

Centro Universitário Feevale
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
Mestrado em Qualidade Ambiental

Diego Rafael Bayer

**ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS
ECOLÓGICOS FABRICADOS A PARTIR DE
RESINA RECICLADA DE POLIPROPILENO E
CASCA DE ARROZ**

Novo Hamburgo, novembro de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Centro Universitário Feevale
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
Mestrado em Qualidade Ambiental

Diego Rafael Bayer

**ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS
ECOLÓGICOS FABRICADOS A PARTIR DE
RESINA RECICLADA DE POLIPROPILENO E
CASCA DE ARROZ**

Dissertação apresentado ao Programa de
Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
como requisito para a obtenção do título
de mestre em Qualidade Ambiental

Orientador: Profa. Dra. Izabel Cristina Riegel
Co-orientador: Prof. Dr. Daniel Assumpção Bertuol

Novo Hamburgo, novembro de 2009

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Bayer , Diego Rafael

Estudo e caracterização de perfis ecológicos fabricados a partir de resina reciclada de polipropileno e casca de arroz / Diego Rafael Bayer. – 2009.

68 f. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo-RS, 2009.

Inclui bibliografia.

“Orientador: Profa. Dra. Izabel Cristina Riegel” ; “Co-orientador: Prof. Dr. Daniel Assumpção Bertuol”.

1. Polímeros e meio ambiente. 2. Reciclagem e desenvolvimento de novos materiais poliméricos. I. Título.

CDU 628.4:678.7

Bibliotecário responsável: Cássio Felipe Immig – CRB 10/1852

Centro Universitário Feevale
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
Mestrado em Qualidade Ambiental

Diego Rafael Bayer

**ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE PERFIS
ECOLÓGICOS FABRICADOS A PARTIR DE
RESINA RECICLADA DE POLIPROPILENO E
CASCA DE ARROZ**

Dissertação de mestrado aprovada pela banca examinadora em dezembro de 2009,
conferindo ao autor o título de mestre em Qualidade Ambiental.

Componentes da Banca Examinadora:

Profª. Izabel Cristina Riegel (Orientadora)
Centro Universitário Feevale

Prof. Dr. Hugo Marcelo Veit
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª. Dra. Célia de Fraga Malfatti
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais pela dedicação de uma vida, meu irmão, minha fiel e companheira esposa e a todos aqueles que por algum motivo não tiveram a oportunidade de estudar e cursar uma universidade.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos...

A Deus...

A minha orientadora pela dedicação, amizade e esforço pessoal proporcionado ao longo dos anos de convivência.

Aos colegas da Oficina Tecnológica da Feevale pelo auxílio no desenvolvimento de estratégias de usinagem.

Aos colegas da Central Analítica da Feevale.

A todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para a elaboração desse estudo.

A empresa Deutschsul Industrial pela elaboração das amostras.

Temos o destino que merecemos. O nosso destino está de acordo com nossos méritos.

Albert Einstein

RESUMO

Os principais objetivos desse estudo foram à avaliação dos aspectos ambientais relacionados à geração e destinação de resíduos de polipropileno e de casca de arroz e a caracterização mecânica, térmica e morfológica de compósitos poliméricos, produzidos através do processo de intrusão mecânica, utilizando polipropileno reciclado e casca de arroz. Foram produzidas amostras com PP reciclado proveniente de *big bags* rompidos e casca de arroz, em frações mássicas de 100% PP, 80% PP e 20% CA, 60% PP e 40% CA. Quanto aos aspectos ambientais, verificou-se que os resíduos plásticos e de casca de arroz, apesar de abundantes e de baixo valor comercial, dependem de melhores condições de gerenciamento para apresentarem características mais favoráveis a sua destinação e comercialização. Para a produção das amostras, o resíduo polimérico foi triturado e aglutinado para ganhar peso, sendo posteriormente misturado à casca de arroz, previamente seca. Os compósitos foram confeccionados utilizando-se uma extrusora acoplada a uma matriz de aço, gerando perfis ecológicos no formato de barras, com 25 milímetros de espessura, 100 milímetros de largura e comprimento e 300 centímetros. Os compósitos resultantes foram avaliados através de ensaios de tração, flexão, compressão, dureza, impacto IZOD e CHARPY, análise térmica (DSC e TGA), microscopia eletrônica de varredura, densidade e absorção de água. Com base nos ensaios mecânicos, observou-se que o aumento da fração mássica da casca de arroz produz alterações significativas nas propriedades mecânicas dos materiais, influenciando principalmente na tensão máxima suportada e na deformação linear dos compósitos na ordem de 35%. Através dos ensaios térmicos, identificou-se a presença de um segundo componente na composição do material, provavelmente o polietileno de baixa densidade (PEBD). Ainda, a adição de casca de arroz resultou em uma pequena diminuição na temperatura inicial de perda de massa do material, em torno de 20°C, evidenciando uma redução na estabilidade térmica. A análise morfológica evidenciou uma baixa adesão interfacial entre a matriz polimérica e a fibra vegetal, indicando a necessidade de utilização de um agente de acoplamento no processo produtivo para o alcance de melhores propriedades. Foi, ainda, observado um aumento significativo de densidade e de absorção de água na medida em que a fração mássica de casca de arroz aumentou na composição do material, fato relacionado ao aumento do número de poros associados à casca de arroz. Conclui-se que os materiais estudados, produzidos a partir de resíduos de polipropileno e casca de arroz, podem ser usados com sucesso em vários segmentos, desde que se realize uma ampla caracterização de suas propriedades previamente às aplicações tecnológicas diversas.

ABSTRACT

The main objectives of this study were the assessment of the environmental aspects related to the generation and disposal of waste polypropylene and rice husks and the mechanical, thermal and morphological characterization of the polymeric composites produced through the process of mechanical intrusion, using recycled polypropylene and rice husks. Samples were produced from recycled PP big bags of broken rice husk in weight fractions of 100% PP 80% PP and 20% CA, 60% and 40% PP CA. Concerning the environmental aspects, it was found that despite the abundance of the plastic wastes and rice husks, and their low commercial value, in order to meet more favorable destination and marketing conditions, better management system must be employed. For the production of the samples, the polymer waste was triturated and agglomerated to gain weight and then was mixed with rice husk, previously dried. The composites were prepared using an extruder coupled to a steel matrix, resulting in profiles in the form of bars of 25 mm thick, 100 mm wide and 300 centimeters long. The resulting composites were evaluated by tensile, bending, compression, hardness, impact, IZOD and Charpy tests, thermal analysis (DSC and TGA), scanning electron microscopy, density and water absorption measurements. Based on the results, it was observed that the increase of rice husks weight fraction,, resulted in significant changes in mechanical properties of the materials, which mainly affected the maximum tension and linear deformation of the composites, in the order of 35%. Through thermal analysis, it was identified the presence of a second component in the composition of the material, probably corresponding to low density polyethylene (LDPE). Still, the addition of rice husks resulted in a slight decrease in the initial weight loss temperature of the materials, of around 20 °C, showing a reduction in their thermal stability. Morphological analysis showed a poor interfacial adhesion between polymer matrix and fibers, indicating the need to use a coupling agent in the production process in order to achieve better properties. It was also observed a significant increase in density and water absorption as the mass fraction of rice husk increased, which is related to the increasing number of pores associated with rice husks. In conclusion, the studied materials, produced from waste polypropylene and rice husk can be successfully used in several segments, by conducting an extensive characterization of their properties prior to the various technological applications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Unidade estrutural do polipropileno	25
Figura 02 - Pallets fabricados pela empresa Deutschsul	34
Figura 03 - Cruzetas fabricadas pela empresa Ecology Plastic	35
Figura 04 - Deck fabricado pela empresa Deutschsul	35
Figura 05 - Sofá fabricado pela empresa Deutschsul	36
Figura 06 - Suporte fabricado pela empresa Ecology Plastic	36
Figura 07 - Revestimento fabricado pela empresa Deutschsul	36
Figura 08 - Dormente fabricado pela empresa Deutschsul	37
Figura 09 - Ponte sobre o Rio Hudson	37
Figura 10 - Ponte sobre o Rio Mulica	38
Figura 11 - Resíduo de <i>big bag</i> moído	38
Figura 12 - Casca de arroz	39
Figura 13 - Aglutinado com casca de arroz	39
Figura 14 - Extrusora com oito matrizes	40
Figura 15 - Perfis ecológicos	40
Figura 16 - Tensão x deformação para tração de 60% PP e 40% CA	46
Figura 17 - Transição de características	48
Figura 18 - Tensão x deformação para flexão de 60% PP e 40% CA	49
Figura 19 - Curva de DSC do compósito 80/20 – PP/CA	57
Figura 20 - Curvas de TGA	59
Figura 21 - Morfologia do compósito 60% PP / 40% CA	60
Figura 22 - Morfologia do compósito 100% PP	61
Figura 23 - Interface fibra – matriz do compósito 60% PP / 40% CA	61
Figura 24 - Espaço vazio na interface fibra – matriz	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Propriedades mecânicas á tração	47
Tabela 02 - Propriedades mecânicas á flexão	50
Tabela 03 - Propriedades mecânicas á compressão	52
Tabela 04 - Resultado de Dureza SHORE D	54
Tabela 05 - Propriedades mecânicas de Impacto Izod e Charpy	55
Tabela 06 - Temperaturas obtidas por DSC	58
Tabela 07 - Fração mássica e resíduo resultante em temperaturas elevadas	59
Tabela 08 - Densidade média dos compósitos	63
Tabela 09 - Absorção de água e composições de PP e CA	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 01- Códigos e Siglas de Identificação dos Polímeros Sintéticos	19
--	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
1.1 POLÍMEROS E O MEIO AMBIENTE	17
1.1.1 O plástico nos resíduos domésticos	18
1.1.2 O plástico nos resíduos industriais	20
1.1.3 A reciclagem de plástico no Brasil	22
1.1.4 biopolímeros e polímeros biodegradáveis	24
1.2 O POLIPROPILENO	24
1.2.1 Características	25
1.2.2 Principais aplicações	26
1.3 A CASCA DE ARROZ	27
1.3.1 Características	27
1.3.2 Principais aplicações	28
1.3.3 A casca de arroz no Rio Grande do Sul	29
1.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM RESÍDUOS VEGETAIS	30
1.4.1 Histórico	30
1.4.2 Características	31
1.4.3 O uso de fibras vegetais em compósitos poliméricos	32
1.4.4 Aplicação como substituto a madeira	34
1.5 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO	38
2. OBJETIVOS	41
2.1 OBJETIVO GERAL	41
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS	42
3.2 CARACTERIZAÇÃO	42
3.2.1 Ensaio de tração	42
3.2.2 Ensaio de flexão	42
3.2.3 Ensaio de compressão	42
3.2.4 Ensaio de dureza SHORE D	43

3.2.5 Ensaio de impacto IZOD	43
3.2.6 Ensaio de impacto CHARPY	43
3.2.7 Ensaio de calorimetria exploratória diferencial (DSC)	44
3.2.8 Ensaio de análise termogravimétrica	44
3.2.9 Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV)	44
3.2.10 Ensaio de densidade	45
3.2.11 Ensaio de absorção de água	45
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
4.1 ASPECTOS AMBIENTAIS	46
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	46
4.2.1 Ensaio de tração	46
4.2.2 Ensaio de flexão	49
4.2.3 Ensaio de compressão	51
4.2.4 Ensaio de dureza SHORE	53
4.2.5 Ensaio de impacto IZOD e CHARPY	55
4.2.6 Ensaio de DSC e TGA	57
4.2.7 Ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV)	60
4.2.8 Ensaio de densidade	63
4.2.9 Ensaio de absorção de água	64
CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

TRABALHO APRESENTADO

BAYER, D. R.; RIEGEL, I. C. – **“Estudo e caracterização de perfis fabricados a partir de polipropileno reciclado e casca de arroz”**, 10º Congresso Brasileiro de Polímeros, Foz do Iguaçu - PR, Brasil, 2009.

INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação mundial com o meio ambiente, a utilização de recursos naturais renováveis, os quais não agridem o meio ambiente e representam uma fonte alternativa de grande potencial econômico, tornou-se muito importante para a sobrevivência das indústrias em um mercado globalizado e competitivo (SILVA, 2003).

A escassez de matérias-primas de fontes de renovação muito lenta como o petróleo, por exemplo, levam a busca de alternativas que possam suprir a demanda do homem por materiais, sem que comprometam a qualidade dos produtos e o aspecto econômico nas aplicações. As crises econômicas recentes deixam claro que os preços das *commodities* não são constantes e torna-se necessária cada vez mais o desenvolvimento e a utilização de matérias-primas alternativas.

Com as mudanças nos padrões de consumo ocorridos principalmente nas últimas duas décadas, a geração de resíduos aumentou em grande escala, tanto no universo industrial como também no universo doméstico. Dessa forma, o gerenciamento e a destinação de todo esse resíduo transformou-se em um dos maiores problemas enfrentados pelo homem moderno, desafiando a capacidade humana de organização e também de modificar-se culturalmente, que talvez seja o maior desafio.

De maneira geral, a maior transformação no lixo industrial e doméstico nos últimos vinte anos, ocorreu através do grande aumento na utilização dos plásticos nos mais diversos segmentos da economia. Segundo a pesquisa Ciclosoft, realizada pelo CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem) em 2007, aproximadamente 22% de todos os resíduos gerados nas residências brasileiras são plásticos.

Desde 1988, nos Estados Unidos, estudos tem sido desenvolvidos com o objetivo de entender o comportamento do plástico reciclado misturado a outros materiais, para a substituição da madeira em aplicações estruturais da construção civil (Lampo e Nosker, 2001).

Os compósitos poliméricos normalmente são formados por duas fases, sendo uma matriz caracterizada por uma resina termoplástica e uma fase dispersa, normalmente composta por fibras (Santos, 2007) e que atuam como carga de reforço. O papel da matriz é manter a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitirem as forças de cisalhamento entre as camadas das fibras (para que o compósito resista a dobras e às torções) e protegê-las do ambiente exterior (ALLEN e THOMAS, 1999).

As fibras possuem uma grande versatilidade dentro dos compósitos poliméricos, podendo ser empregadas com objetivos econômicos, técnicos entre outros. Dentro dessa linha de pensamento, a utilização de fibras vegetais incorporadas a matrizes poliméricas vêm sendo muito pesquisada no Brasil, devido ao grande potencial agroindustrial do país, gerando quantidades enormes de rejeitos de origem vegetal.

As fibras vegetais têm sido investigadas para uso como reforço em compósitos com matrizes poliméricas, pois aliam propriedades que levam em consideração aspectos que vão ao encontro dessa 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, possuírem boas propriedades térmicas e alto módulo específico, o que as tornam fortes candidatas em potencial para essas aplicações (BLDZKI e GASSAN, 1999).

No intuito de desenvolver um material com condições de substituir a madeira em determinadas aplicações, aliando boa resistência mecânica, condições econômicas e acabamento final, foram combinados através do processo de intrusão de polímeros, resíduo de polipropileno proveniente de *big-bag's* rompidos e casca de arroz (CA) *in natura*. O resultado final foi uma linha de perfis ecológicos, produzidos com matéria prima 100% reciclada, utilizada atualmente em grande escala em diversos produtos para a indústria ou mesmo para o consumidor doméstico.

O desenvolvimento dessa tecnologia é conseqüência da busca incessante por melhores propriedades, para aplicação em condições cada vez mais severas, além de possibilitar o uso de materiais de baixo custo, baixa abrasividade e baixa densidade (Nunes, 2002).

Os perfis ecológicos produzidos a partir de resíduos de polipropileno e casca de arroz possuem uma grande demanda de mercado e já possuem certificado de patente, sendo o

material registrado com o nome de “Ecowood” pela empresa Deutschul de São Leopoldo no RS.

O objetivo desse trabalho foi um levantamento das condições ambientais e econômicas dos resíduos de polipropileno e da casca de arroz, buscando identificar o panorama desses resíduos no mercado brasileiro e no RS. Com o objetivo de auxiliar a empresa Deutschul no desenvolvimento de novos produtos e abertura de novos mercados, ensaios mecânicos, ensaios térmicos e ensaios ambientais foram realizados, a fim de obter-se uma boa caracterização desses perfis ecológicos.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 POLÍMEROS E O MEIO AMBIENTE

A utilização dos polímeros nos mais diversos segmentos da economia trouxe consigo o que para muitos é um grande problema e para outros uma grande oportunidade, a enorme quantidade de plásticos presentes nos resíduos industriais e também domésticos.

Segundo Teixeira (2008), a maioria das resinas poliméricas não é biodegradável ou não é reaproveitada, deteriorando o aspecto de paisagens naturais, além de ser considerado um dos principais agentes na ocupação de espaço em lixões e aterros sanitários. Tecnicamente a maioria dos polímeros existentes apresenta processos de reciclagem já conhecidos. Porém a dificuldade encontrada pelas prefeituras e governos para realizar gestão de resíduos, fez do plástico uma espécie de vilão do lixo, afetando o meio ambiente durante centenas de anos.

O resíduo sólido, separado na sua origem, nas residências e empresas, e destinado à reciclagem ou produção de composto, não pode ser considerado lixo ou rejeito, e sim, matéria prima ou insumo para a indústria com valor estabelecido pelas leis de oferta e demanda do mercado (Bridi, 2008).

Os polímeros não precisam ser necessariamente um problema para o meio ambiente. Na grande maioria das cidades, podem se tornar oportunidades de novos negócios desde que gerenciados de maneira adequada. O gerenciamento adequado dos resíduos poliméricos assim como de todos os resíduos, possibilita que esses resíduos sejam vendidos com maior valor agregado, possibilitando também a sua utilização em aplicações mais nobres. Dessa forma, toda uma cadeia de mercado é beneficiada, passando por cooperativas de resíduos, comércios de recicláveis e recicladores finais.

Ambientalmente a reciclagem de plásticos é favorável. Segundo AMBIENTEBRASIL (2008), o uso de polímeros recicláveis gera uma economia de 70% de energia durante o ciclo de vida do produto. Outra alternativa é a utilização da incineração de resíduos para a geração

de energia. No entanto, esta última alternativa, apesar de aliviar a carga em aterros domésticos e lixões, causa a perda definitiva da matéria prima.

1.1.1 O Plástico nos Resíduos Domésticos

Nas últimas duas décadas o volume do plástico nos resíduos domésticos aumentou drasticamente em volume e tipologia (CEMPRE, 2008). O plástico foi substituindo rapidamente as embalagens de vidro e papel, sendo hoje o principal componente das embalagens de alimentos, produtos de limpeza e outros. A importância do estudo do tema é fundamentada pela degradação extremamente lenta do material, ocupação volumétrica em aterros e lixões, dificuldade de identificação, seleção e também baixo valor agregado da maioria dos plásticos no mercado de recicláveis.

Segundo Matos (2007), a grande maioria dos plásticos pós-consumo é constituída de termoplásticos, compostos basicamente pelas resinas de PET (politereftalato de etileno), PEAD (polietileno de alta densidade), PEBD (polietileno de baixa densidade), PVC (policloreto de vinila), PP (polipropileno) e PS (poliestireno). Somados esses polímeros representam atualmente cerca de 20% de todo o volume de lixo produzido no Brasil, podendo variar o percentual conforme a condição econômica da região analisada.

No Brasil, devido à falta de sucesso nas iniciativas de gestão de resíduos por parte dos municípios e governos, aliado a falta de sistemas de logística reversa para embalagens diretamente com os fabricantes, a prática demonstra que o indutor econômico acaba sendo o grande responsável pelo aumento nos índices de reciclagem de alguns tipos de plástico. O PET demonstra muito bem essa situação, chegando hoje a atingir 60% de índice de reciclagem de garrafas, devido à utilização desse material na fabricação de fios para a confecção de roupas, tapetes e outros.

Muitas embalagens não apresentam o código de identificação do tipo de plástico utilizado, conforme o quadro 01. Dessa forma, sacarias de PEBD e PP acabam sendo misturadas e destinadas à reciclagem, baixando consideravelmente o valor agregado do produto final e até mesmo impossibilitando a utilização do material em determinadas

aplicações. Segundo Werlang (2007), o mesmo problema ocorre no Brasil com as garrafas de água mineral, que são consideradas embalagens de curto ciclo de vida.

Quadro 01: Códigos e Siglas de Identificação dos Polímeros Sintéticos. (Fonte: ABNT)

Código	Sigla	Polímero
1	PET	Poli (etileno tereftalato)
2	PEAD	Polietileno de Alta Densidade
3	PVC	Poli (cloreto de vinila)
4	PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	Outros	-

Um importante fator para o bom desenvolvimento de sistemas de gestão de resíduos é a responsabilidade legal sobre os mesmos. A ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) classifica os resíduos plásticos pós-consumo através da NBR 10.004 de 2004 como resíduos de classe 2B – Inertes e Não Perigosos. Com isso, não há responsabilidade civil para o cidadão comum para os resíduos plásticos pós consumo por ele gerado. Dessa maneira, a solução mais próxima para o problema da separação e reciclagem de resíduos poliméricos é a mudança cultural da população brasileira.

Um bom indicador para a necessidade de mudança cultural da população brasileira é a utilização indiscriminada de sacolas plásticas nos supermercados e comércio em geral. Segundo dados do SINDIPLAST (SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO PLÁSTICO) de 2008, cada cidadão brasileiro utiliza em média 800 unidades de sacolas plásticas ao longo de um único ano. São mais de 2 unidades de sacolas plásticas diárias para cada pessoa,

demonstrando claramente a falta da cultura de reutilização das sacolas ou embalagens na grande maioria dos brasileiros. Segundo Yoshiga (2004), apenas na cidade de São Paulo são geradas diariamente mais de 700 toneladas de resíduos plásticos provenientes de fontes domésticas.

Iniciativas isoladas não possuem a capacidade de promover tais mudanças no cotidiano das pessoas. É necessário fazer da educação ambiental uma ferramenta de longo prazo, iniciando o trabalho pelas crianças e direcionando posteriormente para os mais idosos. Segundo Naime e Garcia (2004), os seres humanos costumam despertar para uma realidade preocupante apenas quando são submetidos a uma situação limite.

1.1.2 O Plástico nos Resíduos Industriais

No meio industrial o fator econômico é mais relevante, apresentando uma situação muito favorável sob o aspecto econômico e ambiental. A grande maioria das empresas, mesmo aquelas sem sistema de gestão ambiental implantado e documentado, acabam de alguma forma vendendo os seus resíduos para empresas de reciclagem ou comércios de recicláveis.

Outro aspecto importante dos resíduos plásticos de origem industrial é a identificação dos mesmos. Como normalmente os resíduos são gerados em processos conhecidos e controlados, são facilmente identificados e separados, facilitando a operação de venda e reciclagem dos mesmos.

No meio industrial existe uma grande quantidade de resíduos plásticos com processos de reciclagem ainda desconhecidos. Isso ocorre principalmente quando ocorre a incorporação de outros materiais ao plástico, dificultando a separação dos diferentes materiais durante o processo de reciclagem. Como exemplo, as palmilhas de não tecidos compostas basicamente por PET, estireno e formaldeído, muito comuns na região do Vale dos Sinos no RS, pela sua economia ancorada no setor calçadista.

Esse fato acaba de certa forma proporcionando uma quantidade enorme de materiais para a realização de pesquisas e desenvolvimento de novos produtos e mercados. Muitos materiais ainda não possuem destinação adequada, isso significa que ainda existe muito mercado para ser explorado. A sucata plástica proveniente de computadores e celulares é um exemplo, muito pouco desse material é vendido para empresas de reciclagem.

Segundo Parente (2006), desde 1986 nos EUA os resíduos plásticos industriais vêm sendo pesquisados na busca por melhores condições de processamento e desenvolvimento de produtos reciclados de melhor qualidade. Inicialmente buscou-se um produto reciclado mais limpo e com melhor capacidade de processamento, para assim, explorar-se a abertura de novos mercados dentro e fora dos EUA.

No Brasil, as legislações vigentes obrigam as indústrias a realizar uma prestação de contas com os órgãos ambientais referente à geração de resíduos. Dessa forma, o mercado de reciclagem prioriza as aparas industriais, mesmo que negociadas com preços muito superiores as aparas pós-consumo, pois a qualidade do material separado para a venda acaba sendo muito superior aos materiais comercializados por cooperativas de resíduos por exemplo (Naime, 2004).

A reciclagem de aparas industriais é justificada pela questão ambiental e também pela questão econômica. Segundo Fernandes (2007), as resinas recicladas são até 40% mais baratas que as resinas virgens, aumentando a competitividade das empresas e favorecendo o meio ambiente. Na produção de pára-choques automotivos, por exemplo, quanto maior o percentual de material reciclado incorporado ao produto sem comprometer as propriedades técnicas, melhor o preço final da peça em um mercado extremamente competitivo.

Conforme Ashori (2008), muitos países estão analisando mudanças nas legislações para que a incorporação de materiais reciclados e também de materiais ambientalmente mais favoráveis na indústria automotiva, possam ajudar a garantir a qualidade do meio ambiente para as gerações futuras.

Particularmente no RS, existe uma cadeia muito grande de empresas trabalhando com processos de injeção de polímeros. Essas empresas consomem uma grande quantidade de *pellets* reciclados e geram uma quantidade pequena de resíduos em seus processos de

fabricação. Dessa forma, grande parte dos resíduos plásticos de outras indústrias acaba sendo consumido na forma de *pellets* para injeção de peças ou mesmo para utilização em processo de sopro de sacarias.

1.1.3 A Reciclagem de Plásticos no Brasil

A reciclagem de plásticos no Brasil apresenta crescimento significativo a cada ano, impulsionada pelo aumento da demanda dessas matérias primas e pelo mercado que geralmente possui boa aceitação de produtos reciclados. Segundo dados do CEMPRE (2008), 22% de todo o plástico filme e rígido produzido no Brasil em 2007 foi reciclado, representando um aumento de 32% em relação ao ano de 2005. Já o PET, apresentou em 2007 um índice de 53% de embalagens recicladas, sendo quase na totalidade o material revertido para a fabricação de vestuários.

Atualmente o mercado de plástico reciclado brasileiro está crescendo com bons índices, como consequência do aumento do número de municípios que realizam de alguma forma programas de coleta seletiva. De acordo com a pesquisa CICLOSOFT realizada pelo CEMPRE em 2008, o número de municípios brasileiros que realizam coleta seletiva de resíduos é de 405. Em 2004 esse número era de 237 municípios, o que representa um aumento de 70% em um período de 4 anos.

No Brasil a reciclagem de plásticos ocorre basicamente através de dois diferentes processos, reciclagem química e reciclagem mecânica. Segundo Spinacé (2005), a reciclagem química ocorre através de processos de solvólise, métodos térmicos ou ainda métodos térmicos / catalíticos. No Brasil, apenas 5% de todo o plástico produzido é reciclado através de processo químico.

A grande maioria dos plásticos reciclados no Brasil é reciclado através de processos mecânicos, correspondendo a praticamente 95% de todo o plástico reciclado no país. Segundo Forlin (2002), a reciclagem mecânica de polímeros consiste em submeter os materiais plásticos a processos mecânicos, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da

original. Os principais processos de reciclagem de polímeros utilizados atualmente são o processo de extrusão e o processo de injeção.

Existe ainda um terceiro processo de reciclagem de polímeros, a reciclagem energética, praticamente não utilizada no Brasil devido a restrição das entidades ambientais, mas comum na Europa em países como a Alemanha, Áustria e Suécia por exemplo. A reciclagem energética consiste na incineração dos resíduos plásticos para a geração de energia elétrica ou vapor. Esse tipo de reciclagem possibilita a redução de 90% da quantidade de plásticos que necessitam disposição em aterros (Gonçalves, 2007).

Do ponto de vista da conservação das fontes de matéria prima, qualquer fonte de reciclagem é desejável e deve ser incentivada. Na prática, deve ser muito bem avaliado o custo da reciclagem, da energia utilizada, dos impactos ambientais e da realidade econômica e social da região. O Brasil por ser um país extenso territorialmente possui diferenças significativas de matrizes energéticas, realidades culturais e fontes de resíduos.

Dessa forma, independente do tipo de reciclagem a ser implantado, envolvendo ou não resíduos plásticos, devem-se avaliar as condições da região onde se deseja a instalação do processo. Um exemplo dessas particularidades é a região nordeste no Brasil, onde existe uma geração muito significativa de resíduos plásticos na faixa litorânea, mas quase não há sistemas de gestão e de coletas desses resíduos (Teixeira, 2005).

Para o sucesso de qualquer processo de reciclagem ou reutilização de materiais, sejam eles plásticos ou não, torna-se necessário uma gestão adequada desses materiais para mantê-los em condições adequadas de processamento. Para FRÉSCA (2007), o que vai transformar algum material em resíduo sólido, mais popularmente conhecido como lixo, é o fato de seu proprietário ou produtor considerá-lo como inútil ou indesejado, ou ainda, sem valor de uso.

1.1.4 Biopolímeros e Polímeros Biodegradáveis

Atualmente inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas na busca por biopolímeros com boa capacidade de utilização e também fácil degradabilidade após o descarte. Mas existem diferenças entre biopolímeros e polímeros biodegradáveis.

Segundo Borschiver (2008), biopolímeros são materiais provenientes de organismos vivos como cana de açúcar, milho, batata, beterraba e trigo. São materiais fabricados a partir de fontes renováveis de carbono, onde o homem pode controlar a produção de matéria prima através do plantio de espécies, mas não leva em conta a degradabilidade do material.

Já os polímeros biodegradáveis, segundo Franchetti (2006), são polímeros fabricados a partir da síntese da glicose, por exemplo, presente em diversas espécies vegetais e de fácil cultivo. A grande vantagem dos polímeros biodegradáveis é que esse tipo de polímero permite a sua degradação através da ação de microorganismos como fungos, bactérias e algas de ocorrência natural, gerando CO_2 e CH_4 na sua decomposição.

Atualmente biopolímeros e polímeros biodegradáveis representam um percentual muito baixo no consumo de polímeros em todo o planeta, devido à baixa produção e também ao fato de custarem até quatro vezes mais que os demais polímeros convencionais (Franchetti, 2006).

Segundo Silva (2007), o Brasil possui uma posição de mercado muito favorável, por dispor de matérias primas renováveis de baixo custo, por possuir mão de obra qualificada através de diversos grupos de pesquisas já estabelecidos, colocando o país como um postulante a um dos grandes produtores mundiais desses materiais.

1.2 O POLIPROPILENO

As primeiras tentativas de polimerizar o propileno usando processos de alta pressão deram origem a líquidos oleosos sem valor comercial aparente. No entanto com a descoberta

de catalisadores estereoespecíficos de polimerização, à base de cloreto de titânio e etil alumino, foi possível obter polipropileno do tipo isotático, cristalino e de alta massa molar. Isso só foi possível a partir dos trabalhos realizados por Giulio Natta e Karl Ziegler, na Itália em 1954 (Ulloa, 2007).

O polipropileno é uma poliolefina termoplástica obtida por polimerização estereoespecífica do propileno. Por apresentar uma estrutura pouco polar, o polipropileno é praticamente inerte quimicamente, sendo apenas suscetível a dissolução por solventes apolares. O polipropileno é um dos mais importantes plásticos por ser abundante e barato (Dalpiaz, 2006).

Conforme Parente (2006), o polipropileno é um termoplástico de baixa densidade, dúctil, rígido, resistência fluência e com boa resistência química. Normalmente o polipropileno é utilizado em utensílios domésticos, embalagens de alimentos e de produtos químicos, móveis, peças automotivas, brinquedos, etc.

1.2.1 Características

A unidade estrutural do PP é ilustrada na figura 01. Sua estrutura molecular é determinada principalmente pelo tamanho e pelo arranjo estrutural.

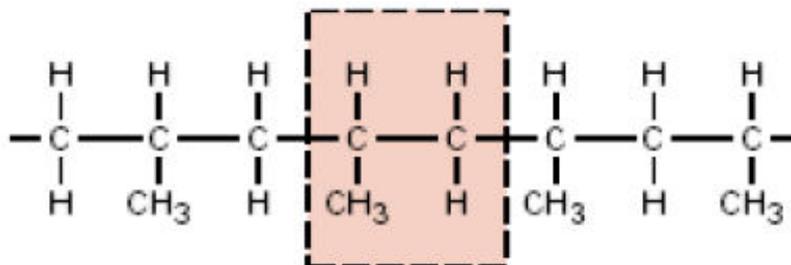


Fig. 01 – Unidade estrutural do polipropileno (Fonte: CALLISTER, 2002)

A ordenação dos carbonos dentro da cadeia polimérica constitui a taticidade, denominação esta criada por Giulio Natta, e 1955 (Moore, 1996). A taticidade do

polipropileno diz respeito à posição do grupo CH_3 dentro da cadeia polimérica. A taticidade relaciona-se à configuração da cadeia.

O polipropileno como qualquer outro material apresenta vantagens e desvantagens, dependendo da aplicação desejada. Entre as vantagens destacam-se a boa resistência química, baixa absorção de umidade, boa resistência ao impacto, soldável e moldável, atóxico, baixo custo dentre os plásticos, bom isolante térmico, fácil usinagem, boa resistência ao atrito regular, boa estabilidade térmica, pode ser aditivado, alta resistência ao entalhe, opera em até 115°C , leveza $0,92 \text{ g/cm}^3$, sendo o mais leve dos plásticos, pode substituir o PVC em aplicações de até 90°C e também é antiaderente (Albuquerque (2001) *apud* Ulloa (2007)).

Como desvantagens o polipropileno apresenta baixa resistência à abrasão, sensível a radiação ultravioleta e de agentes oxidantes, resistência limitada à variação de temperaturas, quando submetido a uma solicitação mecânica a ligação carbono mais hidrogênio se compromete, baixa resistência quando abaixo de 0°C (Ulloa, 2007).

1.2.2 Principais Aplicações

As principais aplicações do polipropileno são recipientes farmacêuticos e medicinais, embalagens de alimentos e produtos de limpeza e uma infinidade de sacarias em geral. Ainda possuem grandes aplicações no segmento industrial, podendo ser utilizados em carcaças de baterias, de lanternas, capas protetoras de cabos elétricos, bases de eletrodomésticos, painéis de isolamento, tubos e conexões para a indústria química, aparelhos ortopédicos, engrenagens, etc (Dalpiaz, 2006).

Uma das maiores aplicações do polipropileno é no segmento automotivo. No Brasil, cada automóvel deixa a fábrica com mais de 40Kg de resina sob as mais diversas formas e aplicações (Oliveira, 2006). Atualmente, através dos estudos realizados com a resina, os pára-choques são mais finos e com excelente desempenho mecânico. Já os painéis automotivos, além de leves, apresentam ótimo acabamento superficial.

Talvez a principal razão para o sucesso do polipropileno seja a sua baixa densidade quando comparado a outros polímeros e também por ser um polímero de fácil reciclabilidade (Callister, 2002).

1.3 A CASCA DE ARROZ

Com o objetivo de reduzir a quantidade de resíduos e desperdícios nos processos industriais e agrícolas, principalmente os poluentes, seja no próprio processo produtivo ou como matéria prima para o desenvolvimento de novos materiais, têm-se cada vez mais investido para transformar esses rejeitos em subprodutos de interesse comercial (Della, 2001).

A casca de arroz é certamente um dos resíduos vegetais mais abundantes no mundo, representando em torno de 20% em peso da colheita de arroz (IRGA – INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ, 2009). Depois de proteger o grão durante o seu desenvolvimento, a casca de arroz torna-se um resíduo indesejável e muitas vezes problemático em centenas de propriedades rurais.

Segundo o IRGA, em 2008 foram colhidas no Brasil aproximadamente 12,28 milhões de toneladas de arroz, sendo aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de casca de arroz. Estudos para o reaproveitamento da casca de arroz são de grande importância para que esse material não seja mais despejado em rios ou encostas (Foletto, 2005).

1.3.1 Características

A casca de arroz é uma capa lenhosa do grão, dura, com alto teor de sílica, composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (Metha, 1992). O percentual de sílica presente na casca de arroz depende da variedade plantada, do clima, do solo e da localização geográfica (Pouey, 2006).

A casca de arroz é considerada um subproduto indesejável devido a características como alta abrasividade, baixas propriedades nutritivas, resistência à degradação, grande volume ocupado e alto teor de cinzas. Portanto, a utilização desse rejeito em processos industriais é cada vez mais pesquisada devido ao fato de ser uma matéria prima promissora, tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental, principalmente em países como Brasil e Índia, que são grandes produtores (Junior, 2007).

1.3.2 Principais Aplicações

Com a evolução tecnológica impactando fortemente a agricultura nacional, a casca de arroz com seu alto poder calorífico (aproximadamente 16.720Kj/Kg) está substituindo a lenha nos secadores de grãos, ainda que essa substituição aconteça de forma lenta. Para se ter uma idéia a casca de arroz possui poder calorífico equivalente a 50% de um carvão betuminoso de boa qualidade e a 33% do petróleo (Della, 2006).

A utilização da casca de arroz quase na totalidade acaba sendo voltada para aplicações menos nobres, de baixo custo, onde o material não represente um grande investimento ou mesmo desperdício. Isso ocorre devido ao fato da casca de arroz não apresentar uma boa capacidade nutritiva, não sendo utilizada na alimentação humana ou animal (Pouey, 2006).

Em muitas ocasiões, o material é espalhado sobre o solo para servir de cama na criação de animais confinados, utilizado em misturas com argila para a confecção de tijolos e telhas com melhores condições de isolamento térmico e na obtenção de sílica (SiO_2) através da queima controlada (Pouey, 2006).

Atualmente pode-se dizer com certeza que o maior número de pesquisas destinadas a utilização da casca de arroz é voltada para a produção de sílica. Inúmeros autores pesquisam a utilização da sílica gerada na queima da casca de arroz para a utilização na fabricação de refratários, componentes eletrônicos, indústria química e outros (Foletto, 2005).

Um estudo também muito importante refere-se à utilização da casca de arroz como biomassa para pirólise. Segundo Diniz (2005), na pirólise são produzidos gases de médio poder calorífico, que podem ser reinseridos no processo, fração líquida aquosa, de onde podem ser retirados produtos como o bioóleo, fonte de insumo para a indústria química e petroquímica. Para isso alguns parâmetros devem ser controlados durante a pirólise como temperatura, pressão e tempo de exposição.

1.3.3 A Casca de Arroz no Rio Grande do Sul

O Rio Grande do Sul é considerado o maior produtor de arroz do Brasil, com mais da metade da produção nacional do grão, sendo a metade sul do estado a grande produtora (IRGA, 2009). Dessa forma o estado também é o maior produtor de casca de arroz do país, totalizando em 2008 cerca de 1.2 milhões de toneladas do material (IRGA, 2009).

Segundo dados do IRGA (2009), o RS possui em torno de 300 usinas de beneficiamento de arroz e certamente nem todas fazem uso da casca de arroz. Algumas cooperativas de arroz na região de Pelotas – RS, já utilizam parte da casca de arroz na produção de energia através da queima em secadores de grãos.

A Braskem, controladora do pólo petroquímico de Triunfo no RS, anunciou em agosto de 2008 um investimento de cento e cinquenta milhões de reais para a construção de cinco usinas de geração de energia elétrica, alimentadas 100% com casca de arroz produzida no estado (Portal CLICRBS, agosto de 2008).

Outra iniciativa de grande viabilidade é a Usina Termoelétrica da Cooperativa Agroindustrial Alegrete - CAAL, na cidade de Alegrete no RS, alimentada exclusivamente com casca de arroz, onde a usina gera energia elétrica para todo o complexo da cooperativa e ainda vende parte ao município, abastecendo residências familiares (CAAL, 2009).

A Camil Alimentos de Itaquí / RS, gera energia elétrica através da queima da casca de arroz desde 2006 e auxiliou na implantação de um sistema semelhante na unidade da

cervejaria Ambev em Viamão / RS, para a mesma finalidade. Além dessas usinas, novas unidades estão em desenvolvimentos no estado nas cidades de São Gabriel, Bagé, São Pedro do Sul e Dom Pedrito. Isso pode ser um indicativo que em pouco tempo a casca de arroz pode vir a se tornar um produto comercial no estado (Portal do Agronegócio, 2009).

1.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM RESÍDUOS VEGETAIS

Um compósito é um material multifásico, que apresenta propriedades diferentes, de modo a produzir uma combinação dessas propriedades. De acordo com esse princípio da ação combinada, melhores propriedades são criadas através de uma escolha adequada de materiais (Callister, 2002).

1.4.1 Histórico

Desde 1988, estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de entender o comportamento do plástico reciclado para a substituição da madeira em diversas áreas da construção civil. (Lampo, 2001). Porém, existem relatos de anos anteriores citando a utilização de materiais compósitos em testes na construção civil.

No início da década de 1990, várias combinações entre resinas poliméricas e farinha de madeira já haviam sido testadas em aplicações para a construção civil, surgindo uma família de materiais conhecida como WPC – Wood Plastic Composites ou Compósito Madeira – Plástico, apresentando vantagens como leveza, versatilidade e baixo custo quando comparado a madeira (Quinhones, 2007).

A introdução comercial dos WPC foi direcionada para aplicações duráveis onde tradicionalmente eram empregadas tecnologias sintéticas. Na construção civil, essa tecnologia foi utilizada inicialmente em portas e janelas, onde a durabilidade e a resistência a umidade

são requisitos principais. Após certo período, a construção civil adotou os WPC para a utilização em perfis para pisos e assoalhos (Wolcott, 1999).

Com o tempo novos materiais foram testados, entre eles a fibra de vidro e diversas combinações entre diferentes resinas recicladas. A utilização de compósitos poliméricos na construção civil e em outros setores da economia é uma realidade nos Estados Unidos e cresce rapidamente no Canadá e na Europa. As tecnologias desenvolvidas nas universidades venceram as barreiras comerciais e tecnológicas, partindo para as indústrias e para a produção em grande escala. Atualmente o setor automobilístico é o setor que mais evoluiu na utilização de compósitos poliméricos (Parente, 2006).

No Brasil a entrada de compósitos industriais fabricados com plástico reciclado e fibras vegetais ocorreram por volta do ano de 1999, buscando a produção de perfis para a substituição da madeira nas mais diversas aplicações. Atualmente cinco empresas dominam o mercado nacional e representam mais de 80% dos perfis fabricados com esses materiais, sendo elas a empresa Deutschul de São Leopoldo / RS, Cogumelo do Rio de Janeiro / RJ, Ecoblock de Belo Horizonte / MG, Wisewood de Itatiba / SP e a empresa Ecology Plastic de Piracicaba / SP (SBRT - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2009).

1.4.2 Características

Uma grande parte dos materiais compósitos é constituída por apenas duas fases, a matriz que é uma fase contínua e envolve a outra fase, chamada freqüentemente de fase dispersa. As propriedades mecânicas obtidas são diretamente afetadas pelas propriedades das fases constituintes, das quantidades relativas e pelo formato das partículas na fase dispersa (Santos, 2006).

Tecnologicamente os compósitos mais interessantes e utilizados são aqueles em que a fase dispersa se encontra na forma de fibras. Esses compósitos são classificados conforme o tamanho da fibra, em compósitos com fibras descontínuas e com fibras contínuas. Para cada combinação entre matriz e fase dispersa existe um comprimento de fibra chamado de comprimento crítico. Fibras contínuas apresentam tamanho muito superior ao tamanho crítico,

enquanto fibras menores ou próximas ao comprimento crítico são chamadas de fibras descontínuas (Callister, 2002).

O comprimento de fibra crítico pode ser definido como o comprimento mínimo de fibra para a produção de reforço. Se a fibra for mais curta que esse comprimento crítico, facilmente se soltará da matriz quando submetida a um esforço. Quando esse comprimento for maior que o comprimento crítico, um esforço elevado produzirá a quebra das fibras, atribuindo ao compósito uma resistência mecânica mais elevada (Joseph, 2003).

Em compósitos com fibras curtas e descontínuas, essas fibras podem estar alinhadas ou não. Resistência mecânica e rigidez significativa podem ser observadas na direção longitudinal em compósitos com fibras curtas e alinhadas, apesar dessas propriedades serem necessariamente isotrópicas (Callister, 2002).

As características mecânicas de um compósito reforçado com fibras não dependem somente das características da fibra, mas também da direção segundo o qual uma carga aplicada é transmitida para as fibras pela fase matriz. Um reforço significativo só é possível se a interação fibra – matriz for forte. A magnitude da ligação interfacial entre as fases fibra e matriz é importante para a extensão dessa transmissão de carga (Callister, 2002).

1.4.3 O Uso de Fibras Vegetais em Compósitos Poliméricos

Fibras são materiais que possuem geometria aproximadamente uniforme, diâmetro reduzido em relação ao seu comprimento e natureza diferenciada variando em função de suas propriedades físico-químicas. Na seleção de fibras vegetais para pesquisa e testes em aplicações é necessário levar em consideração características básicas como cor, densidade, comprimento, resistência, entre outras. As mais utilizadas atualmente são as fibras de sisal, coco, bagaço de cana de açúcar, palha de trigo, bananeira e a casca de arroz. (Rosa, 2007).

Nos últimos anos cargas celulósicas têm atraído considerável interesse quando utilizadas como reforço para termoplásticos como PP e PE. Dentre as cargas orgânicas a fibra de madeira e de celulose oferece muitos benefícios quando usadas como reforço para

polímeros sintéticos tais como resistência mecânica, rigidez específica elevada, densidade relativamente baixa, biodegradabilidade e baixo custo (Prachayawarakorn, 2005).

Já materiais lignocelulósicos representam uma classe de materiais orgânicos sintetizados por árvores, gramíneas ou plantas agrícolas. Atualmente os materiais mais utilizados são o algodão, juta, bambu, pinheiro, ratam, entre outros. Uma das grandes vantagens na utilização de materiais orgânicos é que quase na totalidade esses materiais não representam riscos a saúde (Herrera, 2004).

Atualmente observa-se uma forte tendência em se evitar a geração de qualquer tipo de resíduo em atividades produtivas. Quando isso não se torna possível ou viável por algum aspecto, aproveitar o material residual de alguma outra maneira gerando valor a esses materiais torna-se fundamental para a sobrevivência da atividade produtiva como um todo. Além disso, a tendência atual de se produzir de maneira ecológica, torna necessária a utilização de matérias primas que não causem impactos ao meio ambiente, conservando a qualidade final do produto (Pauleski, 2005).

Na incorporação de fibras naturais em termoplásticos poliolefinicos apolares, o caráter polar da celulose requer a compatibilização do sistema através da incorporação dos chamados agentes de acoplamento ou de adesão interfacial. A escolha de agentes compatibilizantes para promover uma melhor adesão interfacial entre o reforço celulósico e a matriz polimérica poliolefínica deve seguir alguns critérios básicos.

Inicialmente o compatibilizante ou agente de acoplamento, em contato com a superfície do reforço ou carga, deve interagir fortemente com as fibras através de ligações covalentes fortes ou interações secundárias do tipo ácido-base ou pontes de hidrogênio. Isso implica que uma quantidade suficiente de grupos funcionais deve estar presente no compatibilizante de modo a possibilitar a reação com as hidroxilas de celulose (Correa, 2003).

Dentre os agentes de acoplamento mais utilizados nos compósitos contendo fibras naturais, destaca-se o PP modificado com anidrido maleico (PPAM). Diferentes métodos têm sido utilizados na preparação destes polímeros modificados. O método geralmente descrito na literatura para a funcionalização do PP com AM consiste na introdução dos grupos funcionais

na presença de um peróxido orgânico tanto no estado fundido, sólido ou em solução (Santos, 2007).

Com pesquisa e desenvolvimento de tecnologia a utilização de fibras vegetais em compósitos poliméricos é um mercado muito atrativo sob diferentes aspectos. Cabe aos pesquisadores explorarem as possibilidades sob a utilização de fibras vegetais disponíveis na região da pesquisa ou mesmo não muito distante. Porém já começam a surgir os primeiros casos de importação desses materiais, principalmente através da indústria automobilística da Alemanha e da Inglaterra. Um estudo em convênio pelo ministério da agricultura de ambos os países demonstrou que é possível a utilização de 20Kg de fibras vegetais na fabricação de cada veículo (Silva, 2003).

Diversas aplicações em diferentes regiões foram testadas para a obtenção de compósitos poliméricos com fibras vegetais, PP reciclado com fibras de coco verde (Ishizaki e Visconte , 2006), PVC reciclado com fibras de sisal (Martins e Iozzi, 2004), PEAD reciclado com fibras de piaçava (Boneli e Suarez, 2005), PEAD reciclado com casca de arroz e partículas de madeira (Pauleski e Rizzatti, 2007), partículas de madeira com PP, PEAD e PEBD reciclados (Milagres e Pimenta, 2006), PP reciclado com bagaço e palha de cana (Luz e Junior, 2006) e muitos outros em diferentes épocas, comprovando a relevância do tema.

1.4.4 Aplicação como Substituto a Madeira

As principais aplicações de mercado buscam a substituição da madeira, objetivando uma maior durabilidade do produto. No Brasil dentre os produtos já aprovados destacam-se os pallets para o transporte de cargas (figura 02) com mais de 50.000 unidades fabricadas conforme a empresa Deutschsul e também as cruzetas para utilização em redes de energia (figura 03), com mais de 250.000 unidades instaladas conforme a empresa Ecology Plastic.



Fig. 02 – Pallets fabricados pela empresa Deutschsul (Fonte: Deutschsul, 2009)



Fig. 03 – Cruzetas fabricadas pela empresa Ecology Plastic (Fonte: Ecology Plastic, 2009)

No país destacam-se ainda no mercado interno produtos como deck's de piscina (figura 04), mobiliário diverso (figura 05), suportes para sinalização externa (figura 06), placas para revestimento de paredes (figura 07), dormentes para linhas ferroviárias (figura 08) e outros. Ainda existe um grande mercado para os perfis ecológicos quando utilizados como elementos estruturais, substituindo a madeira, aço e concreto, dependendo da aplicação proposta.



Fig. 04 – Deck fabricado pela empresa Deutschsul (Fonte: Diego Bayer, 2009)



Fig. 05 – Sofá fabricado pela empresa Deutschsul (Fonte: Deutschsul, 2009)



Fig. 06 – Suporte fabricadas pela empresa Ecology Plastic (Fonte: Ecology Plastic, 2009)



Fig. 07 – Revestimento fabricado pela empresa Deutschul (Fonte: Diego Bayer, 2009)



Fig. 08 – Dormite fabricado pela empresa Deutschul (Fonte: Deutschul, 2009)

Fora do Brasil alguns exemplos de aplicações em elementos estruturais foram testados e aprovados, como a ponte sobre o Rio Hudson (figura 09), em New York / EUA, construída com 5.000Kg de polietileno ou a ponte sobre o Rio Mulica (figura 10), em New Jersey / EUA, construída com plástico reciclado de 250.000 garrafas de PEAD e 750.000 copos de café de PS, com fibra de vidro.



Fig.09 – Ponte sobre o Rio Hudson (Fonte: Dalfré, 2007)



Fig.10 – Ponte sobre o Rio Mulica (Fonte: Parente, 2006)

1.5 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de fabricação dos perfis ecológicos inicia com o recebimento do resíduo polimérico e da casca de arroz. O resíduo polimérico utilizado no processo é proveniente de *bigbags* de polipropileno, que ficaram de alguma forma inutilizáveis e foram descartados na forma de sucata. Este resíduo chega à empresa já moído, conforme a figura 11.



Fig. 11 – Resíduo de *bigbags* moído.

O segundo resíduo recebido utilizado no processo de produção é a casca de arroz, que chega a empresa sem nenhum tratamento anterior, devendo estar apenas seca para a utilização, conforme a figura 12.



Fig. 12 – Casca de arroz.

Estando o resíduo polimérico já moído e a casca de arroz seca, ambos os materiais são inseridos em um aglutinador para que ocorra a mistura dos materiais e também se obtenha um ganho de peso pelo adensamento dos pedaços dos filmes plásticos e casca de arroz. O processo de aglutinação é um procedimento que utiliza calor e movimento para a obtenção de tal resultado. O produto final do processo é demonstrado na figura 13. Durante essa etapa ocorre também a adição do pigmento.



Fig. 13 – Aglutinado com casca de arroz.

O ganho de peso é importante para um bom funcionamento da extrusora, visto que o material desce até a rosca de transporte por gravidade. As extrusoras utilizadas possuem oito matrizes de aço, permitindo a produção simultânea de perfis em medidas diferentes. O processo é conhecido como intrusão. A figura 14 mostra uma das extrusoras utilizadas pela empresa.



Fig. 14 – Extrusora com oito matrizes.

Depois de preenchida a matriz com a mistura de plástico fundido e casca de arroz, a matriz é esfriada em tanque de água por aproximadamente dez minutos. Depois de resfriado o material, um pistão hidráulico faz a extração da peça do interior da matriz, liberando o perfil ecológico já em seu formato final, sem a necessidade de ajustes manuais ou mesmo mecânicos, conforme a figura 15.



Fig. 15 – Perfis ecológicos (Fonte: Deutschsul)

Atualmente a empresa conta com dez medidas diferentes de matrizes, todas elas com capacidades de produção de perfis com comprimento final de três metros.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar avaliação de aspectos ambientais dos resíduos de polipropileno e da casca de arroz, assim como a caracterização de desempenho do composto polimérico através de ensaios laboratoriais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- levantamento de dados sobre a situação da reciclagem de polímeros no Brasil, em especial o polipropileno;
- levantamento dos aspectos ambientais e das possibilidades de utilização da casca de arroz em novos produtos comerciais;
- definir e avaliar as propriedades mecânicas do material para diferentes composições de casca de arroz e resina reciclada;
- definir e avaliar as propriedades térmicas do material para diferentes composições de casca de arroz e resina reciclada;
- definir e avaliar a estrutura morfológica do material para diferentes composições de casca de arroz e resina reciclada;
- avaliar as características do material quando submetido a condições ambientais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ASPECTOS AMBIENTAIS

Os aspectos ambientais referentes aos resíduos utilizados foram obtidos através de levantamento bibliográfico, pesquisas e contatos com cooperativas e entidades representativas na área ambiental e da cadeia produtiva do arroz no Brasil. Buscou-se identificar as características principais em relação à geração e destinação desses resíduos, abordando o aproveitamento desses materiais assim como sua destinação.

3.2 CARACTERIZAÇÃO

A caracterização dos perfis ecológicos fabricados a partir da reciclagem de polipropileno e casca de arroz dividiu-se em onze diferentes ensaios físico-mecânicos, objetivando a aquisição do maior número de informações possíveis para entender as modificações nas diferentes composições ensaiadas.

Para a caracterização das diferentes formulações do compósito polimérico foram adotados os ensaios apresentados abaixo, para as composições de 100% PP, 80% PP e 20% CA e ainda 60% PP e 40% CA:

3.2.1 Ensaio de Tração

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR9622 – Plásticos: Determinação das propriedades mecânicas à tração. O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaios da marca Versat Tester, modelo 10.000, com velocidade de ensaio de 1 milímetro por minuto, com a célula de carga de 10KN. Para cada composição do material, foi ensaiado um número de dez corpos de prova. Os ensaios foram realizados nas

dependências da Oficina Tecnológica do Centro Universitário Feevale. Os corpos de prova foram preparados conforme o Tipo I da norma técnica, através de modelagem paramétrica 3D, usinagem e extração em serra fita com controle dimensional.

3.2.2 Ensaio de Flexão

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR7447 – Plásticos Rígidos: Determinação das propriedades de flexão. Os ensaios foram realizados nas dependências de empresa privada colaboradora do projeto, utilizando-se máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL 2.000. Para cada composição do material, foi ensaiado um número de dez corpos de prova, adotando-se a velocidade de 1,4 milímetros por minuto. Os corpos de prova foram preparados conforme dimensões padronizadas pela norma técnica, através de modelagem paramétrica 3D, usinagem e extração em serra fita com controle dimensional.

3.2.3 Ensaio de Compressão

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR9628 – Plásticos: Determinação das características em compressão. O equipamento utilizado foi à máquina universal de ensaios da marca Versat Tester, modelo 10.000, com velocidade de ensaio de 1 milímetro por minuto. Para cada composição do material, foi ensaiado um número de dez corpos de prova. Os ensaios foram realizados nas dependências da Oficina Tecnológica do Centro Universitário Feevale. Os corpos de prova foram preparados dentro dos limites apontados na norma técnica, através de modelagem paramétrica 3D, usinagem e extração em serra fita com controle dimensional.

3.2.4 Ensaio de Dureza Shore D

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR7456 – Plástico: Determinação da dureza Shore. Para cada composição do material foi ensaiado um número de três corpos de prova, utilizando-se o método “D” da norma. Os ensaios foram realizados nas dependências de uma empresa privada que colaborou com o projeto. Os corpos de prova foram subtraídos com a utilização de serra fita com controle dimensional. Foram realizadas 5 medições em cada corpo de prova, sendo cada medição realizada com distância mínima de 6 milímetros entre cada ponto.

3.2.5 Ensaio de Impacto IZOD

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR8425 – Plásticos Rígidos: Determinação da resistência ao impacto IZOD. Para cada composição do material foi ensaiado um número de dez corpos de prova, utilizando-se o método “A” da norma. Os ensaios foram realizados nas dependências da Oficina Tecnológica do Centro Universitário Feevale, utilizando-se o equipamento da marca EMIC e pêndulo de 2,7J. Os corpos de prova foram subtraídos com a utilização de serra fita com controle dimensional, seguindo as medidas citadas no método “A”. Cada corpo de prova foi entalhado com ângulo de 45° e profundidade de 1,27 milímetros, medidos em projetor de perfis.

3.2.6 Ensaio de Impacto CHARPY

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR9564 – Plásticos Rígidos: Determinação da resistência ao impacto CHARPY. Para cada composição do material foi ensaiado um número de dez corpos de prova, utilizando-se o corpo de prova tipo 1 e o entalhe tipo “A” da norma. Os ensaios foram realizados nas dependências da Oficina Tecnológica do Centro Universitário Feevale, utilizando o equipamento da marca

EMIC e pêndulo de 2,7J. Os corpos de prova foram subtraídos com a utilização de serra fita com controle dimensional.

3.2.7 Ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a das normas ASTM D 3418 e ASTM D 3417. O equipamento utilizado foi o da marca Shimadzu, modelo DSC-60, a uma taxa de 10 °C/min em atmosfera de nitrogênio. Para cada composição do material foi realizado ensaio em duas amostras, com massa de aproximadamente 5 miligramas. Os ensaios foram realizados nas dependências da Central Analítica do Centro Universitário Feevale.

3.2.8 Ensaio de Análise Termogravimétrica (TGA)

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma ASTM E 1131 – 03. O equipamento utilizado foi o da marca Shimadzu, modelo TGA-50, a uma taxa de 10 °C/min em atmosfera de nitrogênio. Para cada composição do material foi realizado ensaio em uma amostra, com massa de aproximadamente 5 miligramas. Os ensaios foram realizados nas dependências da Central Analítica do Centro Universitário Feevale.

3.2.9 Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

No presente trabalho foi avaliada uma amostra para cada composição do material, objetivando analisar superfície de fratura e interface entre os materiais. Os ensaios foram realizados nas dependências do Centro de Microscopia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. As superfícies foram metalizadas com ouro, para possibilitar as análises microscópicas realizadas com ampliações com variações entre 25 e 5.000 vezes.

3.2.10 Ensaio de Densidade

A metodologia adotada para a realização do ensaio de densidade refere-se a da norma ASTM D 792. Para cada composição do compósito polimérico foi ensaiado um número de cinco amostras, seguindo o princípio de Arquimedes. Os ensaios foram realizados nas dependências de empresa colaboradora do projeto.

4.2.11 Ensaio de Absorção de Água

A metodologia adotada para a realização do ensaio refere-se a da norma NBR8514 – Determinação da absorção de água. Para cada composição do compósito polimérico foi ensaiado um número de cinco corpos de prova. Os corpos de prova foram secos em estufa a 50°C durante 4 horas e depois pesados em balança analítica. Após a pesagem foram mergulhados em água durante 48 horas, sendo posteriormente pesados novamente em balança analítica. Os ensaios foram realizados nas dependências da Central Analítica da Feevale.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ASPECTOS AMBIENTAIS

Foram realizadas análises referentes aos aspectos ambientais dos resíduos envolvidos, objetivando identificar informações como quantidade gerada, valores comerciais, utilizações atuais, condições de gerenciamento e outros fatores.

Os aspectos ambientais analisados demonstraram que ambos os resíduos são gerados em grandes quantidades no Brasil e um percentual baixo desses materiais são efetivamente reaproveitados de alguma maneira. Os resíduos plásticos apresentaram situações distintas. Enquanto na indústria o material é altamente gerenciado e comercializado já com valores de mercado bem definidos. No universo doméstico pouco se reaproveita, em torno de 20% (CEMPRE, 2009).

Esse é um reflexo do grande número de municípios sem coleta seletiva e ainda fazendo uso de lixões para a disposição dos resíduos domésticos. Dessa forma não existe ainda uma padronização do valor comercial desse material, pois existe uma variação enorme nas condições físicas do mesmo conforme a cidade ou região.

Já a CA ainda é um resíduo muito pouco utilizado e sem valor comercial definido, disponível em grandes quantidades, acima de um milhão de toneladas anuais apenas no RS (IRGA, 2009). Foram identificadas algumas iniciativas de cooperativas para a utilização desse resíduo na queima para a produção de energia e em secadores de grãos, mas estas iniciativas são espontâneas, sem a documentação de condições operacionais padronizadas e regulamentadas pelo estado.

Dessa forma, identificou-se que ambos os materiais utilizados apresentam grandes volumes, mas dependem de sistemas de gerenciamento para fazer com que se possa ter um controle maior na geração e destinação desses resíduos.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Como já foi citado ao longo do trabalho, todos os ensaios foram realizados para três diferentes composições do material, sendo os percentuais em peso 100% PP, 80% PP e 20% CA e ainda 60% PP e 40% CA. Os resultados foram avaliados e discutidos buscando-se o entendimento da influência da CA na composição do material.

4.2.1 Ensaio de Tração

A resistência a tração é avaliada pela carga aplicada por unidade de área inicial do corpo de prova no momento da ruptura ou no ponto de tensão máxima suportada. A figura 16 demonstra o comportamento da carga aplicada por unidade de área em função da deformação linear do material até o momento de ruptura para a composição com fração mássica de 60% PP e 40% CA.

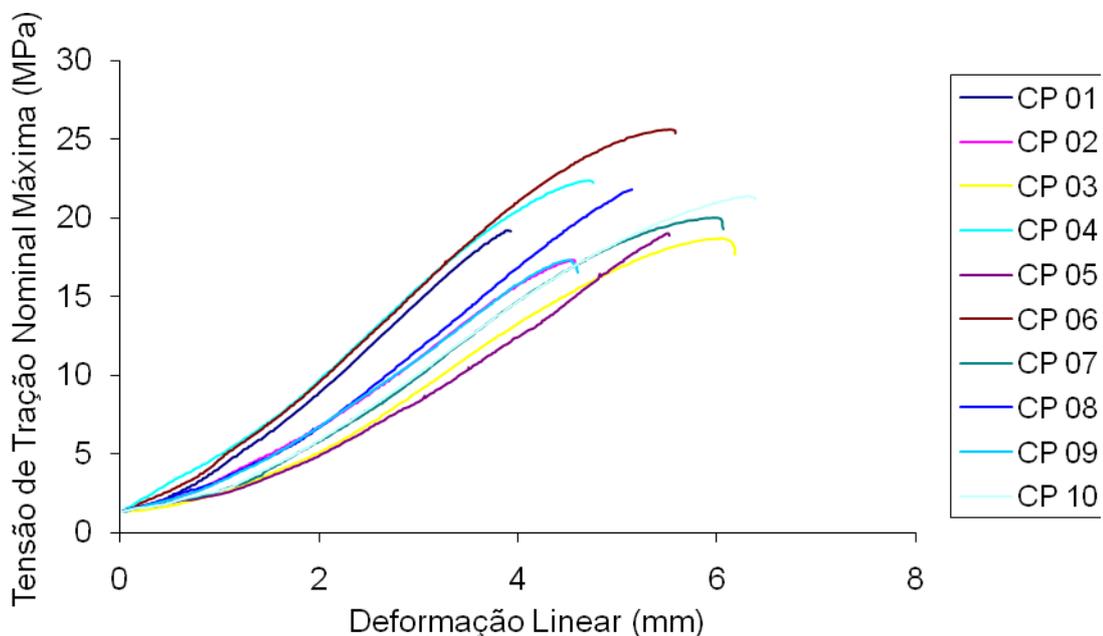


Fig.16 – Tensão x deformação para tração de 60% PP e 40% CA

As propriedades mecânicas de tensão máxima, módulo de elasticidade e deformação linear, determinadas nesses ensaios, são apresentadas através da tabela 01.

Tabela 01: Propriedades mecânicas á tração.

Composição / Propriedade	Tensão Máxima (MPa)	Desvio Padrão	Módulo de Elasticidade (MPa)	Desvio Padrão	Deformação Linear (mm)	Desvio Padrão
100% PP	17,26	4,16	136,57	22,66	7,27	2,13
80% PP e 20% casca de arroz	19,48	2,87	169,48	28,85	6,25	0,93
60% PP e 40% casca de arroz	20,30	2,55	218,66	23,42	5,27	0,8

Verifica-se que a tensão máxima suportada pelos compósitos aumenta na medida em que a fração mássica de CA aumenta na composição do material. O aumento da fração mássica de CA resulta também em um aumento da área interfacial entre a matriz e a carga, podendo esse fato ser uma das explicações para um acréscimo na ordem de 17% na tensão máxima suportada pelo material com 40% de carga quando comparado ao material sem a presença da carga.

Por outro lado a adição de CA representou uma diminuição importante na capacidade do material deformar-se linearmente, na ordem de 28% quando comparados o material sem CA e com fração mássica de 40%. De acordo com Rana (1998), um aumento no percentual de carga restringe a mobilidade das cadeias do polipropileno, refletindo-se em um aumento dos valores de módulo. Dessa forma o módulo de elasticidade do material ensaiado foi afetado fortemente, com acréscimo de cerca de 60% quando comparadas às mesmas composições.

Em 2006, Luz e colaboradores testaram diversos percentuais de polipropileno misturados a diferentes percentuais de celulose de bagaço de cana de açúcar e celulose de palha de cana de açúcar. Para ambos os tipos de celulose, o módulo de elasticidade apresentou elevações da ordem de 70% em comparação com os dados obtidos a partir da análise do polipropileno reciclado em percentual de 100%.

As variações encontradas nos dados analisados indicam que um aumento na fração mássica de CA na composição do material, pode levar o material para uma transição de característica, passando de um polímero de característica dúctil para um polímero de característica frágil, conforme as curvas apresentadas na figura 17. Porém essa afirmação só pode ser confirmada analisando-se o gráfico abaixo em conjunto com os resultados encontrados nos ensaios de impacto.

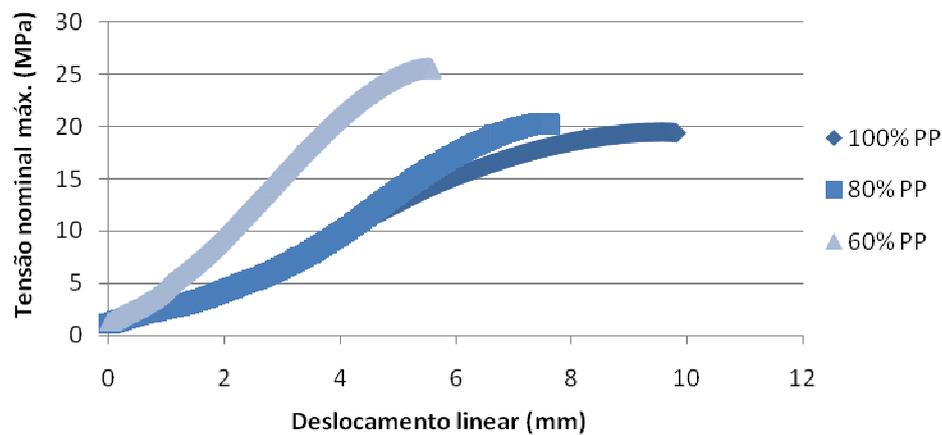


Fig. 17 – Transição de características

Os valores elevados dos desvios padrão provavelmente estão relacionados a falhas na homogeneização da CA no material durante o processo de mistura dos componentes. Ainda há a falta de controle de granulometria, já que a CA é utilizada sem tratamento algum, o que acaba provocando modificações nas propriedades mecânicas.

As propriedades de tensão de materiais usados como carga para termoplásticos dependem de parâmetros como relação comprimento *versus* espessura da partícula, orientação, microestrutura e distribuição (Espert, 2003). Dessa forma um controle maior sobre a granulometria e a forma de inserção da carga no material é muito importante para que se obtenha um material produzido com características mais homogêneas.

4.2.2 Ensaio de Flexão

A resistência a flexão por três pontos é avaliada através da relação entre a carga aplicada e a unidade de área do corpo de prova durante a sua deformação, chamada de deflexão linear. A figura 18 demonstra o comportamento das amostras de composição 60% PP e 40% CA em relação à tensão máxima suportada e a deflexão linear do corpo de prova quando submetido ao esforço de flexão.

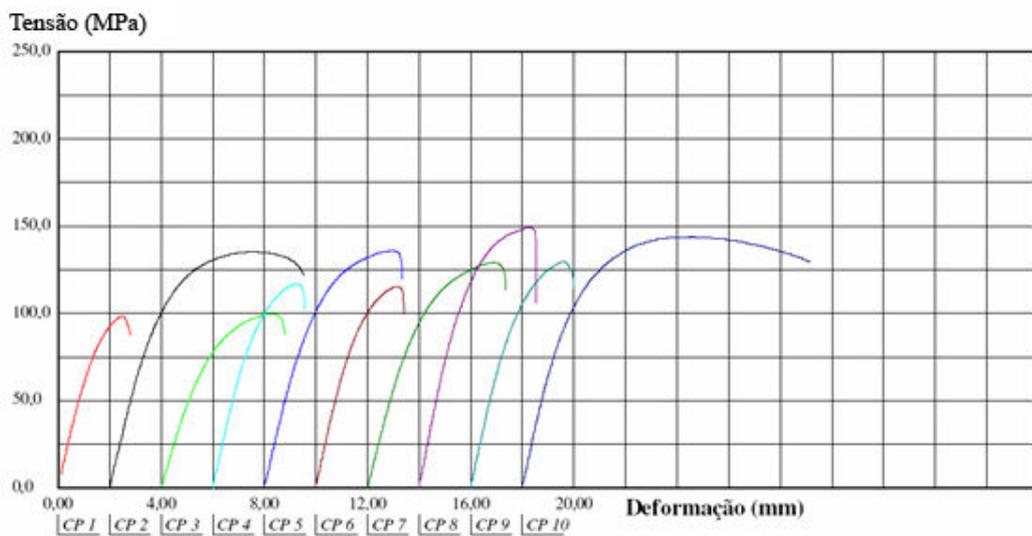


Fig.18 – Tensão x deformação para flexão de 60% PP e 40% CA

As propriedades mecânicas de força máxima, módulo de elasticidade e deflexão linear, para as três composições, são apresentadas na tabela 02.

Tabela 02: Propriedades mecânicas á flexão.

Composição / Propriedade	Tensão Máxima (MPa)	Desvio Padrão	Módulo de Elasticidade (MPa)	Desvio Padrão	Deflexão Linear (mm)	Desvio Padrão
100% PP	107,1	29,77	1274	155,2	7,61	3,05
80% PP e 20% casca de arroz	113,9	25,98	1624	246,7	5,48	1,97
60% PP e 40% casca de arroz	125,5	17,35	2084	313,5	4,15	1,22

O aumento na fração mássica da CA na composição do material resultou um acréscimo na tensão máxima suportada pelo material na ordem de 17% e uma diminuição na capacidade de deflexão linear do material em torno de 45%. O módulo de elasticidade apresentou um acréscimo de 63,5% quando comparado o PP 100% reciclado e o compósito com 60% PP e 40% CA, sendo esse acréscimo bem significativo.

Ishizaki e colaboradores (2006) realizaram ensaios de flexão para diferentes composições de PP e fibra de coco verde (FCV), sendo que a composição de 70% PP e 30% FCV apresentou um acréscimo significativo no módulo de elasticidade, em torno de 30%. Milagres e colaboradores (2006) concluíram que partículas de madeira de eucalipto incorporadas ao PP em frações mássicas de até 50% melhoraram as propriedades mecânicas do material quando comparadas ao PP puro, principalmente a tensão máxima suportada.

Luz e colaboradores (2006) ensaiaram diferentes composições de PP com celulose obtida do bagaço e da palha de cana de açúcar, sendo que para as duas fibras vegetais os acréscimos nas propriedades mecânicas foram superiores a 35% quando comparados ao PP puro. Gassan e Bledzki (1997) observaram que a resistência a flexão dos compósitos com fibra de juta e PP aumenta com o aumento da fração mássica da quantidade de fibras até determinado ponto.

A grande maioria dos trabalhos relata ganhos significativos em algumas propriedades mecânicas em compósitos poliméricos com fibras vegetais, apresentando também diferenças entre si na medida em que corpos de prova são produzidos através de processos diferentes. Procedimentos artesanais de preparação de corpos de prova em alguns casos podem interferir negativamente nos resultados finais encontrados através dos ensaios.

Correa e colaboradores (2003) ensaiaram amostras produzidas a partir da mistura de resíduos de PP e farinha de madeira. As amostras foram produzidas através de processos distintos (extrusão, injeção e pressão em molde), porém com as mesmas composições. Os resultados apontaram diferenças significativas nas propriedades encontradas e os autores concluíram que o processo de fabricação pode influenciar nas características finais do material produzido, demonstrando que o processo de fabricação é tão importante quanto à composição em si do material.

4.2.3 Ensaio de Compressão

A resistência a compressão é uma das propriedades mais importantes na hora de definirem-se as aplicações dos compósitos estruturais. As diferentes composições ensaiadas apresentaram tendências significativas, conforme o percentual de CA é aumentado na composição do material.

Os resultados obtidos através do ensaio de compressão para as diferentes composições são apresentados através da tabela 03 a seguir.

Tabela 03: Propriedades mecânicas á compressão.

Composição / Propriedade	Resistência Máxima (MPa)	Desvio Padrão	Módulo de Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Deformação Linear (mm)	Desvio Padrão
100% PP	37,9	2,0	9,0	0,8	4,2	0,5
80% PP e 20% casca de arroz	39,1	1,2	10,0	1,2	3,9	0,5
60% PP e 40% casca de arroz	45,1	2,5	16,7	1,8	2,7	0,2

O aumento da fração mássica de CA na composição do material resultou em um aumento de aproximadamente 19% na resistência máxima suportada quando comparados com a composição com 60% PP e 40% CA com o PP puro. O aumento na resistência máxima é também verificado através da deformação linear, onde o material reduziu a sua deformação em cerca de 35%.

O módulo de compressão foi fortemente alterado, aumentando em cerca de 85% quando comparadas as composições de 60% PP e 100% PP. Esse fato pode ser justificado na medida em que o material praticamente não apresentou flambagem durante os ensaios, ou seja, o corpo de prova não entortou, na medida em que a fração mássica de CA era aumentada. Esse comportamento pode ser um indicativo que o material passa de uma condição de característica dúctil para um material com característica frágil. Avaliações semelhantes já haviam sido observadas nos ensaios de tração e flexão.

Botelho e Rezende (2002) ensaiaram compósitos com matriz de nylon e reforçados com fibra de carbono, obtendo ganhos de 20% quando incorporados até 40% de fibra de carbono. Dantas e colaboradores (2008) ensaiaram diferentes composições de poliéster e juta para aplicações em paredes de silos, encontrando elevações significativas nas propriedades de compressão quando inseridas três camadas de juta na parede do material ensaiado.

Martins e colaboradores (2008) ensaiaram diferentes composições de cinza da queima de carvão vegetal com matrizes de PEAD, PEBD e PP, sendo que para a composição de 60% PP e 40% cinza, a deformação linear foi inferior ao PP virgem e a resistência a compressão recebeu um acréscimo significativo.

A CA pode melhorar as propriedades de compósitos, tendo eles matrizes poliméricas ou não. Zucco e Beraldo (2008) ensaiaram diferentes frações mássicas de CA inseridas em blocos de cimento, onde conseguiram diminuir a quantidade de cimento em 35% para manter a mesma resistência a compressão de blocos com apenas cimento, ou seja, 35% de CA na composição do material apresentou a mesma resistência do cimento puro.

Em diversos experimentos utilizando-se matrizes poliméricas as fibras vegetais ou não vegetais apresentam ganhos significativos nas propriedades mecânicas dos compósitos quando submetidos à compressão mecânica. As variações certamente apresentam divergências devido aos diferentes métodos de fabricação dos corpos de prova.

Marconcini e colaboradores (2008) avaliaram compósitos de PET reciclado com fibras de bagaço de cana em diferentes frações mássicas, concluindo que sem a adição de agentes compatibilizantes, as propriedades mecânicas do material quando submetido ao esforço de compressão são severamente prejudicadas.

Dessa forma fica evidenciado que por mais que a adição de fibras vegetais possa vir a representar um aumento na resistência mecânica do material, agentes de compatibilização podem significar um diferencial importante na busca por aplicações direcionadas ao segmento industrial e produções em escalas.

4.2.4 Ensaio de Dureza SHORE

A dureza de um material mede o quanto esse é resistente ao risco feitos por objetos de materiais mais duros que o testado. Há várias escalas de medidas de dureza, sendo que a escala SHORE é a escolhida para medir a dureza de polímeros e plásticos em geral. O teste é feito pela penetração de uma haste pontiaguda (penetrador) no material em um intervalo de

tempo predeterminado e com uma carga constante, nesse caso 5Kg. Quanto maior o valor medido, mais duro é o material ensaiado. Os dados encontrados para as diferentes composições ensaiadas são apresentados na tabela 04 a seguir.

Tabela 04: Resultado de Dureza SHORE D

Composição	Média	Desvio Padrão
100% PP	70,70	0,25
80% PP e 20% casca de arroz	69,15	0,70
60% PP e 40% casca de arroz	69,75	0,79
Média Geral	69,87	0,58

Observou-se que para todas as composições ensaiadas a dureza média do material foi muito próximo a 70, sem sofrer influência em relação à fração mássica de CA utilizada na composição do material. Teixeira (2005) ensaiou diferentes composições de poliéster com farinha de madeira, tendo observado que as variações da fibra vegetal não interferiram na dureza do material.

Santos (2006) analisou diferentes composições de PP com fibras de coco, observando que em percentuais de até 30% de fibras a dureza SHORE manteve-se em valores próximo a 58, sem alterações significativas em função do percentual de carga na composição do material. Muller e colaboradores (2006) analisaram composições de PP virgem e fibras de cana de açúcar, concluindo que a dureza média do compósito manteve-se próximo a 80, sem sofrer variações em relação ao percentual de fibra.

Os dados encontrados são muito próximos aos dados do polipropileno virgem produzido pela empresa Brakem no Rio Grande do Sul (2009), que apresenta dureza média de 72, segundo informações técnicas fornecidas pela empresa. Dessa forma constata-se que as diferentes composições do material apresentam boa resistência a riscos e desgastes por atrito.

4.2.5 Ensaios de Impacto Izod e Charpy

A resistência ao impacto é a habilidade de um material polimérico em suportar choques intensos e esta resistência pode decidir sobre o sucesso ou o fracasso de seu uso em uma determinada aplicação (Canevarolo, 2001). A propriedade medida no ensaio de impacto é o somatório das energias necessárias para deformar, iniciar a ruptura, propagar a ruptura e arremessar ao ar a extremidade livre do corpo de prova (NBR8425, 1984). A tabela 05 a seguir, demonstra os resultados dos ensaios de impacto Izod e Charpy para as diferentes composições de PP e CA que foram ensaiadas.

Tabela 05: Propriedades mecânicas de Impacto Izod e Charpy

Impacto	Izod		Charpy	
	Energia Média (KJ/m²)	Desvio Padrão	Energia Média (KJ/m²)	Desvio Padrão
100% PP	132,8	30,7	318,7	134,8
80% PP + 20% CA	196,9	22,4	237,5	105,4
60% PP + 40% CA	169,6	40,9	160,9	64,2

Podem-se observar comportamentos bem distintos para os ensaios de impacto Izod e Charpy nas diferentes composições ensaiadas. No ensaio de impacto Izod onde o corpo de prova fica na posição vertical e sofre a ação do pêndulo na face entalhada, os resultados encontrados indicam uma elevação bem considerável da energia média absorvida para a composição de 80% PP e 20% CA, na faixa de 48%.

Porém uma elevação da fração mássica de CA para 40% apresentou uma diminuição da energia absorvida quando comparada a composição com apenas de 20% de CA, sendo mesmo assim superior ao PP puro. O desvio padrão encontrado foi consideravelmente elevado, podendo ser indício da falta de uma distribuição uniforme da CA na composição do material durante o processo de fabricação.

Rosa (2007) observou que em compósitos de PP e CA a adição de até 20% de CA na composição do material, apresentou um aumento importante nas propriedades de impacto izod quando comparados ao PP puro. Importante também ressaltar que a autora ensaiou compósitos com CA de menor granulometria e obteve resultados mais satisfatórios, demonstrando dessa maneira que o tratamento da CA é importante na busca pelo melhoramento das propriedades mecânicas.

No ensaio de impacto Charpy onde o corpo de prova é posicionado na horizontal e sofre também a ação do pêndulo na face oposta à face entalhada, uma diminuição importante na capacidade de absorver energia foi observada. Comparando-se o PP puro a composição com adição de 40% de CA, a capacidade de absorver energia apresentou uma diminuição na faixa de 50%. O desvio padrão encontrado apresentou novamente valores considerados elevados.

Dalpiaz (2006) ensaiou compósitos de PP com cargas minerais e concluiu que em ensaios de impacto Charpy, independente da fração mássica de carga a capacidade de absorver energia do material não apresentou elevação.

A casca de arroz quando comparada a farinha de madeira apresenta um comportamento muito similar em condições de ensaios de impacto, pois o aumento da fração mássica da farinha de madeira em estudos com diversas matrizes poliméricas apresentou uma diminuição significativa nas propriedades mecânicas (Bledzki, 1999).

A diminuição na capacidade de absorver energia encontrada parece ser o indicativo de uma transição de característica, onde o material passa de um comportamento dúctil para um comportamento frágil. Essa mudança de característica vai de encontro ao que já havia sido observado nas propriedades mecânicas encontradas no ensaio de tração.

Rana (1998) relata que a propagação da trinca dentro do compósito ocorre justamente nas extremidades das partículas. Quando o volume de partículas aumenta na composição do material, diminui a distância entre as partículas e a propagação da fissura é facilitada. Esse fato pode ser minimizado através da diminuição de granulometria e conseqüentemente o aumento da área superficial, onde as partículas passam a adotar extremidades cada vez menores.

Porém a diminuição da granulometria do material na busca pelo melhoramento das propriedades mecânicas em ensaios de impacto apresenta um valor ótimo de tamanho de partícula. Fernandez e colaboradores (2002) comprovaram que para ensaios de impacto a granulometria que apresenta melhores valores para diferentes tipos de partículas é a de 10 micrometros, podendo o material tornar-se mais frágil para granulometrias inferiores.

4.2.6 Ensaios de DSC e TGA

A partir da análise da curva apresentada na figura 19, observa-se que o material apresenta dois diferentes picos de fusão, indicando que além do PP pode existir na composição dos *big bag's* um segundo polímero. O primeiro pico de fusão identificado ocorre a temperatura de 125°C, sendo provavelmente relativo ao PEBD, que é muito utilizado combinado ao PP em formulações de sacarias. O segundo pico de fusão identificado em temperatura de 165°C ao PP.

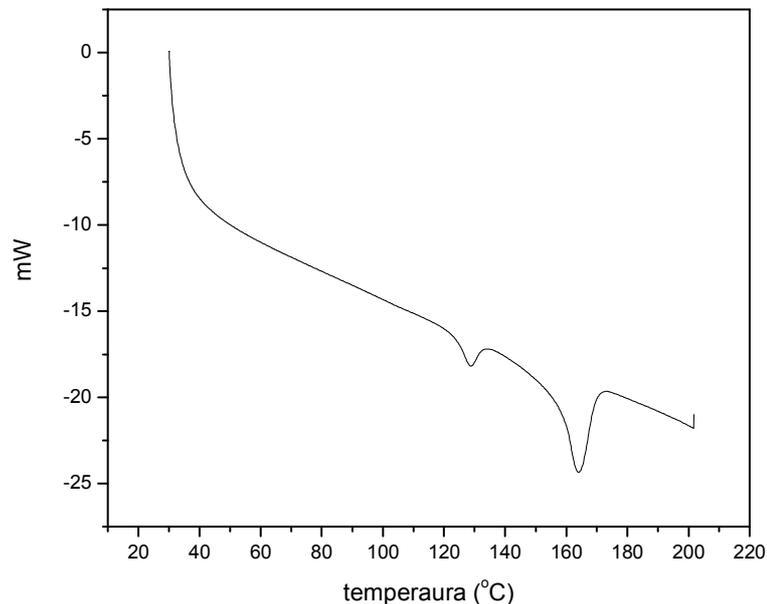


Fig. 19 – Curva de DSC do compósito 80/20 – PP/CA (percentual mássico).

Já a presença de CA em diferentes frações mássicas não apresentou diferenças significativas na temperatura de fusão (T_m) encontrada em cada análise. A tabela 06 lista as temperaturas encontradas nas amostras ensaiadas para as diferentes composições em duplicata.

Tab 06 – Temperaturas obtidas por DSC.

	Amostra 01	Amostra 02
Composição / Propriedade	T _m (°C)	T _m (°C)
100% PP	166,1	164,0
80% PP + 20% CA	165,7	163,8
60% PP + 40% CA	166,5	165,3

Rosa (2007) analisou diferentes composições de PP e CA, tendo encontrado o pico endomérico em 164°C em onze diferentes composições. Foi observado também que a presença da fibra, com diferentes granulometrias controladas, não representou nenhum tipo de alteração na temperatura de fusão do material. Correa (2003) analisou diferentes composições de PP e farinha de madeira e constatou que a temperatura de fusão não era afetada.

Essa estabilidade térmica apresentada pela fibra, nesse caso a CA é de grande importância para que não ocorram alterações na temperatura de fusão do compósito polimérico. A análise termogravimétrica realizada por Kim (2004) demonstrou que na temperatura de 200°C inicia-se uma fase de degradação da CA, seguindo até 450°C, onde ocorre a perda de cerca de 68% de massa do material. Dessa forma matrizes poliméricas com ponto de fusão inferior a 200°C não são afetadas em seu ponto de fusão pela presença de CA. O resíduo restante é constituído por cerca de 95% de sílica.

A curva de termogravimetria apresentada na figura 20 indica uma redução na estabilidade térmica do material quando comparadas as diferentes composições. A temperatura onde ocorrem 5% da perda de massa para o PP puro foi de 367,7°C, ao passo que com 20% de CA foi de 332,3°C e para 40% de CA reduziu para 314,6°C. Dessa forma fica evidenciado que a adição de CA e o aumento gradual da fração mássica desse material reduz gradativamente a temperatura de início de decomposição do material.

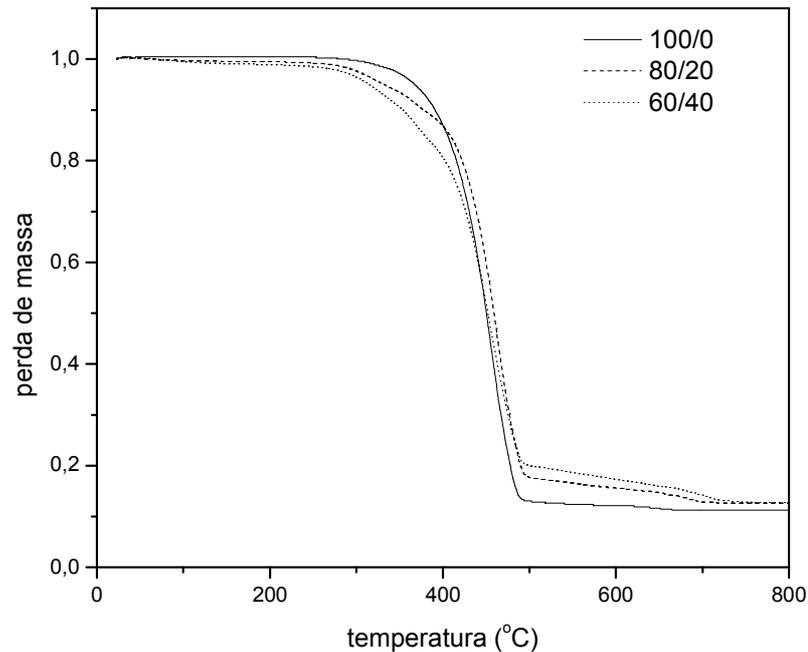


Figura 20 - Curvas de TGA.

Santos (2007) identificou o mesmo comportamento para composições de PP e fibra de coco, onde a temperatura em que se tem 10% de perda de massa baixou de 393°C para 330°C quando inseridos 10% de fibras. Beckermann (2007) observou comportamento semelhante quando analisou compósitos produzidos com PP e fibras de cânhamo.

Em todas as composições analisadas, o pico de degradação térmica ficou em temperaturas entre 370°C e 450°C. Em temperaturas superiores a 500°C restam menos de 20% de resíduo de amostra, estabilizando a fração de resíduo em torno de 12% para temperaturas de até 800°C, conforme os dados apresentados na tabela 07 a seguir.

Tab 07 – Fração mássica e resíduo resultante em temperaturas elevadas.

Composição / Propriedade	Fração Mássica em 500°C (%)	Resíduo em 800°C (%)
100% PP	13,08	11,21
80% PP + 20% CA	17,68	12,63
60% PP + 40% CA	20,13	12,73

Observa-se também que o aumento na fração mássica da CA reflete em um aumento significativo no percentual de resíduos para temperaturas de 500°C, indicando uma boa estabilidade térmica da CA.

4.2.7 Ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A partir da análise das imagens obtidas no ensaio de microscopia eletrônica de varredura com as diferentes composições de PP e CA, após fratura frágil ocorrida no ensaio de impacto IZOD, observou-se a presença de um número elevado de poros e saliências, mostrando uma morfologia muito heterogênea, devido à má distribuição da CA na massa polimérica, conforme observado na figura 21 a seguir.

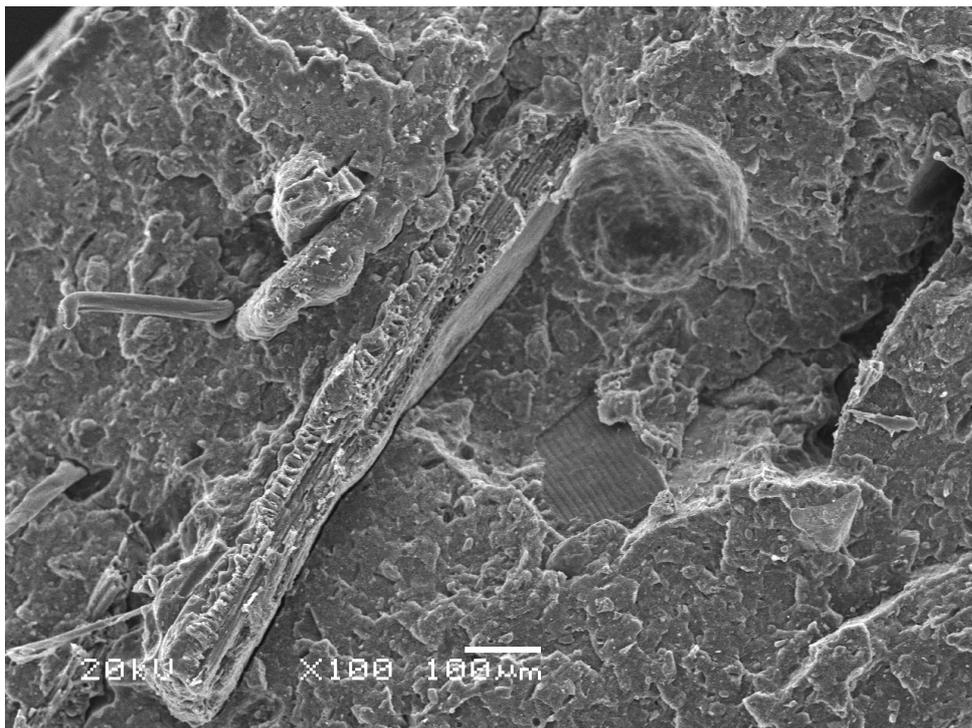


Fig. 21 – Morfologia do compósito 60% PP / 40% CA.

A figura 22 a seguir mostra a resina de PP sem a presença da CA, onde é possível observar que a quantidade de poros e saliências é bem inferior a imagem anterior (60% PP e 40% CA).

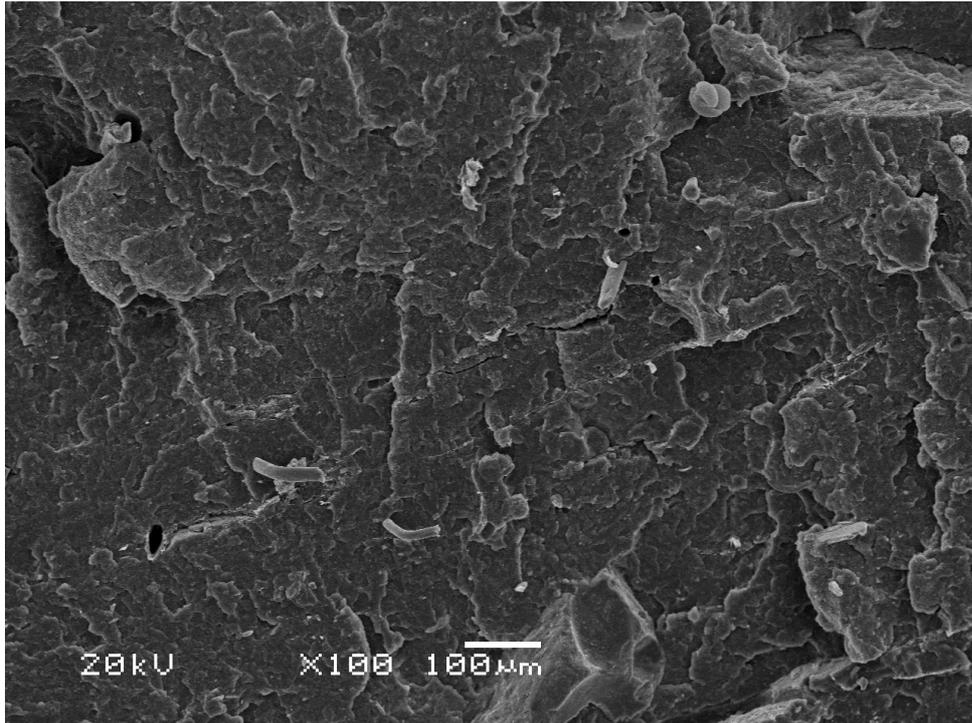


Fig. 22 – Morfologia do compósito 100% PP.

Nos compósitos observou-se também uma baixa adesão na interface fibra – matriz, ficando visível um espaço vazio entre a superfície da fibra e a matriz polimérica, conforme demonstrado nas figuras 23 e 24 a seguir. A região de interface é a principal região onde ocorre a transferência de esforço da matriz para a fibra (Santos, 2006).

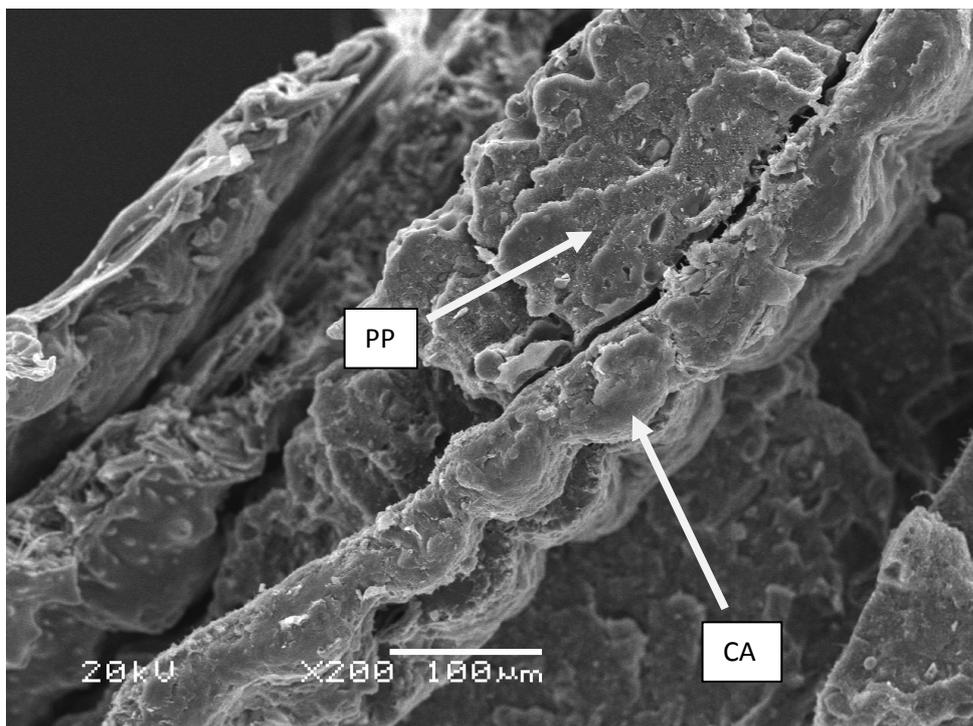


Fig. 23 – Interface fibra – matriz do compósito 60% PP / 40% CA.

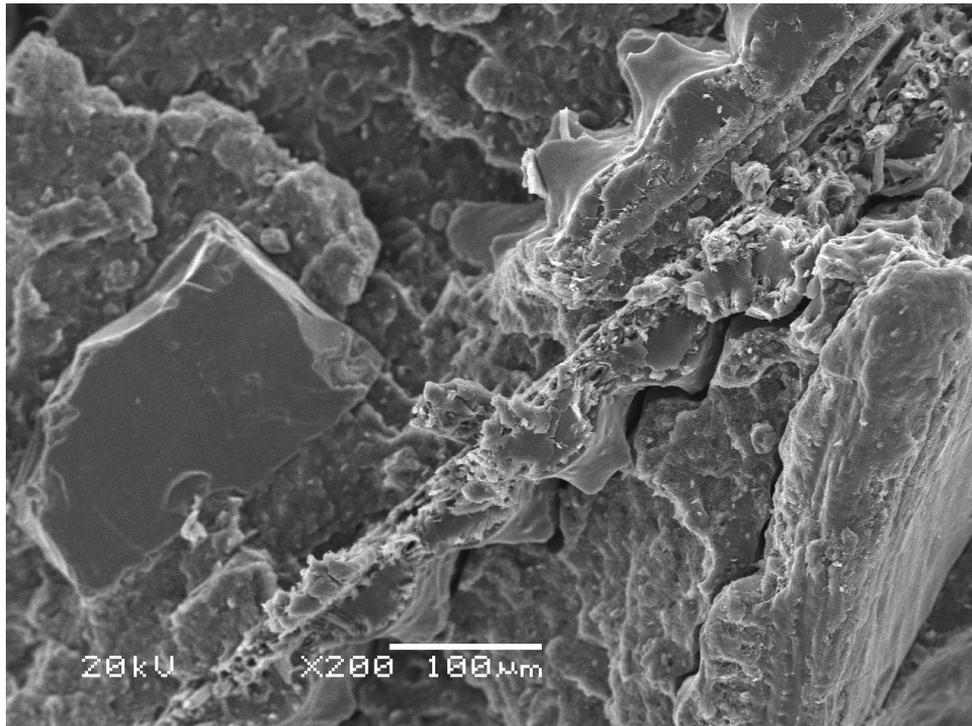


Fig. 24 – Espaço vazio na interface fibra – matriz.

A fraca adesão interfacial entre a fibra e a matriz polimérica é resultado da diferença de polaridade dos materiais. O PP tem caráter apolar enquanto a CA tem caráter polar, típico da celulose (Rosa, 2007). A compatibilização do sistema é necessária para a melhoria das propriedades mecânicas e deve ocorrer através da inserção de um agente de compatibilização.

O agente de compatibilização deve interagir fortemente com as fibras através de ligações covalentes fortes, com cadeias suficientemente longas para permitir a formação de emaranhamentos moleculares com a matriz polimérica na interface através do ancoramento mecânico (Correa, 2003).

A compatibilização do sistema pode ocorrer através do tratamento da fibra ou do polímero. Diversos autores testaram diferentes sistemas de compatibilização, encontrando resultados positivos em relação à melhoria das propriedades mecânicas através da inserção de um agente de compatibilização (Santos, 2007).

4.2.8 Ensaio de Densidade

A combinação de poliolefinas com cargas de natureza celulósica, ambos os materiais de baixo peso específico, produz normalmente materiais de baixa densidade, mas não segue obrigatoriamente a regra das misturas, produzindo materiais com densidades intermediárias entre as densidades de seus componentes (Wang, 2005).

A CA comparada a outras fibras vegetais possui uma densidade relativamente alta, de aproximadamente 1,31g/cm³. Já o PP comercial ainda virgem possui densidade de aproximadamente 0,93g/cm³ podendo sofrer pequenas variações conforme a formulação da resina (Ferran, 2006). Os valores de densidade obtidos para as composições ensaiadas são indicados na tabela 08 a seguir.

Tab. 08 – Densidade média dos compósitos

Propriedade / Composição	Média (g/cm³)	Desvio Padrão
100% PP	0,992	0,022
80% PP + 20% CA	1,016	0,011
60% PP + 40% CA	1,056	0,011

Observou-se um aumento de aproximadamente 6,5% na densidade do compósito contendo 40% de CA quando comparado ao PP puro. Pracella (2006) indica que o PP quando utilizado em formulações com algumas fibras vegetais, pode desenvolver pequenos cristais com orientação perpendicular a fibra durante o processo de resfriamento da resina. O surgimento desses cristais aumenta a densidade nessa região, o que poderia justificar o aumento de densidade do material.

Importante salientar também que pode ter ocorrido absorção de água pela amostra, mesmo que em pequenas quantidades, mas suficiente para interferir no resultado final do ensaio. Muller e colaboradores (2006) tiveram problemas para determinar a densidade de

compósitos de PP com fibras de cana de açúcar devido à absorção de água da amostra, mesmo quando mergulhada em curtos espaços de tempo.

4.2.9 Ensaio de Absorção de Água

Segundo Rozman (2005), materiais lignocelulósicos são constituídos principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, grupos que apresentam tendência a absorver água. Observando a tabela 09, percebe-se que as composições ensaiadas absorveram uma quantidade de água relativamente pequena, porém crescente na medida em que a fração mássica de CA é elevada.

Tab. 09 – Absorção de água e composições de PP e CA

Composição / Propriedade	Água Absorvida (g)	Diferença Percentual
100% PP	0,12	1,36%
80% PP + 20% CA	0,16	1,73%
60% PP + 40% CA	0,22	2,17%

Um fato relevante é que a adição de CA gera um número significativo de poros no material, conforme observado no ensaio de microscopia eletrônica. Nesses poros pode ocorrer uma concentração de micro gotículas, presas a superfície do compósito, sem que essas gotículas tenham sido necessariamente absorvidas pelo PP ou pela CA.

Segundo Rosa (2007), a absorção de água pode modificar completamente as propriedades mecânicas do material, devido ao inchamento da fibra e a instabilidade dimensional que ocorre a partir disso. Esse problema pode ser minimizado com a adição de um agente de compatibilização, aumentando a adesão entre a matriz polimérica e a fibra vegetal.

Santos (2007) ensaiou compósitos de PP com fibra de coco, tratados com agentes de acoplamento. As amostras ficaram mergulhadas por 30 dias e apresentaram percentuais de

absorção de água inferiores a 1% e estabilidade no percentual de absorção após o vigésimo dia de mergulho das amostras.

Teixeira (2005) ensaiou compósitos produzidos a partir de poliéster e farinha de madeira de diferentes espécies, concluindo que para todas as espécies de madeira o percentual de absorção de água foi inferior a 1% para mergulhos de até 24 horas. A absorção de água mesmo que em percentuais baixos é muito relevante devido à crescente demanda pela utilização de compósitos poliméricos em aplicações de contato direto com água combinados a esforços mecânicos.

CONCLUSÕES

Primeiramente foram analisados os aspectos ambientais em relação à geração, gestão e utilização atual desses resíduos, onde se identificou um grande potencial de utilização desses resíduos na produção de compósitos estruturais, visto que os resíduos plásticos, assim como a CA que é gerada em grandes escaladas a cada ano, são matérias primas de baixo custo e ainda pouco utilizadas e absorvidas pelo mercado.

Através da pesquisa em *sites* de entidades ambientais e cooperativas de resíduos, identificou-se que o sistema de gestão de resíduos domésticos no Brasil ainda está muito vinculado aos lixões, onde milhares de toneladas de matérias primas das mais diversas tipologias são desperdiçadas a cada ano. Esse é um dos principais motivos para que resíduos domésticos tenham valores comerciais ainda inferiores ao potencial existente.

Já em níveis industriais, observou-se que os resíduos poliméricos encontram-se em um estágio bem mais avançado, sendo estes gerenciados e destinados a empresas de reciclagem com valores comerciais interessantes e cada vez mais competitivos com as resinas virgens.

Já a CA é um resíduo ainda muito pouco explorado e que por esse motivo não possui valor comercial definido. Dessa forma milhares de toneladas são desperdiçadas a cada ano, através de queima a céu aberto ou disposição em rios e encostas, caracterizando problemas ambientais. A utilização da CA como combustível para a queima em caldeira ou mesmo para a incorporação em outros produtos, ainda não representa percentuais significativos de reaproveitamento dessa matéria prima.

Já através da caracterização dos compósitos produzidos, verificou-se que a CA interfere em diversas propriedades do material, possibilitando análises independentes conforme a aplicação desejada para o material. A caracterização mecânica mostrou que a adição da CA em frações mássicas crescentes, deixa o compósito com menor capacidade de deformação, mas ao mesmo tempo com maior capacidade de suportar tensões de tração, flexão e compressão.

Os resultados dos ensaios de impactos demonstraram comportamentos distintos, onde o material reagiu de forma diferente conforme o choque mecânico ao qual foi submetido. No ensaio de impacto IZOD observou-se uma elevação muito interessante na capacidade de absorver energia para compósitos com 20% de CA. Já no ensaio de impacto CHARPY, a presença da CA deixou o material com menor capacidade de absorver energia, fragilizando o compósito na medida em que a fração mássica de CA é aumentada na composição do material.

Ensaio de dureza demonstraram que a presença da CA não causou nenhum tipo de alteração na resistência do material a condições de riscos e atritos, mantendo sempre a dureza do material muito próxima a dureza de resinas virgens.

Os ensaios térmicos possibilitaram a identificação de uma segunda resina na composição dos *big bags*, sendo provavelmente essa resina o PEBD, utilizado seguidamente em composições de sacarias junto ao PP. Ficou também evidente que o material pode ser utilizado em situações de exposição ao ambiente, não representando a ação do sol um perigo para a degradação do material. Também foi identificado que o material apresenta perda de massa apenas em temperaturas próximas a 370°C, mas também que ocorre uma diminuição gradual dessa temperatura na medida em que o percentual de CA sobe na composição do material.

A análise morfológica demonstrou uma fraca adesão interfacial entre a fibra vegetal e a matriz polimérica, indicando a necessidade de incorporação de um agente de compatibilização ao processo de fabricação do material. A adição de um agente de compatibilização além de reduzir a quantidade de poros irá melhorar algumas propriedades mecânicas do compósito produzido.

A partir do aumento da fração mássica de CA no material, foi possível observar que o material teve sua densidade elevada, assim como a sua capacidade de absorção de água quando mergulhado. A absorção de água é também influenciada pela quantidade de poros presentes no material, onde micro gotículas ficam alojadas nesses pontos, alterando dessa forma os resultados encontrados nos ensaios de densidade e absorção de água.

Alguns ensaios apresentaram desvio padrão elevados, indicando dessa forma que o processo produtivo adotado não proporciona uma distribuição uniforme da CA na massa polimérica produzida, prejudicando dessa forma a homogeneidade das propriedades mecânicas do compósito produzido.

Como possibilidades futuras, identificamos a adição de um agente de compatibilização no processo produtivo para melhorar a adesão na interface da fibra com a matriz polimérica, a diminuição da granulometria da CA para aumentar-se a área superficial das partículas na busca por melhores propriedades mecânicas e ainda um maior controle na distribuição da carga vegetal na composição do material, mantendo a massa polimérica mais homogênea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials. **ASTM D 792: Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**, EUA, 1998.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D 3417: Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry (DSC)**, EUA, 1997.

American Society for Testing and Materials. **ASTM D 3418: Transition Temperatures of Polymers By Differential Scanning Calorimetry**, EUA, 1999.

American Society for Testing and Materials. **ASTM E 1131: Compositional Analysis by Thermogravimetry**, EUA, 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7447: Determinação das Propriedades de Flexão** - Rio de Janeiro, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7456: Plástico – Determinação da Dureza Shore** - Rio de Janeiro, 1982.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8425: Plásticos Rígidos – Determinação da Resistência ao Impacto Izod** - Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8514: Plásticos – Determinação da Absorção de Água** - Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9564: Plásticos Rígidos – Determinação da Resistência ao Impacto Charpy** - Rio de Janeiro, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9622: Determinação das Propriedades Mecânicas à Tração** - Rio de Janeiro, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9628: Plásticos – Determinação das Características em Compressão** - Rio de Janeiro, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos Sólidos: Classificação** - Rio de Janeiro, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13230: Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos** - Rio de Janeiro, 1994.

ALLEN, S. M.; THOMAS, E. L. – “**The structure of materials**”. John Wiley & Sons, 1999.

AMBIENTEBRASIL. **Reciclagem**. Disponível no site www.ambientebrasil.com.br acessado em dezembro de 2008.

ASHORI, A. – “**Wood-plastics composites as promising green-composites for automotive industries**”. Bioresource Technology, 2008.

BECKERMANN, G. – **“Performance of hemp-fibre reinforced polypropylene composite materials”**. Doctor of Philosophy in Materials and Process Engineering, The University of Waikato, (2007).

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composite reinforced with cellulose based fibers**. Prog. Polym. Sci., Elsevier, v.24, p.200-272, 1999.

BONELLI, C. M. C.; ELZUBAIR, A.; SUAREZ, J. C. M. – **“Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 15(4). p. 256 (2005).

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. M. – **“Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 18(3). p. 256 (2008).

BOTELHO, E. C.; REZENDE, M. C. - **“Caracterização mecânica de compósitos de poliamida / fibra de carbono via ensaios de cisalhamento interlaminar e de mecânica da fratura”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 12(3). p. 153 (2002).

BRASKEM – Disponível em www.braskem.com.br, acessado em outubro de 2009.

BRIDI, E. – **“Resíduos sólidos urbanos – uma proposta para otimização dos serviços de coleta e da disposição final”**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2008).

CAAL – Cooperativa Agroindustrial Alegrete, Alegrete (2009).
Disponível em www.caal.com.br, acessado em abril de 2009.

CALLISTER, W. D. – **“Ciência e engenharia de materiais: uma introdução”**, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 5ª edição, RJ (2002).

CANEVAROLO, S. V. – **“Ciência dos Polímeros”**, São Carlos, SP, (2001).

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem, São Paulo (2008). Disponível em www.cempre.org.br, acessado em abril de 2008.

CLICRBS – Portal de Notícias do Grupo RBS, Porto Alegre (2008).
Disponível em www.clicrbs.com.br, acessado em agosto de 2008.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S. – **“Compósitos termoplásticos com madeira”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13 p. 154 - 165 (2003).

DALFRÉ, G. M. – **“Cruzetas de polímeros reciclados: caracterização dos materiais, análise numérica e ensaio de modelos reduzidos”**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal de São Paulo, Brasil (2007).

DALPIAZ, G. – **“Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno”**, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2006).]

DANTAS, R. R.; CARVALHO, L. H.; NASCIMENTO, J. W. B.; FONSECA, V. M. – **“Estudo de compósitos de poliéster / tecido de juta para construção de silos cilíndricos verticais”**, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 3(3), p. 31, Universidade Federal de Campina Grande, (2008).

DELLA, V. P.; KUHN, I.; HOTZA, D. – **“Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria prima na fabricação de refratários de sílica”**, Química Nova, 24(6). p. 778 (2001).

DELLA, V. P.; HOTZA, D. – **“Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza da casca de arroz”**, Química Nova, 29(6). p. 1175 (2006).

DINIZ, J. – **“Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente”**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil (2005).

ESPERT, A. – **“Natural fibres / polypropylene composites from residual and recycled materials: surface modification of cellulose fibers, properties and environmental degradation”**, Akademisk Avhandling (2003).

FERNANDES, B. L.; DOMINGUES, A. J. – **“Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 17(2). p. 85 (2007).

FERNANDEZ, C.; ARGUELLES, A.; VINA, J.; RAMULU, M.; KOBAYASHI, A. S. – **“Dynamic fracture toughness measurements in composites by instrumented Cahrpy testing: influence of aging”**. Composites Science and Technology, 62, p. 1315 (2002).

FERRAN, M. F.; VILAPLANA, F.; AMPARO, R. G.; BORRAS, B. A.; CONCHA, S. B. – **“Flour Rice husk as filler in block copolymer polypropylene: Effect of different coupling agents”**. J. Applied Polim. Science, 99(1823 – 1831), (2006).

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.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. – **“Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos”**, Química Nova, 29(4). p. 811 (2006).

FOLETTI, E. L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R. S.; JÚNIOR, U. L. P.; JAHN, S. L. – **“Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz”**, Química Nova, 28(6). p. 1055 (2005).

FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. F. – **“Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 12(1). p. 1 (2002).

FRÉSCA, F. R. C. – **“Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física”**, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade Federal de São Carlos, Brasil (2007).

GASSAN, J., BLEDZKI, A.K., “**The influence of fiber-surface treatment on the mechanical properties of jute-polypropylene composites**”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, n. 28, p. 1001 - 1005, (1997).

GONÇALVES, C. K. – “**Pirólise e combustão de resíduos plásticos**”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil (2007).

HERERA, F. P. J.; GONZÁLEZ, V. A. – “**Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites**”, Sciencedirect, parte A, p. 339 – 345 (2004).

IRGA – Instituto Riograndense do Arroz, Rio Grande do Sul (2009). www.irga.rs.gov.br, acessado em março de 2009.

ISHIZAKI, M. H.; VISCONTE, L. L. Y. – “**Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura**”. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 16(3). p. 182 (2006).

JOSEPH, P. V.; MATHEW, G.; JOSEPH, K.; GROENINCKX, G.; THOMAS, S. – “**Dynamic Mechanical properties of short sisal fibre reinforced polypropylene composites**”, *Composites: Part A*, Vol 34, p. 275-290 (2003).

JUNIOR, M. A. S.; FREITAS, J. C. C.; CUNHA, A. G.; EMMERICH, F. G. – “**Preparação e caracterização de carvão ativado quimicamente a partir da casca de arroz**”. *Química Nova*, 30(7). p. 1663 (2007).

KIM, H. S.; YANG, H. S.; KIM, H. J.; PARK, H. J. – “**Thermogravimetric analysis of rice husk flour filled thermoplastic polymer composites**”. *Journal of thermal analysis and Calorimetry*, 76(395) (2004).

LAMPO, R.; NOSKER, T. (2001). **An estimate of the effect of greenhouse gases by using recycled plastics as a substitute for treated wood railroad croosties**. Disponível em: wtp://www.epa.gov/reg5rcra/wptdiv/solidwaste/RR-Ties-GHG-report%20final.pdf. Acessado em 09 de Abril de 2009.

LUZ, S. M.; GONÇALVES, A. R.; JUNIOR, A. P. D. – “**Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana**”, *Revista Matéria*, 11(2), p. 101 (2006).

MARCONCINI, J. M.; ITO, E. N.; CORRADINI, E.; RIOS, C. T.; AGNELLI, J. A. M.; MATTOSO, L. H. C. – “**Comportamento interfacial de compósitos de poli (tereftalato de etileno) reciclado (PETr) com fibras de bagaço de cana**”, Embrapa, São Carlos (2008).

MARCZAK, R. J. - “**Polímeros como material de engenharia**”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2004).

MARTINS, M. A. P. M.; ARAÚJO, H. N.; PELLIZZARO, M. – “**Estudo de compósitos com produtos de reciclagem**”, Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil (2008).

- MARTINS, G. S.; IOZZI, M. A. – **“Caracterização mecânica e térmica de compósitos de poli (cloro de vinila) reforçados com fibra de sisal”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 14(5). p. 326 (2004).
- MATOS, T. F. L.; SCHALCH, V. – **“Composição dos resíduos poliméricos, pós-consumo, gerados no município de São Carlos, SP”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 17(4). p. 346 (2007).
- METHA, P. K. – **“Rice husk ash – A unique supplementary cement material proceedings of the international symposium on advances in concrete technology”**, Athens, Greece (1992).
- MILAGRES, E. G.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. – **“Compósitos de partículas de madeira de Eucalyptus Grandis, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade”**, Revista Árvore, 30(3), p. 463 (2006).
- MOORE, J.; EDWARD, P – **“Polypropylene handbook: polymerization, characterization, properties, processing, applications”**. Munich: Hanser Publishers (1996).
- MULLER, R. L.; WAGNER, F. R.; MAHLMAN, C. M.; RODRIGUEZ, A. L.; KIPPER, L. M.; MORAES, J. A. R. – **“Obtenção e caracterização de compósitos de polipropileno pós-consumo com fibras de cana de açúcar com e sem tratamento químico”**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, (2006).
- NAIME, R; GARCIA, A. C. A. **“Percepção ambiental e diretrizes para compreender a questão do meio ambiente”**, Novo Hamburgo, Feevale, 2004, 136p.
- NUNES, A. J., KENNY, J. M., REBOREDO, M. M., ARANGUREN, M. I., MARCOVICH, N. E. – **“Thermal and dynamic mechanical characterization of polypropylene-woodflour composites”**, Polymer Eng. And Science, vol. 42, n. 4, 2002.
- PARENTE, R. A. – **“Elementos estruturais de plástico reciclado”**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, Brasil (2006).
- PAULESKI, D. T. – **“Características de compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira”**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil (2005).
- PAULESKI, D. T.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; RIZZATTI, E. – **“Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira”**, Universidade Federal de Santa Maria, 17(2), p. 157 (2007).
- PORTAL DO AGRONEGÓCIO. **Agroenergia**. Viçosa (2009). Disponível em www.portaldoagronegocio.com.br, acessado em abril de 2009.
- POUEY, M. T. F. – **“Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vista à produção de cimento composto e/ou pozolânico”**, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2006).

PRECELLA, M. – **“Functionalization, compatibilization and properties of PP composites with hemp fibres”**. Compos. Sci ans Technol., 66(2218), (2006).

PRASHAYAWARAKORN, J.; YAEMBUNYING, N. – **“Effect of recycling on properties of rice husk-filled-polypropylene”**, J. Sci Technol., vol. (27)2, pag. 343 – 352, (2005).

QUINHONES, R. – **“Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico reciclável”**, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil (2007).

RANA, A. K.; MANDAL, B. C.; MITRA, R.; JACOBSON, R.; ROWELL, A.; BANERJEE, N. – **“Short jute fiber reinforced polypropylene composites: Effect of compatibilizer”**, Journal of Applied Polymer Science, vol 69, p. 329 – 338, (1998).

ROSA S. M. L. – **“Estudo das propriedades de compósitos de polipropileno com casca de arroz”**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2007).

ROZMAN, H. D.; MUSA, L.; ABUBAKAR, A. – **“Rice husk polyester composites: The effect of chemical modification of rice husk on the mechanical and dimensional stability properties”**. Journal of Applied Polymer Science, 97(1237), (2005).

SANTOS, A. M. – **“Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia”**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Brasil (2006).

SANTOS, E. F. – **“Efeito de agentes de acoplamento em compósitos de polipropileno com fibras de coco”**, Dissertação de Mestrado, Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil (2007).

SBRT – Serviços Brasileiro de Respostas Técnicas. Disponível em www.sbrt.ibict.br, acessado em maio de 2009.

SILVA, L. F.; GOMEZ, J. G. C.; ROCHA, R. C. S.; TACIRO, M. K.; PRADELLA, J. G. C. – **“Produção biotecnológica de poli-hidroxicanoatos para a geração de polímeros biodegradáveis no Brasil”**, Química Nova, 30(7). p. 1732 (2007).

SILVA, R. V. – **“Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais”**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, Brasil (2003).

SINDIPLAST – Sindicato das Indústrias do Plástico, São Paulo (2008). www.sindiplast.com.br, acessado em dezembro de 2008.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. – **“A tecnologia da reciclagem de polímeros”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 28(1). p. 65 (2005).

TEIXEIRA, M. G. – **“Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira”**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia, Brasil (2005).

ULLOA, M. E. P. – **“Estudo do efeito da radiação ionizante em compósitos de polipropileno / pó de madeira usando titanato de bário como agente de acoplagem”**, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil (2007).

WANG, W.; SAIN, M.; COOPER, P. A. – **“Hygrothermal weathering of rice hull / HDPE composites under extreme climatic conditions”**, Polymer Degradation and Stability, vol. 90, p. 540 – 545, (2005).

WERLANG, L. A. R. – **“Embalagens de água mineral: a importância da seleção e identificação de materiais no projeto da embalagem visando à reciclagem”**, Dissertação de Mestrado, Centro Universitário Feevale, Brasil (2007).

WOLCOTT, M. P.; ENGLUND, K. – **“A technology review for wood-plastic composites”**, International Particleboard Composite Materials Symposium, Washington State University, EUA (1999).

YOSHIGA, A. – **“Estudo do composto PVC reciclado / CaCO₃ em pastas vinílicas”**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, 14(3), p. 134 (2004).

ZUCCO, L. L.; BERALDO, A.L – **“Efeito da adição de cinzas de casca de arroz em misturas cimento – casca de arroz”**, Rev. Eng. Agrícola, 28(2), p. 217 (2008).

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)