

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
FLORESTAL**

**CARACTERÍSTICAS DE COMPÓSITOS
MANUFATURADOS COM POLIETILENO DE ALTA
DENSIDADE (PEAD) E DIFERENTES PROPORÇÕES
DE CASCA DE ARROZ E PARTÍCULAS DE MADEIRA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dalva Teresinha Pauleski

**Santa Maria, RS, Brasil
2005**

**CARACTERÍSTICAS DE COMPÓSITOS MANUFATURADOS
COM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) E
DIFERENTES PROPORÇÕES DE CASCA DE ARROZ E
PARTÍCULAS DE MADEIRA**

por

Dalva Teresinha Pauleski

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Elio José Santini

**Santa Maria, RS, Brasil
2005**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CARACTERÍSTICAS DE COMPÓSITOS MANUFATURADOS COM
POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) E DIFERENTES
PROPORÇÕES DE CASCA DE ARROZ E PARTÍCULAS DE MADEIRA**

elaborada por
Dalva Teresinha Pauleski

como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. ELIO JOSÉ SANTINI
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. MIGUEL ANTÃO DURLO (UFSM)

Prof. Dr. EDUARDO RIZZATTI (UFSM)

Santa Maria, 03 de outubro de 2005

AGRADECIMENTOS

Para agradecer a todos aqueles que colaboraram na realização deste projeto, creio que seriam necessárias mais páginas do que a aqui apresentada. No entanto, há alguns, que não poderia deixar de destacar. Agradeço sinceramente:

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos conhecimentos transferidos e apoio recebido no decorrer do curso e na realização deste trabalho; em especial, aos professores da minha comissão de orientação Clovis Roberto Haselein, Elio José Santini e Paulo Schneider.

A todos os amigos e colegas de laboratório: Augusto Murari, Silvana Rosso, Darci Gatto, Rômulo Trevisan, Cristiane Pedrazzi, Leandro Callegari, Tobias Scaravelli, Cristiano Hack, Lourdes Patrícia Dacosta.

A Luciana Follmann, Daniela Lilge, Ediane Buligon, Karina Modes, Renata Rauber, pela colaboração nos trabalhos experimentais e preparação de material, em especial à funcionária Fabiana Ratzlaff.

Às empresas, pelo fornecimento do material de pesquisa, e à Universidade Federal de Santa Maria por propiciar a oportunidade de estudo.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço também aos meus familiares, pelo incentivo em todos os momentos de minha vida, especialmente aos meus amados pais, Rubem e Tereza.

Em especial, agradeço ao Clovis, pelos conhecimentos transmitidos e, principalmente, pelo amor e carinho.

Enfim, a todos que, de uma maneira ou de outra, auxiliaram na realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

CARACTERÍSTICAS DE COMPÓSITOS MANUFATURADOS COM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD) E DIFERENTES PROPORÇÕES DE CASCA DE ARROZ E PARTÍCULAS DE MADEIRA

Autora: Dalva Teresinha Pauleski

Orientador: Prof Dr. Elio José Santini

Data e local da defesa: Santa Maria, 03 de outubro de 2005

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da utilização de casca de arroz e partículas de madeira para a manufatura de compósitos, tendo como agente ligante o polietileno de alta densidade (PEAD). Os compósitos foram produzidos com casca de arroz e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, puras ou misturadas, sendo que cada tipo participou com 0, 25, 50, 75 e 100% em proporção de peso seco. O PEAD com densidade de 0,96 g/cm³ foi usado como matriz na confecção dos mesmos, sendo testadas três proporções: 60, 75 e 90%. Foram avaliadas as propriedades de flexão estática (tensão no limite proporcional, deslocamento no limite proporcional, tensão a 2,5 cm de deslocamento e módulo de elasticidade), ligação interna, absorção d'água e inchamento em espessura após 24 horas e após 15 ciclos de imersão. Os valores das propriedades de flexão estática foram influenciados pela massa específica do compósito. No caso da ligação interna, os valores ficaram dentro dos padrões estabelecidos pelas normas de comercialização, sendo o PEAD o parâmetro de maior correlação com essa propriedade. A casca de arroz provocou menor inchamento em espessura e, independente do tipo de matéria-prima utilizada, os valores diminuíram a medida que a proporção de PEAD foi aumentada. Combinações com maior porcentagem de PEAD apresentaram valores mínimos, ou em alguns casos, nulos de absorção d'água. Para a absorção d'água e inchamento em espessura após 15 ciclos, o comportamento dos resultados foi semelhante aos dos testes de inchamento em espessura após 24 horas e absorção d'água após 24 horas. Os resultados permitem concluir que os compósitos produzidos com PEAD, casca de arroz e partículas de madeira puras ou misturadas apresentaram boa qualidade, evidenciando a viabilidade de uso desses materiais na confecção do compósito.

ABSTRACT

Master Thesis
Graduate Program in Forest Engineering
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

CHARACTERISTICS OF COMPOSITES MANUFACTURED WITH HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) AND DIFFERENT PROPORTIONS OF RICE HUSKS AND WOOD PARTICLES

Author: Dalva Teresinha Pauleski

Adviser: Prof. Dr. Elio Jose Santini

Place and date of defence: Santa Maria, 03 of October of 2005

The objective of this work was to analyse the viability of utilization of rice husks and wood particles in the manufacturing of composites, having as bonding agent HDPE. The composites were made with rice husks and *Eucalyptus grandis* wood particles, pure or mixed, in proportions of 0, 25, 50, 75 and 100% of oven-dry weight. The HDPE with density of 0,96 g/cm³ was used as matrix in the manufacturing in three proportions: 60, 75, and 90%. There were evaluated the bending properties (tension at proportional limit, deformation at proportional limit, tension at 2,5 cm of deformation and modulus of elasticity), internal bond, water absorption and thickness swelling after 24 hours of water soaking and after 15 soaking cycles. The values of bending properties were influenced by specific gravity of the composite. In the case of internal bond, the values were within the limits established by commercial standards, being the HDPE proportion the parameter of higher correlation with this property. Rice husk caused lower thickness swelling and, independently of the type of raw material utilised, the values decreased with the increase of HDPE. Combinations with larger percentages of HDPE presented values minimal or, in some cases, null of water absorption. For the water absorption and thickness swelling after 15 cycles the behaviour was similar to the 24 hour period. The results allowed to conclude that the composites made with HDPE, rice husks and wood particles pure or mixed present good quality, evidencing the adequacy of these type of raw material in the manufacturing of the composite.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.....	30
TABELA 2 - Relação dos tratamentos que foram utilizados no presente estudo.....	44
TABELA 3 - Valores da massa específica em função dos tratamentos.....	45
TABELA 4 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE), encontrado para as diferentes combinações.....	46
TABELA 5 - Valores médios da tensão no limite proporcional (σ_{LP}) encontrado para as diferentes combinações.....	47
TABELA 6 – Valores médios da tensão a 2,5 cm de deslocamento ($\sigma_{2,5}$) encontrados para as diferentes combinações.....	48
TABELA 7 - Correlação de Pearson entre as variáveis de fabricação analisadas e a flexão estática.....	51
TABELA 8 - Modelos de regressão ajustadas para as propriedades mecânicas dos compósitos em função das variáveis de fabricação.....	53
TABELA 9 - Valores médios de tração (LI) encontrados nos diferentes tratamentos.....	56
TABELA 10 - Correlação de Pearson entre a tração e as variáveis de fabricação.....	57
TABELA 11 – Modelos de regressão ajustadas para a tração perpendicular dos compósitos em função das variáveis de fabricação.....	57
TABELA 12 - Valores médios de inchamento em espessura após o período de 2 e 24 horas de imersão em água.....	60

TABELA 13 - Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação dos compósitos.....	61
TABELA 14 - Equações ajustadas para as propriedades dos compósitos em função das variáveis de fabricação.....	62
TABELA 15 - Valores médios de absorção d'água, encontrados para os diferentes tratamentos.....	64
TABELA 16 – Delaminações médias dos compósitos após 15 ciclos de imersão e secagem respectivamente.....	66
TABELA 17 - Equações ajustadas para a absorção e inchamento após 15 ciclos dos compósitos em função das variáveis de fabricação.....	67
TABELA 18 - Laudo da análise de casca de arroz.....	80
TABELA 19 - Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas dos compósitos (MOE, σ_{LP} , $\sigma_{2,5}$).....	82
TABELA 20 - Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas dos compósitos (Tração perpendicular).....	84
TABELA 21 - Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (IE).....	88
TABELA 22 - Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (AB).....	91
TABELA 23 - Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (IE 15 C e AB 15 C).....	94
TABELA 24 - Análise de variância da regressão para o MOE.....	98
TABELA 25 - Análise de variância da regressão para o MOE.	98
TABELA 26 - Análise de variância da regressão para a $\sigma_{2,5}$	98
TABELA 27 - Análise de variância da regressão para a $\sigma_{2,5}$	98
TABELA 28 - Análise de variância da regressão para a $\sigma_{2,5}$	98
TABELA 29 - Análise de variância da regressão para σ_{LP}	98
TABELA 30 - Análise de variância da regressão para σ_{LP}	98
TABELA 31 - . Análise de variância da regressão para σ_{LP}	99
TABELA 32 - Análise de variância da regressão para σ_{LP}	99
TABELA 33 - Análise de variância da regressão para tração perpendicular.	99
TABELA 34 - Análise de variância da regressão para tração perpendicular.	99
TABELA 35 - Análise de variância da regressão para tração perpendicular.	99

TABELA 36 - Análise de variância da regressão para IE 24 H.	99
TABELA 37 - Análise de variância da regressão para IE 24 H.	99
TABELA 38 - Análise de variância da regressão para IE 24 H.....	100
TABELA 39 - Análise de variância da regressão para AB 24 H.	100
TABELA 40 - Análise de variância da regressão para AB 24 H.	100
TABELA 41 - Análise de variância da regressão para AB 24 H.	100
TABELA 42 - Análise de variância da regressão para IE 15 Ciclos.	100
TABELA 43 - Análise de variância da regressão para IE 15 Ciclos.	100
TABELA 44 - Análise de variância da regressão para IE 15 Ciclos.	100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Molde onde os grânulos de PEAD foram derretidos	34
FIGURA 2 - Lâmina de PEAD usada na confecção do compósito	34
FIGURA 3 - Visualização das partículas (casca de arroz, partículas de madeira).....	36
FIGURA 4 - Molde de confecção dos painéis.....	36
FIGURA 5 - Prensa hidráulica.....	37
FIGURA 6 - Máquina de ensaios mecânicos.....	39
FIGURA 7 - Instrumento para medição da espessura.....	42
FIGURA 8 - Força e deslocamento típicos para os painéis (A: 75% arroz, 25% madeira e 60% PEAD; B: 0% arroz, 100% madeira, 75% PEAD; C: 100%PEAD).....	49
FIGURA 9 - Valores de MOE, observados e ajustados em função da massa específica e da porcentagem de partículas de madeira no compósito.....	52
FIGURA 10 - Valores de tensão a 2,5 cm de deslocamento($\sigma_{2,5}$), observados e estimados em função da massa específica.....	54
FIGURA 11 - Valores de tensão no limite proporcional (σ_{LP}), observados e estimados em função da massa específica e da proporção de PEAD	55
FIGURA 12 - Valores de LI, observados e estimados em função da porcentagem de polietileno de alta densidade (PEAD) usada	58
FIGURA 13 - Visualização de um corpo de prova no momento da execução do teste de tração.....	59

FIGURA 14 - Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE 24 H) observados e ajustados em função da porcentagem de PEAD, e da proporção de casca de arroz.....	63
FIGURA 15 - Valores de absorção d'água após 24 horas de imersão (AB24h), observados e estimados em função da porcentagem de polietileno de alta densidade (PEAD).....	65
FIGURA 16 - Valores de inchamento em espessura após 15 ciclos de imersão (IE 15ciclos), observados e ajustados em função da porcentagem de polietileno de alta densidade (PEAD), e da proporção de casca de arroz	68

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Laudo da análise de casca de arroz.....	79
ANEXO 2 - Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas dos compósitos (MOE, σ_{LP} , $\sigma_{2,5}$).....	81
ANEXO 3 - Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (IE e AB).....	87
ANEXO 4 - Análise de variância da regressão.....	97

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ANEXOS	12
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Compósitos	18
2.2 Fibras vegetais	20
2.3 Casca de arroz	22
2.4 <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex-Maiden	24
2.5 Painéis aglomerados.....	25
2.6 Plásticos	27
2.7 Polietileno.....	28
2.8 Polietileno de alta densidade (PEAD)	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Matéria-prima	33
3.1.1 Tipo de resina.....	33
3.2 Caracterização da matéria-prima	35
3.2.1 Caracterização do material.....	35
3.3 Manufatura dos painéis	35
3.3.1 Processo de produção.....	35
3.4 Testes físico-mecânicos	38
3.4.1 Flexão estática	39
3.4.2 Tração perpendicular à superfície do painel.....	41

3.4.3 Absorção d'água e inchamento em espessura.....	41
3.4.4 Inchamento em espessura após 15 ciclos de submersão.....	42
3.5 Modelo experimental e análise dos resultados.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 Propriedades físicas dos compósitos	45
4.1.1 Massa específica.....	45
4.2 Propriedades mecânicas dos painéis relacionadas com os parâmetros de fabricação.....	46
4.2.1 Flexão estática	46
4.2.2 Tração perpendicular à superfície da chapa (Ligação interna).....	55
4.3 Propriedades físicas dos painéis relacionadas com as variáveis de fabricação.....	59
4.3.1 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas.....	59
4.3.2 Absorção d'água	63
4.3.3 Inchamento em espessura após 15 ciclos de submersão.....	66
5 CONCLUSÕES	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
7 ANEXOS	78

1 INTRODUÇÃO

A busca de tecnologias consideradas ecologicamente corretas tem se tornado uma grande preocupação nestes últimos anos. O novo paradigma do desenvolvimento econômico está voltado para propiciar a melhoria de vida das futuras gerações, incorporando na sua concepção modos de produção menos poluentes e impactantes.

A tecnologia que possibilitou um grande desenvolvimento humano começa a ser questionada em função do preço pago pelo progresso econômico das últimas décadas. Infelizmente, os produtos gerados industrialmente não desaparecem após esgotarem o seu uso. A grande quantidade de materiais não-degradáveis ou de difícil degradação tem provocado sérios problemas ambientais, econômicos, sociais e legais.

Segundo Moraes *et al.* (1994), o agravamento da questão dos resíduos está diretamente relacionado a dois fatores: o aumento do consumo e a criação de materiais artificiais. O primeiro fator está associado ao crescimento populacional e ao aumento da geração de lixo *per capita*, em decorrência dos padrões de consumo da atualidade. O segundo fator está relacionado à criação de novos materiais com estruturas complexas, normalmente não-biodegradáveis ou de difícil degradação que apresentam um alto potencial de agressão ao homem e ao meio ambiente.

Com o aumento da demanda mundial por alimentos, cada vez mais tem-se buscado nos cultivos agrícolas o aumento da produtividade e das áreas cultivadas. Porém, o volume colhido passa por vários processos de beneficiamento e industrialização até se transformar em alimento humano. Durante estes processos, grande parte do produto é descartado como resíduo, o qual muitas vezes não tem utilização adequada, ficando depositado próximo às agroindústrias ou sendo removido para depósitos em outros locais. Estas práticas, além de serem onerosas para as indústrias, estão se tornando um problema ambiental cada vez mais sério, uma vez que esses resíduos são produzidos em grandes quantidades e normalmente são de difícil decomposição.

O arroz (*Oryza sativa*), que é cultivado há mais de 6 mil anos, ajudou a fundar cidades e civilizações que precisavam se fixar na margem de rios para cultivá-lo. Porém, a partir do início do capitalismo, tornou-se importante fonte de lucro, tendo

sua produção aumentada significativamente. A produção de resíduos, no caso do arroz, fica por conta de sua casca, que, sendo composta basicamente de sílica e lignina, torna-se de difícil decomposição, o que representa um grande problema ambiental. Kaefer (2002) relata que o Brasil produz cerca de 12 milhões de toneladas de arroz/ano. A casca corresponde a 20% do peso do arroz, 2,4 milhões de toneladas que são rejeitadas todo ano, criando um grave problema ambiental e de saúde principalmente nas regiões onde o cultivo do arroz se faz em larga escala. A sílica obtida com a queima tem grande teor de carbono e outros materiais nocivos à saúde.

Por outro lado, o mercado de embalagens, no ano de 2001, movimentou 5,75 milhões de toneladas (Datamark, 2002). Grande parte são embalagens plásticas que, após absorvidas pelo mercado consumidor, são descartadas como resíduo pós-consumo e, por não serem materiais biodegradáveis, tornam-se um sério problema ambiental. Este material descartado poderia ser destinado para a confecção de novos materiais, como a produção de compósitos.

Pacheco (2000) comenta que, em se tratando de termoplásticos, o polietileno de alta densidade (PEAD) é bastante utilizado, devido a facilidade de moldagem e grande aplicação na fabricação de embalagens.

Em termos de uso final para o PEAD, as embalagens representam 75% do mercado mundial. Do material plástico descartado após o seu uso as embalagens são as que mais preocupam, pois, a cada ano, o volume desse resíduo aumenta, chegando a valores assustadores. A necessidade de encontrar uma utilização para este material é de importância primordial para a conservação do meio ambiente, dado que sua decomposição leva centenas de anos (BNDES, 2000).

Atualmente, produtos feitos de materiais reciclados oferecem resistência, durabilidade e rentabilidade equivalente àqueles feitos de materiais virgens. O painel ecológico feito de madeira e material reciclado é uma das mais efetivas respostas para a demanda crescente de materiais. Acredita-se ser a solução ideal para móveis e divisórias de boa qualidade em perfeita harmonia com o meio ambiente, utilizando-se componentes ecológicos aliados a um processo de produção ambientalmente correto.

Por exemplo, as fibras podem servir de reforço para compósitos. O reforço contribui para a resistência mecânica do material, enquanto que a matriz une as fibras, conservando a sua disposição geométrica, bem como as protegendo do

ambiente exterior. As propriedades mecânicas teóricas de um compósito dependem no entanto, das propriedades dos materiais constituintes (fibras e matriz) e da concentração e orientação das fibras.

Desta forma, a fabricação de painéis utilizando resíduo torna-se importante, pois, além de diminuir a necessidade de remoção, agrega valor aos produtos sem agredir o meio ambiente. Para que isso seja possível, deve-se estudar e testar novas alternativas que possam substituir, sem perda de qualidade do produto final, os materiais, que, com o uso não planejado, tendem à escassez num futuro próximo.

A utilização da casca de arroz e plástico na confecção de painéis surge como uma forma de solucionar o problema do acúmulo de resíduos e uma alternativa para a possível escassez de madeira, pois, além de eliminar sua propriedade de agente impactante e poluente, transforma um produto que antes era resíduo em matéria-prima para a indústria.

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a viabilidade de utilização de casca de arroz e partículas de madeira puras ou misturadas para a manufatura de painéis, tendo como agente ligante o polietileno de alta densidade. E como objetivos específicos:

- Caracterizar os painéis produzidos com casca de arroz e partículas de madeira, bem como os fabricados com a mistura de partículas de madeira e casca de arroz, aderidos com PEAD quanto à massa específica aparente, resistência mecânica e absorção d'água;
- Comparar os painéis produzidos com aqueles disponíveis comercialmente e determinar se os primeiros enquadram-se dentro dos critérios mínimos das normas de classificação comercial;
- Estabelecer modelos matemáticos relacionando as variáveis de produção com as características dos painéis produzidos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Compósitos

Embora a produção de painéis de madeira aglomerada já esteja consolidada em todo o mundo, outras matérias-primas e tecnologias de produção vêm sendo testadas para geração de novos produtos. Um dos materiais com grande potencialidade para ser associado à madeira, para a produção de painéis, são as resinas termoplásticas. No Brasil, em 1999, foram produzidas cerca de 3,5 milhões de toneladas de resinas termoplásticas, e, desse total, mais de 65% foram destinadas às indústrias de embalagens plásticas (ANUÁRIO BRASILEIRO DO PLÁSTICO, 2000). Tais embalagens, após absorvidas pelo mercado consumidor, são descartadas como resíduo pós-consumo, e por não serem biodegradáveis tornam-se um sério problema ambiental. Esse material, usualmente rejeitado, se recuperado, poderia ser, em parte, utilizado como matéria-prima para a produção de compósitos termoplásticos.

Compósitos pode ser definido como a combinação de dois ou mais materiais unidos por algum tipo de betume ou matriz.

Compósitos termoplásticos são produtos obtidos a partir de uma matriz, contínua ou descontínua, de resina termoplástica reforçada com partículas de madeira. Os produtos assim obtidos associam as melhores qualidades de cada constituinte e se caracterizam por apresentar propriedades peculiares, como baixa massa específica, grande estabilidade dimensional e grande resistência à corrosão, o que os distinguem de outros materiais (Maciel, 2001).

A tecnologia de produção dos compósitos termoplásticos reforçados com fibras lignocelulósicas utiliza, atualmente, como matérias-primas principais, em função de sua maior disponibilidade e adequação aos sistemas de produção, que requerem a fusão do material, os plásticos polietileno de alta e baixa densidade e o polipropileno em mistura com farinha e fibras de madeira e agentes compatibilizadores (English *et al.*, 1996).

A preparação de compósitos de madeira com polímeros é uma prática antiga, particularmente quanto ao uso de resinas termofixas, como uréia, fenol, ou melamina-formaldeído e isocianatos na produção de painéis MDF (*medium-density*

fiberboard). A utilização de farinha ou fibra de madeira como carga em termoplásticos também já é conhecida desde a década de 70 pela indústria automobilística, que emprega compósitos de polipropileno com farinha de madeira, conhecidos no mercado, como *woodstock*[®]. Embora a viabilidade técnica para produção de compósitos celulósicos termoplásticos tenha sido comprovada em outros países, no Brasil, ainda se encontra uma certa relutância por parte da indústria de compostos termoplásticos em empregar essa tecnologia. Na maioria dos casos, essa relutância é decorrente da falta de informações técnicas sobre os materiais e os processos de certificação local de fornecedores de matéria-prima e sobre a ausência de equipamentos específicos e desenvolvimentos de novos mercados para esses produtos (Correa *et al.*, 2003).

Os estudos mercadológicos realizados nos EUA e na Europa sobre o uso de fibras celulósicas ou farinha de madeira (*WWF - wood waste flour*) como carga e reforço em termoplásticos revelam que a substituição da madeira convencional por compósitos termoplásticos apresenta-se como alternativa viável ao reaproveitamento de resíduos, com inúmeras vantagens (Eckert, 2000; Stark & Scheneider, 1996):

- Maior resistência à umidade e deterioração ambiental;
- Resistência a pragas e insetos;
- Melhor estabilidade dimensional;
- Resistência ao empenamento e trincas;
- Menor custo de manutenção de rotina;
- Maior durabilidade em ambientes agressivos, como marinas e piscinas;
- São totalmente recicláveis e imitam em aspecto a madeira;
- Dispensam o uso de proteção superficial, como tintas e vernizes.

No Brasil, estudos recentes relacionam o uso de resíduos de madeira em inúmeras aplicações (Grassi *et al.*, 2001). Nos EUA e na Europa, já existe uma legislação específica que limita a queima indiscriminada de derivados celulósicos, principalmente papel e madeira, o que acabou incentivando a busca de alternativas para o reaproveitamento desses resíduos. Nesses países, a escassez de madeira também tem provocado o aparecimento de produtos conhecidos como compósitos termoplásticos com madeira ou *wood-plastic composites, WPC*. Esses produtos têm encontrado grande aceitação no mercado em aplicações como perfis para construção civil e como componentes automobilísticos graças a sua leveza, versatilidade e baixo custo, quando comparados com a madeira *in natura* ou outros

compósitos poliméricos reforçados com cargas minerais. Ainda nos EUA, o mercado para termoplásticos celulósicos com aplicação em materiais de construção apresentou um crescimento vertiginoso na última década e vem crescendo a uma taxa de 15% ao ano (Vianna *et al.*, 2004).

A maior parte dos trabalhos publicados (Bregner *et al.*, 1988; Han *et al.*, 1989; Yan *et al.*, 1990; Simonsen *et al.*, 1998, Wanage *et al.*, 1998) teve como objetivo estabelecer as características de produtos fabricados com uma matriz de matéria plástica reforçada com fibras de madeira. Em apenas alguns trabalhos, como naqueles publicados por Youngquist *et al.* (1992) e Oksman & Clemons (1998), foi estudado o efeito da incorporação de plásticos na produção de painéis de madeira. Em ambos os casos produziram-se, por compressão, painéis com boas propriedades físicas e mecânicas.

2.2 Fibras vegetais

A potencialidade produtiva de fibras orgânicas, no Brasil, é muito grande, existindo por volta de vinte tipos úteis à construção civil. Os dados de produção disponíveis, por seu turno, são, em sua maioria, estimativas defasadas e pouco precisas. Nos processos de obtenção de fibras vegetais, a geração de resíduos, ao longo de todo o processo de beneficiamento, é muito significativa, podendo chegar a 40% da massa de fibras aproveitadas comercialmente, no caso do sisal (Carvalho Filho, 1989).

A fibra de coco é uma das mais exploradas no Nordeste brasileiro, com estimativa de produção superior a 2 milhões de toneladas/ano, o que representa apenas o uso de pequena parte dos 500 milhões de frutos beneficiados em igual período. Grande parte desse material residuário se transforma em lixo, que provoca grave degradação ambiental, pela sua difícil decomposição natural.

O uso das fibras vegetais, no entanto, depende de outras tecnologias adequadas à construção de baixo custo. É o caso de resíduos agroindustriais próprios à obtenção de cimentos alternativos de baixa alcalinidade, em substituição parcial ao cimento Portland. Trata-se pois de um processo de adequação tecnológica não só do material, como também do componente produzido (telhas de cobertura, p.ex.), com certo nível industrial de produção, atendendo a padrões de

qualidade pré-fixados (Griffin, 1995). Cincotto *et al.* (1990) pesquisaram a otimização da produção de cinzas de casca de arroz, com o objetivo de tornar máxima a energia proveniente da queima, bem como a atividade pozolânica das cinzas obtidas, ainda com a vantagem de dispensar o processo de moagem posterior. As escórias de alto forno também constituem um ótimo exemplo de utilização, podendo chegar a substituir completamente o cimento convencional. Foi o que apresentou Agopyan (1991), em um protótipo de habitação, cujos painéis de vedação vertical foram construídos com escória reforçada com fibras de coco.

Os principais elementos geradores de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais são (Valle, 1995):

- Características intrínsecas às plantas e aos processos de obtenção das fibras vegetais;
- Mercado extremamente seletivo e restrito;
- Perecibilidade dos produtos;
- Disponibilidade de poucas informações sobre como transformar esses resíduos em subprodutos mais valorizados.
- Valorização do resíduo como matéria-prima, para produção de novos produtos, passando a ser tratado como subproduto do processo produtivo.

Os resíduos gerados pela agroindústria da fibra vegetal podem constituir, por seu turno, importante fonte de matéria-prima para produção de componentes construtivos, dependendo das quantidades disponíveis e da dispersão geográfica (John, 1996).

Segundo Beraldo (2002), o bambu e a casca de arroz podem entrar como componentes em materiais de construção civil (tijolos), barateando custos. “Estes resíduos geralmente seriam incinerados ou descartados”, explica o pesquisador. O mesmo autor informa que o material vem sendo testado desde 1994. O objetivo é encontrar uma destinação para resíduos de serrarias e de beneficiamento de arroz.

Estudos em curso, liderados por Libório & Souza (2002), prevêm a adição de sílica da casca de arroz a produtos como tintas, polímeros, argamassas decorativas, selantes, contrapisos e pisos especiais. Para os autores a sílica ativa da casca de arroz será uma alternativa tão eficaz quanto as outras sílicas quando resolvidos os desafios do processamento.

Nas condições atuais, a casca de arroz continua a ser queimada e deixada no campo, onde produz fortes danos: “No solo onde se joga o material queimado não

brota mais nada. Na forma de poeira, essa cinza pode causar nos seres humanos a silicose, uma séria doença nos pulmões” (Libório & Souza, 2002).

2.3 Casca de arroz

A cultura do arroz no Rio Grande do Sul tem importante papel na economia regional. É a principal atividade econômica em inúmeros municípios do Estado, notadamente na Metade Sul. Estudo realizado pelo IRGA (1996), visando fornecer subsídios a investimentos pelo RECONVERSUL, em 18 municípios da região Sul do Estado, constatou que o arroz ocupava 49,8% da área plantada das principais culturas temporárias naquela região. Em termos de valor da produção, o arroz detinha 78,1%.

A mesma fonte cita que o Rio Grande do Sul tem ocupado lugar de destaque na produção de arroz no contexto nacional. Em 1980, a produção gaúcha correspondia a 23,4% da produção nacional, alcançando patamares superiores a 40% a partir de 1990. A produção gaúcha de arroz cresceu de 874.185 toneladas em 1960 para 5.008.567 toneladas na última safra (base casca), um incremento de 473% (11,53% ao ano). Na safra 99/00, o Rio Grande do Sul cultivou 25,6% da área plantada com arroz no Brasil e respondeu por 44,5% da produção nacional, produzindo cerca de 5 milhões de toneladas anuais de arroz, com a sobra de 1 milhão de toneladas de casca. Apenas como comparação, uma fábrica de aglomerados típica utiliza em torno de 150 mil ton/ano de madeira, o que poderia ser substituído pela casca de arroz.

Atualmente, observa-se uma forte tendência de se evitar a formação de resíduos em qualquer atividade produtiva. Quando isso não se torna possível ou viável, aproveitar o material residual de alguma outra maneira de forma a incorporar valor a esses resíduos torna-se fundamental para a sobrevivência da empresa. Além disso, com o paradigma atual da sociedade de se produzir de maneira ecológica, faz-se necessária a utilização de matérias-primas que não causem grandes impactos ao meio ambiente, conservando a qualidade final do produto.

Segundo Riceboard (2001), o arroz vem sendo plantado em todos os países do mundo, constituindo-se em uma das mais importantes culturas agrícolas do planeta, porém sua intensa produção ocasiona um sério problema ambiental que diz respeito

ao descarte de suas cascas. Estas são de difícil decomposição, permanecendo por vários anos no solo, o que muitas vezes obriga os produtores a queimá-las.

Para o mesmo autor, o desenvolvimento da tecnologia para manufatura de painéis utilizando casca de arroz surgiu como uma das melhores soluções para os problemas dos resíduos da agricultura (casca de arroz) e, ao mesmo tempo, da preservação das florestas. Estes painéis podem substituir os painéis de partículas de madeira em diversos tipos de uso. Hancock & Chandramouli (1974) disseram que as propriedades dos painéis produzidos com casca de arroz são similares às dos painéis com partículas de madeira. Quanto à resistência mecânica, painéis compostos com casca de arroz apresentaram maior resistência em relação a compostos com serragem (Casalina, 1972).

A tecnologia de fabricar aglomerados de casca de arroz está sendo desenvolvida no Instituto de Pesquisa de Indústria de Aglomerados da Índia; tem surgido como uma das melhores soluções para os problemas supracitados por ajudar no equilíbrio da natureza e na preservação dos ecossistemas.

Patentes têm sido obtidas e arquivadas na Índia e em muitos outros países do mundo. Estes aglomerados tem emergido como substitutos da madeira em larga escala e aplicações. Além disso, estes aglomerados podem ser utilizados para decoração, possuem as mais diversas utilidades, devido a algumas propriedades particulares, tais como: resistência a cupins, alta resistência à água, à deterioração e resistência ao fogo além de alta durabilidade.

O processo tem sido licenciado para várias firmas na Índia, e novos projetos foram instalados na Malásia em 1996. A produção de aglomerados de casca de arroz por estas firmas tem mostrado excelentes mercados e tem ganhado popularidade devido a sua estética, melhores propriedades mecânicas e preço mais baixo comparado à de madeira. As firmas da Malásia têm também produzido telhas, assoalho, portas resistentes ao fogo, etc, tendo granito como acabamento.

Vasishth (1971) demonstrou que painéis com casca de arroz podiam ser produzidos utilizando fenol-formaldeído como adesivo, obtendo resultados satisfatórios. Chen (1979), em seus estudos, confeccionou painéis de partículas utilizando casca de arroz com fenol-formaldeído e obteve painéis de boas propriedades com relação à absorção de água, e à baixa expansão. Para o autor, as propriedades mecânicas dos painéis poderiam ser melhoradas com o aumento da densidade e do teor de adesivo.

Uma das características mais notáveis dos painéis de casca de arroz é a durabilidade; por ser material não-lenhoso, é imune ao ataque de brocas de madeira. Pela sua característica favorável em relação à absorção d'água e boa resistência, estes painéis podem ser usados na construção civil. Bulakul (1970) concluiu que o painel produzido com 50 mm de espessura apresentou resistência satisfatória, bom isolamento térmico e sonoro, além de alta resistência ao fogo. E, ainda, demonstrou possuir excelentes propriedades mecânicas, tais como: forte ligação interna, elasticidade, estabilidade dimensional, capacidade de suportar pregos e parafusos, resistência à abrasão, superfície dura, etc.

Economicamente, a utilização da casca de arroz na confecção de painéis aglomerados é viável. Chen (1980) afirmou que os custos para transportar a casca de arroz são competitivos com os custos para o transporte de partículas de madeira. A aquisição da casca de arroz, no entanto, pode sair mais barata por se tratar de um resíduo agrícola que, na maioria das vezes, não é aproveitado, enquanto que a madeira para produção de partículas poderia ser utilizada para produtos de maior valor, como por exemplo na fabricação de móveis.

Segundo Roque (1998), qualquer espécie de madeira, ou mesmo outras fontes de fibras, como bagaço de cana ou casca de arroz, podem ser usadas para fabricação de aglomerados. A qualidade do produto final, contudo, limita o campo de escolha.

2.4 *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden

No Brasil, as árvores do gênero *Eucalyptus* adaptaram-se perfeitamente às condições edafoclimáticas. As espécies mais utilizadas são o *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis* (Silva 2001).

Destaca-se, dentre as espécies do gênero, o *Eucalyptus grandis*, que é uma das espécies mais plantadas no mundo e considerado uma das madeiras mais versáteis e indicadas para uso múltiplo. De acordo com Rocha (2000), a espécie apresenta boa adaptação em todas as regiões do Brasil, com elevado potencial silvicultural e plantios em larga escala; suas árvores apresentam boa forma, fornecendo toras adequadas para a produção de serrados; e apresenta, ainda, uma massa específica ideal para a produção de móveis.

A espécie ocorre naturalmente na Austrália, entre as latitudes 16 e 33°S, no território de New South Wales. Populações distintas ocorrem na região central e noroeste de Queensland. Árvores provenientes da região de Coff's Harbour crescem melhor que as provenientes dos extremos norte e sul da sua região natural (Hillis & Brown, 1984).

A precipitação pluviométrica de sua área de ocorrência varia de 1000 a 3500 mm anuais, predominantemente no verão, e a estação seca raramente ultrapassa três meses. A temperatura máxima média varia de 24 a 30°C, e a mínima média varia entre 3 e 8°C. Raramente ocorrem geadas nas regiões costeiras, embora elas possam ocorrer em locais de maior altitude.

A espécie *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden é considerada medianamente leve e fácil de ser trabalhada em operações de usinagem, com elevada permeabilidade, porém possui baixa estabilidade dimensional. A madeira proveniente de ciclo longo é utilizada intensivamente na Austrália, África do Sul, Brasil e Argentina como material de construção e matéria-prima na fabricação de móveis. Já a proveniente de ciclos curtos é utilizada em caixotaria, paletes, carvão e moirões (Silva 2001).

Segundo Marchiori & Sobral (1997), a madeira de *Eucalyptus grandis* tem coloração rosado-clara, moderadamente dura e resistente a decomposição natural, assemelha-se a *Eucalyptus saligna*, embora seja um pouco mais leve. A madeira caracteriza-se anatomicamente por apresentar parênquima paratraqueal vasicêntrico escasso; vasos visíveis a olho nú, com distribuição difusa; raios não-visíveis a olho nú, exclusivamente unisseriados; fibras curtas com predomínio de fibrotraqueídeos (Oliveira, 1997).

Segundo Stumpp (2000), a madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta massa específica a 12% densidade de 0,504 g/cm³ para árvores com 16 anos de idade, enquanto Oliveira (1997) cita valores médios de 0,55 g/cm³ para a mesma espécie com a mesma idade.

2.5 Painéis aglomerados

A tecnologia de produção de chapas aglomeradas desenvolveu-se principalmente após a Segunda Guerra Mundial, em função da escassez da matéria-prima e, também, para a redução das perdas que ocorriam tanto na indústria

madeira como na exploração florestal. A multiplicidade de aplicações, principalmente na indústria moveleira, e mais recentemente, na construção civil, levou a geração de uma tecnologia avançada, com base na pesquisa de novos processos de utilização de novas matérias-primas (Haselein *et al.*, 1989).

O segmento produtor de painéis de madeira, especialmente os aglomerados, tem demonstrado elevado dinamismo, com reflexo das altas taxas de crescimento da indústria moveleira, principal demandante de painéis. De acordo com estudos do BNDES, está sendo necessária, entretanto, a realização de investimentos direcionados para a expansão e a melhoria da produtividade do parque industrial produtor de painéis, de modo a se obter maiores reduções nos preços destes produtos.

Painéis de partículas de madeira aglomerada são geralmente produtos fabricados com pequenos fragmentos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos aglutinados com adesivos sintéticos ou outro aglomerante, sendo o conjunto prensado a quente por tempo suficiente para que a cura da resina se efetue. No Brasil, a madeira para produção de painéis aglomerados vem de florestas plantadas e de empresas produtoras, dentre as quais algumas utilizam madeira de pinus na sua linha de produção, outras empregam apenas eucalipto e algumas combinam pinus e eucalipto em proporções variáveis. No mundo, 50% das indústrias desse produto empregam madeira de coníferas como matéria-prima principal, e outras empregam mais de uma espécie de madeira em suas linhas de produção (BNDES, 2000).

Segundo Kollmann *et al.* (1975), o custo de madeira é um fator muito importante no custo total da produção de aglomerados. Cerca de 90% do peso seco total do aglomerado é geralmente madeira ou algum outro material lignocelulósico.

Existe uma grande variedade de materiais que podem ser combinados para a produção de compósitos (combinação de dois ou mais materiais unidos por algum tipo de betume ou matriz). Dentre eles, podem-se citar fibras virgens ou recicladas, resíduos agrícolas (bagaço de cana, palha de arroz e de trigo, bambu, algodão etc.) e polímeros sintéticos, como polipropileno e polietileno.

Tedjowahjono *et al.* (1995) confeccionaram chapas aglomeradas de bagaço de cana. Como adesivo, foi usada uma solução à base de uréia-formaldeído. Segundo os autores, as chapas apresentaram propriedades físicas e mecânicas comparadas

com os limites padrões. O teor de adesivo utilizado, entretanto, foi de 35%, o que é bastante elevado.

2.6 Plásticos

O termo plástico vem do grego e significa “adequação à moldagem”. Plásticos são materiais que contêm, como componente principal, um polímero orgânico sintético e se caracterizam assim, pois, embora sólidos à temperatura ambiente em seu estado final, em algum estágio de seu processamento, tornam-se fluidos e passíveis de serem moldados, por ação isolada ou conjunta de calor e pressão (Mano, 1985).

Devido à sua capacidade de ser moldado, o plástico tem sido utilizado na produção de uma grande variedade de artigos de formas diversas. O consumo de plásticos no Brasil vem crescendo com o desenvolvimento econômico e acompanha o ritmo da instalação, no mercado nacional, de empresas fabricantes de resinas sintéticas. A indústria de embalagens plásticas situou-se entre as de maior crescimento no Brasil nos últimos anos, segundo a Associação Brasileira de Embalagens Flexíveis.

O consumo anual per capita de plástico no Brasil gira em torno de 10 kg, sendo relativamente baixo, comparado com o índice de 72 kg, verificado nos EUA, e de 53 kg, no Japão. Observa-se, desta forma, um potencial de crescimento para esse setor no país. O mercado de embalagens representa cerca de 25% do consumo aparente de plásticos (Cepis, 2001).

Os plásticos são divididos em duas categorias importantes: termofixos e termoplásticos (Compam, 2001). Os termofixos, que representam cerca de 20% do total consumido no país, são plásticos que, uma vez moldados por um dos processos usuais de transformação, não podem mais sofrer novos ciclos de processamento pois não se fundem novamente, o que impede nova moldagem.

Os termoplásticos, mais utilizados, são materiais que podem ser reproprocessados várias vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação. Quando submetidos ao aquecimento a temperaturas adequadas, esses plásticos amolecem, fundem e podem ser novamente moldados. Como exemplos, podem ser citados: polietileno de baixa densidade (PEBD); polietileno de alta densidade (PEAD);

poli(cloreto de vinila) (PVC); poliestireno (PS); polipropileno (PP); poli(tereftalato de etileno) (PET); poliamidas (náilon) e muitos outros.

Na mesma proporção que evolui o uso do plástico no Brasil, surge a necessidade de se criar alternativas para sua destinação final, principalmente no segmento de embalagens. Atualmente, o plástico participa, em média, de 7% a 8% da composição do lixo urbano brasileiro. Uma das grandes vantagens do plástico em relação a outros materiais é a sua capacidade de reciclagem. Seguindo exemplos de países como EUA e Japão, já existem empresas brasileiras apostando na reciclagem de resíduos plásticos misturados, para obter perfis extrusados, como a "madeira/plástico" (Imperiolatplast, 2002).

Na produção de alguns compósitos que utilizam como matéria-prima principal o plástico/madeira, em razão de sua maior disponibilidade e adequação aos sistemas de produção, é necessário a fusão do material plástico, como o polietileno de alta e baixa densidade e o polipropileno em mistura com farinha e fibras de madeira (English *et al.*, 1996).

Alguns produtos à base de polímeros termoplásticos recicláveis, como o PP, PET e fibras lignocelulósicas, estão sendo investigados devido ao ótimo potencial que apresentam. Produtos obtidos pela mistura destes constituintes começaram a ser usados comercialmente na década de 80, em especial, no Japão e EUA, nas mais variadas aplicações (Wigotsky, 1988).

2.7 Polietileno

Polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina. As menores unidades cristalinas, lamelas, são planares e consistem de cadeias perpendiculares ao plano da cadeia principal e dobradas em zig-zag, para cada 5 a 15 nm, embora haja defeitos que são pouco freqüentes (Doak, 1986).

Os polietilenos são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina. Em temperaturas abaixo de 60°C, são parcialmente solúveis em todos os solventes. Entretanto, dois fenômenos podem ser observados (Neves, 1999):

- Interação com solventes, sofrendo inchamento, dissolução parcial, aparecimento de cor ou, com o tempo, completa degradação do material;
- Interação com agentes tensoativos, resultando na redução da resistência mecânica do material por efeito de tenso-fissuramento superficial.

No passado, o polietileno era classificado pela sua densidade e pelo tipo de processo usado em sua fabricação. Atualmente, os polietilenos são mais apropriadamente descritos como polietilenos ramificados e polietilenos lineares (Martins, 1999; Silva, 1999).

O mercado brasileiro de polietileno ganhou novo perfil em volume e qualidade, gerando maior oferta e tipos (*grades*) de melhor desempenho e produtividade para a indústria de transformação. As poliolefinas representam aproximadamente 60% da demanda mundial de termoplásticos, em que os polietilenos se encaixam no patamar dos 40%. No Brasil, as poliolefinas representam cerca de 65%, dos quais 43% correspondem aos polietilenos (Reto, 2000).

O mercado brasileiro de polietileno cresce em um ritmo duas vezes superior ao do Produto Interno Bruto (PIB). Entre 1999 e 2000, as vendas aumentaram em mais de 150 mil toneladas (cerca de 10% da produção nacional). O mercado de polietileno linear avança acentuadamente sobre a resina de baixa densidade convencional, cujas vendas estão estagnadas e a sua produção apresenta tendência de queda. Assim, o volume de produção do polietileno linear de baixa densidade cresceu 25% entre 1999 e 2000 e o de alta densidade aumentou 17% (Reto, 2000).

O polietileno é um polímero largamente utilizado devido às suas características estruturais e suas propriedades. O que diferencia os principais tipos de polietileno é a presença de ramificações na cadeia polimérica. Essas ramificações podem ser geradas por diferentes mecanismos. Um fator importante é a escolha do catalisador, a partir do qual se pode controlar o teor de comonômeros incorporados na cadeia polimérica, o tipo e a distribuição de ramificações, características essas que influenciam diretamente a densidade, a cristalinidade, as propriedades e assim as aplicações desses polímeros (Coutinho *et al.*, 2003).

2.8 Polietileno de alta densidade (PEAD)

Segundo Montenegro *et al.* (2002), o polietileno de alta densidade (PEAD) é um material termoplástico derivado do eteno, branco e opaco. Apresenta alta resistência a produtos químicos e solventes e tem uma baixa permeabilidade a gases e vapores.

As características mecânicas e elétricas do polietileno de alta densidade são apresentadas na Tabela 1. Enquanto as propriedades elétricas são pouco afetadas pela densidade e pelo peso molecular do polímero, as propriedades mecânicas sofrem uma forte influência do peso molecular, do teor de ramificações, da estrutura morfológica e da orientação (Miles & Briston, 1965).

TABELA 1: Propriedades térmicas, físicas, elétricas e mecânicas do PEAD.

Propriedades	Altamente Linear	Baixo grau de ramificação
Densidade (g/cm ³)	0,962 – 0,968	0,950 – 0,960
Temperatura de fusão (°C)	128 – 135	125 – 132
Condutividade térmica, W/(m.k)	0,46 – 0,52	0,42 – 0,44
Ponto de escoamento (MPa)	28 – 40	25 – 35
Módulo de tração (MPa)	900 – 1200	800 – 900
Resistência à tração (MPa)	25 – 45	20 – 40
Alongamento (%)		
No ponto de escoamento	5 – 8	10 – 12
No ponto de ruptura	50 – 900	50 – 1200
Resistência ao cisalhamento (MPa)	20 – 38	20 – 36

Fonte: Doak, (1986).

O peso molecular tem influência sobre as propriedades do PEAD, principalmente devido ao seu efeito na cinética de cristalização, cristalinidade final, caráter morfológico da amostra, e sobre a resistência ao impacto. Amostras com baixo peso molecular são frágeis; porém, com o aumento do peso molecular, a resistência ao impacto aumenta e é bastante alta para o PEAD com peso molecular na faixa de 5×10^5 a 10^6 . Além disso, o efeito do peso molecular depende de sua extensão (Doak, 1986).

Um aumento no teor de ramificações reduz a cristalinidade e é acompanhado por variação significativa das características mecânicas, uma vez que causa um aumento no alongamento na ruptura e uma redução da resistência à tração.

A orientação das cadeias poliméricas exerce um forte efeito sobre as propriedades mecânicas do polímero. Materiais fabricados com PEAD altamente orientado são aproximadamente dez vezes mais resistentes do que os fabricados a partir do polímero não-orientado, pois a orientação aumenta o empacotamento das cadeias, aumentando, conseqüentemente, a rigidez do polímero (Doak, 1986).

Em geral, o PEAD exibe baixa reatividade química. As regiões mais reativas das moléculas de PEAD são as duplas ligações finais e as ligações CH terciárias em ramificações. PEAD é estável em soluções alcalinas de qualquer concentração e em soluções salinas, independente do pH, incluindo agentes oxidantes, como KMnO_4 e $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; e não reage com ácidos orgânicos, HCl ou HF. Soluções concentradas de H_2SO_4 (> 70%), sob elevadas temperaturas reagem vagorosamente com PEAD, produzindo sulfo-derivados (Miles & Briston, 1965).

À temperatura ambiente, o PEAD não é solúvel em nenhum solvente conhecido, apesar de muitos solventes, como o xileno, por exemplo, causarem um efeito de inchamento. Sob altas temperaturas, ele se dissolve em alguns hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. O PEAD é relativamente resistente ao calor. Processos químicos sob alta temperatura, em meio inerte ou no vácuo, resultam em ruptura e em formação de ligações cruzadas nas cadeias poliméricas. Sob elevadas temperaturas, o oxigênio ataca a macromolécula, reduzindo seu peso molecular. Sob baixas temperaturas, pode ocorrer degradação foto-oxidativa. O PEAD é ligeiramente permeável a compostos orgânicos, tanto em fase líquida como gasosa (Doak, 1986; Cowie, 1991).

O polietileno linear é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Esse polímero contém menos que uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal. Sua temperatura de fusão cristalina é aproximadamente 132°C e sua densidade está entre 0,95 e 0,97 g/cm^3 . O peso molecular numérico médio fica na faixa de 50.000 a 250.000 (Billmeyer, 1984; Odiam, 1991).

Pereira *et al.* (1997), em um estudo comparativo sobre a estrutura cristalina lamelar dos polietilenos de alta e baixa densidades e os resultados obtidos, confirmaram que as cadeias do PEAD são dobradas, contendo os segmentos entre as dobras cerca de 100 átomos de carbono, enquanto que, no PEBD, as cadeias são estendidas, com segmentos de cerca de 73 átomos de carbono na zona

cristalina, ligados às zonas amorfas, as quais contêm dobras longas e terminais de cadeia.

A linearidade das cadeias e conseqüentemente a maior densidade do PEAD fazem com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam mais eficientes; as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente; e, como conseqüência, que a cristalinidade seja maior do que no caso do PEBD. Assim, sendo maior a cristalinidade, a fusão poderá ocorrer em temperatura mais alta (Gutián, 1995).

Sendo introduzido comercialmente na década de 50, o PEAD atualmente, é o quarto termoplástico mais vendido no mundo, sendo também a segunda resina mais reciclada no mundo. Pode ser usado em contentores, bombonas, fitas para lacres de embalagens, material hospitalar, garrafas e outros recipientes para detergentes e leite, sacos plásticos, ráfia, etc.

Segundo Plastivida (2002), o uso de materiais plásticos apresenta uma série de vantagens, tais como: menor consumo de energia, redução do peso do lixo doméstico, menor custo de coleta e destino final, ausência de riscos em seu manejo e praticidade na atribuição de seu valor financeiro.

Em termos de reciclagem, o PEAD ocupa posição relevante devido a sua alta aplicabilidade nas embalagens. Os grandes produtores de resina virgem estão saindo do negócio, face a sua baixa atratividade econômica. Cabe destacar ainda que é mínima a influência da reciclagem do PEAD em relação ao consumo total desta resina. O PEAD reciclado representou apenas 4% do consumo de PEAD na América do Norte em 1994.

As embalagens representam um total de 50% do consumo de PEAD no Brasil, menor portanto do que a média verificada em termos mundiais (75%).

O polietileno, igualmente aos outros plásticos, é um material demasiado valioso para ser desperdiçado, por isso agregar valor a ele é a opção preferida para o seu tratamento. Caso não exista outra opção, e o polietileno tenha que ser enterrado em aterros sanitários, é importante saber que os seus resíduos são absolutamente inócuos para o meio ambiente. Por sua natureza são inertes e não sofrem degradação, o que nos garante que não geram lixiviados, de produtos degradantes, líquidos ou gasosos que possam ser lançados ao solo, ar ou água (Plastivida, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

Para a produção dos painéis utilizados neste trabalho, foram empregadas partículas de madeira provenientes da empresa Satipel, localizada no município de Taquari, RS, e casca de arroz, obtida na Indústria de Beneficiamento de Arroz Rosso, situada em São João do Polêsine, RS.

As partículas de madeira fornecidas pela empresa são as mesmas utilizadas na linha de produção de chapas aglomeradas, sendo obtidas pelos picadores de madeira roliça de *Eucalyptus grandis*.

Todo o material (casca de arroz e partículas de madeira) foi acondicionado em sacolas plásticas, devidamente identificadas, e, em seguida, conduzido ao Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da UFSM para a confecção dos painéis.

3.1.1 Tipo de resina

Para a confecção dos painéis, foi usado o polietileno de alta densidade (PEAD), na forma inicial de grânulos, com densidade de 0,96 g/cm³.

Os grânulos de PEAD foram dispostos sobre um molde (Figura 1) com dimensões de 0,8 x 29,7 x 30,18 cm, previamente calculadas para não alterar a massa específica do material, e foram transformados em lâminas, as quais facilitaram na montagem dos painéis.

Estas lâminas foram cortadas com dimensões de aproximadamente 5 cm de largura e 25 cm de comprimento e 1mm de espessura (Figura 2). Todas foram medidas com paquímetro digital e pesadas em balança analítica com precisão de 0,01 g para determinar a massa específica de cada uma delas.

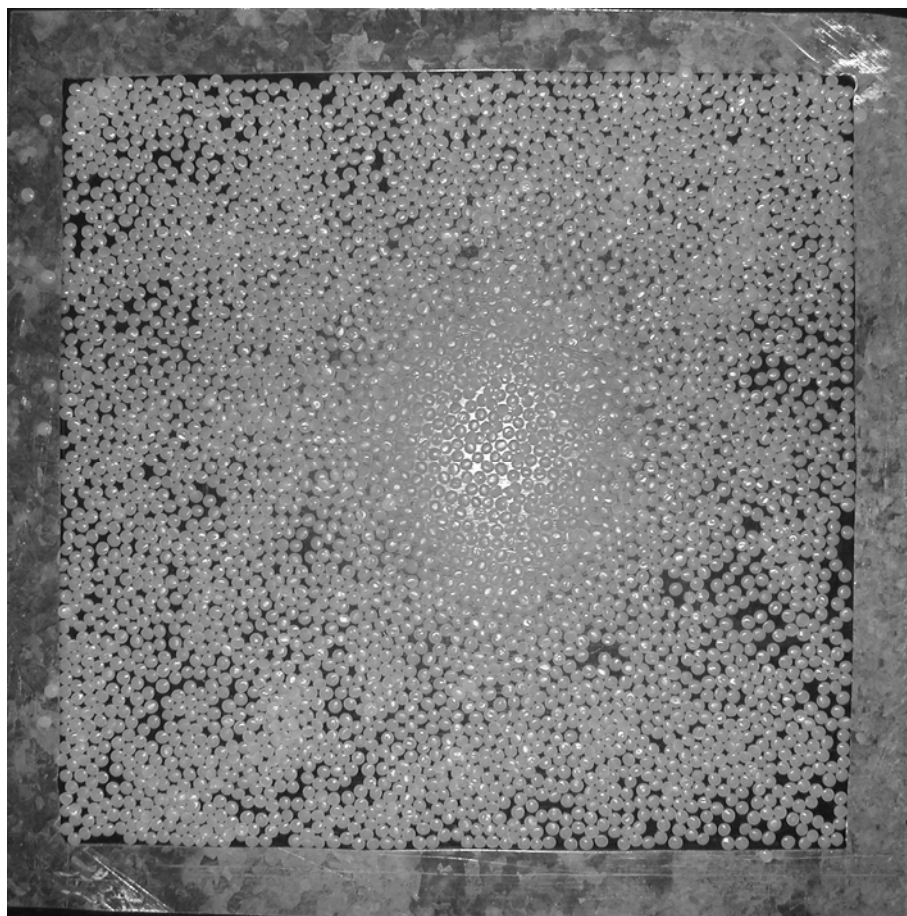


FIGURA 1: Molde onde os grânulos de PEAD foram derretidos (30,18 x 29,7 cm).

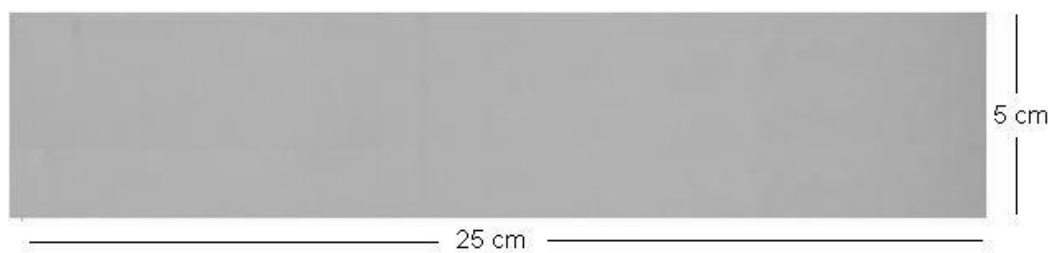


FIGURA 2: Lâmina de PEAD usada na confecção do painel.

3.2 Caracterização da matéria-prima

3.2.1 Caracterização do material

A matéria-prima (casca de arroz, partículas de madeira) usada foi acondicionado em câmara climatizada com temperatura constante de 20°C, umidade relativa de 65%. Após condicionadas, foram retiradas amostras da casca de arroz e das partículas de madeira para determinação do teor de umidade.

Tais amostras foram pesadas, para a obtenção do peso úmido, sendo posteriormente colocadas em estufa a 103°C até peso constante, para obter o peso seco e, assim determinar o teor de umidade. Para as cascas de arroz, o teor de umidade era de 14,4%; para as partículas de madeira, de 12,7%.

Determinou-se a massa específica da casca de arroz e das partículas de madeira através da determinação a granel. A casca de arroz apresentou uma massa específica a granel de 0,11 g/cm³, as partículas de madeira, de 0,17g/cm³.

A casca de arroz usada tinha em média 9 mm de comprimento, enquanto que as partículas de madeira apresentavam valores em torno de 4 mm.

A análise química da casca de arroz para a determinação dos seus constituintes foi realizada no Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM (Anexo 1).

3.3 Manufatura dos painéis

3.3.1 Processo de produção

Para a condução dos ensaios, foram confeccionados 64 painéis, com dimensões de 0,5 x 5 x 25 cm de espessura, largura e comprimento, respectivamente.

Antes de iniciar a manufatura dos painéis, a casca de arroz e as partículas de madeira armazenadas foram colocadas em estufa a 60°C, por um período de 24 horas, para alcançar um teor de umidade de aproximadamente 3%.

A matéria-prima (Figura 3) usada na confecção dos painéis foi retirada da estufa no momento da sua utilização e, em seguida, pesada em balança analítica de precisão de 0,01 g de acordo com a quantidade exigida pelo tratamento.



FIGURA 3: Visualização das matérias-primas (casca de arroz, partículas de madeira).

Os painéis foram montados manualmente em um molde de aço, sem fundo e com tampa, de dimensões 0,5 x 5 x 25,5 cm.

O molde foi colocado sobre uma chapa de aço galvanizado, com 0,7 mm de espessura, revestida de papel vegetal encerado com desmoldante (Figura 4), para facilitar o manuseio do molde e a não-aderência do material aos pratos da prensa no momento da prensagem.



FIGURA 4: Molde usado na confecção dos painéis.

O painel foi montado em forma de camadas de acordo com o peso de partículas e o número de lâminas, sendo que o peso das partículas foi cuidadosamente dividido e homogeneizado de acordo com o número de lâminas de PEAD usado em cada tratamento.

Após a montagem, o painel foi levado à prensa quente hidráulica de laboratório marca OMECO, com capacidade de 100 toneladas de aplicação de carga e pratos com dimensões de 60 x 60 cm (Figura 5). O período de prensagem foi de 10 minutos, com temperatura dos pratos ajustada em 220°C. Após a prensagem na prensa quente, os moldes permaneceram prensados em uma prensa manual até esfriarem, para que não ocorresse deslocamento do painel e para facilitar a sua remoção do molde. Depois de retirados os painéis, foram identificados e acondicionados em câmara climatizada.



FIGURA 5: Prensa hidráulica.

Após a climatização, os painéis foram novamente medidos com o auxílio de um paquímetro digital e pesados em balança analítica, para determinação da massa específica de cada painel. Posteriormente, foram confeccionados os corpos de prova

de acordo com as normas para cada teste. Quando necessário, utilizou-se uma serra alternativa de laboratório para a confecção dos corpos de prova. Em seguida à sua confecção, os corpos de prova foram novamente armazenados em câmara climatizada até atingir peso constante, para a realização dos testes.

3.4 Testes físico-mecânicos

Os testes realizados para avaliação da qualidade dos painéis foram:

- flexão estática (tensão no limite proporcional, deslocamento no limite proporcional, tensão a 2,5 cm de deslocamento, módulo de elasticidade);
- tração perpendicular à superfície (ligação interna);
- absorção d'água;
- inchamento em espessura;
- inchamento em espessura após 15 ciclos de submersão.

Todos os testes seguiram as recomendações da norma norte-americana ASTM D1037 (1995). Os ensaios mecânicos foram executados em Máquina Universal de Ensaios, hidráulica, marca Amsler, com capacidade de 20 toneladas, pertencente ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM (Figura 6). Os pares de dados de carga e deslocamento foram alimentados automaticamente por uma placa de aquisição de dados, inserida em um computador IBM PC.

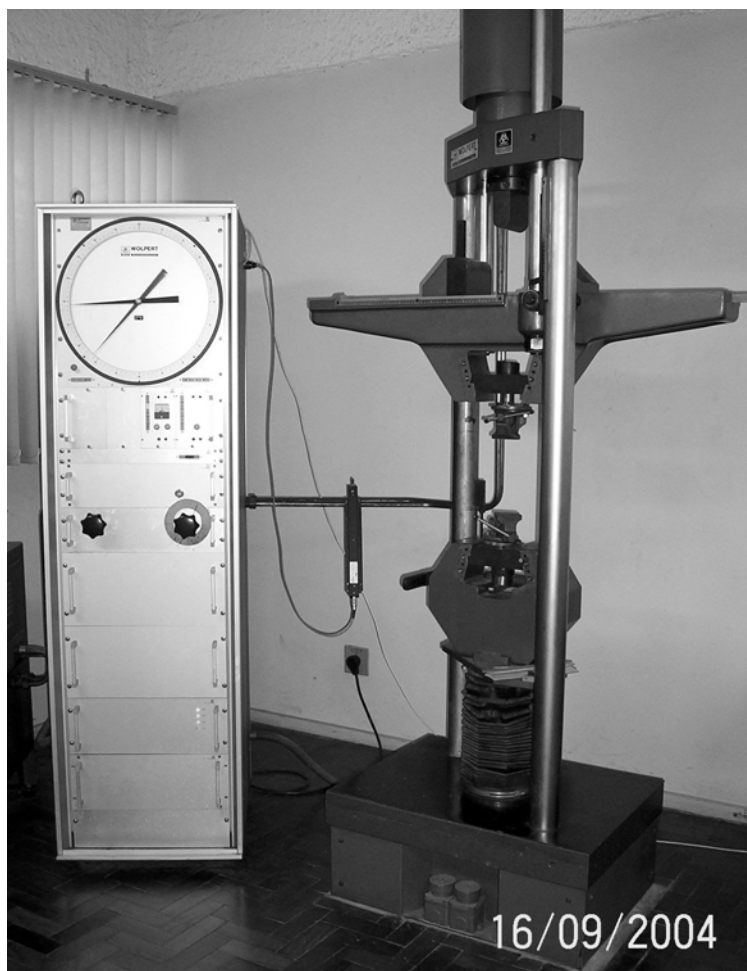


FIGURA 6: Máquina de ensaios mecânicos

3.4.1 Flexão estática

Os testes de flexão estática foram conduzidos em corpos de prova de 25 cm de comprimento, 5 cm de largura e 0,5 cm de espessura. O vão entre os apoios foi de 24 vezes a espessura média dos corpos de prova, correspondendo a 12 cm. Regulou-se a velocidade de aplicação da carga de acordo com a equação sugerida pela norma, obtendo-se um valor de 2,4 mm/minuto. Por meio de uma placa de aquisição de dados, os valores coletados foram alimentados diretamente a um computador IBM PC.

Um software desenvolvido especialmente para o teste de flexão possibilitou a construção do gráfico carga x deslocamento e realizou o ajuste da regressão para a parte linear do mesmo. Para calcular o módulo de elasticidade (MOE), foi utilizada a equação 1:

$$\text{MOE} = \frac{b_1 * L^3}{4 * b * h^3} \quad (1)$$

Onde: b_1 = coeficiente de inclinação da parte reta da curva carga x deslocamento (kgf/cm); L = vão entre os pontos de reação (cm); b = largura do corpo de prova (cm); h = espessura do corpo de prova (cm).

Os testes para determinar o limite proporcional foram conduzidos em corpos de prova de 25 cm de comprimento e 5 cm de largura, utilizando uma velocidade de aplicação da carga de 2,4 mm/minuto. Por meio de uma placa de aquisição de dados, estes foram alimentados diretamente a um computador IBM PC, fornecendo os gráficos de cada corpo de prova, de onde foram retirados os dados de deslocamento a 2,5 cm e tensão a 2,5 cm (Equação 2). Para calcular a tensão no limite proporcional, usou-se a equação 2:

$$\sigma_{2,5} = \frac{3 * P_{2,5} * L}{2 * b * h^2} \quad (2)$$

Onde: $\sigma_{2,5}$ = Tensão a 2,5 cm de deslocamento (kgf/cm²); $P_{2,5}$ = carga de deslocamento a 2,5 cm (kgf); L = vão entre os pontos de reação (cm); b = largura do corpo de prova (cm); h = espessura do corpo de prova (cm).

$$\sigma_{LP} = \frac{3 * P_{LP} * L}{2 * b * h^2} \quad (3)$$

Onde: σ_{LP} = tensão no limite proporcional (kgf/cm²); P_{LP} = carga no limite proporcional (kgf); L = vão entre os pontos de reação (cm); b = largura do corpo de prova (cm); h = espessura do corpo de prova (cm).

3.4.2 Tração perpendicular à superfície do painel

Corpos de prova de 0,5 x 5 x 5 cm, com as faces coladas em blocos de metal foram utilizados para conduzir os testes de tração perpendicular à superfície do painel. Foram medidas as dimensões da área de esforço sendo que no momento da ruptura, registrou-se a carga máxima aplicada. A velocidade do teste foi ajustada, com base na espessura dos corpos de prova, em 4 mm/min, conforme a norma.

Calcularam-se os valores de ligação interna (LI) por meio da relação entre a carga máxima e a área de esforço, expressos em kgf/cm^2 .

3.4.3 Absorção d'água e inchamento em espessura

Para a realização deste teste, corpos de prova de 0,5 x 5 x 5 cm foram submersos em água à temperatura de 20°C. O material foi disposto horizontalmente e mantido submerso à mesma profundidade (25 mm) por meio de pesos em forma de grade.

Foram determinados a espessura média e o peso das peças condicionadas na câmara climatizada após um período de 2 e 24 horas de submersão em água.

Foram feitas quatro marcações nas arestas do corpo de prova para que a medição ocorresse sempre no mesmo lugar e na ordem indicada.

Para a medição da espessura, foi utilizado um relógio comparador, adaptado especialmente para tal finalidade, como mostra a Figura 7. As medidas de comprimento e largura foram obtidas com paquímetro digital, e o peso determinado em balança analítica eletrônica com precisão centesimal.

As variáveis obtidas neste teste foram inchamento em espessura, após 2 horas (IE 2h) e 24 horas (IE 24h), e absorção de água em peso, após 2 horas (AB 2h) e 24 horas (AB 24h) de submersão das amostras.

Os cálculos destas variáveis foram realizados conforme a norma ASTM D 1037 (1995) e podem ser visualizados nas equações 4 e 5.

$$IE(\%) = \frac{EMF - EMI}{EMI} * 100 \quad (4)$$

Onde: IE = inchamento em espessura (%); EMF = espessura média final (cm); EMI = espessura média inicial (cm);

$$AB(\%) = \frac{PMF - PMI}{PMI} * 100 \quad (5)$$

Onde: AB = absorção d'água (%); PMF = peso médio final (g); PMI = peso médio inicial (g);

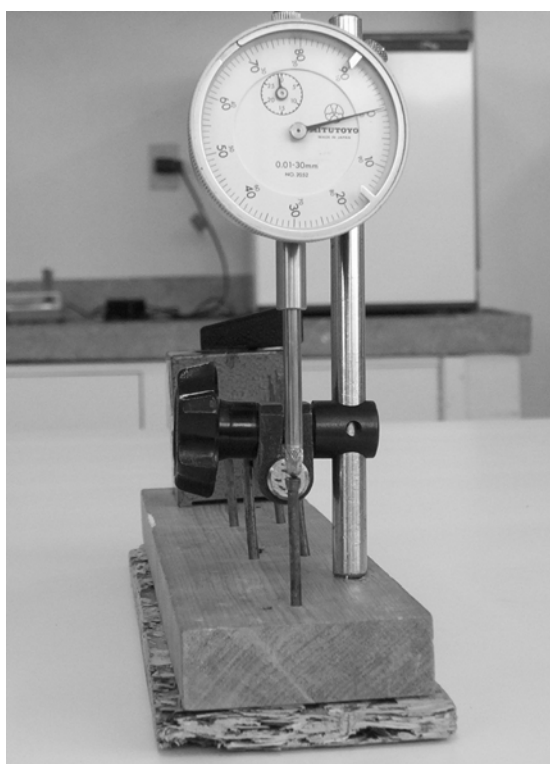


FIGURA 7: Instrumento para medição da espessura

3.4.4 Inchamento em espessura após 15 ciclos de submersão

Para execução deste teste, foram usados corpos de prova de 0,5 x 5 x 5 cm.

Os corpos de prova foram submetidos a 15 ciclos de submersão em água a temperatura de 20°C por um período de 20 horas, e a 4 horas em estufa, a uma temperatura de 65°C.

Antes de se iniciar o processo foram determinados a espessura média e o peso das peças, da mesma forma que, ao término dos 15 ciclos, repetiram-se a medição e a pesagem. Todos os corpos de prova receberam quatro marcações em suas arestas para que a medição ocorresse sempre no mesmo lugar e na ordem indicada.

Para a medição da espessura, foi utilizado um relógio comparador, adaptado especialmente para essa finalidade (Figura 7). As medidas de comprimento e largura foram realizadas com paquímetro digital, e o peso determinado em balança analítica eletrônica.

Após cada ciclo, realizou-se um exame visual de cada peça para avaliar a condição da mesma. Adotou-se como parâmetro de avaliação os seguintes símbolos:

“a” como não havendo delaminação no corpo de prova;

“b” delaminações pequenas;

“c” como delaminação nas bordas.

A variável obtida neste ensaio foi inchamento em espessura, após 15 ciclos (IE 15).

O cálculo desta variável foi realizado conforme adaptação da norma ASTM D 1037 (1995) e pode ser visualizado na equação 6.

$$IE15(\%) = \frac{EMF - EMI}{EMI} * 100 \quad (6)$$

Onde: IE = inchamento em espessura (%); EMF = espessura média final (cm); EMI = espessura média inicial (cm);

3.5 Modelo experimental e análise dos resultados

A Tabela 2 mostra as combinações empregadas para a confecção dos compósitos com variação na proporção de mistura (partículas de madeira e casca de arroz) e na porcentagem do PEAD usado. Decidiu-se pelo uso de quatro repetições para cada fator, totalizando 64 painéis.

Os resultados obtidos, após a realização dos testes, foram analisados pelo teste de correlação de Pearson e análise de regressão, através de um programa estatístico compatível.

A seleção dos melhores modelos foi realizada com base nos menores valores de P, Syx (erro padrão da estimativa), nos maiores valores de F, R² (coeficiente de determinação ajustado) e através da análise visual dos gráficos dos resíduos.

TABELA 2: Relação dos tratamentos utilizados no presente estudo.

Tratamento	Número de lâminas de PEAD	Proporção de matéria-prima		PEAD (%)
		Arroz (%)	Madeira (%)	
1	4	100	0	60
2	4	75	25	60
3	4	50	50	60
4	4	25	75	60
5	4	0	100	60
6	5	100	0	75
7	5	75	25	75
8	5	50	50	75
9	5	25	75	75
10	5	0	100	75
11	6	100	0	90
12	6	75	25	90
13	6	50	50	90
14	6	25	75	90
15	6	0	100	90
16	6	0	0	100

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas dos compósitos

4.1.1 Massa específica

A massa específica dos compósitos variou entre 0,89 e 0,98 g/cm³, sendo que o valor esperado era de 0,95 a 1g/cm³. A dificuldade de controlar a perda de material durante a prensagem e a possível liberação de tensões de prensagem, que poderia variar em função do tipo de partícula, podem ser as causas dessa maior variação da massa específica. Hillig (2000) e Dacosta (2004) atribuíram a variação na massa específica entre e dentro de chapas aglomeradas às condições de manufatura em laboratório, devido a uma falta de homogeneidade na distribuição manual para a formação da chapa, ou ainda a diferença na massa específica entre partículas de mesma madeira.

Os valores médios da massa específica para as diferentes combinações são mostrados na Tabela 3.

TABELA 3: Valores da massa específica em função dos tratamentos.

Combinação	Número lâminas de PEAD	Arroz (%)	Partículas de madeira (%)	PEAD (%)	Massa específica (g/cm ³)	CV (%)
1	4	100	0	60	0,96	3,33
2	4	75	25	60	0,90	1,83
3	4	50	50	60	0,90	3,53
4	4	25	75	60	0,89	4,30
5	4	0	100	60	0,91	4,64
6	5	100	0	75	0,89	3,66
7	5	75	25	75	0,90	2,40
8	5	50	50	75	0,92	5,0
9	5	25	75	75	0,94	2,5
10	5	0	100	75	0,98	6,10
11	6	100	0	90	0,92	1,03
12	6	75	25	90	0,93	3,30
13	6	50	50	90	0,96	2,55
14	6	25	75	90	0,94	2,30
15	6	0	100	90	0,96	6,16
16	0	0	0	100	0,96	2,75

4.2 Propriedades mecânicas dos painéis relacionadas com os parâmetros de fabricação

4.2.1 Flexão estática

Os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) em ensaio de flexão estática para as diferentes combinações, em função do tipo de matéria-prima, da porcentagem de mistura e da porcentagem de PEAD, são mostrados na Tabela 4.

TABELA 4: Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) encontrado para as diferentes combinações.

Combinação	Número Lâminas PEAD	Arroz (%)	Partículas madeira (%)	PEAD (%)	MOE (kgf/cm ²)	CV (%)
1	4	100	0	60	12820	15,83
2	4	75	25	60	13218	6,82
3	4	50	50	60	11731	9,43
4	4	25	75	60	15964	23,7
5	4	0	100	60	12289	12,24
6	5	100	0	75	12147	17,45
7	5	75	25	75	14625	24,83
8	5	50	50	75	15955	12,06
9	5	25	75	75	18291	7,42
10	5	0	100	75	20075	26,2
11	6	100	0	90	13386	14,56
12	6	75	25	90	14306	34,65
13	6	50	50	90	15797	24,78
14	6	25	75	90	15035	13,9
15	6	0	100	90	15487	11,85
16	0	0	0	100	9637	6,3

A norma de comercialização ANSI A 208.1 das chapas de partículas de alta densidade (entre 0,8 a 1,12 g/cm³) admite para o MOE valores mínimos entre 24694 e 28163 kgf/cm². A Tabela 4 mostra que os valores de MOE oscilaram entre 9637 e 20075 kgf/cm². Em comparação aos valores apresentados pela norma, não houve nenhum valor médio que atingisse o valor mínimo requerido. Cabe ressaltar que a comparação é feita entre um material termofixo (uréia-formaldeído) e um termoplástico (PEAD).

Teixeira *et al.* (2002), analisando compósitos com PEBD, obtiveram resultados para o MOE que variaram de 15510 a 17826 kgf/cm².

O valor do MOE obtido no tratamento com 100% de PEAD está dentro dos limites apresentados por Doak (1986), que determinou as propriedades mecânicas do PEAD.

Observa-se que, à medida que a porcentagem de casca de arroz na mistura diminui, aumentam os valores para o módulo de elasticidade (MOE), independente da porcentagem de PEAD usada. Porém estes valores parecem ser maiores quando a porcentagem de 75% de PEAD é utilizada.

A tensão no limite proporcional (σ_{LP}) é usada na determinação de cargas de segurança em cálculos estruturais (Teixeira *et al.*, 2002). Também pode ser usada como forma de comparação das propriedades de diferentes materiais. Os valores médios obtidos para σ_{LP} variaram de 128,94 a 247,59 kgf/cm² (Tabela 5), bem superiores aos encontrados por Teixeira *et al.* (2002), analisando compósitos de PEBD, que ficaram entre 44,3 e 44,6 kgf/cm². Para a tensão a 2,5 cm de deslocamento ($\sigma_{2,5}$) os valores oscilaram de 237,31 a 384,95 kgf/cm² (Tabela 6).

TABELA 5: Valores médios da tensão no limite proporcional (σ_{LP}) encontrado para as diferentes combinações.

Combinação	Número Lâminas PEAD	Arroz (%)	Partículas madeira (%)	PEAD (%)	σ_{LP} (kgf/cm ²)	CV (%)
1	4	100	0	60	243,70	20,5
2	4	75	25	60	247,59	22,33
3	4	50	50	60	228,70	23,56
4	4	25	75	60	221,98	15,44
5	4	0	100	60	190,54	19,01
6	5	100	0	75	215,89	22,4
7	5	75	25	75	193,69	6,0
8	5	50	50	75	186,17	27,46
9	5	25	75	75	200,52	22,62
10	5	0	100	75	218,65	29,28
11	6	100	0	90	214,55	21,83
12	6	75	25	90	235,89	20,32
13	6	50	50	90	213,52	29,15
14	6	25	75	90	156,22	28,71
15	6	0	100	90	207,86	39,55
16	0	0	0	100	128,94	8,58

TABELA 6: Valores médios da tensão a 2,5 cm de deslocamento ($\sigma_{2,5}$) encontrado para as diferentes combinações.

Combinação	Número Lâminas PEAD	Arroz (%)	Partículas madeira (%)	PEAD (%)	$\sigma_{2,5}$ (kgf/cm ²)	CV (%)
1	4	100	0	60	338,34	29,45
2	4	75	25	60	316,80	19,9
3	4	50	50	60	289,70	17,1
4	4	25	75	60	313,50	16,3
5	4	0	100	60	262,58	18,06
6	5	100	0	75	281,71	22,52
7	5	75	25	75	290,90	10,99
8	5	50	50	75	314,83	16,07
9	5	25	75	75	323,75	17,18
10	5	0	100	75	374,32	24,94
11	6	100	0	90	344,11	14,14
12	6	75	25	90	384,95	38,0
13	6	50	50	90	351,57	12,4
14	6	25	75	90	285,64	23,0
15	6	0	100	90	366,96	29,24
16	0	0	0	100	237,31	7,43

Os valores de σ_{LP} tendem a se tornar maiores à medida em que se aumenta a porcentagem de arroz e diminuem os percentuais de PEAD na mistura (Tabela 5). Já para a $\sigma_{2,5}$, os valores, em média, tendem a ser mais elevados com porcentagens maiores de partículas de madeira e com maiores teores de PEAD. No entanto, fica evidente que todas as combinações estudadas apresentaram valores das propriedades de flexão estática maiores do que aqueles que usaram somente o PEAD na fabricação do compósito (Tabela 6).

Até o momento de medição dos valores de deslocamento, não ocorreu ruptura dos compósitos. Por este motivo, não foi possível calcular o MOE. Apenas para comparação, os valores de carga e deslocamento são mostrados na Figura 8 para três das combinações estudadas.

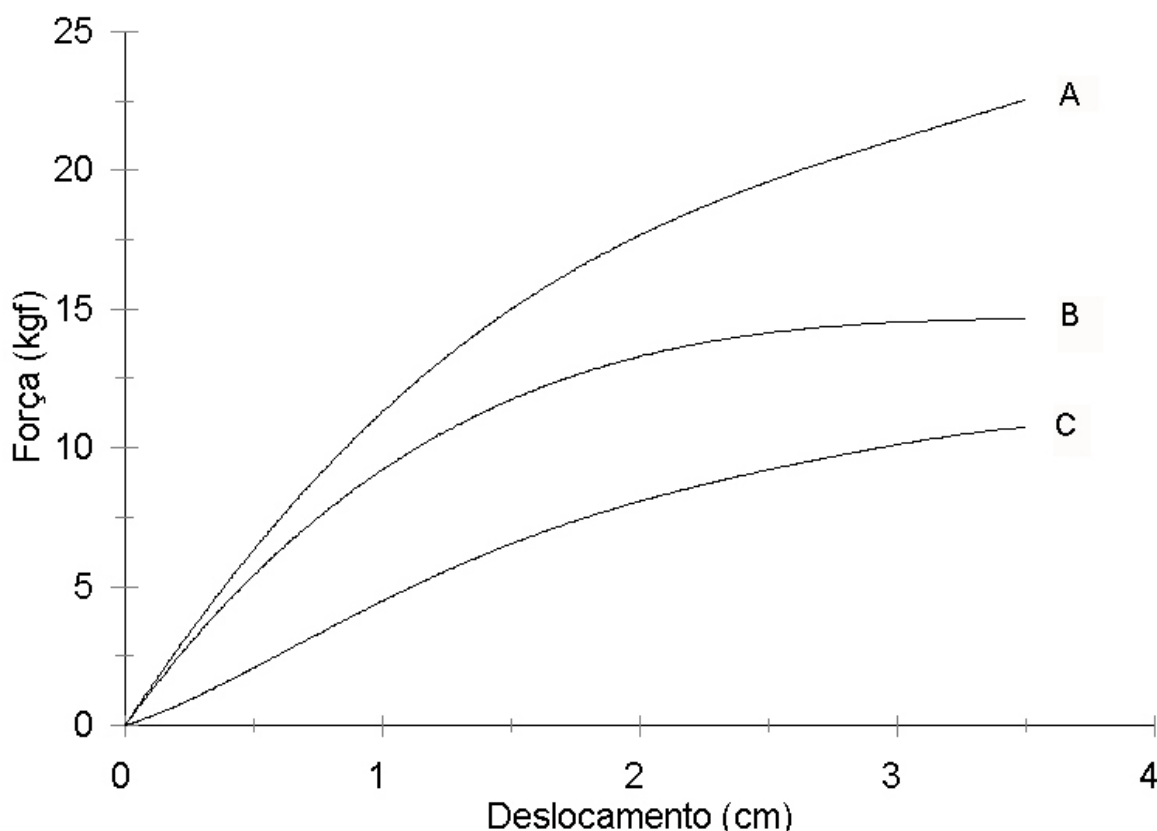


FIGURA 8: Força e deslocamento típicos para os painéis (A: 75% arroz, 25% madeira e 60% PEAD; B: 0% arroz, 100% madeira, 75% PEAD; C: 100% PEAD).

Observa-se que, com a inclusão das fibras no compósito, ocorreu uma melhoria nas suas propriedades. Quanto menor a porcentagem de fibras, maior foi o deslocamento plástico do compósito (Figura 8).

Por outro lado, a correlação entre as propriedades de flexão estática dos compósitos definidas pelo MOE, σ_{LP} , $\sigma_{2,5}$, massa específica e as variáveis independentes analisadas (número de lâminas, porcentagem de casca de arroz, partículas de madeira e PEAD) pode ser vista na Tabela 7.

A propriedade que melhor se relacionou com o MOE foi a massa específica, com um coeficiente de 0,585, evidenciando a influência positiva desta variável sobre o MOE dos compósitos. Essa mesma influência também foi observada por Dacosta (2004), Pedrazzi (2005) e Hillig (2000), estudando chapas aglomeradas.

A $\sigma_{2,5}$ de deslocamento sofreu influência direta da massa específica (0,571), revelando assim que o aumento da mesma influi positivamente na melhoria dessa propriedade. O número de lâminas apresenta correlação significativa com a tensão a

2,5 cm de deslocamento (0,317), indicando que o aumento no número de camadas do compósito pode ser benéfico para se elevar os valores dessa propriedade. Isso pode ser explicado pelo fato de que, aumentando-se o número de lâminas, as camadas de partículas (casca de arroz e partículas de madeira) não ficariam tão espessas, facilitando a colagem interna do compósito.

A variável de maior influência para σ_{LP} foi a massa específica, com uma correlação de 0,382, significativa a 1% de probabilidade, indicando assim que, com o aumento da massa específica, os valores da tensão no limite proporcional também aumentam. A porcentagem de PEAD apresentou correlação de -0,258, indicando que, à medida que se eleva a quantidade de PEAD, diminuem os valores da σ_{LP} .

TABELA 7: Correlação de Pearson entre as variáveis de fabricação analisadas e a flexão estática.

	Trat	NLâm	Arroz (%)	Pmad (%)	PEAD (%)	Me (g/cm ³)	MOE (kgf/cm ²)	D _{LP} (cm)	$\sigma_{2,5}$ (kgf/cm ²)	σ_{LP} (kgf/cm ²)
Trat	1,000									
NLâm	0,294**	1,000								
Arroz (%)	-0,373**	0,214	1,000							
Pmad (%)	0,185	0,176	-0,868**	1,000						
PEAD (%)	0,948**	0,301**	-0,073	-0,130	1,000					
Me (g/cm ³)	0,204	0,395**	-0,102	0,245*	0,148	1,000				
MOE (kgf/cm ²)	0,198	0,356**	-0,222	0,362**	0,102	0,585**	1,000			
D _{LP} (cm)	-0,342**	-0,153	0,444**	-0,449**	-0,202	-0,106	-0,473**	1,000		
$\sigma_{2,5}$ (kgf/cm ²)	0,134	0,317**	0,074	0,033	0,143	0,571**	0,554**	0,160	1,000	
σ_{LP} (kgf/cm ²)	-0,309**	0,239*	0,277*	-0,117	-0,258*	0,382**	0,239*	0,546**	0,752**	1,000

Onde: ** Correlação significativa a 1% de probabilidade; * Correlação significativa a 5% de probabilidade; Me = massa específica (g/cm³); MOE = Módulo de elasticidade (kgf/cm²); D_{LP} = Deslocamento no limite proporcional (cm); $\sigma_{2,5}$ = Tensão a 2,5 cm de deslocamento (kgf/cm²); σ_{LP} = Tensão no limite proporcional (Kgf/cm²).

Na análise do módulo de elasticidade em função das variáveis de produção, o melhor modelo para explicar o seu comportamento inclui a massa específica dos compósitos produzidos com partículas de madeira (Figura 9, Tabela 8).

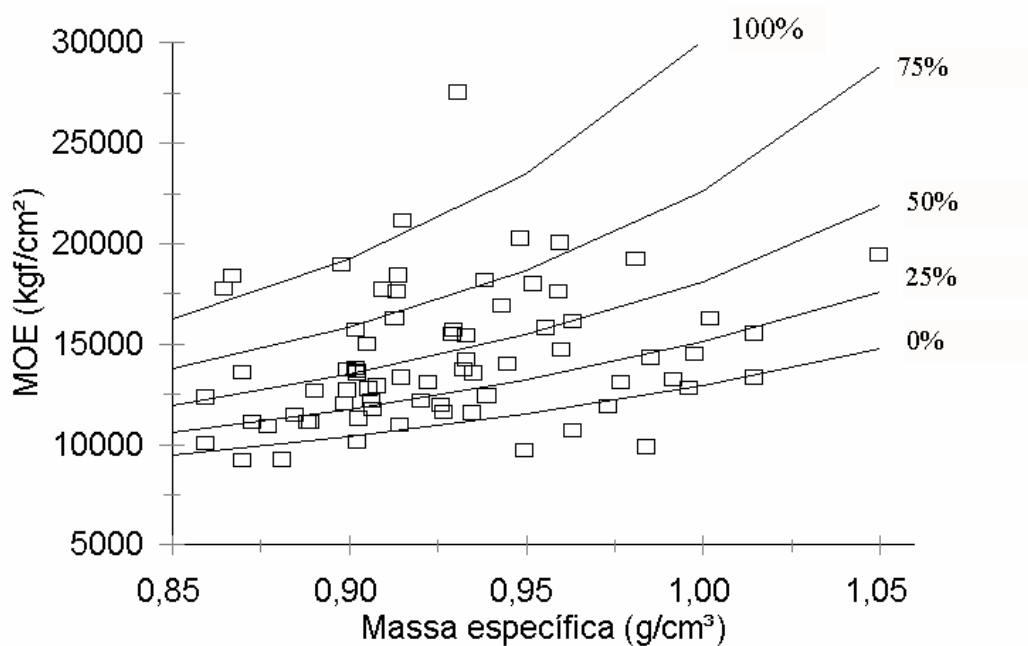


FIGURA 9: Valores do módulo de elasticidade (MOE), observados e ajustados em função da massa específica e da porcentagem de partículas de madeira no compósito.

Como observado na Figura 9, as partículas de madeira causaram um acréscimo no MOE à medida que a sua porcentagem na mistura aumentou.

TABELA 8: Modelos de regressão ajustados para as propriedades mecânicas dos compósitos em função das variáveis de fabricação.

Equação ajustada	F	Syx	R ² aj. (%)	DW
MOE = 1/(0,000256816 – 4,39615E-7 pm + 3,40445E-9 pm² -0,000189147 me)	19,81	0,0001	42,29	1,6858
MOE = 10 ^(7,02208 + 2,62106 me + 0,0168081 √ pm)	27,20	0,1724	40,49	1,5243
σ_{2,5} = 1/(-0,00484149 + 0,00757754 1/me)	36,01	0,0042	31,26	1,1613
σ _{2,5} = 10 ^(5,97678+3,02057 log me)	52,12	13,597	39,9	1,6166
σ _{2,5} = (42,3405 – 22,7391 1/me) ²	38,99	1,6654	33,04	1,5686
σ_{LP} = 1/(0,0155851-0,0000124094 ca +0,0000399155 PEAD -0,0139254 me)	13,44	0,00121	32,65	1,8707
σ _{LP} = 10 ^(3,25705 + 0,00221322 ca-0,00668615 PEAD + 2,65165 me)	13,79	0,21451	33,26	1,8244
σ _{LP} = 10 ^(3,29353-0,00804109 PEAD + 2,94224 me - 0,00203267 pm)	12,53	0,21811	30,99	1,7106
σ _{LP} = -210,565 + 594,324 me - 1,46355 PEAD -0,402372 pm	11,80	43,799	29,62	1,7493

Onde: MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm²); σ_{2,5}= tensão a 2,5 cm de deslocamento (kgf/cm²); σ_{LP} = tensão no limite proporcional (kgf/cm²); me = massa específica (g/cm³); PEAD = polietileno de alta densidade; pm = partículas de madeira; ca = casca de arroz; F = teste de F; Syx = erro padrão da estimativa; R²aj. = coeficiente de determinação ajustado; DW = teste de Durbin-Watson.

O melhor modelo de regressão linear ajustado para a σ_{2,5} inclui apenas a massa específica dos compósitos (Figura 10).

Os valores da σ_{2,5} sofrem influência direta da massa específica, sendo que, à medida que a massa específica aumenta, a tensão também tende a se elevar.

O melhor modelo de regressão linear para a σ_{LP} inclui a porcentagem de casca de arroz, a proporção de PEAD e a massa específica (Tabela 8).

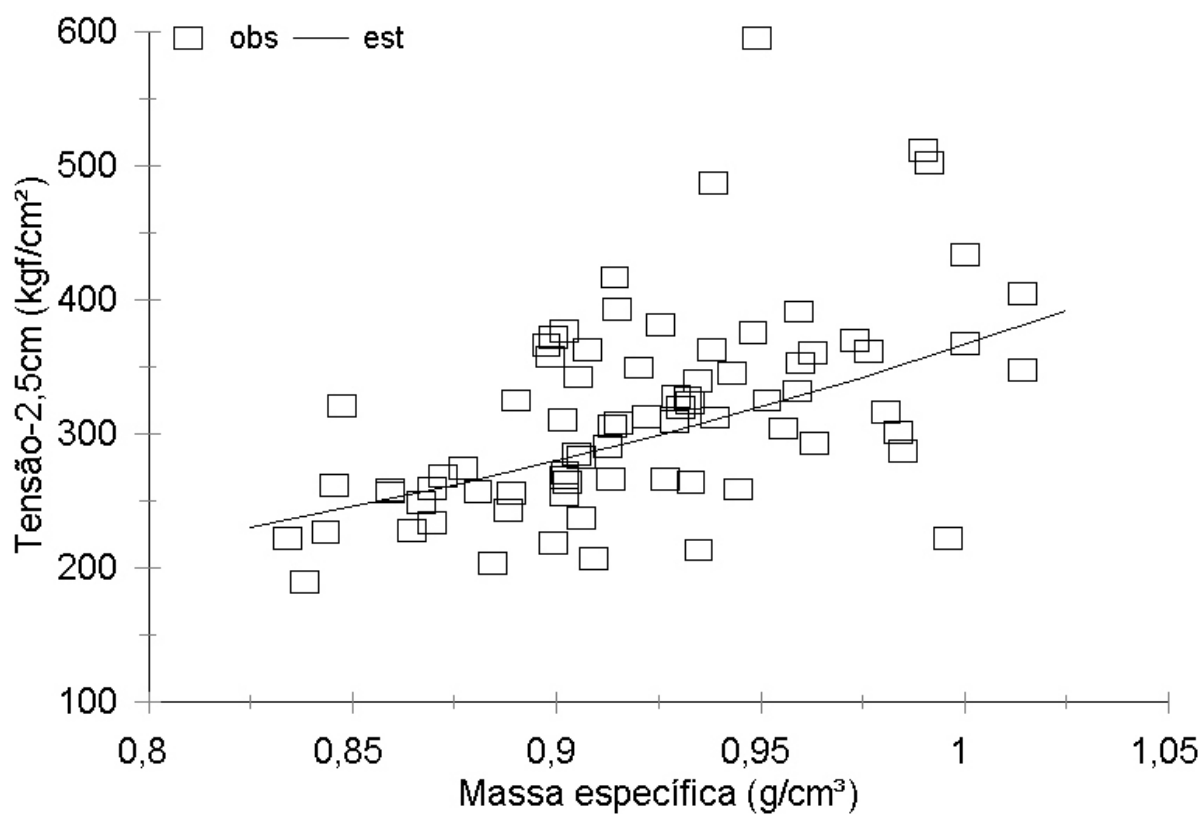


FIGURA 10: Valores de tensão a 2,5 cm de deslocamento ($\sigma_{2,5}$), observados e estimados em função da massa específica.

A Figura 11 mostra que a σ_{LP} é influenciada pela porcentagem de PEAD existente no compósito, sendo que, com o aumento dos valores de PEAD, a tensão no limite proporcional diminui.

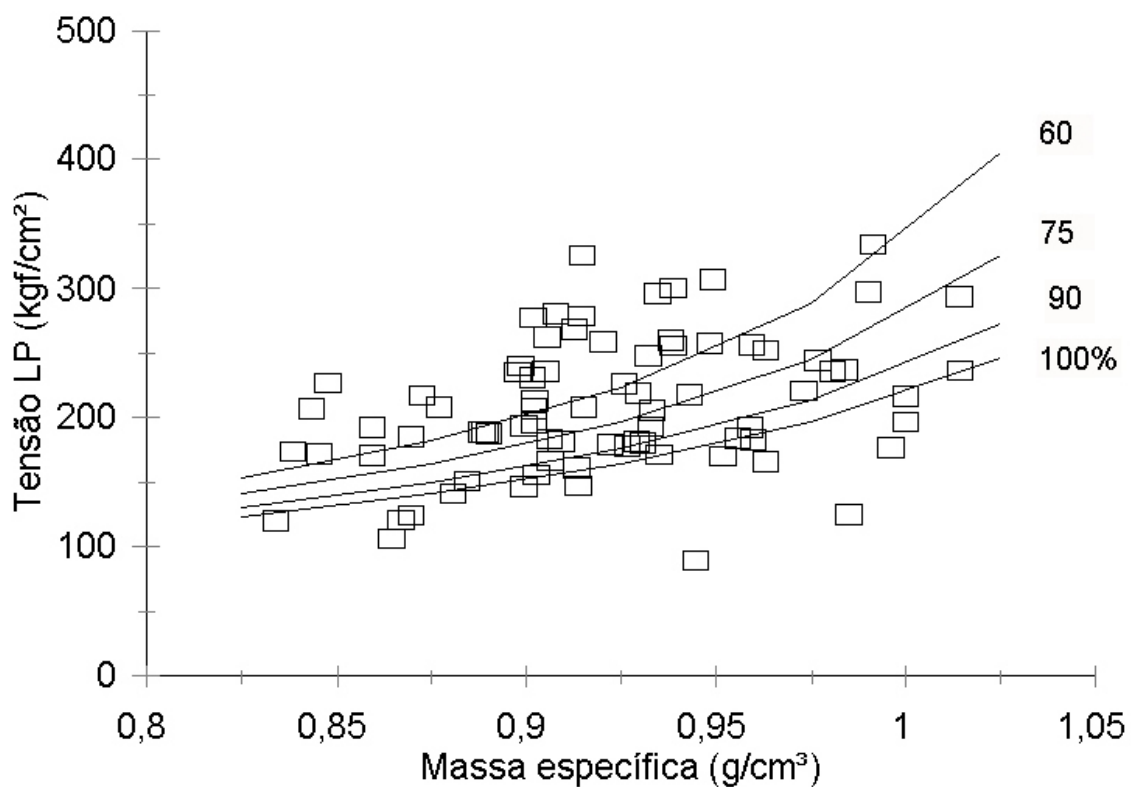


FIGURA 11: Valores de tensão no limite proporcional (σ_{LP}), observados e estimados em função da massa específica e da proporção de PEAD.

4.2.2 Tração perpendicular à superfície da chapa (Ligação interna)

Os valores médios de resistência à tração perpendicular à superfície (LI) dos compósitos obtidos nos diferentes tratamentos, considerando o efeito do tipo de partícula, a porcentagem de mistura e a porcentagem de PEAD, são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9: Valores médios de tração encontrados nos diferentes tratamentos.

Combinação	Número lâminas PEAD	Arroz (%)	Partículas de madeira (%)	PEAD (%)	LI (kgf/cm ²)	CV (%)
1	4	100	0	60	2,86	27,55
2	4	75	25	60	2,88	60,98
3	4	50	50	60	2,45	37,7
4	4	25	75	60	3,16	42,0
5	4	0	100	60	2,85	47,84
6	5	100	0	75	4,43	28,96
7	5	75	25	75	5,93	27,73
8	5	50	50	75	8,09	64,79
9	5	25	75	75	5,46	34,83
10	5	0	100	75	6,65	26,16
11	6	100	0	90	24,79	15,17
12	6	75	25	90	20,96	32,25
13	6	50	50	90	20,39	25,33
14	6	25	75	90	16,01	23,44
15	6	0	100	90	16,20	40,87
16	0	0	0	100	28,56	44,94

Onde: LI = Ligação interna.

De acordo com a norma ANSI A 208.1, as chapas de partículas de alta densidade (entre 0,8 e 1,12 g/cm³) admitem para LI valores mínimos requeridos entre 9,14 e 9,85 kgf/cm². A Tabela 9 mostra que os valores médios das combinações oscilaram entre 2,45 e 28,56 kgf/cm².

Dessa maneira, a tração perpendicular à superfície supera os limites recomendados pela norma apenas nos tratamentos em que a proporção de PEAD foi maior ou igual a 90%. Nas demais combinações, independente da participação da casca de arroz e das partículas de madeira, os valores ficaram abaixo desses limites.

Em comparação com a DIN 68761(1), que recomenda um valor mínimo para LI de 3,5 kgf/cm², os valores obtidos no presente trabalho superam os limites exigidos pela norma, com exceção dos tratamentos em que a proporção de PEAD foi de 60%. Nestes, que correspondem aos tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, os valores ficaram bem abaixo do limite.

A análise dos valores médios demonstra que a resistência à tração aumenta com a porcentagem de PEAD, sendo que a proporção de mistura (casca de arroz e partículas de madeira) não teve influência sobre os valores apresentados (Tabela 9).

As correlações entre a tração perpendicular e as variáveis de produção são visualizadas na Tabela 10, confirmando que os valores de LI aumentam significativamente a 1% de probabilidade de erro à medida que a porcentagem de PEAD é elevada.

TABELA 10: Correlação de Pearson entre a tração e as variáveis de fabricação.

	NLâm	Arroz (%)	Pmad (%)	PEAD (%)	Me (g/cm ³)	LI (kgf/cm ²)
LI(kgf/cm ²)	0,192	-0,199	0,050	0,604**	0,171	1,000

Onde: ** Correlação significativa a 1% de probabilidade; me = massa específica (g/cm³); NLâm = número de lâminas; PEAD = polietileno de alta densidade; Pmad = partículas de madeira; LI = ligação interna (kgf/cm²).

A propriedade que apresentou correlação com a tração perpendicular foi a porcentagem de PEAD, indicando que, com o aumento na proporção de PEAD, os valores de LI aumentam.

O melhor modelo de regressão linear ajustado inclui a porcentagem de PEAD, com um valor de P menor que 0,01, relacionando significativamente essa variável a um nível de confiança de 99%. O coeficiente de determinação sugere que 78,96% da tração perpendicular à superfície do compósito são explicadas pelo modelo matemático (Tabela 11).

TABELA 11: Modelos de regressão ajustados para a tração perpendicular dos compósitos em função das variáveis de fabricação.

Equação ajustada	F	Syx	R ² aj. (%)	DW
LI = 10 (-2,9415+ 0,0636636 PEAD)	455,10	0,4170	78,96	1,5232
LI = (-10,71+1,56251 \sqrt{PEAD}) ²	360,31	0,6626	74,81	1,2528
LI = 10 ^(-18,5144 + 4,72845 log PEAD)	418,40	0,4310	77,53	1,4342

Onde: PEAD = polietileno de alta densidade; F = teste de F; Syx = erro padrão da estimativa; R²aj. = coeficiente de determinação ajustado; DW = teste de Durbin-Watson.

O modelo de regressão para a tração perpendicular à superfície do compósito é mostrado na Figura 12 com os valores ajustados em função da porcentagem de PEAD.

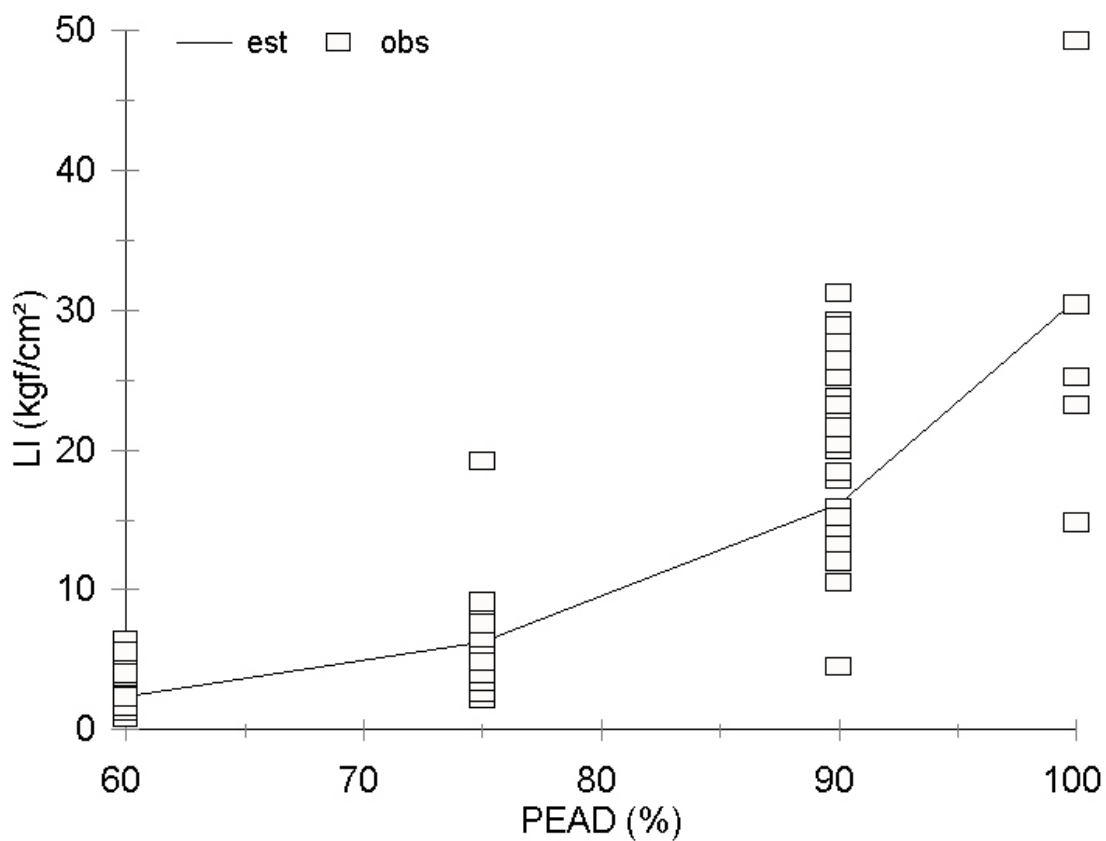


FIGURA 12: Valores de LI, observados e estimados em função da porcentagem de polietileno de alta densidade (PEAD) usada.

Os resultados obtidos nos testes de tração demonstram que, à medida que se aumenta a quantidade de PEAD no compósito, ocorre um acréscimo na resistência.

Na execução dos testes de tração, observou-se que os corpos de prova romperam simultaneamente em diferentes camadas, como desejado (Figura 13), com exceção daqueles compósitos constituídos por 60% de PEAD, os quais descolaram paralelamente às camadas.



FIGURA 13: Visualização de um corpo de prova no momento da execução do teste de tração.

4.3 Propriedades físicas dos painéis relacionadas com as variáveis de fabricação

4.3.1 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas

Os valores médios de inchamento em espessura dentre as combinações estudadas são apresentados na Tabela 12, na qual uma variação entre 0 e 13,87% foi observada para as diferentes combinações.

TABELA 12: Valores médios de inchamento em espessura após o período de 2 e 24 horas de imersão em água.

Combinação	Número lâminas PEAD	Arroz (%)	Partículas de madeira (%)	PEAD (%)	IE 2h (%)	IE 24 h (%)
1	4	100	0	60	2,13	5,09
2	4	75	25	60	5,30	8,36
3	4	50	50	60	6,67	12,09
4	4	25	75	60	7,90	9,43
5	4	0	100	60	9,83	13,87
6	5	100	0	75	0,71	1,64
7	5	75	25	75	1,35	1,82
8	5	50	50	75	1,39	2,50
9	5	25	75	75	1,20	2,76
10	5	0	100	75	2,47	4,57
11	6	100	0	90	0,13	0,45
12	6	75	25	90	0,19	0,52
13	6	50	50	90	0,31	0,70
14	6	25	75	90	0,30	0,75
15	6	0	100	90	0,18	0,65
16	0	0	0	100	0	0

Em que: IE 2h(%) = Inchamento em espessura 2 horas de imersão; IE 24h (%) = Inchamento em espessura 24 horas de imersão.

A proporção de mistura (casca de arroz, partículas de madeira) teve influência direta sobre os valores finais. Quando usou-se partículas de madeira em maior proporção na mistura, houve um aumento no inchamento em espessura, e um comportamento inverso foi observado em relação à casca de arroz. Constatou-se também, que, com o aumento da porcentagem de PEAD, diminuiu o inchamento do compósito em ambos os casos, conforme mostrado na Tabela 12.

Boeglin *et al.* (1997), obtiveram valores de 1 a 10% de inchamento em compósitos com 75% de partículas de madeira. Isso pode ser explicado pela maior proporção de partículas de madeira no composto, o que resulta em uma maior quantidade de sítios disponíveis para a penetração da água no interior do compósito (Teixeira *et al.*, 2002).

Em comparação com as exigências da norma DIN 68761(1) – 1961,(3) (1971) que admite valores até 12% de inchamento em espessura após 24 horas de imersão, os valores ficaram dentro dos limites estabelecidos, com exceção dos tratamentos 3 e 5, que apresentaram valores muito elevados.

As correlações entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de produção podem ser visualizadas na Tabela 13.

TABELA 13: Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação dos compósitos.

	NLâm	Arroz (%)	Pmad (%)	PEAD (%)	Me (g/cm ³)	IE 2H (%)	IE 24H (%)	AB 2H (%)
IE2H(%)	-0,141	0,086	-0,014	-0,405**	-0,259*	1,000		
IE24H(%)	-0,190	0,106	-0,029	-0,487**	-0,312**	0,893**	1,000	
AB2H(%)	-0,127	0,053	0,025	-0,401**	-0,244*	0,823**	0,806**	1,000
AB24H(%)	-0,261*	0,191	-0,087	-0,662**	-0,357**	0,842**	0,891**	0,865**

Onde: ** Correlação significativa a 1% de probabilidade; * Correlação significativa a 5% de probabilidade; Pmad = Partículas de madeira; PEAD = Polietileno de alta densidade; Me = massa específica (g/cm³); NLâm = número de lâminas; IE2H e IE24H = Inchamento em espessura 2 e 24 horas de imersão; AB2H e AB24H = Absorção d'água 2 e 24 horas de imersão.

Como pode ser observado na Tabela 13, o inchamento em espessura tanto após 2 e 24 horas, correlacionou-se significativamente com a porcentagem de PEAD e a massa específica, a uma probabilidade de erro de 1%. Isso significa que, à medida que aumentam a proporção de PEAD e a massa específica, diminui o inchamento em espessura do compósito.

Para a absorção d'água, os valores de correlação foram significativos para a porcentagem de PEAD e a massa específica, tanto para o período de 2 como para o de 24 horas. Desta maneira, com o aumento dos valores destes parâmetros, há uma diminuição na absorção d'água pelo compósito.

Na análise do inchamento em espessura em função das variáveis de produção, o melhor modelo encontrado inclui a proporção de casca de arroz, porcentagem de PEAD, que são significativos no modelo, com um valor de P inferior a 0,01, relacionando a significância estatística entre as variáveis para um nível de confiança de 99% (Tabela 14).

TABELA 14: Equações ajustadas para as propriedades dos compósitos em função das variáveis de fabricação.

Equação ajustada	F	Syx	R ² aj. (%)	DW
IE 24H = (13,7227-1,34663 \sqrt{PEAD} - 0,00700234 ca)²	310,40	0,47219	80,19	1,3702
IE 24H = 10 ^(7,47 - 1,41399 N^olâm. + 0,00684875 pm)	264,27	0,5767	80,19	2,0524
IE 24H = (12,0727-4,86427 $\sqrt{N^{\circ}lâm}$ + 0,00956244 pm) ²	186,53	0,5759	73,03	1,0844
AB 24H = 10^(5,40688 - 0,000666537 PEAD²)	1540,7	0,35271	92,21	1,3959
AB 24H = (43,291 - 9,41816*log PEAD) ²	2377,5	2,5709	94,59	1,4755
AB 24H = (36,5101 + 0,0072143 pm - 7,93964 log PEAD) ²	701,77	2,8096	91,09	1,1209

Onde: IE 24H = Inchamento em espessura 24 horas de imersão; AB 24H = Absorção em peso 24 horas de imersão; N^olâm = número de lâminas; pm = partículas de madeira; ca = casca de arroz; PEAD = polietileno de alta densidade, F = teste de F; Syx = erro padrão da estimativa; R²aj. = coeficiente de determinação ajustado; DW = teste de Durbin-Watson.

A Figura 14 mostra o gráfico do inchamento em espessura após 24 horas de imersão, com valores ajustados em função da porcentagem de PEAD, para as cinco proporções de casca de arroz (0, 25, 50, 75 e 100%). Pode-se verificar que o menor inchamento em espessura após 24 horas foi encontrado nos compósitos produzidos com 100% de casca de arroz. Os valores diminuíram com o aumento da proporção de PEAD. Quanto menor a participação de partículas de madeira no compósito menor foi o valor do inchamento em espessura. Essa mesma relação entre a porcentagem de partículas de madeira e o inchamento em espessura já havia sido observada por Teixeira et al., 2002.

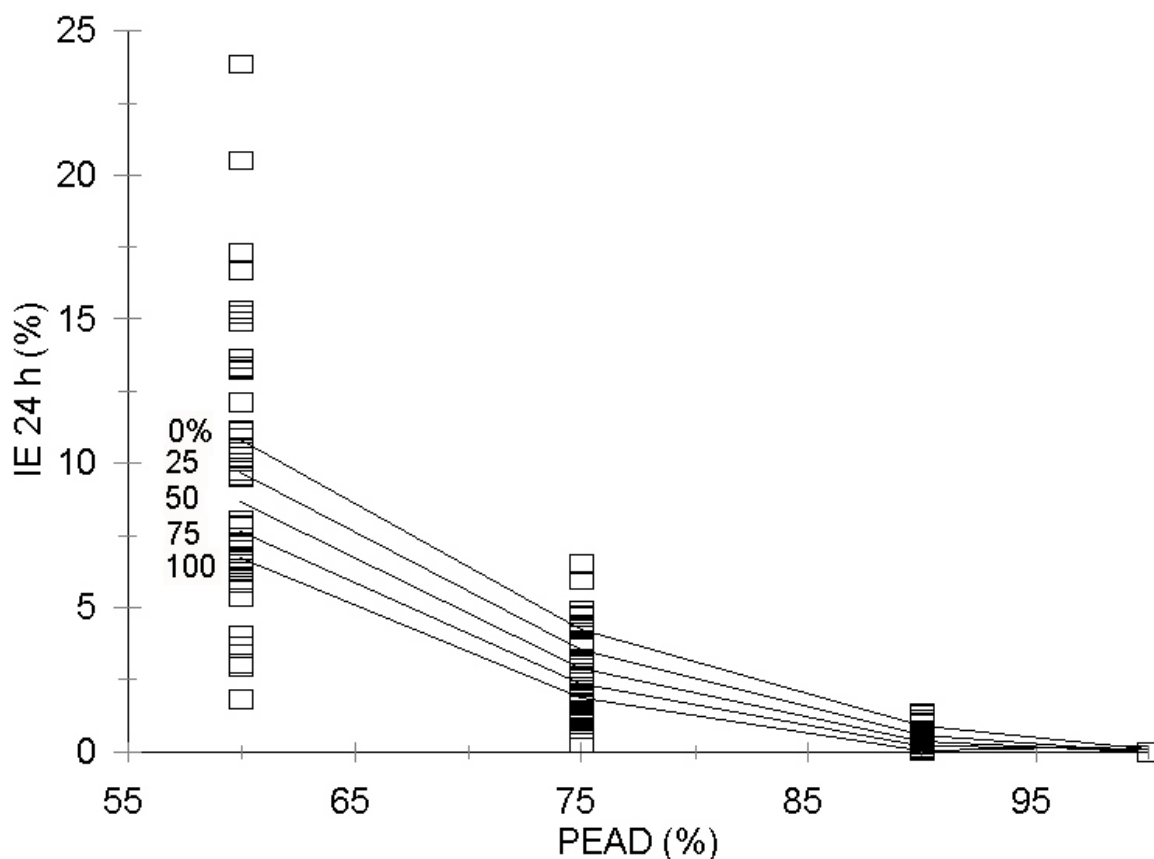


FIGURA 14: Valores de inchaço em espessura 24 horas (IE 24 H), observados e ajustados em função da porcentagem de PEAD e da proporção de casca de arroz.

4.3.2 Absorção d'água

Os valores médios de absorção d'água, alcançados após um período de 2 e 24 horas de imersão, são mostrados na Tabela 15. Observa-se que os mesmos variaram de 0,98 a 24,51%, com exceção do tratamento 16, no qual não foi observada absorção d'água em razão de o painel ser composto apenas de PEAD. Teixeira *et al.* (2002), trabalhando com proporções de 40, 50 e 60% de polietileno de baixa densidade (PEBD), encontraram valores entre 2,77 e 25,50%. Boeglin *et al.* (1997) obtiveram resultados em torno de 50% após 24 horas em compósitos com menor porcentagem de plástico.

Quando comparados com os valores médios de chapas aglomeradas (USDA, 1999), os resultados obtidos no presente trabalho mostram-se dentro dos limites estabelecidos pela norma, tanto para as chapas de média como de alta densidade. Pedrazzi (2005), trabalhando com chapas aglomeradas com variação na

porcentagem de adesivo encontrou valores médios que oscilam entre 41,05 e 81,48% de absorção d'água.

TABELA 15: Valores médios de absorção d'água encontrados para os diferentes tratamentos.

Combinação	Número lâminas PEAD	Arroz (%)	Partículas de madeira (%)	PEAD (%)	AB 2h (%)	AB 24 h (%)
1	4	100	0	60	4,05	14,61
2	4	75	25	60	9,66	20,15
3	4	50	50	60	14,30	23,53
4	4	25	75	60	13,09	22,01
5	4	0	100	60	18,28	24,51
6	5	100	0	75	2,26	4,93
7	5	75	25	75	3,22	4,36
8	5	50	50	75	2,98	6,38
9	5	25	75	75	2,86	5,52
10	5	0	100	75	4,45	7,64
11	6	100	0	90	0,95	1,11
12	6	75	25	90	1,06	1,98
13	6	50	50	90	1,17	1,25
14	6	25	75	90	0,94	0,98
15	6	0	100	90	0,75	1,51
16	0	0	0	100	0	0

Onde: AB 2h(%) = Absorção em peso após 2 horas de imersão; AB 24h(%) = absorção em peso após 24 horas de imersão.

Os menores valores de absorção d'água foram encontrados para os tratamentos 14, 11, 13, 15 e 12, os quais não chegaram a absorver 2% de água. Observa-se que esses tratamentos são compostos por uma proporção de PEAD de 90%. Já aqueles tratamentos com 60% de PEAD apresentaram os maiores valores de absorção d'água. De uma maneira geral, as combinações que apresentam proporção de 60 e 75% de PEAD, a absorção d'água aumentou com o acréscimo da porcentagem de partículas de madeira, pois a madeira é um material higroscópico e o PEAD não é, sendo assim, nos compósitos onde a um aumento na proporção de PEAD, ocorre um absorção menor.

Na análise de absorção d'água em função das variáveis de produção, o melhor modelo para explicar a absorção em peso d'água após 24 horas, para todos os compósitos fabricados, inclui a porcentagem de PEAD. O valor de probabilidade para o modelo é de 0,01, relacionando a significância estatística entre a variável para um nível de confiança de 99% (Tabela 14).

A Figura 15 mostra o gráfico para absorção d'água com os valores ajustados em função da porcentagem de PEAD. Observa-se que os valores da absorção d'água após 24 horas diminuíam com o aumento da porcentagem de PEAD, tornando-se praticamente nulos a 100%. O tipo de mistura (casca de arroz ou partículas de madeira) mostrou-se pouco influente já que a correlação não foi significativa pelo modelo estimado.

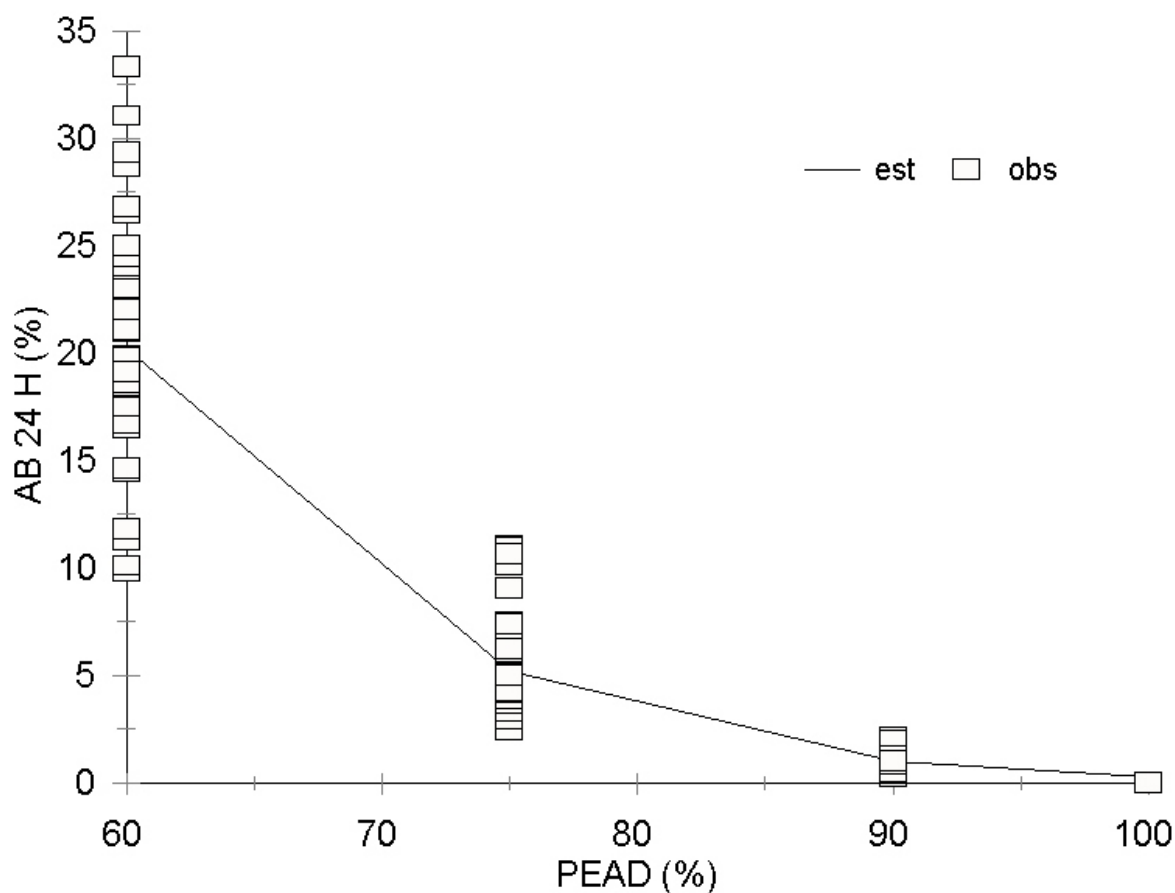


FIGURA 15: Valores de absorção d'água após 24 horas de imersão (AB 24h), observados e estimados em função da porcentagem de polietileno de alta densidade (PEAD).

4.3.3 Inchamento em espessura após 15 ciclos de submersão

Os defeitos relativos à delaminação média para os diferentes tratamentos, após completarem 15 ciclos de 4 horas imersos em água e 20 horas em estufa a 63°C, encontram-se na Tabela 16.

TABELA 16: Delaminações médias dos compósitos após 15 ciclos de imersão e secagem respectivamente.

Trat	Ciclos														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	c	c	c	c	c
2	a	a	a	a	a	a	c	b	cb	cb	c	c	c	c	c
3	a	a	a	a	a	a	c	c	c	c	c	c	c	c	c
4	a	a	a	a	a	a	b	ba	b	b	c	c	c	c	c
5	a	a	a	b	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c
6	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	b	b
7	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ba	ba	ba	ba	ba
8	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ba	ba	ba	b	b
9	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
10	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ba	ba	ba	ba	ba
11	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
13	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
14	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
15	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
16	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

Onde: a = não delaminou; b = delaminações pequenas; c = delaminou nas bordas.

De acordo com a Tabela 16, pode-se observar que, nas combinações que apresentavam uma proporção menor de PEAD, ocorreu uma delaminação maior do que as demais; já em relação ao tipo de matéria-prima usada na confecção do compósito esta se mostrou pouco influente.

Teixeira *et al.* (2002) realizaram ensaio com algumas adaptações da norma, deixando os corpos de prova imersos em água por três semanas, tendo espessura e peso controlados, e duas semanas em estufa a 60°C. Depois de condicionadas em câmara climatizada, realizaram novas medidas para o cálculo do que chamou de inchamento em espessura não-recuperável, observando que os corpos de prova retornaram quase que completamente à espessura normal, principalmente nos tratamentos com maior proporção de PEBD.

TABELA 17: Equações ajustadas para o inchamento após 15 ciclos dos compósitos em função das variáveis de fabricação.

Equação ajustada	F	Syx	R ² aj. (%)	DW
IE = 10 (10,1505 - 0,00454816 ca - 0,116445 PEAD)	462,54	0,53113	87,65	1,8623
IE = (11,6157 – 0,00794865 ca - 0,118051 PEAD) ²	355,71	0,66799	83,81	1,1557
IE = 64,9255 – 0,1077 ca - 0,649255 PEAD – 0,0536823 pm	87,66	5,8121	65,49	1,0126

Onde: IE = Inchamento em espessura após 15 ciclos de imersão; ca = casca de arroz; pm = partículas de madeira; F = teste de F; Syx = erro padrão da estimativa; R²aj. = coeficientes de determinação; DW = teste de Durbin-Watson.

Na análise do inchamento em espessura após 15 ciclos em função das variáveis de produção, o melhor modelo para explicar o IE 15(%) para todos os compósitos confeccionados inclui a porcentagem de PEAD e a proporção de casca de arroz na mistura. O coeficiente de determinação indica que 87,65% do inchamento em espessura é explicado pelo modelo matemático (Tabela 17). A Figura 16 ilustra melhor esta relação.

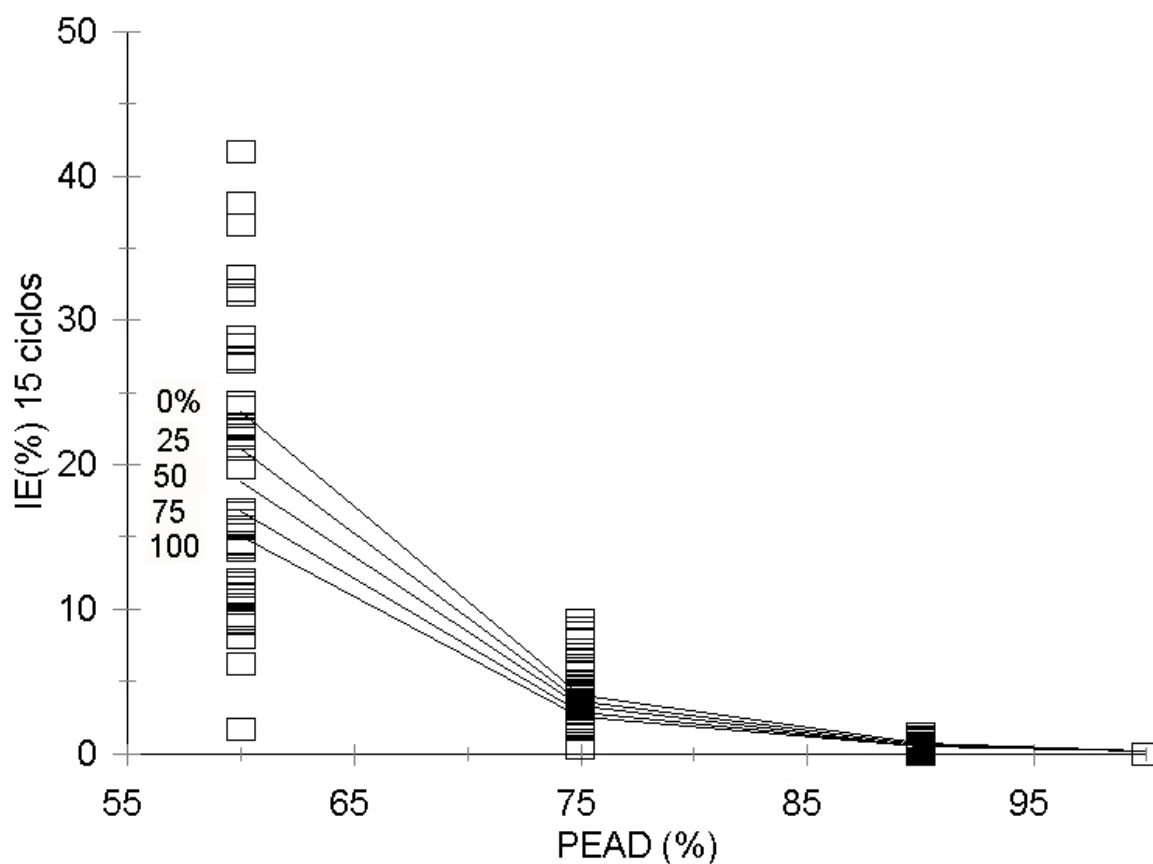


FIGURA 16: Valores de inchaço em espessura após 15 ciclos de imersão (IE 15ciclos), observados e ajustados em função da porcentagem de polietileno de alta densidade (PEAD) e da proporção de casca de arroz.

Analisando a Figura 16, observamos comportamento semelhante com o encontrado na Figura 14, na qual a porcentagem de PEAD teve influência direta sobre os resultados obtidos, verificando-se que, conforme aumenta a proporção de PEAD na mistura, diminui o IE.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, as seguintes conclusões são apresentadas:

De um modo geral, os compósitos produzidos com PEAD, casca de arroz e partículas de madeira puras ou misturadas apresentaram boa qualidade, evidenciando a viabilidade de uso destes materiais na confecção do compósito, e com isso, oportunizando o aproveitamento de materiais tidos como descarte em alguns setores da cadeia produtiva.

O MOE médio dos compósitos produzidos tanto com casca de arroz como partículas de madeira ficou abaixo dos padrões estabelecidos pelas normas de comercialização de painéis aglomerados produzidos com resina termofixa, os quais mostraram-se satisfatórios quando comparados com materiais termoplásticos.

Dentre as variáveis estudadas, a massa específica do compósito foi a que mais influenciou no módulo de elasticidade, seguida da porcentagem de partículas de madeira.

De maneira geral, tanto o MOE, como a tensão no limite proporcional e a tensão a 2,5 cm de deslocamento sofreram influência direta da massa específica.

Os valores médios para ligação interna ficaram dentro dos limites determinados pelos padrões internacionais, mas, nos tratamentos em que se usou proporção de PEAD inferior a 75%, os valores obtidos foram inferiores. A porcentagem de PEAD foi o fator de maior correlação.

O inchamento em espessura foi maior quando a mistura apresentava maior proporção de partículas de madeira, sendo que, à medida que se elevou a porcentagem de PEAD, o inchamento diminuiu independente do tipo de partícula. Os valores de inchamento em espessura ficaram dentro dos padrões internacionais de comercialização, com exceção de duas combinações de teor de PEAD de 60% e da proporção maior de partícula de madeira no compósito.

Para a absorção d'água, a variável que exerceu maior influência foi a proporção de PEAD, seguida da massa específica. Combinações com maior porcentagem de PEAD apresentaram valores mínimos ou, em alguns casos, nulos de absorção d'água em espessura.

Os resultados encontrados para o inchamento em espessura após 15 ciclos de submersão foram semelhantes aos dos testes de IE 24h, e as combinações com menor proporção de PEAD delaminaram mais em relação às demais.

Sugere-se como trabalhos futuros variar a espessura das lâminas de PEAD sem alterar a massa específica da mesma, para uma melhor distribuição de matéria-prima entre as camadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento**: o uso de fibras vegetais. São Paulo, 1991. 204p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**. ASTM D 1037 - 93, Philadelphia, Pa. 1995.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO PLÁSTICO. **Plástico moderno**. São Paulo: 2000.

BERALDO, A. L. **Cronologia do Desenvolvimento Científico e Tecnológico Brasileiro**. Disponível em: < <http://www.comciencia.br>>. Acesso em: 20 de ago. 2002.

BILLMEYER, F. W. J. **Textbook of Polymer Science**. Wiley-Interscience, USA 1984.

BOEGLIN. N.; TRIBOULOT. P.; MASSON. D. A feasibility study on boards from wood and plastic waste: bending properties, dimensional stability and releveling of the board. **Holz als Roh-und Werkstoff**. Springer – Verlag. n. 55, p.13-16. 1997.

BULAKUL, S. Economic and technical aspects of the utilization of cereal stalks for the production of panels. United Nations Industrial Development Organization Document (UNIDO) ID/WG.83/10. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) Expert Working Group meeting on the production of panels from agricultural residues; 1970 December 14-18; Vienna, Austria. 39 p.

BNDES. **Polietileno de alta densidade (PEAD)**.2000. Documento disponível em: < <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/peadx.pdf>> Acessado em 24 mar. 2003.

BREGNER, K. I.; SCHNEIDER, M. H.; JONES, R. T. The influence of moisture content on the flexural strength of styrene-polymerized wood. **Forest Products Journal**, v. 38, n. 4, p. 55-58, 1988.

CARVALHO FILHO, A.C. **Argamassa reforçada com fibras de sisal: comportamento mecânico à flexão**. São Paulo, 1989. 161p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CASALINA, S. L. Rigid, flexible, and composite solid objects having cellulose-containing rice hull particles and radiation-induced polymer. **Patent**, P.N.: US 3660223, I.D.: 680410. 1972.

CEPIS. Disponível em < <http://www.cepis.org.pe/> > Documento acessado em: 12 março de 2003.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. Optimization of rice husk ash production. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBERS AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. **Proceedings**. London, Chapman and Hall, 1990.p.334-42. (Rilem Proceedings, 7).

CORREA, C.A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S.; RAZZINO, C.A.; HAGE Jr.,- Compósitos Termoplásticos com Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n.3, p. 154-165. 2003.

COUTINHO, F. M. B., MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros**. v.13, n.1, p. 01-13, 2003.

COMPAM. Disponível em: < http://www.compam.com.br/re_plastico.htm > Documento acessado em 03 de fev.2003.

COWIE, J.M.G. **Polymers: Chemistry and Physics of Moderns Materials**. Blackie Academic & Professional, London. 1991.

CHEN, T. Y. Studies on the manufacture of particleboard from rice hull. **K'o Hsueh Fa Chan Yueh K'na** (National Science Council Monthly, ROC). v.7, n.1, p.32-45, 1979.

CHEN, T. Y. Studies on the manufacture of particleboard from rice hulls in industrial scale. **K'o Hsueh Fa Chan Yueh K'an** (National Science Council Monthly, ROC). v.8, n.5, p.456-462, 1980.

DATAMARK. **Os números do mercado de embalagens**. 2002. Disponível em: < www.datamark.com.br/newdatamark/ > Documento acessado em: 20 maio 2003.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas aglomeradas**. 2004. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DIN. GERMAN STANDARDS COMMITTEE: Deutschen Normenausschuss. **Specifications for particleboard**. DIN 68761(1) – 1961 (3). Holz, 1971.

DOAK, K. W. "Ethylene Polymers". Em: MARK, H. M.; BIKALES, N. M.; OVERBERG, C. G.; MENGES, G. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**, John-Wiley & Sons, New York , v. 6; 1986.

ECKERT, C. H." Market Opportunities for natural fibres in plastics composites", in: Proceedings of the Wood-Plastic Conference, p. 87-106, Baltimore, USA. 2000.

ENGLISH, B.; CLEMONS, C. M.; SARK, N.; SCHNEIDER, J. P. Waste-wood-derived fillers for plastics. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-91. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. **Forest Products Laboratory**. 15p. 1996.

GUITIÁN, R. **Revista Plástico Moderno**, São Paulo, n.257, p.45-48, agosto 1995.

GRASSI, V. G.; FORTE, M. M. C.; DEL PIZZOL, M. F. Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura-Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 11, n.3, p. 158-168. 2001.

GRIFFIN, M.S. Using vegetable raw materials to produce building materials. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENERGY, ENVIRONMENT AND TECHNOLOGICAL INNOVATION, 3.Caracas, 1995. **Proceedings**. Caracas, Universidad Central de Venezuela - Universita di Roma "La Sapienza", 1995. p.473-8.

HAN, G. S.; SAKA.S.; SHIRAIKI,N. **Composites of wood and polypropylenes III**. Mokuzai Gakkaishi, v. 35, p. 1100-1104, 1989.

HANCOCK, W. V.; CHANDRAMOULI, P. Comparative properties of rice-husk board, particle board, and wafer board. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**. v.5, n.1, p.18-27, 1974.

HASELEIN, C. R.; VITAL, B. R.; VALENTE, O. F.; DELLA LUCIA, R. M.; Fabricação de chapas de aglomerado com madeira de Eucalipto (*Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden) e de embaúba (*Cecropia* sp.). **Rev. Árvore**. Viçosa.MG, v.13, n.1, p 67-84, jan/jun., 1989.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HILLIS, W. E. & BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. 1984, 434p. Sydney: Academic Press, 1984.

IMPERIOLATPLAST. Disponível em<<http://www.imperiolatplast.hpg.ig.com.br/>>. Acessado em: 30 ago. 2002;

IRGA. **Informativo IRGA**. 1996. Disponível em: <<http://irga.rs.gov.br>>. Documento acessado em: 07 set. 2001.

JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, São Paulo, 1996. **Anais**. São Paulo, Antac, 1996. p.21-30.

KAEFER, L. F; **Concreto de Alto Desempenho com Sílica de Casca de Arroz**. Disponível em: < <http://www.unilivre.org.br> >. Acesso em: 15 ago.2002.

KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II: wood based materials**. New York: Springer Verlag, 1975. 703 p.

LIBÓRIO, J; SOUZA, M. F. **Projeto: Concreto de Alto Desempenho Com Sílica Ativa da Casca de Arroz**. Disponível em: <<http://www.icelpa.com.br/>>. Acesso em: 20 ago.2002.

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001, 115p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.2001.

MANO, E. B. **Introdução a Polímeros**, Ed. Edgar Blucher. São Paulo.111p, 1985.

MARCHIORI, J. N., SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: Myrtales**. Editora UFSM. 1997. 304p. Santa Maria.

MARTINS, G. A. S. **Informações sobre Manuseio e Estocagem de Polietilenos e Polipropileno**, Boletim Técnico nº14, OPP Petroquímica S.A. Agosto 1999.

MILES D. C.; BRISTON, J. H. **Polymer Technology**, Temple Press Book, London 1965.

MONTENEGRO, R.S.P.; ZAPORSKI, J.; RIBEIRO, M.C.M. **Polietileno de alta densidade**. <www.bnds.gov.br/conhecimento/relato/peadx.pdf>, documento acessado em: 15 ago. 2002.

MORAES, *et. al.* **Não se pode esconder o lixo debaixo do tapete: resíduos sólidos - problemas e soluções**. Belo Horizonte: [s.n], 1994.

NEVES, C. J. A. **Resistência Química de PE's a Vários Reagentes Químicos**, Boletim Técnico nº13. OPP Petroquímica S.A., Agosto 1999.

ODIAN, G. **Principles of Polymerization**, Ed Wiley-Interscience, New York 1981.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 428f. Tese (Doutorado em Engenharia)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OKSMAN, K.; CLEMONS, C. Mechanical properties and morphology of impact modified polypropylene – wood flour composites. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 67, p. 1503-1513, 1998.

PACHECO, E.B. Análise de impacto ambiental devido a resíduos poliméricos. **Plástico moderno**, n.308, p.40-51, 2000.

PLASTIVIDA. **Valorización de los Residuos Plásticos**. Buenos Aires - Argentina. <<http://www.plastivida.com.ar/>> documento acessado em: 27 ago.2002.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomeradas com resíduos de uma indústria de celulose**. 2005. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEREIRA, R. A.; MANO, E. B.; DIAS, M. L.; ACORDI, E. B. Comparative study on the lamellar crystal structure of high and low density polyethylenes. **Polymer Bulletin**, n.38, p.707-714, 1997.

RETO, M.A.S. Surgem novas aplicações para grades especiais de PP e PE. **Revista Plástico Moderno**, n.312, p.22, Agosto 2000.

RICEBOARD. **Technology offer**. Disponível em: <<http://www.nrdcindia.com/>>. Acesso em: 03 ago.2001.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 2000. 186f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROQUE, C.A.L. **Painéis de madeira aglomerada**. Disponível em:<www.bndes.gov.br>. Acesso em: 20 set.1998.

SIMONSEN, J.; JACOBSON, R.; ROWELL, R. Properties of styrene-maleic anhydride copolymers containing wood-based fillers. **Forest Products Journal**. v. 48, n. 1, p. 89-92, 1998.

SILVA, A. L. N. **Preparação e Avaliação de Propriedades Térmicas, Morfológicas, Mecânicas e Reológicas de Misturas à Base de Polipropileno e Poli(etileno-co-1-octeno)**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil 1999.

SILVA J. C. Eucalipto: a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, edição especial, 2001. 114p.

STARK, N. M.; BERGER, M.J. "Effect of particle size on properties of wood-flour reinforced composites", in: Proceedings of the Fourth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites, p. 134-143, Madison, Wisconsin, USA (1997).

STARK, N.E.; SCHNEIDER, J.P. "Waste-Wood-Derived Fillers for Plastics", in: General Technical Report FPL-GTR-91, Forest Product Laboratory/USDA, USA 1996.

STUMPP, E. **Ensaio físico-mecânico das madeiras *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, oriundas de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2000. 77p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TEIXEIRA, D.E.; MOREIRA, J.M.A.P.; COSTA, A.F.da. Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD). **Rev. Floresta e Ambiente**. v.9, n.1, p.72-80, 2002.

TEDJOWAHJONO S., HUTASOIT, G. F., TOHARISMAN A. Particleboard from sugarcane bagasse. **Berita Pusat Penelitian Perkebunan gula Indonesia**. n. 12, p. 41-42, 1995.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood handbook: wood as an engineering material**. USDA, agriculture Handbook n.72. Washington, DC, 1999.

WANAGE, H. Y. *et al.* Effects of D-PVC content on properties of wood particle/plastic composite board. **China Wood Industry**, v. 12, n. 3, p. 6-9, 1998.

WIGOTSKY, V. Alloys and blends home in on demanding desing specs. **Plastic Engineering**, v.11, p.25 - 32, 1988.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo, Pioneira, 1995.

VASISHTH, R. C. Water resistant composite board from rice husk. United Nations Industrial Development Organization Document (UNIDO) ID/WG/89/23. Joint United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), Food and Agriculture

Organization of the United Nations (FAO), ECAFE interregional seminar on industrial processing of rice; 1971 October 28; Madras, India. Vienna, Austria: United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). 9 p.

VIANNA, W.L.; CORREA, C.A.; RAZZINO, C.A. Efeitos do tipo de poliestireno de alto impacto nas propriedades de compósitos termoplásticos com farinha de resíduo de madeira. **Polímeros**. v.14, n. 5, p. 339-348. 2004.

YAN, K. L. *et al.* Composites from compounding wood fibers with recycled high density polyethylene. **Polymer Engineering and Science**, v. 30, n. 11, 1990.

YOUNGQUIST, J.A.; KRZYSIK, A.M.; MUEHL, J.H.; CARLL, C. Mechanical and physical properties of air-formed wood-fiber/polymer-fiber composites. **Forest Products Journal**, v. 42, n. 6, p. 42-48, 1992.

7 ANEXOS

ANEXO 1.

Laudo da análise de casca de arroz.

TABELA 18: Laudo da análise de casca de arroz.

Amostra	Elementos										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g/kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)				
Casca de arroz	2,43	0,25	2,11	2,72	0,40	0,40	1,69	2,00	102,9	401,0	32,01

Fonte: Laboratório de Ecologia Florestal, UFSM.

ANEXO 2.

Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas dos compósitos (MOE,
 σ_{LP} , $\sigma_{2,5}$).

TABELA 19: Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas dos compósitos (MOE, σ_{LP} , $\sigma_{2,5}$).

Trat.	CP	Me (g/cm ³)	N° lâm	Arroz (%)	P.mad. (%)	PEAD (%)	σ_{LP} (kgf/cm ²)	$\sigma_{2,5}$ (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
1	29	1,01	4	100	0	60	300,60	487,63	13389
1	30	0,93	4	100	0	60	294,20	404,04	14257
1	31	0,98	4	100	0	60	206,16	264,03	9936
1	32	0,93	4	100	0	60	237,27	300,68	13596
1	33	0,96	4	100	0	60	171,80	213,40	10718
1	74	0,91	4	100	0	60	252,18	360,26	15029
2	27	0,91	4	75	25	60	235,97	284,61	13389
2	28	0,90	4	75	25	60	325,92	393,12	13601
2	34	0,90	4	75	25	60	212,97	270,73	13848
2	35	0,87	4	75	25	60	277,64	376,57	13623
2	36	0,93	4	75	25	60	185,46	259,00	11631
3	25	0,91	4	50	50	60	296,08	339,33	12816
3	26	0,94	4	50	50	60	262,74	342,25	12464
3	37	0,86	4	50	50	60	256,12	311,87	10087
3	38	0,87	4	50	50	60	192,61	257,96	11154
3	39	0,90	4	50	50	60	217,43	268,59	12737
3	77	0,89	4	50	50	60	147,22	218,23	11133
4	23	0,93	4	25	75	60	189,14	243,18	13788
4	24	0,94	4	25	75	60	248,00	326,91	18229
4	40	0,90	4	25	75	60	259,77	362,86	19018
4	41	0,85	4	25	75	60	235,78	365,93	20637
4	42	0,85	4	25	75	60	226,96	320,63	11897
4	69	0,92	4	25	75	60	172,24	261,49	12218
5	21	0,90	4	0	100	60	259,27	349,45	15743
5	22	0,86	4	0	100	60	231,17	310,52	12381
5	43	0,88	4	0	100	60	171,33	256,16	11498
5	44	1,00	4	0	100	60	150,98	203,04	12831
5	45	0,89	4	0	100	60	176,95	222,22	11127
5	66	0,91	4	0	100	60	188,92	255,39	11774
5	67	0,93	4	0	100	60	167,04	237,47	11650
5	76	0,90	4	0	100	60	178,70	266,42	11315
6	19	0,91	5	100	0	75	156,24	263,76	12949
6	20	0,91	5	100	0	75	280,87	362,41	12237
6	46	0,91	5	100	0	75	183,70	282,23	16326
6	47	0,90	5	100	0	75	268,72	290,50	12078
6	71	0,84	5	100	0	75	240,44	357,17	11072
6	72	0,84	5	100	0	75	207,02	226,34	10215
6	73	0,90	5	100	0	75	174,25	189,58	10155
7	17	0,88	5	75	25	75	196,48	254,70	10956
7	18	0,89	5	75	25	75	208,66	274,74	12731
7	48	0,93	5	75	25	75	187,71	324,88	15532
7	49	0,98	5	75	25	75	181,93	309,28	19282
8	15	0,87	5	50	50	75	236,27	315,75	18429
8	16	0,90	5	50	50	75	121,15	248,52	13785
8	50	0,93	5	50	50	75	193,89	371,47	15455
8	51	0,96	5	50	50	75	193,36	323,58	16153
9	13	0,91	5	25	75	75	165,72	292,70	17663
9	14	0,94	5	25	75	75	161,61	266,18	16935
9	52	0,96	5	25	75	75	218,25	344,84	20098
9	53	0,91	5	25	75	75	256,50	391,28	18470

Contin...									
10	11	1,01	5	0	100	75	147,42	305,62	15561
10	12	0,96	5	0	100	75	236,68	347,91	17645
10	54	1,05	5	0	100	75	192,89	331,85	19511
10	55	0,93	5	0	100	75	297,62	511,90	27584
11	9	0,92	6	100	0	90	180,62	319,42	13129
11	10	0,93	6	100	0	90	179,36	312,88	15747
11	56	0,91	6	100	0	90	219,09	327,60	11002
11	57	0,90	6	100	0	90	279,12	416,53	13666
12	7	0,95	6	75	25	90	206,99	267,02	9749
12	8	0,92	6	75	25	90	307,14	595,24	21183
12	58	0,97	6	75	25	90	208,24	308,20	11928
12	59	0,98	6	75	25	90	221,18	369,33	14367
13	5	0,95	6	50	50	90	125,43	287,36	20317
13	6	0,93	6	50	50	90	257,68	375,95	11989
13	60	0,98	6	50	50	90	226,53	381,17	13119
13	61	0,91	6	50	50	90	244,45	361,79	17765
14	3	0,94	6	25	75	90	181,79	206,58	14044
14	4	0,96	6	25	75	90	89,50	258,55	14785
14	62	0,95	6	25	75	90	183,19	352,63	18033
14	63	0,99	6	25	75	90	170,42	324,80	13281
15	1	1,00	6	0	100	90	334,53	501,79	16319
15	2	1,00	6	0	100	90	216,94	433,88	14534
15	64	0,96	6	0	100	90	196,88	367,50	15853
15	65	0,86	6	0	100	90	184,30	304,10	17784
15	75	0,83	6	0	100	90	106,66	227,55	12946
16	80	0,87	0	0	0	100	120,78	222,08	9279
16	81	0,88	0	0	0	100	124,51	233,22	9293
16	82	1,01	0	0	0	100	141,53	256,64	10339

Onde: CP = corpo de prova; Me = massa específica (g/cm^3); σ_{LP} = tensão no limite proporcional (kgf/cm^2); $\sigma_{2,5}$ = tensão a 2,5cm de deslocamento (kgf/cm^2); MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm^2).

TABELA 20: Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas dos compósitos (Tração perpendicular).

Trat.	CP	Me (g/cm ³)	N° lâm	Arroz (%)	P.mad. (%)	PEAD (%)	Tração (kgf/cm ²)
1	29 a	0,94	4	100	0	60	1,60
1	30 a	1,01	4	100	0	60	4,00
1	32 a	0,98	4	100	0	60	3,40
1	32 b	0,98	4	100	0	60	3,20
1	33 a	0,93	4	100	0	60	2,84
1	33 b	0,93	4	100	0	60	2,80
1	74 a	0,96	4	100	0	60	2,20
2	27 a	0,91	4	75	25	60	6,32
2	27 b	0,91	4	75	25	60	2,00
2	28 a	0,91	4	75	25	60	3,00
2	28 b	0,91	4	75	25	60	2,48
2	36 a	0,87	4	75	25	60	1,60
2	36 b	0,87	4	75	25	60	1,88
3	25 a	0,93	4	50	50	60	0,84
3	26 a	0,91	4	50	50	60	1,92
3	26 b	0,91	4	50	50	60	2,48
3	37 a	0,94	4	50	50	60	2,72
3	37 b	0,94	4	50	50	60	4,00
3	38 a	0,86	4	50	50	60	3,20
3	38 b	0,86	4	50	50	60	2,88
3	39 a	0,87	4	50	50	60	2,40
3	77 a	0,90	4	50	50	60	1,60
4	23 a	0,89	4	25	75	60	3,76
4	24 a	0,93	4	25	75	60	4,80
4	24 b	0,93	4	25	75	60	2,40
4	40 a	0,94	4	25	75	60	4,20
4	40 b	0,94	4	25	75	60	2,24
4	41 a	0,90	4	25	75	60	1,32
4	42 a	0,85	4	25	75	60	1,40
4	69 a	0,85	4	25	75	60	4,00
4	69 b	0,85	4	25	75	60	4,32
5	21 a	0,92	4	0	100	60	1,36
5	22 a	0,90	4	0	100	60	2,64
5	45 a	1,00	4	0	100	60	5,60
5	45 b	1,00	4	0	100	60	4,00
5	66 a	0,89	4	0	100	60	2,68
5	66 b	0,89	4	0	100	60	1,68
5	76 a	0,93	4	0	100	60	2,48
5	76 b	0,93	4	0	100	60	2,32
6	19 a	0,90	5	100	0	75	5,84
6	19 b	0,90	5	100	0	75	5,20
6	20 a	0,91	5	100	0	75	2,20
6	20 b	0,91	5	100	0	75	3,12
6	46 a	0,91	5	100	0	75	4,64
6	46 b	0,91	5	100	0	75	4,80
6	47 a	0,91	5	100	0	75	2,64
6	47 b	0,91	5	100	0	75	3,80
6	71 a	0,90	5	100	0	75	4,00
6	71 b	0,90	5	100	0	75	4,92
6	72 a	0,84	5	100	0	75	3,84
6	72 b	0,84	5	100	0	75	4,68

Contin...							
6	73 a	0,84	5	100	0	75	5,24
6	73 b	0,84	5	100	0	75	7,04
7	17 a	0,90	5	75	25	75	7,84
7	17 b	0,90	5	75	25	75	5,00
7	18 a	0,88	5	75	25	75	6,96
7	18 b	0,88	5	75	25	75	3,40
7	48 a	0,89	5	75	25	75	7,28
7	48 b	0,89	5	75	25	75	5,08
7	49 a	0,93	5	75	25	75	4,44
7	49 b	0,93	5	75	25	75	7,40
8	15 a	0,98	5	50	50	75	8,88
8	15 b	0,98	5	50	50	75	4,48
8	16 a	0,87	5	50	50	75	8,00
8	16 b	0,87	5	50	50	75	7,20
8	50 a	0,90	5	50	50	75	4,00
8	50 b	0,90	5	50	50	75	4,88
8	51 a	0,93	5	50	50	75	19,20
9	13 a	0,96	5	25	75	75	4,96
9	13 b	0,96	5	25	75	75	7,12
9	14 a	0,91	5	25	75	75	8,92
9	14 b	0,91	5	25	75	75	3,40
9	52 a	0,94	5	25	75	75	4,80
9	52 b	0,94	5	25	75	75	4,20
9	53 a	0,96	5	25	75	75	4,80
10	11 a	0,91	5	0	100	75	7,08
10	11 b	0,91	5	0	100	75	8,32
10	12 a	1,01	5	0	100	75	9,12
10	12 b	1,01	5	0	100	75	5,68
10	54 a	0,96	5	0	100	75	6,56
10	54 b	0,96	5	0	100	75	4,00
10	55 a	1,05	5	0	100	75	7,56
10	55 b	1,05	5	0	100	75	4,84
11	9 a	0,93	6	100	0	90	26,00
11	9 b	0,93	6	100	0	90	25,28
11	10 a	0,92	6	100	0	90	26,56
11	10 b	0,92	6	100	0	90	29,12
11	57 a	0,91	6	100	0	90	18,00
11	57 b	0,91	6	100	0	90	23,76
12	7 a	0,90	6	75	25	90	28,80
12	7 b	0,90	6	75	25	90	31,20
12	8 a	0,95	6	75	25	90	17,84
12	8 b	0,95	6	75	25	90	20,08
12	58 a	0,92	6	75	25	90	14,40
12	59 a	0,97	6	75	25	90	20,80
12	59 b	0,97	6	75	25	90	13,60
13	5 a	0,98	6	50	50	90	22,72
13	5 b	0,98	6	50	50	90	23,20
13	6 a	0,95	6	50	50	90	20,00
13	6 b	0,95	6	50	50	90	21,64
13	60 a	0,93	6	50	50	90	27,60
13	60 b	0,93	6	50	50	90	12,04
13	61 a	0,98	6	50	50	90	15,56
14	3 a	0,91	6	25	75	90	10,52
14	3 b	0,91	6	25	75	90	14,96

Contin...							
14	4 a	0,94	6	25	75	90	18,40
14	4 b	0,94	6	25	75	90	20,40
14	62 a	0,96	6	25	75	90	15,76
15	1 a	0,99	6	0	100	90	4,48
15	1 b	0,99	6	0	100	90	13,20
15	2 a	1,00	6	0	100	90	12,04
15	2 b	1,00	6	0	100	90	14,48
15	64 a	1,00	6	0	100	90	23,20
15	64 b	1,00	6	0	100	90	15,20
15	65 a	0,96	6	0	100	90	26,40
15	65 b	0,96	6	0	100	90	21,60
15	75 a	0,86	6	0	100	90	15,20
16	80 a	0,83	4	0	0	100	25,20
16	81 a	0,87	5	0	0	100	30,40
16	81 b	0,87	5	0	0	100	49,20
16	82 a	0,88	6	0	0	100	14,80
16	82 b	0,88	6	0	0	100	23,20

Onde: CP = corpo de prova; Me = massa específica (g/cm³);

ANEXO 3.

Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (IE e AB).

TABELA 21: Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (IE)

Trat.	CP	Me (g/cm ³)	Nº lâm	Arroz (%)	P.mad. (%)	PEAD (%)	IE 2H (%)	IE 24H (%)
1	29 b	0,94	4	100	0	60	2,66	6,25
1	30 a	0,94	4	100	0	60	3,94	7,01
1	30 b	1,01	4	100	0	60	1,79	4,03
1	31 a	1,01	4	100	0	60	1,22	2,95
1	31 b	0,93	4	100	0	60	1,21	1,81
1	32 a	0,93	4	100	0	60	1,38	3,09
1	32 b	0,98	4	100	0	60	3,17	5,86
1	33 a	0,98	4	100	0	60	1,86	5,36
1	33 b	0,93	4	100	0	60	2,29	7,83
2	27 a	0,93	4	100	0	60	1,83	6,72
2	27 b	0,91	4	75	25	60	5,54	7,27
2	28 a	0,91	4	75	25	60	6,73	9,76
2	28 b	0,91	4	75	25	60	5,50	7,87
2	35 a	0,91	4	75	25	60	11,30	13,63
2	35 b	0,90	4	75	25	60	1,69	3,69
2	36 a	0,90	4	75	25	60	3,88	6,68
3	25 a	0,87	4	75	25	60	2,46	9,58
3	26 a	0,93	4	50	50	60	3,29	7,44
3	26 b	0,91	4	50	50	60	7,08	14,94
3	37 a	0,91	4	50	50	60	6,94	23,86
3	37 b	0,94	4	50	50	60	7,87	13,22
3	38 a	0,94	4	50	50	60	3,66	4,05
3	38 b	0,86	4	50	50	60	6,09	9,55
3	39 a	0,86	4	50	50	60	12,14	17,32
4	23 a	0,87	4	50	50	60	6,27	6,38
4	23 b	0,89	4	25	75	60	4,39	5,99
4	24 a	0,89	4	25	75	60	6,43	8,05
4	24 b	0,93	4	25	75	60	8,99	10,50
4	40 a	0,93	4	25	75	60	9,16	11,12
4	40 b	0,94	4	25	75	60	8,78	10,88
4	41 a	0,94	4	25	75	60	11,28	12,12
4	42 a	0,90	4	25	75	60	5,69	6,27
4	69 a	0,85	4	25	75	60	10,68	11,19
4	70 a	0,85	4	25	75	60	5,75	7,80
5	21 a	0,98	4	25	75	60	7,80	10,42
5	21 b	0,92	4	0	100	60	12,34	13,35
5	22 a	0,92	4	0	100	60	12,99	15,17
5	22 b	0,90	4	0	100	60	6,96	16,72
5	44 a	0,90	4	0	100	60	2,84	13,29
5	45 a	0,88	4	0	100	60	18,59	20,50
5	66 a	1,00	4	0	100	60	11,50	15,33
5	76 a	0,89	4	0	100	60	7,95	10,06
6	19 a	0,93	4	0	100	60	5,44	6,51
6	19 b	0,90	5	100	0	75	0,50	1,44
6	20 a	0,90	5	100	0	75	0,37	1,47
6	20 b	0,91	5	100	0	75	1,93	2,89
6	46 a	0,91	5	100	0	75	1,32	1,88
6	46 b	0,91	5	100	0	75	0,57	1,60
6	47 a	0,91	5	100	0	75	0,74	2,02
6	47 b	0,91	5	100	0	75	0,91	1,18
6	71 a	0,91	5	100	0	75	0,77	1,34

Contin...

6	71 b	0,90	5	100	0	75	0,92	1,28
6	72 a	0,90	5	100	0	75	0,05	0,94
6	72 b	0,84	5	100	0	75	0,97	1,36
6	73 a	0,84	5	100	0	75	0,45	1,12
6	73 b	0,84	5	100	0	75	0,40	3,03
7	17 a	0,84	5	100	0	75	0,19	1,45
7	17 b	0,90	5	75	25	75	1,28	3,78
7	18 a	0,90	5	75	25	75	0,16	1,15
7	18 b	0,88	5	75	25	75	0,37	1,60
7	48 a	0,88	5	75	25	75	0,97	2,77
7	48 b	0,89	5	75	25	75	5,69	0,31
7	49 a	0,89	5	75	25	75	1,25	2,06
7	49 b	0,93	5	75	25	75	0,53	1,31
8	15 a	0,93	5	75	25	75	0,52	1,61
8	15 b	0,98	5	50	50	75	2,53	4,26
8	16 a	0,98	5	50	50	75	2,36	3,86
8	16 b	0,87	5	50	50	75	1,06	2,46
8	50 a	0,87	5	50	50	75	1,10	2,58
8	50 b	0,90	5	50	50	75	1,03	1,24
8	51 a	0,90	5	50	50	75	1,27	3,06
8	51 b	0,93	5	50	50	75	0,22	0,81
9	13 a	0,93	5	50	50	75	1,53	1,70
9	13 b	0,96	5	25	75	75	2,01	4,45
9	14 a	0,96	5	25	75	75	1,60	4,91
9	14 b	0,91	5	25	75	75	1,27	2,65
9	52 a	0,91	5	25	75	75	1,25	2,89
9	52 b	0,94	5	25	75	75	1,06	1,44
9	53 a	0,94	5	25	75	75	0,38	3,19
9	53 b	0,96	5	25	75	75	1,14	1,48
10	11 a	0,96	5	25	75	75	0,89	1,05
10	11 b	0,91	5	0	100	75	4,15	6,52
10	12 a	0,91	5	0	100	75	1,51	4,68
10	12 b	1,01	5	0	100	75	1,43	3,67
10	54 a	1,01	5	0	100	75	1,68	4,92
10	54 b	0,96	5	0	100	75	1,26	1,68
10	55 a	0,96	5	0	100	75	2,53	4,77
10	55 b	1,05	5	0	100	75	2,49	4,38
11	9 a	1,05	5	0	100	75	4,73	5,94
11	9 b	0,93	6	100	0	90	0,11	0,37
11	10 a	0,93	6	100	0	90	0,20	0,56
11	10 b	0,92	6	100	0	90	0,06	0,55
11	56 a	0,92	6	100	0	90	0,11	0,11
11	56 b	0,93	6	100	0	90	0,11	0,60
11	57 a	0,93	6	100	0	90	0,16	0,48
11	57 b	0,91	6	100	0	90	0,27	0,49
12	7 a	0,91	6	100	0	90	0,06	0,44
12	7 b	0,90	6	75	25	90	0,17	0,56
12	8 a	0,90	6	75	25	90	0,23	0,45
12	8 b	0,95	6	75	25	90	0,00	0,18
12	58 a	0,95	6	75	25	90	0,00	1,14
12	58 b	0,92	6	75	25	90	0,43	0,59
12	59 a	0,92	6	75	25	90	0,33	0,55
12	59 b	0,97	6	75	25	90	0,27	0,54
13	5 a	0,97	6	75	25	90	0,06	0,17

Contin...

13	5 b	0,98	6	50	50	90	0,16	0,55
13	6 a	0,98	6	50	50	90	0,37	0,48
13	6 b	0,95	6	50	50	90	0,60	0,65
13	60 a	0,95	6	50	50	90	0,16	0,27
13	60 b	0,93	6	50	50	90	0,11	0,96
13	61 a	0,93	6	50	50	90	0,47	0,76
13	61 b	0,98	6	50	50	90	0,11	0,62
14	3 a	0,98	6	50	50	90	0,50	1,27
14	3 b	0,91	6	25	75	90	0,34	0,68
14	4 a	0,91	6	25	75	90	0,30	0,60
14	4 b	0,94	6	25	75	90	0,22	0,43
14	62 a	0,94	6	25	75	90	0,11	0,74
14	62 b	0,96	6	25	75	90	0,45	0,95
14	63 a	0,96	6	25	75	90	0,00	1,02
14	63 b	0,95	6	25	75	90	0,96	1,35
15	1 a	0,95	6	25	75	90	0,00	0,23
15	1 b	0,99	6	0	100	90	0,00	0,11
15	2 a	0,99	6	0	100	90	0,06	1,34
15	2 b	1,00	6	0	100	90	0,28	0,06
15	64 a	1,00	6	0	100	90	0,00	0,55
15	64 b	1,00	6	0	100	90	0,23	0,69
15	65 a	1,00	6	0	100	90	0,23	0,53
15	65 b	0,96	6	0	100	90	0,46	1,27
15	75 a	0,96	6	0	100	90	0,00	0,17
15	75 b	0,86	6	0	100	90	0,20	0,77
16	80 a	0,86	6	0	100	90	0,33	0,98
16	80 b	0,83	0	0	0	100	0,00	0,00
16	81 a	0,83	0	0	0	100	0,00	0,00
16	81 b	0,87	0	0	0	100	0,00	0,00
16	82 a	0,87	0	0	0	100	0,00	0,00
16	82 b	0,88	0	0	0	100	0,00	0,00
16	83 a	0,98	0	0	0	100	0,00	0,00

Onde: CP = corpo de prova; Me = massa específica (g/cm³); IE 2h (%) = Inchamento em espessura 2 horas de imersão; IE 24h (%) = Inchamento em espessura 24 horas de imersão.

TABELA 22: Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (AB)

Trat.	CP	Me (g/cm ³)	Nº lâm	Arroz (%)	P.mad. (%)	PEAD (%)	AB 2H (%)	AB 24H (%)
1	29 b	0,94	4	100	0	60	4,81	19,32
1	30 a	0,94	4	100	0	60	5,06	21,03
1	30 b	1,01	4	100	0	60	3,15	9,87
1	31 a	1,01	4	100	0	60	3,84	10,11
1	31 b	0,93	4	100	0	60	3,20	14,50
1	32 a	0,93	4	100	0	60	3,38	14,49
1	32 b	0,98	4	100	0	60	5,57	16,53
1	33 a	0,98	4	100	0	60	6,17	17,16
1	33 b	0,93	4	100	0	60	2,66	11,27
2	27 a	0,93	4	100	0	60	2,68	11,79
2	27 b	0,91	4	75	25	60	13,87	23,24
2	28 a	0,91	4	75	25	60	14,11	21,54
2	28 b	0,91	4	75	25	60	13,20	24,00
2	35 a	0,91	4	75	25	60	10,47	19,86
2	35 b	0,90	4	75	25	60	4,74	19,30
2	36 a	0,90	4	75	25	60	7,79	18,44
3	25 a	0,87	4	75	25	60	3,45	14,66
3	26 a	0,93	4	50	50	60	6,67	20,97
3	26 b	0,91	4	50	50	60	12,36	23,47
3	37 a	0,91	4	50	50	60	20,62	28,68
3	37 b	0,94	4	50	50	60	16,57	23,33
3	38 a	0,94	4	50	50	60	15,55	22,18
3	38 b	0,86	4	50	50	60	13,88	22,83
3	39 a	0,86	4	50	50	60	15,75	23,67
4	23 a	0,87	4	50	50	60	13,00	23,12
4	23 b	0,89	4	25	75	60	10,41	19,52
4	24 a	0,89	4	25	75	60	9,94	18,60
4	24 b	0,93	4	25	75	60	14,62	21,07
4	40 a	0,93	4	25	75	60	13,17	19,30
4	40 b	0,94	4	25	75	60	13,49	19,81
4	41 a	0,94	4	25	75	60	24,16	31,04
4	42 a	0,90	4	25	75	60	14,07	19,15
4	69 a	0,85	4	25	75	60	0,56	26,51
4	70 a	0,85	4	25	75	60	14,55	22,01
5	21 a	0,98	4	25	75	60	15,94	23,08
5	21 b	0,92	4	0	100	60	19,36	24,46
5	22 a	0,92	4	0	100	60	24,44	29,33
5	22 b	0,90	4	0	100	60	0,00	22,99
5	44 a	0,90	4	0	100	60	30,87	33,30
5	45 a	0,88	4	0	100	60	21,64	25,00
5	66 a	1,00	4	0	100	60	21,52	26,81
5	76 a	0,89	4	0	100	60	11,96	16,71
6	19 a	0,93	4	0	100	60	16,47	17,50
6	19 b	0,90	5	100	0	75	1,33	3,01
6	20 a	0,90	5	100	0	75	0,62	2,46
6	20 b	0,91	5	100	0	75	4,43	6,56
6	46 a	0,91	5	100	0	75	2,75	6,61
6	46 b	0,91	5	100	0	75	1,10	4,39
6	47 a	0,91	5	100	0	75	1,46	5,76
6	47 b	0,91	5	100	0	75	2,09	4,75
6	71 a	0,91	5	100	0	75	2,75	5,50

Contin...

6	71 b	0,90	5	100	0	75	1,74	3,21
6	72 a	0,90	5	100	0	75	1,40	3,54
6	72 b	0,84	5	100	0	75	2,80	5,51
6	73 a	0,84	5	100	0	75	3,25	6,32
6	73 b	0,84	5	100	0	75	2,39	6,28
7	17 a	0,84	5	100	0	75	3,57	5,14
7	17 b	0,90	5	75	25	75	1,87	5,04
7	18 a	0,90	5	75	25	75	2,53	4,58
7	18 b	0,88	5	75	25	75	0,00	2,94
7	48 a	0,88	5	75	25	75	2,06	4,40
7	48 b	0,89	5	75	25	75	14,07	5,81
7	49 a	0,89	5	75	25	75	1,98	5,09
7	49 b	0,93	5	75	25	75	1,93	3,31
8	15 a	0,93	5	75	25	75	1,33	3,72
8	15 b	0,98	5	50	50	75	3,89	10,14
8	16 a	0,98	5	50	50	75	5,93	11,04
8	16 b	0,87	5	50	50	75	2,33	5,83
8	50 a	0,87	5	50	50	75	2,94	5,12
8	50 b	0,90	5	50	50	75	2,45	5,18
8	51 a	0,90	5	50	50	75	2,11	5,08
8	51 b	0,93	5	50	50	75	2,00	3,90
9	13 a	0,93	5	50	50	75	2,17	4,73
9	13 b	0,96	5	25	75	75	3,35	6,51
9	14 a	0,96	5	25	75	75	2,98	6,68
9	14 b	0,91	5	25	75	75	2,46	5,76
9	52 a	0,91	5	25	75	75	2,83	5,10
9	52 b	0,94	5	25	75	75	1,46	4,18
9	53 a	0,94	5	25	75	75	3,51	6,05
9	53 b	0,96	5	25	75	75	3,26	4,99
10	11 a	0,96	5	25	75	75	3,05	4,92
10	11 b	0,91	5	0	100	75	7,16	10,93
10	12 a	0,91	5	0	100	75	4,99	9,06
10	12 b	1,01	5	0	100	75	2,33	4,29
10	54 a	1,01	5	0	100	75	2,88	6,23
10	54 b	0,96	5	0	100	75	4,21	7,49
10	55 a	0,96	5	0	100	75	2,88	5,01
10	55 b	1,05	5	0	100	75	5,73	7,42
11	9 a	1,05	5	0	100	75	5,43	10,68
11	9 b	0,93	6	100	0	90	0,28	0,28
11	10 a	0,93	6	100	0	90	0,98	0,98
11	10 b	0,92	6	100	0	90	0,81	1,31
11	56 a	0,92	6	100	0	90	0,37	1,03
11	56 b	0,93	6	100	0	90	1,49	1,49
11	57 a	0,93	6	100	0	90	2,17	1,32
11	57 b	0,91	6	100	0	90	0,89	0,59
12	7 a	0,91	6	100	0	90	0,60	0,79
12	7 b	0,90	6	75	25	90	1,19	1,19
12	8 a	0,90	6	75	25	90	0,81	1,62
12	8 b	0,95	6	75	25	90	1,27	2,12
12	58 a	0,95	6	75	25	90	1,65	1,76
12	58 b	0,92	6	75	25	90	0,96	1,25
12	59 a	0,92	6	75	25	90	1,68	1,68
12	59 b	0,97	6	75	25	90	0,64	1,09
13	5 a	0,97	6	75	25	90	0,29	1,27

Contin...

13	5 b	0,98	6	50	50	90	-0,09	0,47
13	6 a	0,98	6	50	50	90	0,58	0,97
13	6 b	0,95	6	50	50	90	0,76	1,14
13	60 a	0,95	6	50	50	90	1,06	1,44
13	60 b	0,93	6	50	50	90	1,79	1,79
13	61 a	0,93	6	50	50	90	2,13	1,11
13	61 b	0,98	6	50	50	90	1,23	1,85
14	3 a	0,98	6	50	50	90	1,91	1,21
14	3 b	0,91	6	25	75	90	0,59	0,79
14	4 a	0,91	6	25	75	90	0,89	0,79
14	4 b	0,94	6	25	75	90	0,55	0,74
14	62 a	0,94	6	25	75	90	0,57	0,96
14	62 b	0,96	6	25	75	90	0,49	0,99
14	63 a	0,96	6	25	75	90	0,72	1,95
14	63 b	0,95	6	25	75	90	2,30	0,92
15	1 a	0,95	6	25	75	90	1,43	0,67
15	1 b	0,99	6	0	100	90	1,22	1,22
15	2 a	0,99	6	0	100	90	1,35	0,87
15	2 b	1,00	6	0	100	90	1,75	0,68
15	64 a	1,00	6	0	100	90	0,87	0,87
15	64 b	1,00	6	0	100	90	0,20	0,59
15	65 a	1,00	6	0	100	90	0,40	0,50
15	65 b	0,96	6	0	100	90	0,59	0,98
15	75 a	0,96	6	0	100	90	0,20	0,49
15	75 b	0,86	6	0	100	90	0,47	0,85
16	80 a	0,86	6	0	100	90	0,41	1,02
16	80 b	0,83	0	0	0	100	0,00	0,00
16	81 a	0,83	0	0	0	100	0,00	0,00
16	81 b	0,87	0	0	0	100	0,00	0,00
16	82 a	0,87	0	0	0	100	0,00	0,00
16	82 b	0,88	0	0	0	100	0,00	0,00
16	83 a	0,98	0	0	0	100	0,00	0,00

Onde: CP = corpo de prova; Me = massa específica (g/cm³); AB 2H (%) = Absorção em peso após 2 horas de imersão; AB 24H (%) = Absorção em peso após 24 horas de imersão.

TABELA 23: Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas dos compósitos (IE 15 C).

Trat.	CP	Me (g/cm ³)	Nº lâm	Arroz (%)	P.mad. (%)	PEAD (%)	IE 15 C (%)
1	29 b	0,94	4	100	0	60	16,18
1	30 a	0,94	4	100	0	60	9,60
1	30 b	1,01	4	100	0	60	8,09
1	31 a	1,01	4	100	0	60	6,25
1	31 b	0,93	4	100	0	60	12,13
1	32 a	0,93	4	100	0	60	9,29
1	32 b	0,98	4	100	0	60	9,18
1	33 a	0,98	4	100	0	60	15,71
1	33 b	0,93	4	100	0	60	9,32
2	27 a	0,93	4	100	0	60	14,33
2	27 b	0,91	4	75	25	60	15,78
2	28 a	0,91	4	75	25	60	28,92
2	28 b	0,91	4	75	25	60	38,19
2	35 a	0,91	4	75	25	60	8,96
2	35 b	0,90	4	75	25	60	14,59
2	36 a	0,90	4	75	25	60	11,03
3	25 a	0,87	4	75	25	60	24,06
3	26 a	0,93	4	50	50	60	24,34
3	26 b	0,91	4	50	50	60	28,37
3	37 a	0,91	4	50	50	60	41,67
3	37 b	0,94	4	50	50	60	16,67
3	38 a	0,94	4	50	50	60	27,33
3	38 b	0,86	4	50	50	60	21,87
3	39 a	0,86	4	50	50	60	14,47
4	23 a	0,87	4	50	50	60	14,11
4	23 b	0,89	4	25	75	60	11,57
4	24 a	0,89	4	25	75	60	22,45
4	24 b	0,93	4	25	75	60	21,07
4	40 a	0,93	4	25	75	60	16,97
4	40 b	0,94	4	25	75	60	22,72
4	41 a	0,94	4	25	75	60	11,13
4	42 a	0,90	4	25	75	60	21,36
4	69 a	0,85	4	25	75	60	11,81
4	70 a	0,85	4	25	75	60	19,86
5	21 a	0,98	4	25	75	60	36,62
5	21 b	0,92	4	0	100	60	32,09
5	22 a	0,92	4	0	100	60	22,10
5	22 b	0,90	4	0	100	60	31,73
5	44 a	0,90	4	0	100	60	33,10
5	45 a	0,88	4	0	100	60	27,08
5	66 a	1,00	4	0	100	60	32,13
5	76 a	0,89	4	0	100	60	11,56
6	19 a	0,93	4	0	100	60	1,68
6	19 b	0,90	5	100	0	75	1,99
6	20 a	0,90	5	100	0	75	8,67
6	20 b	0,91	5	100	0	75	4,31
6	46 a	0,91	5	100	0	75	1,70
6	46 b	0,91	5	100	0	75	2,87
6	47 a	0,91	5	100	0	75	1,83
6	47 b	0,91	5	100	0	75	3,40
6	71 a	0,91	5	100	0	75	2,86

Contin...							
6	71 b	0,90	5	100	0	75	2,40
6	72 a	0,90	5	100	0	75	1,67
6	72 b	0,84	5	100	0	75	2,02
6	73 a	0,84	5	100	0	75	3,68
6	73 b	0,84	5	100	0	75	1,93
7	17 a	0,84	5	100	0	75	4,42
7	17 b	0,90	5	75	25	75	1,91
7	18 a	0,90	5	75	25	75	2,78
7	18 b	0,88	5	75	25	75	3,69
7	48 a	0,88	5	75	25	75	8,00
7	48 b	0,89	5	75	25	75	3,63
7	49 a	0,89	5	75	25	75	3,05
7	49 b	0,93	5	75	25	75	3,06
8	15 a	0,93	5	75	25	75	5,07
8	15 b	0,98	5	50	50	75	5,72
8	16 a	0,98	5	50	50	75	3,32
8	16 b	0,87	5	50	50	75	4,10
8	50 a	0,87	5	50	50	75	4,13
8	50 b	0,90	5	50	50	75	4,01
8	51 a	0,90	5	50	50	75	1,88
8	51 b	0,93	5	50	50	75	3,63
9	13 a	0,93	5	50	50	75	4,93
9	13 b	0,96	5	25	75	75	5,55
9	14 a	0,96	5	25	75	75	3,75
9	14 b	0,91	5	25	75	75	3,48
9	52 a	0,91	5	25	75	75	2,28
9	52 b	0,94	5	25	75	75	4,12
9	53 a	0,94	5	25	75	75	2,44
9	53 b	0,96	5	25	75	75	1,89
10	11 a	0,96	5	25	75	75	8,41
10	11 b	0,91	5	0	100	75	6,14
10	12 a	0,91	5	0	100	75	4,42
10	12 b	1,01	5	0	100	75	6,43
10	54 a	1,01	5	0	100	75	3,09
10	54 b	0,96	5	0	100	75	4,71
10	55 a	0,96	5	0	100	75	5,95
10	55 b	1,05	5	0	100	75	9,31
11	9 a	1,05	5	0	100	75	0,37
11	9 b	0,93	6	100	0	90	0,56
11	10 a	0,93	6	100	0	90	0,55
11	10 b	0,92	6	100	0	90	0,11
11	56 a	0,92	6	100	0	90	0,60
11	56 b	0,93	6	100	0	90	0,48
11	57 a	0,93	6	100	0	90	0,49
11	57 b	0,91	6	100	0	90	0,61
12	7 a	0,91	6	100	0	90	0,56
12	7 b	0,90	6	75	25	90	0,45
12	8 a	0,90	6	75	25	90	0,18
12	8 b	0,95	6	75	25	90	1,14
12	58 a	0,95	6	75	25	90	0,80
12	58 b	0,92	6	75	25	90	0,66
12	59 a	0,92	6	75	25	90	1,14
12	59 b	0,97	6	75	25	90	0,51
13	5 a	0,97	6	75	25	90	0,55

Contin...

13	5 b	0,98	6	50	50	90	0,48
13	6 a	0,98	6	50	50	90	0,65
13	6 b	0,95	6	50	50	90	0,27
13	60 a	0,95	6	50	50	90	0,96
13	60 b	0,93	6	50	50	90	0,76
13	61 a	0,93	6	50	50	90	0,62
13	61 b	0,98	6	50	50	90	1,39
14	3 a	0,98	6	50	50	90	0,68
14	3 b	0,91	6	25	75	90	0,60
14	4 a	0,91	6	25	75	90	0,43
14	4 b	0,94	6	25	75	90	0,74
14	62 a	0,94	6	25	75	90	1,06
14	62 b	0,96	6	25	75	90	1,02
14	63 a	0,96	6	25	75	90	1,35
14	63 b	0,95	6	25	75	90	0,23
15	1 a	0,95	6	25	75	90	0,27
15	1 b	0,99	6	0	100	90	1,34
15	2 a	0,99	6	0	100	90	0,06
15	2 b	1,00	6	0	100	90	0,38
15	64 a	1,00	6	0	100	90	0,69
15	64 b	1,00	6	0	100	90	0,53
15	65 a	1,00	6	0	100	90	0,92
15	65 b	0,96	6	0	100	90	0,17
15	75 a	0,96	6	0	100	90	0,77
15	75 b	0,86	6	0	100	90	1,36
16	80 a	0,86	6	0	100	90	0,00
16	80 b	0,83	0	0	0	100	0,00
16	81 a	0,83	0	0	0	100	0,00
16	81 b	0,87	0	0	0	100	0,00
16	82 a	0,87	0	0	0	100	0,00
16	82 b	0,88	0	0	0	100	0,00
16	83 a	0,98	0	0	0	100	0,00

Onde: CP = corpo de prova; Me = massa específica (g/cm³);
 IE 15C (%) = Inchamento em espessura após 15 ciclos de imersão.

ANEXO 4.

Análise de variância da regressão.

TABELA 24: Análise de variância da regressão para o MOE.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	8,55421E-9	3	2,8514E-9	19,81	0,0000
Resíduo	1,06535E-8	74	1,43966E-10		
Total	1,92077E-8	77			

TABELA 25: Análise de variância da regressão para o MOE.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	1,61642	2	0,80821	27,20	0,0000
Resíduo	2,22868	75	0,0297158		
Total	3,8451	77			

TABELA 26: Análise de variância da regressão para a $\sigma_{2,5}$.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	9636,24	1	9636,24	52,12	0,0000
Resíduo	14050,3	76	184,872		
Total	23686,5	77			

TABELA 27: Análise de variância da regressão para a $\sigma_{2,5}$.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	0,000646178	1	0,000646178	36,01	0,0000
Resíduo	0,00136361	76	0,0000179423		
Total	0,00200979	77			

TABELA 28: Análise de variância da regressão para a $\sigma_{2,5}$.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	108,151	1	108,151	38,99	0,0000
Resíduo	210,8	76	2,77368		
Total	318,951	77			

TABELA 29: Análise de variância da regressão para σ_{LP} .

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	67919,5	3	22639,8	11,80	0,0000
Resíduo	141957,0	74	19,18,34		
Total	209877,0	77			

TABELA 30: Análise de variância da regressão para σ_{LP} .

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	0,0000587265	3	0,0000195755	13,44	0,0000
Resíduo	0,000107757	74	740,00000145618		
Total	0,000166484	77			

TABELA 31: Análise de variância da regressão para σ_{LP} .

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	1,903777	3	0,63459	13,79	0,0000
Resíduo	3,40497	74	0,0460131		
Total	5,30874	77			

TABELA 32: Análise de variância da regressão para σ_{LP} .

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	1,78842	3	0,59614	12,53	0,0000
Resíduo	3,52032	74	0,0475718		
Total	5,30874	77			

TABELA 33: Análise de variância da regressão para tração perpendicular.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	79,154	1	79,154	455,10	0,0000
Resíduo	20,8712	120	0,173926		
Total	100,025	121			

TABELA 34: Análise de variância da regressão para tração perpendicular.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	158,205	1	158,205	360,31	0,0000
Resíduo	52,689	120	0,439075		
Total	210,894	121			

TABELA 35: Análise de variância da regressão para tração perpendicular.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	77,7312	1	77,7312	418,40	0,0000
Resíduo	22,294	120	0,185783		
Total	100,025	121			

TABELA 36: Análise de variância da regressão para IE 24 H.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	138,417	2	69,2085	310,40	0,0000
Resíduo	30,1003	135	0,222965		
Total	168,517	137			

TABELA 37: Análise de variância da regressão para IE 24 H.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	175,763	2	87,8813	264,27	0,0000
Resíduo	42,5652	128	0,332541		
Total	218,328	130			

TABELA 38: Análise de variância da regressão para IE 24 H.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	123,74	2	61,8698	186,53	0,0000
Resíduo	44,7777	135	0,331687		
Total	168,517	137			

TABELA 39: Análise de variância da regressão para AB 24 H.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	191,672	1	191,672	1540,68	0,0000
Resíduo	16,0485	129	0,124407		
Total	207,721	130			

TABELA 40: Análise de variância da regressão para AB 24 H.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	15713,8	1	15713,8	2377,47	0,0000
Resíduo	892,277	135	6,60946		
Total	16606,1	136			

TABELA 41: Análise de variância da regressão para AB 24 H.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	11079,5	2	5539,76	701,77	0,0000
Resíduo	1065,69	135	7,894		
Total	12145,2	137			

TABELA 42: Análise de variância da regressão para IE 15 Ciclos.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	260,967	2	130,484	462,54	0,0000
Resíduo	36,1094	128	0,2821041		
Total	297,076	130			

TABELA 43: Análise de variância da regressão para IE 15 Ciclos.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	317,44	2	158,72	355,71	0,0000
Resíduo	60,2377	135	0,446205		
Total	377,678	137			

TABELA 44: Análise de variância da regressão para IE 15 Ciclos.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	8883,4	3	2961,13	87,66	0,0000
Resíduo	4526,62	134	33,7807		
Total	13410,0	137			