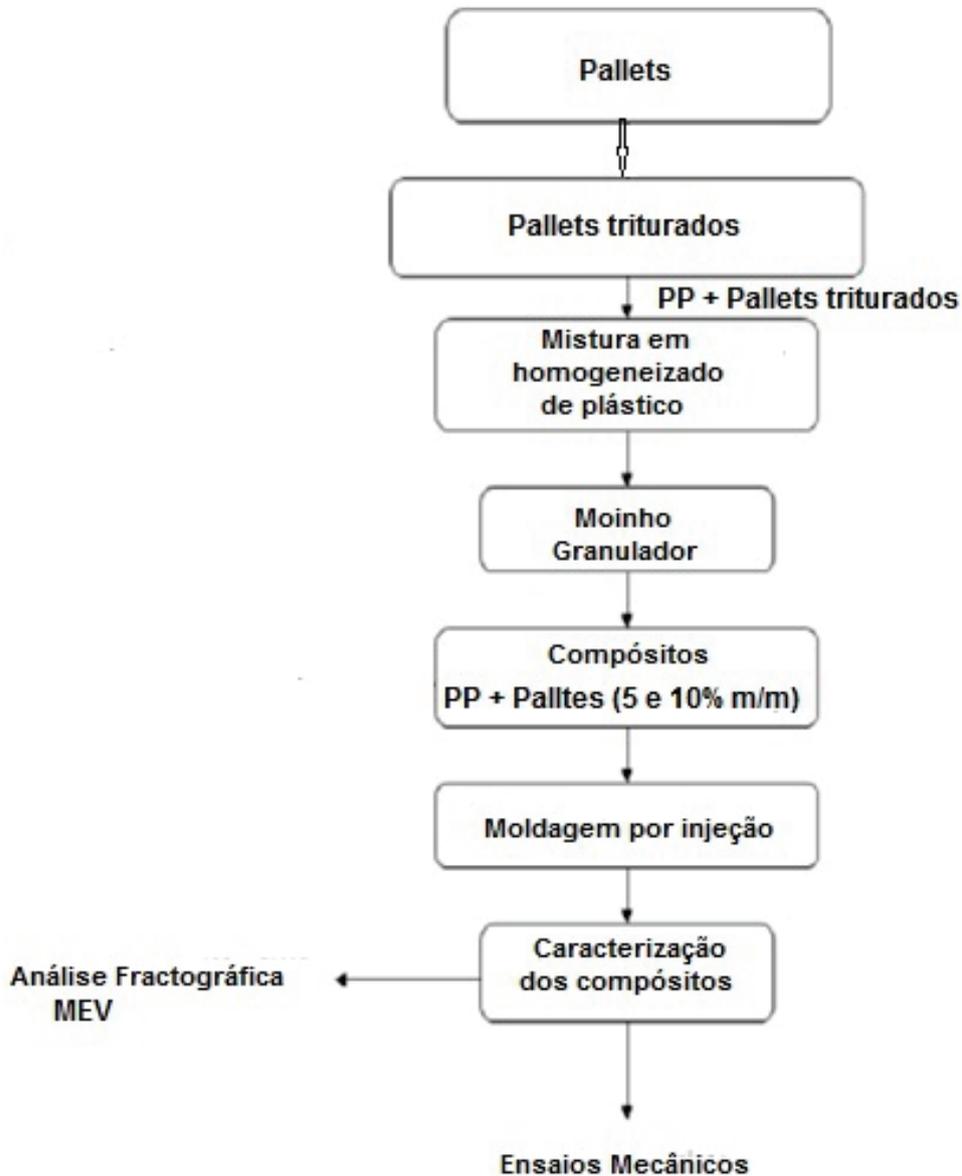
3.3 Obtenção dos compósitos

O processo completo de obtenção dos compósitos foi feito conforme mostrado no fluxograma da Figura 8.

Os compósitos (5 e 10% em massa de reforço) foram obtidos em um homogeneizador para plásticos (dryser) da marca MH Equipamentos (modelo MH-50H), disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA. A mistura entre as fibras e o polímero ocorreu dentro da cápsula bipartida (Figura 9), refrigerada externamente com água.

A mistura fibra/polímero foi realizada por meio da rotação das palhetas que giram com aproximadamente 2600 rpm no primeiro estágio de velocidade, que serve apenas para retirar o motor e o eixo do ponto de inércia, e a 5250 rpm no segundo estágio, para efetuar a mistura do material. O tempo de mistura foi determinado pela própria máquina que ao atingir a rotação máxima necessitava ser desligada. Desta forma, o tempo de mistura variou de acordo com a quantidade de fibra utilizada e com o tempo de operação da máquina.

Figura 8 - Fluxograma empregado na metodologia deste trabalho



Após mistura entre reforço e matriz no homogeneizador “Dryser” (Figura 9), passou-se o material fundido entre rolos de aços inox (calandras), como evidenciado na Figura 10. Posteriormente, o material foi moído em moinho granulador e novamente seco em estufa a 110 °C por 2 h.

Figura 9 - Homogeneizador (a) e detalhe da cápsula de mistura (b).



(a)



(b)

Figura 10 - Calandra (a); Material obtido após a mistura (b)



(a)



(b)

Os compósitos moídos foram injetados em molde contendo cavidades com dimensões específicas para ensaios mecânicos, utilizando uma Injetora RAY RAM - modelo TSMP (Figura 11), disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda. A temperatura do molde durante a injeção foi de 60°C e o perfil de temperatura utilizado para a injeção foi de 300 °C.

Figura 11 - Máquina Injetora



Os compósitos foram obtidos com diferentes proporções de fibras e agente compatibilizante, visando avaliar a interação fibra/ matriz, como evidenciados na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição dos compósitos de PP reforçados com fibras

Amostra	Quantidade de PP (%m/m)	Quantidade de reforço (% m/m)	Quantidade de PP-g-MAH (% m/m)
PP	100	--	--
CP5%	95	5	--
CP10%	90	10	--
CPA5%	94	5	1
CPA10%	89	10	1

CP (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura*); CPA (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura* e compatibilizados com PP-g-MA)

A escolha em estudar 5 e 10% m/m como reforço na matriz de PP, deu-se devido aos resultados obtidos em estudos anteriormente (OLIVEIRA, 2013). Notou-se que quantidade de reforço superior a 10% m/m causa aglomerados de fibras, os

quais agem como concentradores de tensão e conseqüentemente provocam falhas nos materiais compósitos.

3.4 Ensaios Mecânicos dos Materiais Compósitos

3.4.1 Tração

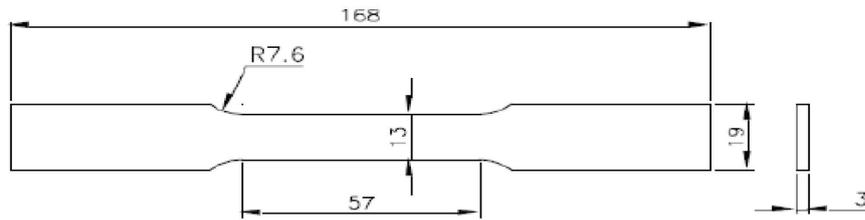
Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, em um equipamento da marca EMIC (Figura 12), com célula de carga de 5 kN.

Figura 12 - Máquina de ensaio mecânico EMIC.



Para cada compósito avaliado, foram ensaiados cinco corpos de prova com dimensões de acordo com a norma ASTM D 638 – 03. O formato e as dimensões em milímetros dos corpos de prova utilizados estão indicados na Figura 13.

Figura 13 - Corpo de prova de acordo com a Norma ASTM D638

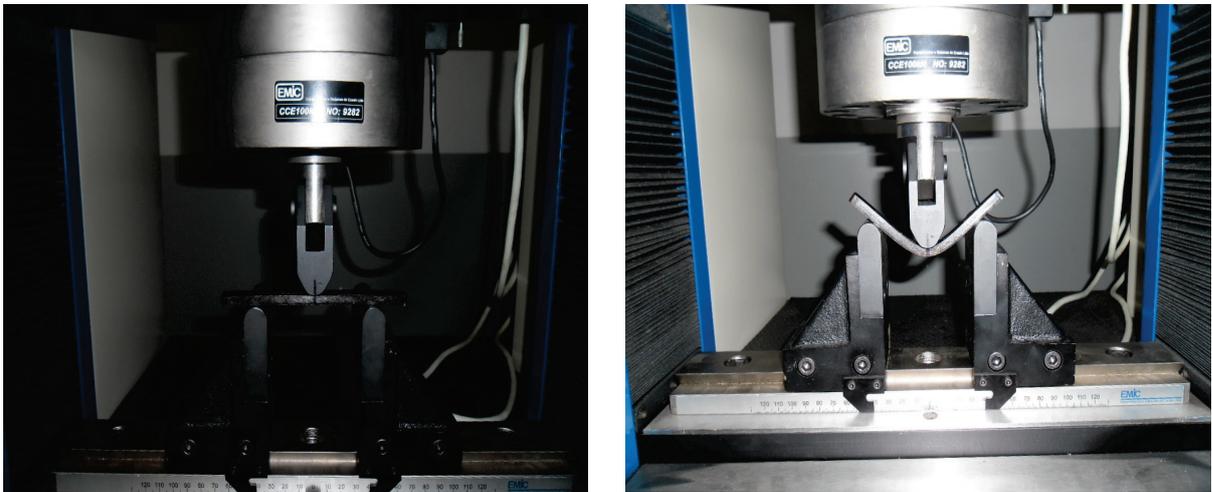


As propriedades mecânicas de resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade em tração foram avaliadas.

3.4.2 Flexão

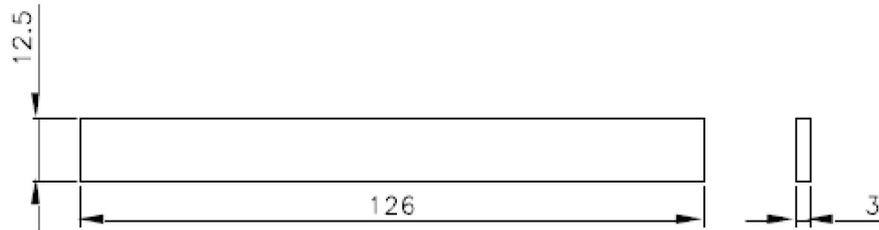
Nos ensaios de flexão foi utilizado um equipamento da marca EMIC (Figura 14), disponível no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA.

Figura 14 - Dispositivo usado para o ensaio de flexão



Foram analisados cinco corpos de prova, com dimensões em milímetros de acordo com a norma ASTM D 790 – 03 conforme evidenciado na Figura 15.

Figura 15 - Corpo de prova de acordo com a Norma ASTM D790



Foram utilizadas a razão L/d (onde L = distância entre apoios) igual a 80 mm, velocidade de ensaio de 2,8 mm/min, com célula de carga de 5 kN. Para o cálculo da tensão de flexão (MPa) foi utilizada a Equação (2):

$$\text{Resistência à flexão} = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (2)$$

Sendo P a carga em Newton, L a distância entre os apoios, b a largura do corpo de prova e d é a espessura do corpo de provas em milímetros. As propriedades mecânicas de resistência à flexão e o módulo elástico foram avaliadas.

3.4.3 Impacto

Os ensaios de impacto foram realizados no Laboratório de Resistência dos Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda, utilizando uma máquina PANTEC PS- 30 do tipo Charpy (Figura 16).

Figura 16 - Máquina PANTEC para ensaio de impacto Charpy



Foram analisados cinco corpos de prova, com dimensões de acordo com a norma ASTM D 6110 – 05 corpos de prova com 12 mm de largura, 55 mm de comprimento e 6 mm de espessura. Foram avaliadas a energia absorvida ao impacto e a resistência.

3.4.4 Dureza

A Dureza Shore permite avaliar a dureza do material e o ensaio foi realizado em um Durômetro modelo MITUTOYO HARDMAC, disponível no Centro de Pesquisa da CSN, Volta Redonda, o qual pode ser visualizado na Figura 17. Por meio da penetração de uma agulha específica através do material é possível determinar a leitura direta da dureza shore, segundo a norma ASTM D2240-05. Para determinação do valor final do resultado, foi feita uma média das 10 leituras efetuadas.

Figura 17 - Ensaio de Dureza utilizando um Durômetro



3.5 Morfologia e microestrutura dos materiais

A morfologia e a microestrutura das fibras provenientes dos pallets antes e após a inserção das mesmas na matriz de PP, bem como os compósitos foram analisadas por Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura para avaliar o comprimento das fibras, a distribuição das fibras dentro da matriz e a fratura dos compósitos.

Os compósitos foram analisados em um microscópio óptico Zeiss Modelo Axiophot, disponível no Centro de Pesquisa da CSN para visualizar a distribuição e o comprimento das fibras dentro da matriz.

Os compósitos fraturados foram analisados em um microscópio eletrônico de varredura Hitachi-TM-3000, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda. As amostras foram fixadas em um suporte com auxílio de uma fita de carbono autocolante dupla face e submetidas ao recobrimento metálico com ouro.

3.6 Estudo de absorção de água

O estudo de absorção de água dos compósitos foi realizado de acordo com a norma ASTM D 570. Os corpos de prova foram medidos, pesados e imersos em água destilada, à temperatura ambiente (Figura 18). Em intervalos de tempo pré-determinados, foram retirados da água, pesados em uma balança de precisão ($\pm 0,1$ mg) e novamente recolocados no banho. Este procedimento foi repetido durante 10 dias. Ao final do ensaio foi obtida a curva de absorção de água (%) *versus* tempo de imersão (dias).

Figura 18 - Corpos de prova imersos em água para o ensaio de absorção de água



Para avaliar a influência da absorção de água nos compósitos sobre a resistência dos mesmos foi realizado ensaio de tração após o estudo.

3.6.1 Exposição ao intemperismo acelerado

O ensaio de exposição ao intemperismo acelerado foi realizado em uma câmara de teste Equilan modelo R576-s disponível no Centro de Pesquisa da CSN (Figura 19).

Para o ensaio de exposição ao intemperismo acelerado, foram utilizados corpos de prova na dimensão dos ensaios de tração, durante 240 horas, a ciclos constante de névoa de água e NaCl (5% m/v).

Figura 19 - Câmara de intemperismo acelerado marca Equilan



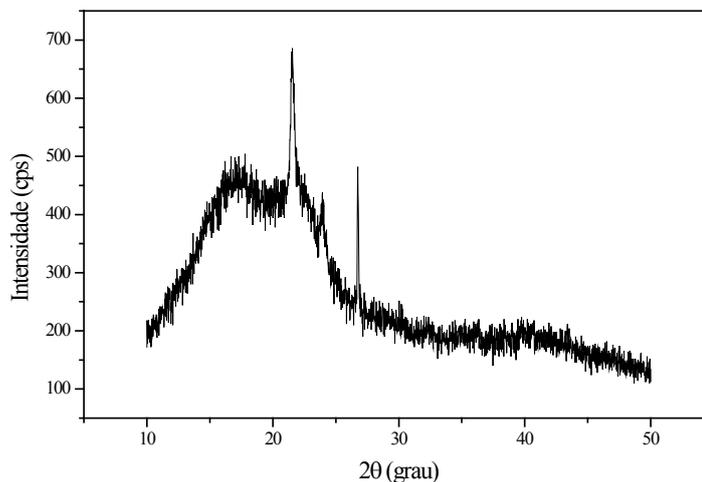
4 RESULTADOS

4.1 Análise das fibras

4.1.1 Difratomia de Raios X (DRX)

Os difratogramas de Raios X das fibras apresentaram características de materiais semicristalinos (Figura 20), o qual evidencia dois picos bem definidos referentes às fases amorfa e cristalina dos materiais e correspondem aos planos cristalográficos (101) e (002).

Figura 20 - Difratomogramas de Raios X das fibras provenientes de pallets industriais



O pico de menor intensidade (I_{101}) é referente à fase amorfa e se encontra próximo de $2\theta = 17^\circ$, já, o pico mais elevado (I_{002}) está relacionado à fração cristalina e está próximo de $2\theta = 21,6^\circ$. O índice de cristalinidade obtido das fibras está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Índices de cristalinidade das fibras provenientes de pallets industriais

MATERIAL	I_{am}	$I_{(002)}$	I_C
FIBRA IN NATURA	480,35	673,13	27,6%

No entanto, Benini (2011) ao avaliar o índice de cristalinidade das fibras de coco verde e do bagaço de cana obteve um valor superior quando comparados a as

fibras estudadas nesse trabalho, 58 e 43%, respectivamente. Esse fato pode ser explicado devido à presença de extrativos na superfície das fibras. A técnica de microscopia eletrônica de varredura evidencia a presença de extrativos.

4.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A técnica de microscopia eletrônica de varredura teve por objetivo determinar as características das fibras quanto à morfologia e ao aspecto superficial.

As micrografias das fibras provenientes dos pallets industriais evidenciam fragmentos, os quais apresentam uma superfície homogênea devido à presença dos extrativos, assemelhando-se a uma cera, que ainda estão presentes nas fibras (Figura 21).

Na micrografia da Figura 21 (e) foi possível observar claramente a presença de “pits”, que são pequenos orifícios distribuídos ao longo das fibras naturais, presentes na superfície mais próxima à casca das fibras, os quais ajudam na ancoragem mecânica da fibra com a matriz polimérica (LUZ, 2008).

Luz (2008) observou a presença de “pits” nas fibras in natura de bagaço de cana, as quais foram modificadas por benzilação e benzoilação para serem utilizadas como reforço em matriz de polipropileno.

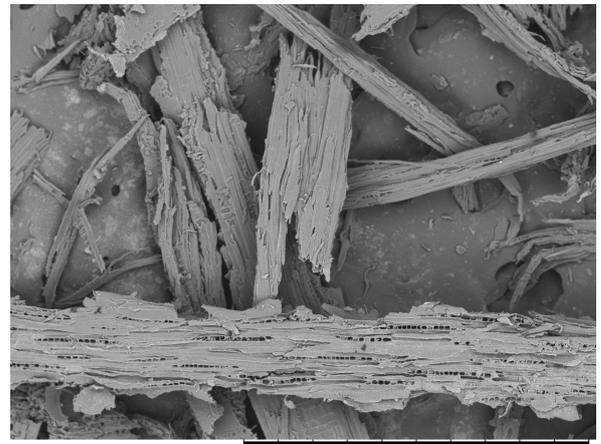
Mulinari (2009) e Luz (2008) também observaram a presença de “pits” nas fibras in natura de bagaço de cana, as quais foram tratadas por esterificação e mercerização para serem utilizadas como reforço em matriz de polietileno de alta densidade.

Figura 21 - MEV das fibras provenientes dos pallets *in natura* 50X (a); 100X (b); 500X (c e d); 800X (e); 1000X (f).



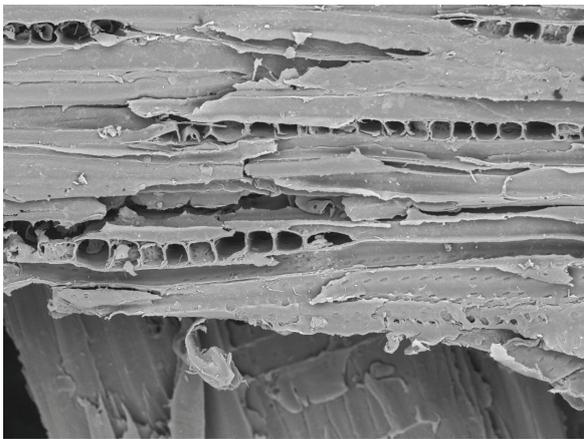
Fibras N D9.1 x50 2 mm

(a)



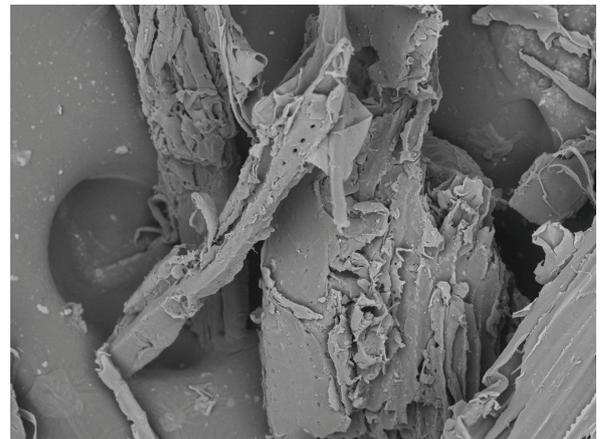
Fibras N D9.9 x100 1 mm

(b)



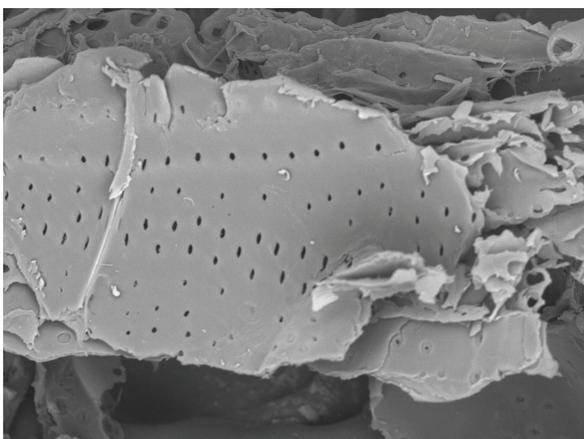
Fibras N D10.0 x500 200 um

(c)



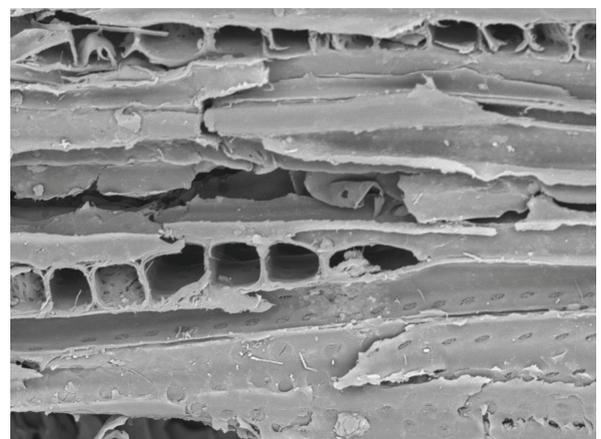
Fibras N D10.3 x500 200 um

(d)



Fibras N D10.3 x800 100 um

(e)



Fibras N D10.0 x1.0k 100 um

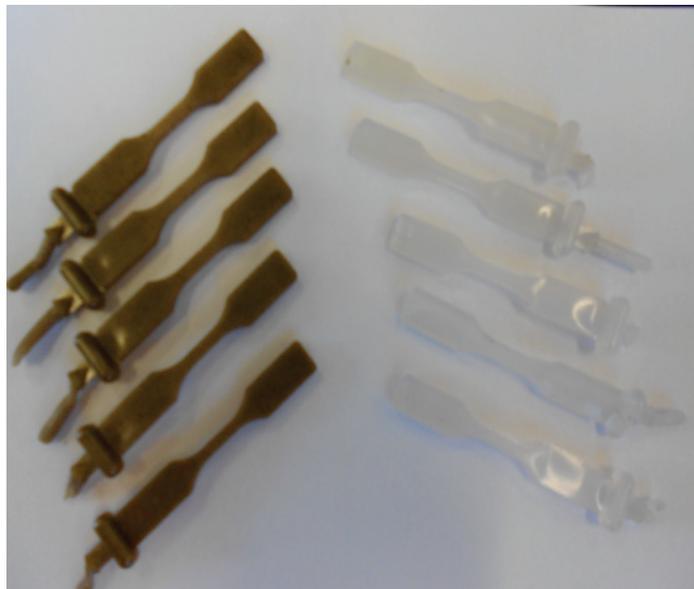
(f)

4.2 Obtenção dos compósitos

Os compósitos foram obtidos em tempos de mistura diferentes, devido ao teor de fibras. Essa diferença no tempo de mistura pode causar a quebra e a degradação térmica das fibras, e conseqüentemente afetar as propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos (MULINARI, 2009).

A Figura 22 evidencia os corpos de prova que foram obtidos para ensaios mecânicos.

Figura 22 - Corpos de prova obtidos para os ensaios mecânicos



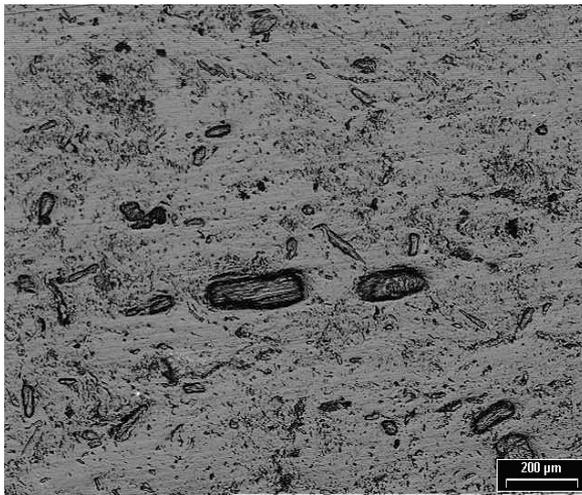
Como a composição dos compósitos foi 5 e 10 % m/m de reforço, o aspecto visual dos compósitos variou. Além disso, o comprimento e o diâmetro das fibras sofreram alterações após a mistura para obtenção dos compósitos.

A Tabela 4 mostra o comprimento e o diâmetro das fibras, antes e após o processo de mistura com a matriz de PP. Essas dimensões foram obtidas por microscopia óptica (MO). Analisando-se as dimensões das fibras antes e após a mistura observa-se a redução do tamanho das fibras, causado pelo tempo de mistura. A Figura 23 evidencia as micrografias da superfície das extremidades dos corpos de prova de tração dos compósitos reforçados com 5 e 10 % (m/m).

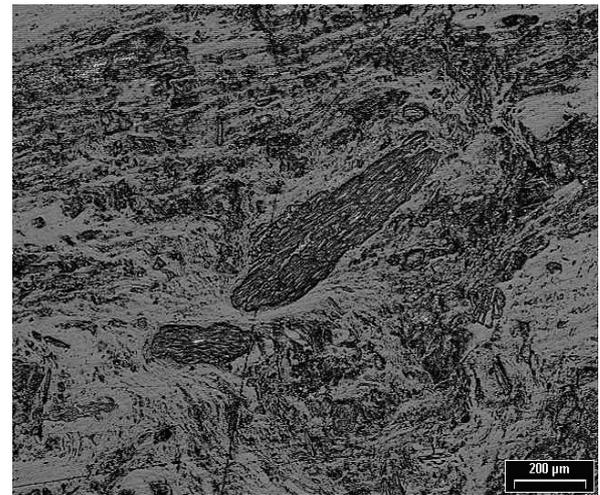
Tabela 4 - Dimensões das fibras antes a após a mistura com PP

Tipos de fibras	Antes da mistura		Após a mistura	
	C (μm)	D (μm)	C (μm)	D (μm)
<i>Pinus</i> (pallets)	190 - 900	10 - 30	100 - 550	5 - 20

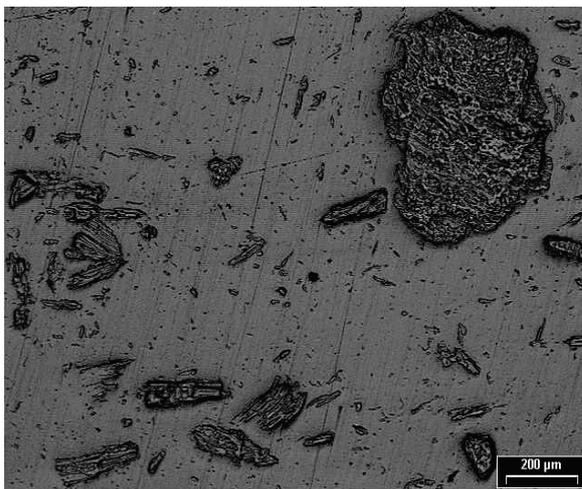
Figura 23 - MO dos compósitos: a) CP5%- 50X; (b) CP10%- 50X; (c) CPA5%- 50X; (d) CPA10%- 50X



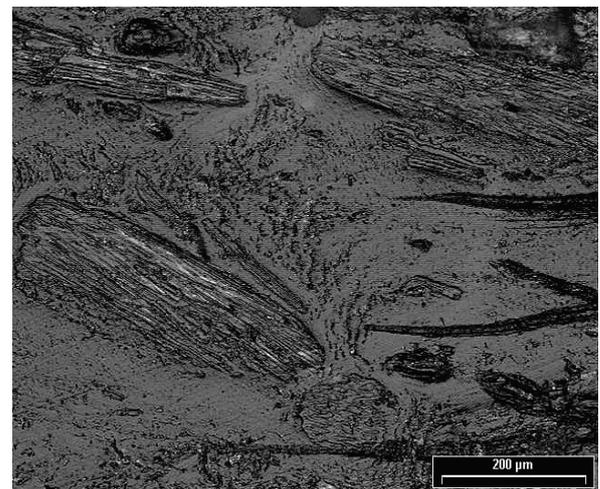
(a)



(b)



(c)



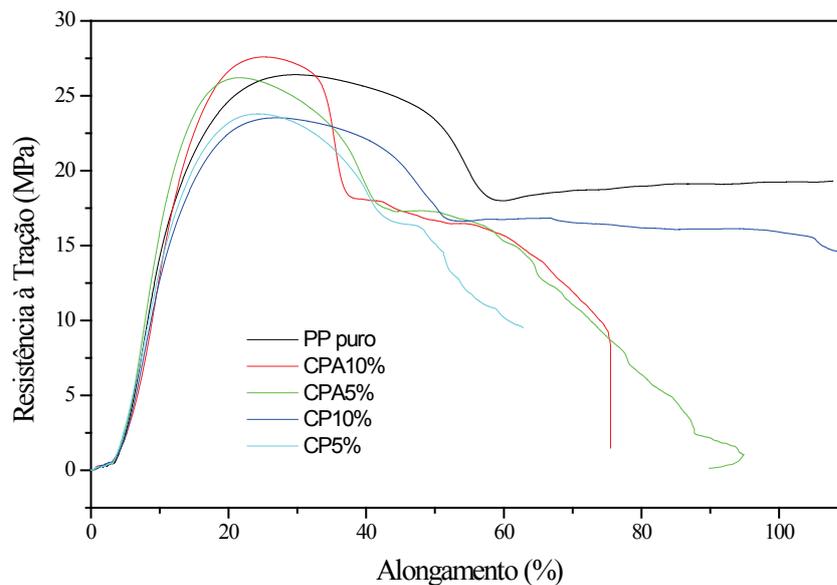
(d)

As micrografias das fibras mostraram-se agrupadas em pacotes com vários feixes de fibras e com diversos comprimentos, como evidenciadas na Figura 23. Após a inserção das fibras na matriz houve um redução do comprimento e do diâmetro das fibras, causado pelo processo de mistura.

4.3 Ensaio de tração

Os gráficos da Figura 24 apresentam as curvas Tensão x Deformação para o PP e seus compósitos com as fibras de *pallets*, de forma a ilustrar os comportamentos mecânicos dos compósitos, que foram semelhantes para todas as amostras.

Figura 24 - Comportamento do PP puro e dos compósitos no ensaio de tração



Analisando as curvas foi possível observar o comportamento característico de um material plástico, apresentando deformação elástica inicial seguida por escoamento além de uma região de deformação plástica.

A adição de fibras na matriz polimérica de PP alterou a deformação do material até a tensão máxima. Este efeito da adição de fibras pode ser observado nos gráficos da Figura 23 e através das propriedades mecânicas do PP e dos compósitos, obtidas a partir do ensaio de tração, apresentadas na Tabela 5, respectivamente.

A Tabela 5 mostra os valores do limite de resistência à tração, obtidos dos ensaios mecânicos das misturas preparadas com diferentes quantidades de reforço.

Tabela 5 - Valores do limite de resistência à tração

AMOSTRAS	Alongamento (%)	Limite de resistência à tração (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PP	26,41 ± 3,9	25,15 ± 1,4	14,62 ± 1,3	1018,2 ± 55,8
CP5%	26,74 ± 2,1	21,9 ± 1,4	12,82 ± 0,7	879,1 ± 31,2
CP10%	23,91 ± 2,7	22,3 ± 1,1	14,49 ± 0,4	990,3 ± 59,4
CPA5%	24,65 ± 0,7	27,3 ± 0,3	16,84 ± 0,5	1189,8 ± 70,2
CPA10%	21,62 ± 1,8	26,8 ± 0,8	17,15 ± 0,9	1361,5 ± 89,5

CP (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura*); CPA (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura* e compatibilizados com PP-g-MA)

Analisando-se os dados da Tabela 5 observa-se que a resistência à tração dos compósitos diminuiu com a inserção de fibras sem o uso do agente compatibilizante, quando comparada ao PP puro. No entanto, os compósitos compatibilizados com anidrido maléico (PP-g-MA) apresentaram um aumento na resistência. A quantidade de fibra inserida na matriz de PP não apresentou diferença significativa, mas diminuiu o alongamento até tensão máxima, aumentou a tensão de escoamento e conseqüentemente a rigidez dos compósitos.

Comparando-se os compósitos compatibilizados com a matriz de PP pura foi notado um aumento 6,6% e 33,7% na resistência à tração e na rigidez. E conseqüentemente, houve um decréscimo na deformação de 18%. Isto ocorreu, pois o compatibilizante em contato com a superfície do reforço interagiu fortemente com as fibras através das ligações covalentes ou ligações de hidrogênio causando uma melhor interação entre fibra e matriz.

El-Sabbagh (2014) obteve resultados similares quanto ao comportamento mecânico compósitos de PP reforçados com fibras de sisal, cânhamo e linho com diferentes quantidades de fibras (30 e 50% m/m) ao avaliar o efeito do uso do agente compatibilizante.

Luz et al. (2006) obtiveram propriedades mecânicas (resistência à tração) próximas ao desenvolver compósitos de PP reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana e da palha de cana, 24 e 27 MPa, respectivamente. No entanto, para a obtenção das fibras de celulose provenientes do bagaço de cana e da palha

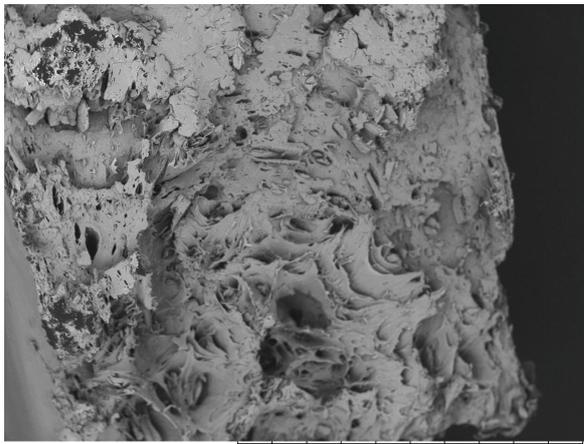
foi adicionada solução de NaOH 20,64 % m/v (16% de Na₂O ativo) obedecendo à relação licor:bagaço de 6:1 (v/m) e licor: palha de 7,5:1 (v/m), e 0,15% (m/v) de AQ em relação ao volume total do licor, ou seja, as fibras foram tratadas.

A interação entre a fibra e a matriz dos compósitos foi analisada por MEV após a fratura. No entanto, somente os compósitos de PP reforçados com 10% m/m fraturaram durante o ensaio. As Figuras 25 e 26 evidenciam as fraturas dos compósitos (CP10% e CPA10%).

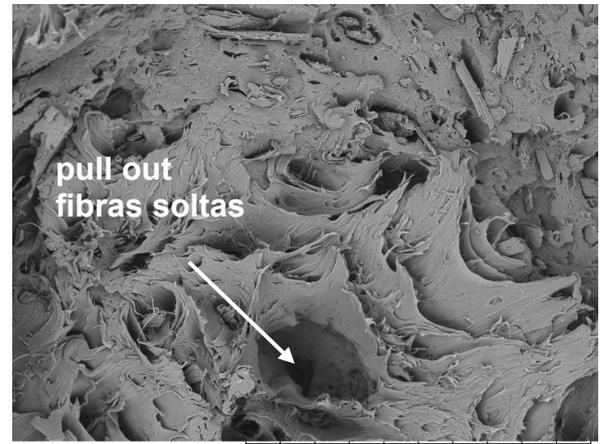
Analisando as micrografias dos compósitos notou-se uma boa interação fibra/matriz, boa homogeneização das fibras na matriz, a qual refletiu em um aumento na resistência à tração e rigidez. Este estudo é necessário, pois revela áreas nas quais ocorreram algumas das possíveis falhas.

As superfícies da fratura dos compósitos compatibilizados ou não podem ser visualizadas nas Figuras 25 e 26, as quais mostram que os compósitos apresentaram fluxo da matriz, ou seja, deformação plástica do polipropileno.

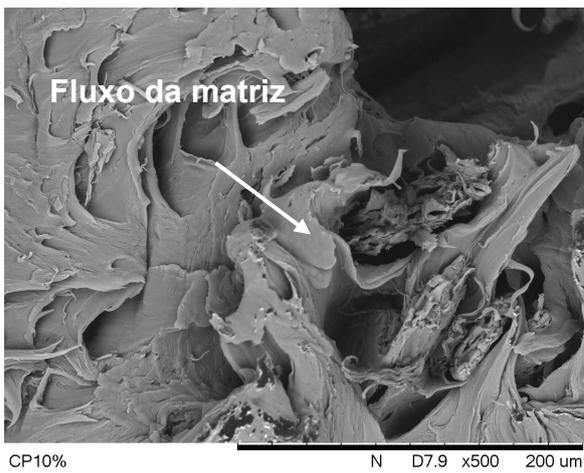
Figura 25 - MEV dos compósitos CP10% após o ensaio de tração ampliados 50X (a); 100X (b); 500X(c); 1000X(d)



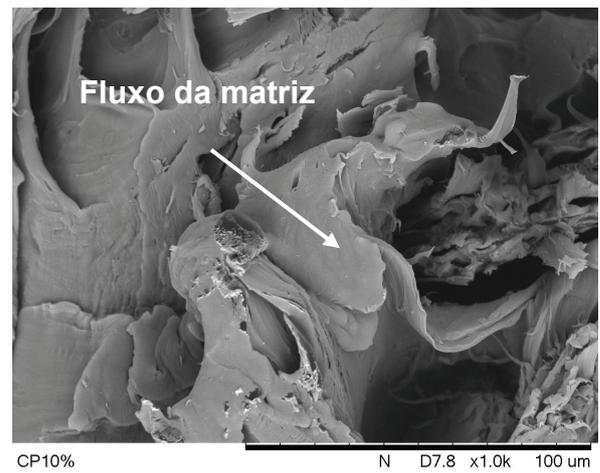
(a)



(b)

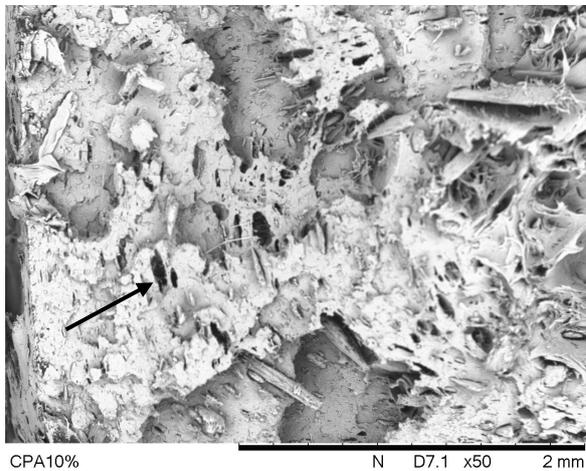


(c)

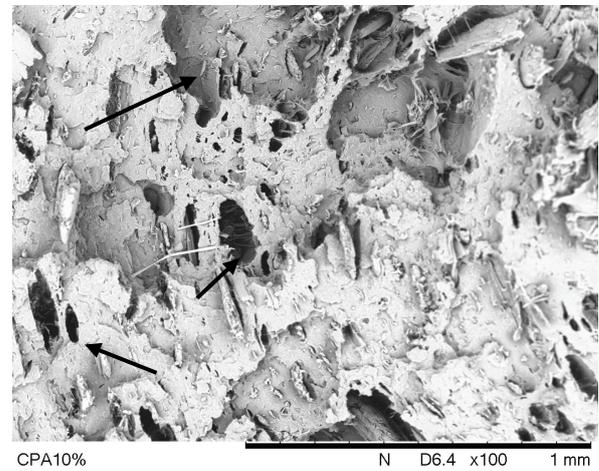


(d)

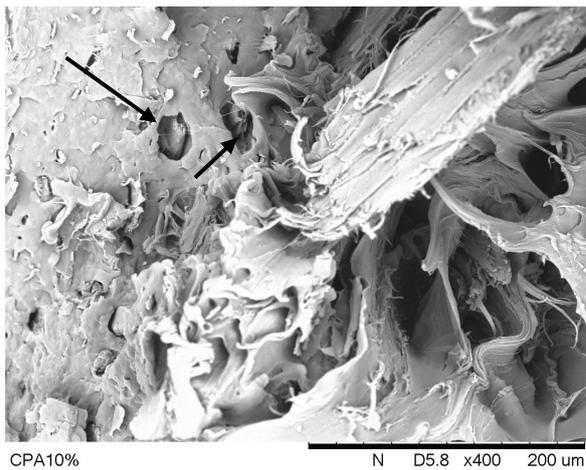
Figura 26 - MEV dos compósitos CPA10% após o ensaio de tração ampliados 50X (a); 100X (b); 500X (c); 1000X (d)



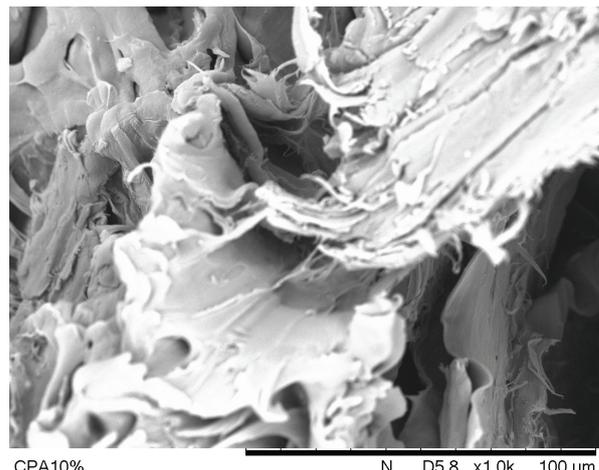
(a)



(b)



(c)



(d)

Analisando-se as fraturas de ambos compósitos notaram-se fibras fraturadas ao longo da matriz e fibras arrancadas (pull out). No entanto, os compósitos compatibilizados apresentaram uma melhor interação fibra/ matriz quando comparada aos compósitos não compatibilizados, o que refletiu nos resultados mecânicos.

4.4 Ensaio de flexão

O estudo da resistência à flexão dos compósitos foi importante, pois permitiu avaliar o comportamento do material de resistir à força de dobramento aplicada perpendicularmente ao seu eixo longitudinal. As propriedades de flexão dos compósitos foram influenciadas pela quantidade de reforço inserida na matriz.

A Tabela 6 apresenta os valores do limite de resistência à flexão dos compósitos.

Tabela 6 - Valores do limite de resistência à flexão

AMOSTRAS	Resistência à flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PP	28,4 ± 2,9	824,8 ± 46,6
CP5%	40,45 ± 4,9	1176 ± 184,8
CP10%	33,8 ± 1,1	1153 ± 52,4
CPA5%	29,6 ± 2,9	933,1 ± 106,8
CPA10%	38,2 ± 3,1	1377 ± 147,8

CP (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura*);
CPA (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura* e compatibilizados com PP-g-MA)

Analisando-se as propriedades mecânicas em flexão do PP puro foi observado valor inferior quando comparado aos compósitos. Ao se inserir fibras na matriz houve um aumento na resistência e no módulo, atingindo até 42,4% e 67% de aumento quando comparado ao PP puro. A inserção do agente compatibilizante no compósito proporcionou maior rigidez quando comparado aos compósitos não compatibilizados, com exceção do compósito CPA5%. Dessa forma, foi observado que o uso do agente compatibilizante influenciou na rigidez dos compósitos.

4.5 Ensaio de impacto

Dentre as propriedades mecânicas dos compósitos avaliadas neste trabalho, à resistência ao impacto também é relevante, pois a avalia a resistência ao impacto dos materiais, o qual é um fator importante na seleção de materiais para aplicações de engenharia (MULINARI, 2009).

Analisando-se a resistência ao impacto das amostras, foram observados que os compósitos apresentaram maiores valores, quando comparados ao PP puro, atingindo até 21,3 % de aumento. Esse aumento na resistência ocorreu devido à inserção de fibras na matriz, fazendo com que a energia absorvida aumentasse e, conseqüentemente, a resistência. Os resultados obtidos de resistência ao impacto podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores do limite de resistência à flexão

AMOSTRAS	Energia (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
PP	4 ± 0,2	45,1 ± 0,2
CP5%	4 ± 0,3	50,6 ± 0,9
CP10%	3,75 ± 0,1	47,9 ± 0,6
CPA5%	4 ± 0,2	51,5 ± 1,1
CPA10%	3,75 ± 0,2	54,7 ± 1,1

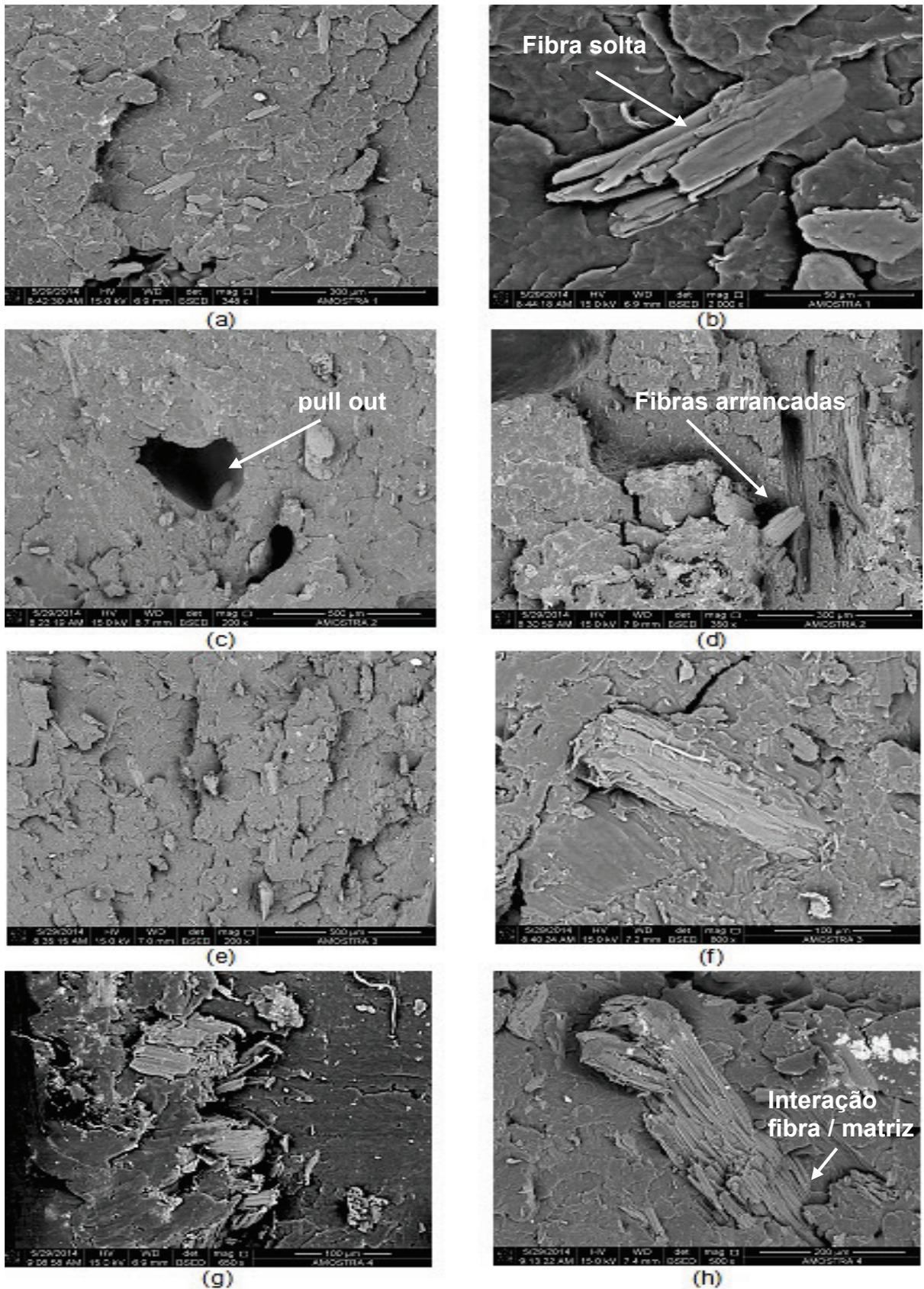
CP (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura*);
CPA (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura* e compatibilizados com PP-g-MA)

Os compósitos compatibilizados apresentaram maior resistência, quando comparado aos compósitos não compatibilizados. Dessa forma, fica evidente que o uso do agente compatibilizante melhorou a adesão entre fibra/matriz, facilitando a transferência de energia de impacto da matriz, que é um dos fatores que influi nesta propriedade.

A inserção de fibras na matriz também aumentou a resistência ao impacto, devido ao mecanismo de dissipação de energia. As fibras foram arrancadas (pull out) da matriz e dissiparam energia durante o processo de fricção mecânica. A Figura 27 mostra a região da fratura após o ensaio, onde foi verificada certa uniformidade de distribuição das fibras na matriz, fibras fraturadas ao longo da matriz e fibras arrancadas (pull out), caracterizando mecanismo de fratura frágil.

Resultados similares quanto à resistência ao impacto foram obtidos por Bledzki et al. (2015) ao desenvolver biocompósitos de polipropileno reforçados com fibras de madeira, abacá e juta. Os biocomposites foram obtidos content uma proporção de 60/40% m/m.

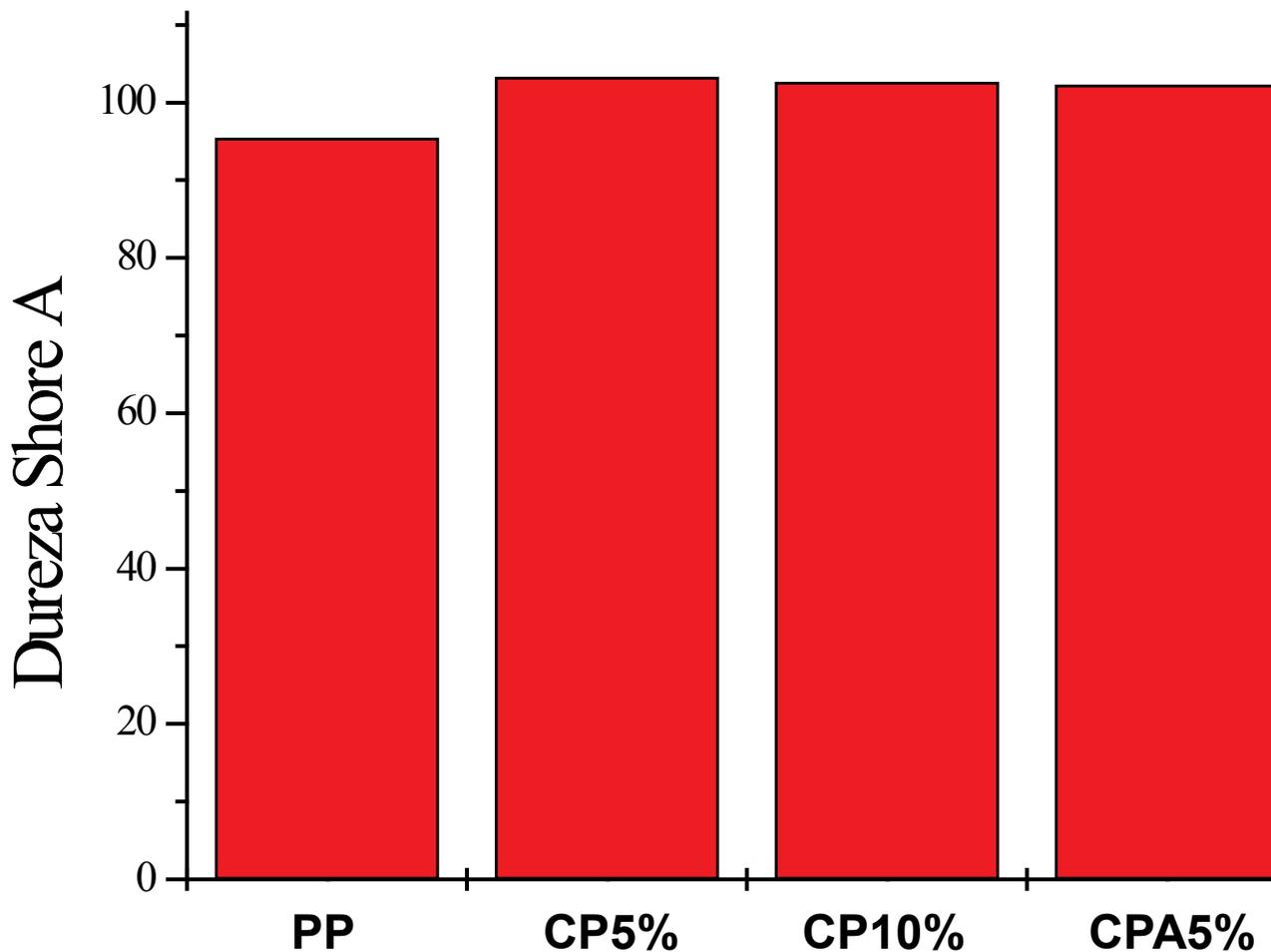
Figura 27 - MEV dos compósitos após o ensaio de impacto: (a, b) CP 5%; (c, d) CPA 5%; (e, f) CPA 5%; (g, h) CPA 10%.



4.6 Ensaios de dureza

A Figura 28 evidencia os resultados obtidos da dureza dos compósitos e do PP puro.

Figura 28 - Dureza Shore A do PP puro e dos compósitos



Analisando-se os resultados observou-se que os compósitos apresentaram valores de dureza mais altos quando comparados ao polímero puro. No entanto, houve uma diferença não significativa nos compósitos compatibilizados quando comparados aos compósitos não compatibilizados. Esperavam-se resultados opostos, pois o uso do agente compatibilizante favorece a interação fibra/ matriz, uma vez que as fibras são hidrofílicas. E como o teste é realizado na superfície, as

fibras podem ocasionar também maior absorção de umidade, proporcionando uma menor dureza.

No entanto, ambos compósitos apresentaram resultados superiores aos compósitos de polietileno de alta densidade reciclado reforçados com as farinhas de madeira: *pinus*, *eucalyptus* e coco estudado por Naldony (2013).

4.7 Estudo de absorção de água

A absorção de umidade para os plásticos, em geral, é baixa, enquanto que as fibras naturais possuem a tendência de absorver umidade, pois estas são constituídos principalmente por celulose, lignina e hemicelulose que absorvem a umidade (hidrofílicos) entre 6 e 14% (MULINARI, 2009). A Tabela 8 mostra os resultados obtidos do estudo de absorção de água dos materiais após os 10 dias.

Tabela 8 - Absorção de água nos materiais

AMOSTRAS	mi	mf	Absorção de água%
PP	7,98	7,99	0,125%
CP5%	7,82	7,83	0,128%
CP10%	8,02	8,04	0,249%
CPA5%	8,04	8,05	0,124%
CPA10%	8,39	8,41	0,238%

CP (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura*);
CPA (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura* e compatibilizados com PP-g-MA)

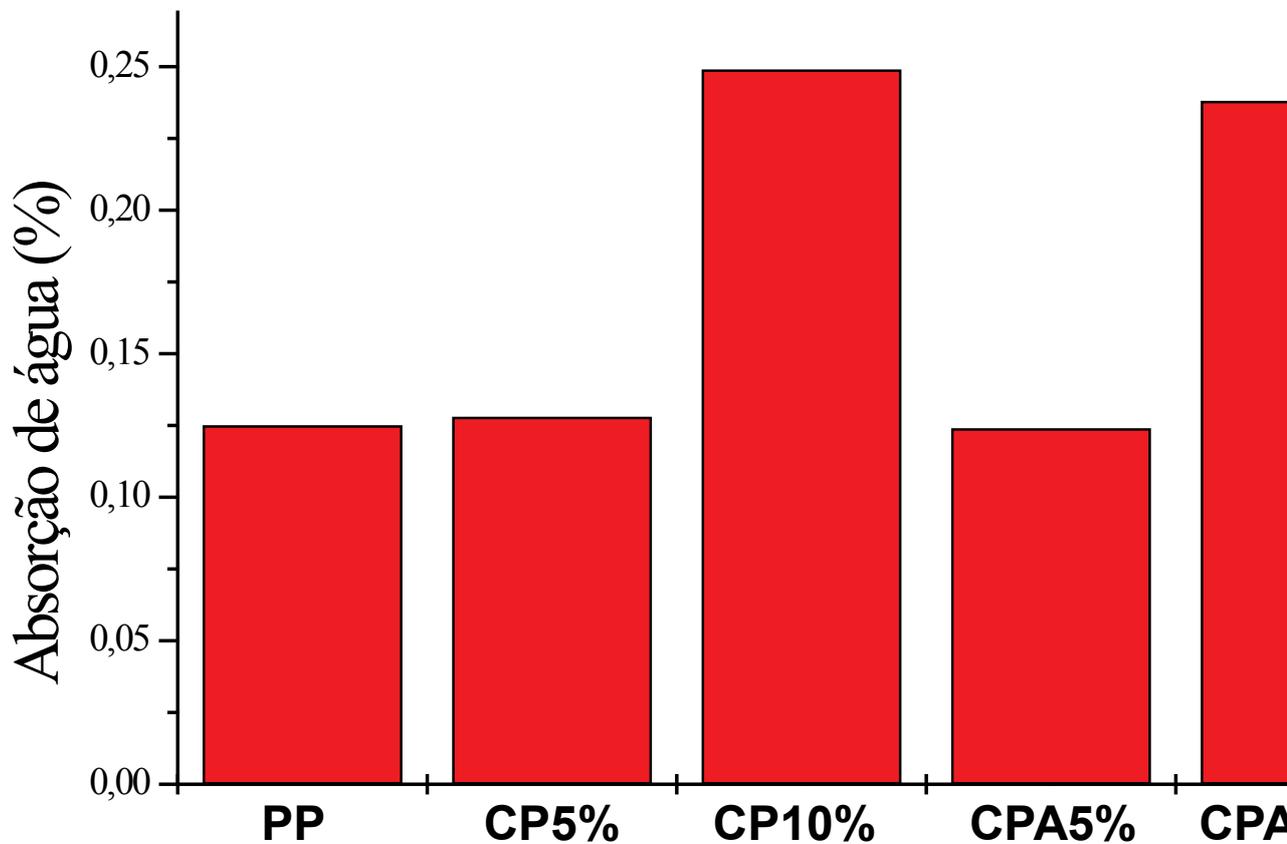
A porcentagem de absorção de água nos compósitos foi calculada a partir da Equação 3:

$$\Delta M(\%) = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100, \quad (3)$$

onde: ΔM é a absorção de água, M_i e M_f correspondem as massas das amostras antes e após a imersão em água.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 8 foi verificado que os compósitos praticamente não absorveram água. Este fato pode ser explicado, pela boa interação fibra/matriz. Embora, a absorção seja baixa o teor de fibras inserido na matriz influenciou nos resultados. A Figura 29 evidencia claramente a influência do teor de fibras.

Figura 29 - Absorção de água do PP puro e dos compósitos



4.8 Exposição ao intemperismo acelerado

No ensaio de intemperismo acelerado, os corpos de prova do PP e dos compósitos foram expostos à ciclos constantes a nevoa salina a (NaCl 5% m/v) durante 240 horas em uma câmara de intemperismo acelerado. Após o tempo em exposição, os corpos de prova foram ensaiados mecanicamente por ensaio de tração com o objetivo de verificar a influência da exposição nas propriedades

mecânicas dos materiais. Os resultados do limite de resistência à tração dos materiais, antes e após o intemperismo, estão evidenciados na Tabela 9.

Analisando os resultados da Tabela 9 observou-se que os materiais apresentaram uma ligeira queda na resistência após exposição ao intemperismo com nevoa salina, com exceção do PP puro.

Tabela 9 - Resistência à tração dos materiais antes e após o intemperismo

AMOSTRAS	Resistência à tração antes do intemperismo (MPa)	Resistência à tração após o intemperismo (MPa)
PP	25,15 ± 1,4	26,6 ± 0,5
CP5%	21,9 ± 1,4	20,3 ± 0,2
CP10%	22,3 ± 1,1	20,6 ± 0,8
CPA5%	27,3 ± 0,3	22,4 ± 1,2
CPA10%	26,8 ± 0,8	24,8 ± 1,9

CP (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura*);
CPA (compósitos PP reforçados com fibras de pallets *in natura* e compatibilizados com PP-g-MA)

5 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho foi possível avaliar o efeito da quantidade de reforço inserido da matriz de PP para obtenção dos compósitos e também as propriedades dos mesmos.

Quanto à caracterização das fibras foi possível chegar às seguintes conclusões:

- As fibras provenientes dos pallets industriais apresentaram característica de um material semicristalino e com o índice de cristalinidade inferior quando comparados a outras fibras;
- A morfologia das fibras evidenciou uma superfície homogênea, a qual não contribuiu para interação fibra/ matriz;

Quanto à caracterização e obtenção dos compósitos as principais conclusões foram:

- o uso da moldagem por injeção foi interessante, pois tornou o processo rápido e reprodutível fazendo com que seja perfeitamente viável o uso deste material em escala industrial;
- com a adição de fibras na matriz de PP e o agente compatibilizante obteve-se um material com até 10% menos polímero e com propriedades mecânicas viáveis para determinadas aplicações do PP, em que o custo e o módulo elástico são mais importantes que a ductilidade.
- no ensaio de absorção de água, a adição de PP-g-MAH influenciou nos resultados, pois os mesmos apresentaram menor percentual de absorção quando comparados aos demais compósitos;
- a exposição ao intemperismo acelerado nos compósitos não afetou as propriedades mecânicas;

Com base nesses resultados conclui-se que as fibras provenientes de pallets industriais podem ser aplicados em matrizes poliméricas para um futuro

desenvolvimento de um novo material (caixa de transporte de animais), criando assim um material sustentável.

REFERÊNCIAS

AKIL, H.; ZAMRI, M. H. Performance of natural fiber composites under dynamic loading. **Natural Fibre Composites**, p. 323-344, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2240**: Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness. United States, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 570**: Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. United States of America, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 6110**: Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics. United States, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 638**: Standard test method for tensile properties of plastics. United States, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 790**: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. United States, 2010.

ASHORI, A.; NOURBAKHSH, A. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. **Waste Management**, v. 29, n. 4, p. 1291-1295, 2009.

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 547 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. ABIQUIM. **Anuário da Indústria Química**, 2010.

BECKER, D; KLEINSCHMIDT, A. C., BALZER, P. S., SOLDI, V. Influência da sequência de mistura do PP-MA nas propriedades dos compósitos de PP e fibra de bananeira. **Polímeros**, v.21, p.10-18, 2011.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS / fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, SP. 2011.

BLEDZIK, A. K. et al. A comparison of compounding process and wood type for wood fibre-PP composites. **Composites: Part A Applied Science and Manufacturing**, v. 36, p. 789-797, 2005.

BLEDZIK, A. K.; et al. Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, *abaca*, jute, and kenaf fibers. **Industrial Crops and Products**, v. 70, p. 91-99, 2015.

CALLISTER JR, W. D; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 832 p.

CANEVAROLO, S. V. **Técnica de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2004. 229 p.

CERQUEIRA, E. F., BAPTISTA, C. A. R. P., MULINARI, D. R. Mechanical behaviour of polypropylene reinforced sugarcane bagasse fibers composites. **Procedia Engineering**, v. 10, p. 2046-205, 2011.

CLEMONS, C. M., Interfacing Wood-plastic composites industries in the U.S.A. **Forest Products Journal**. 2002. Disponível em: <www.jobwerx.com/news/Archives/iwpc.htm1>. Acesso em: 10 Mar 2014.

CORREA, C. A. Compósitos termoplásticos de madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 154-165, 2003.

CUNHA, F. R. **Modelos para a predição de propriedades finais de polímeros a partir de variáveis operacionais**. 2010. 380 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

DAI, D.; FAN, M. Wood fibres as reinforcements in natural fibre composites: structure, properties, processing and applications. **Natural Fibre Composites**, p. 3-65, 2014.

DE PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. 1 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2008. 211 p.

EL-SABBAGH, A. Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behaviour. **Composites: Part B**, v. 57, p. 126-135, 2014.

FINKLER, M. **Desenvolvimento de compósitos com base de rejeito em tecidos de algodão e acrílico em matriz de polietileno de alta densidade**. 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado em Materiais) - Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, RS, 2005.

GONÇALVES, J. A. V. **Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibras de coco**. 2010. 53 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE, 2010.

HANAMOTO, L. S. **Blendas de polipropileno sindiotático com EPDM: Influência do processamento e da história térmica nas propriedades físicas e mecânicas.** 2005. 196 f. Tese (Doutorado em Físico-Química) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2005.

HISHAM S., FAIEZA A. A., ISMAIL N., SAPUAN M. S., IBRAHIM M. S. Tensile Properties and Micro Morphologies of Sawdust and Chipwood Filled Epoxy Composites. *Key Engineering Materials – Composite Science and Thechnology*, v. 4, p. 1070-1074, 2011.

ISHIZAKI, M. H. et al. Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. **Polímeros**, v. 16, p. 182-186, 2006.

JEENCHAM, R., SUPPAKARN, N., JARUKUMJORN, K. Effect of flame retardants on flame retardant, mechanical, and thermal properties of sisal fiber/polypropylene composites. **Composites: Part B**, v. 56, p. 249-253, 2014.

KHOYLOU, F. Radiation-induced polymer impregnated sawdust-clay-cement composite. **Polymers and Polymer Composite**, v. 14, n. 8, p. 826-831, 2006.

LEVY NETO, L. C.; PARDINI, F. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia.** 1 ed. São Paulo: Edgar Blucher Editora, 2006.

LUZ, S. M. **Estudo das propriedades mecânicas, interface e morfologia de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de bagaço e palha de cana.** 2008. 153 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) – Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, São Paulo, 2008.

LUZ, S. M.; GONÇALVES, A. R.; DEL'ARCO Jr., A. P.: Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno Reforçado com Celulose de Bagaço e Palha de Cana. **Revista Matéria**, v. 11, p. 101-110, 2006.

MARA, V., HAGHANI, R., HARRYSON, P. Bridge decks of fibre reinforced polymer (FRP): A sustainable solution. **Construction and Building Materials**, v. 50, p.190-199, 2014.

MEDEIROS, E.; MATTOSO, L.; CARVALHO, L. Uso de tecidos de fibras vegetais para melhoria das propriedades de materiais plásticos. **Embrapa Circular técnica.** São Carlos, n. 16, nov. 2002. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes/download.php?file=CiT16_2002.pdf>. Acesso em: 10 jan 2015.

MISSAGIA, Z. M. F. **Compósitos particulados em matriz epóxi reforçados com serragem, cimento e silicato de magnésio**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, MG, 2013.

MORAES, D. V. O. **Avaliação de propriedade de fadiga de compósitos de polipropileno reforçado com fibras de coco**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, SP, 2013.

MULINARI, D. R. Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar. 2009. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP. 2009.

NADOLNY, P. R. **Utilização de reforço lignocelulósico em polietileno de alta densidade**. 2013, 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

OLIVEIRA, E. M. R.; COSTA. R. A. **Madeira plástica**. 2013. 32 f. Dossiê Técnico (Serviço Brasileiro de respostas técnicas). Instituto Euvaldo Lodi IEL/BA, 2013.

OLIVEIRA, H. N. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos para aplicação em deck**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ, 2013.

PAES, J. B.; et al. Qualidade de chapas de partículas de pinus elliottii coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PARDINI, L. C. Preformas para compósitos estruturais. **Polímeros**, v. 10, p. 100-109, 2000.

PETRY, A. **Mercado Brasileiro de polipropileno com ênfase no setor automobilístico**. 2011. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

PUPO, H. F. F. **Painéis alternativos produzidos a partir de resíduos termoplásticos e da pupunheira (Bactris gasipacs kunth)**. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, SP, 2012.

RAMIRES, E. C. **Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glixal reforçados com fibras naturais**. 2010. 252 f. Tese (Doutorado em Ciências Físico-química) - Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2010.

REDIGHIERI, K. I. **Estudo de compósitos de partículas de madeira e PEBD reciclado na presença de agentes compatibilizantes**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para a aplicação em engenharia**. 2006. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

SEGAL, L. et al. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, p. 786-794, 1959.

SHALWAN, A.; YOUSIF, B. F. Investigation on interfacial adhesion of date palm/epoxy using fragmentation technique. **Materials and Design**, v. 53, p. 928-937, 2014.

THAKUR, V. K.; THAKUR, M. K. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. **Carbohydrate Polymers**, v.109, p. 102-117, 2014.

TRIGUEIRO, A.; BOCARDI, R. Madeira plástica evita derrubada de árvores para fabricar móveis. **Jornal da Globo**, Rio de Janeiro, 21 set. 2012. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/09/madeira-plastica-evita-derrubada-de-arvores-para-fabricar-moveis.html>>. Acesso em: 5 dez 2013.

TROMBETTA, E. **Utilização de fibra natural de *pinus* (serragem) como reforço em componentes automotivos compostos de polipropileno**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v.21, p. 10-19, 2009.