

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

**APROVEITAMENTO DA CASCA DE ARROZ PARA  
FABRICAÇÃO DE CHAPAS AGLOMERADAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Joel Telles de Souza**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

# **APROVEITAMENTO DA CASCA DE ARROZ PARA FABRICAÇÃO DE CHAPAS AGLOMERADAS**

**Joel Telles de Souza**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Clovis Roberto Haselein**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Telles de Souza, Joel

Aproveitamento da casca de arroz para fabricação de chapas aglomeradas / Joel Telles de Souza.-2012.

94 f.; 30cm

Orientador: Clovis Roberto Haselein

Coorientadores: Elio José Santini, Darci Alberto Gatto

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012

1. beneficiamento do arroz 2. resíduos 3. propriedades físico-mecânicas 4. resistência biológica 5. tanino-formaldeído I. Roberto Haselein, Clovis II. Santini, Elio José III. Alberto Gatto, Darci IV. Título.

---

©2012

Todos os direitos autorais reservados a Joel Telles de Souza. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Avenida Roraima, nº 1000, prédio 44, sala 5006. Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97105-900;

Endereço Eletrônico: joel.telles@yahoo.com.br

---

**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

**APROVEITAMENTO DA CASCA DE ARROZ PARA  
FABRICAÇÃO DE CHAPAS AGLOMERADAS**

elaborada por  
**Joel Telles de Souza**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Clovis Roberto Haselein, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Érika da Silva Ferreira, Dr<sup>a</sup>. (UFPel)**

---

**Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 5 de junho de 2012.

*A Deus, minha esposa e meus pais,  
que foram base para esta etapa,  
dedico esta obra.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser luz nos meus caminhos, braço forte, escudo, fortaleza, refúgio, conselheiro e amigo fiel nas dificuldades. A Ele os agradecimentos, pelo entendimento e sabedoria concedidos para escrever cada linha deste trabalho.

À minha esposa, mulher virtuosa, auxiliadora, conselheira e amiga, pelo incentivo e apoio em todo o tempo, pela compreensão e paciência nos momentos de minha ausência. Sem ela não concluiria esta etapa.

Aos meus pais e irmã, pelo apoio e toda confiança depositada durante o tempo que estive distante para a realização deste sonho em comum. Minha mãe, sinônimo de mão amiga nas horas em que precisei. Meu pai, exemplo de força, garra e determinação, características servidas de motivação para prosseguir nesta caminhada.

Ao meu sogro e minha sogra, pelas inúmeras orações e palavras de sabedoria, que serviram de “combustível” para seguir adiante. Ao meu cunhado, por ser motivo de risos e alegria em diversas ocasiões de minha vida.

Ao meu Orientador Clovis Roberto Haselein, pelo aprendizado, orientações e confiança e pela amizade formada nestes anos de trabalho e convívio.

Aos Professores e Co-orientadores Elio José Santini e Darci Alberto Gatto, pelas orientações, amizade e apoio.

Ao Engenheiro Florestal Alencar Garlet e ao Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília, pela execução dos ensaios de resistência biológica a fungos apodrecedores.

Aos membros da banca, Érika da Silva Ferreira e Rômulo Trevisan, que gentilmente vieram presenciar esse momento de suma importância na minha vida.

Aos funcionários do LPF, Fabiana Ratzlaff, Tarso Michelotti e Nelson de Castro, pelo auxílio e contribuição durante a realização deste estudo.

A todos os amigos e colegas de laboratório, pela amizade, solidariedade, incentivo, ajuda e, principalmente, pela paciência nas horas difíceis. Com certeza, serão amigos para toda a vida.

À empresa Seta e a beneficiadora de arroz Cerealista De David Ltda, pela doação do material para realização da pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela estrutura e apoio logístico necessário no desenvolvimento do estudo.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (PPGEF-UFSM), pela oportunidade de realização do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização desse trabalho.

*“Feliz é o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento; pois melhor é o lucro que ela dá do que o da prata, e melhor a sua renda do que o ouro mais fino.”*

(Provérbios 3: 13-14)



## RESUMO

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

### APROVEITAMENTO DA CASCA DE ARROZ PARA FABRICAÇÃO DE CHAPAS AGLOMERADAS

Autor: Joel Telles de Souza  
Orientador: Clovis Roberto Haselein  
Data: Santa Maria, 5 de junho de 2012.

A casca de arroz, resíduo produzido pelo beneficiamento deste grão, tem se tornado um problema de ordem ambiental, econômica e de saúde pública. Em vista disso, a presente investigação tem como objetivo avaliar o aproveitamento deste resíduo para a fabricação de chapas aglomeradas, coladas com tanino-formaldeído. Para tanto, foram utilizadas casca de arroz na forma natural ou processada em moinho de martelo, compactadas a diferentes massas específicas (0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>) e aplicando-se teores de adesivos de 7, 10 e 13% (com base no peso seco das partículas), totalizando 54 chapas. Os ensaios físicos realizados foram teor de umidade, massa específica, absorção d'água e inchamento em espessura; e mecânicos, de flexão estática, arrancamento de parafuso e ligação interna. Para complementar o estudo, realizou-se ensaios biológicos para determinar a resistência ao ataque de fungos apodrecedores *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*. Os resultados foram submetidos ao teste de correlação simples de Pearson e analisados por regressão. De modo geral, a utilização da casca de arroz proporcionou uma redução na resistência física e mecânica das chapas, em relação as produzidas com partículas de madeira encontradas na literatura. Todos os tratamentos ficaram abaixo dos valores mínimos requeridos pelas normas de comercialização para os ensaios físicos e mecânicos, somente os de 13% de adesivo apresentaram resistência satisfatória quanto à estabilidade dimensional. O melhor desempenho foi verificado nos testes biológicos. De acordo com os requisitos da norma americana, todos os tratamentos foram classificados como resistentes ao fungo *Trametes versicolor* para podridão branca. No fungo *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda), a maioria dos tratamentos foram classificados como moderadamente resistente. Portanto, esta matéria-prima revelou-se uma alternativa de elevado potencial para a manufatura de chapas de maior resistência a fungos apodrecedores.

**Palavras-chave:** Beneficiamento do arroz. Resíduos. Propriedades físico-mecânicas. Resistência biológica. Tanino-formaldeído.

## ABSTRACT

Master's Thesis  
Master's Degree Program in Forest Engineering  
Federal University of Santa Maria

### UTILIZATION OF RICE HUSK FOR MANUFACTURE OF PARTICLEBOARD

Author: Joel Telles de Souza  
Advisor: Clovis Roberto Haselein  
Date: Santa Maria, June 05, 2012.

Rice husk, waste produced by processing of rice, has become a problem of environmental, economic and public health. As a result, this research aims to explore the potential of these underutilized resources in Brazil in the development of particleboard glued with tannin-formaldehyde. Therefore, panels were manufactured with rice husk compacted at different density (0.65, 0.95 and 1.15 g/ cm<sup>3</sup>), levels of adhesives (7, 10 and 13%) and particles types (natural and processed), totaling 54 panels. The physical tests performed were moisture content, density, water absorption and thickness swelling and mechanical were static bending, screw withdrawal and internal bond. In order to complement the study, there were conducted biological tests for resistance to decay fungi *Trametes versicolor* and *Gloeophyllum trabeum*. The results were analysed by for simple correlation and regression. In general, the use of rice hulls provided a reduction in strength of the compared to those made with wood particles. All particleboard were below the minimum standards in physical and mechanical tests; only the panels with 13% resin provided minimum values required by market standards regarding dimensional stability. The best performance of the panels developed in this work was found in biological tests. According to the criteria of the american standard, all treatments were classified as resistant to the fungus *Trametes versicolor* to white rot. In fungus *Gloeophyllum trabeum* (brown rot), most treatments were classified as moderately resistant. Therefore, this raw material, has proven to be an alternative with great potential for making panels for greater resistance to decay fungi.

**Keywords:** Rice hulls processing. Waste. Physical-mechanical properties. Biological resistance. Tannin-formaldehyde.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classes de resistência ao apodrecimento com fungos xilófagos, segundo a norma ASTM D 2017 (2005).....	48
Tabela 2 –	Delineamento experimental.....	49
Tabela 3 –	Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e teor de umidade de equilíbrio (TUEq).....	51
Tabela 4 –	Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de absorção d'água após 2 e 24 horas (AA2H e AA24H).....	53
Tabela 5 –	Matriz de correlação simples de Pearson para absorção d'água dos chapas.....	54
Tabela 6 –	Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de inchamento em espessura após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H).....	57
Tabela 7 –	Matriz de correlação simples de Pearson para inchamento em espessura dos chapas .....	58
Tabela 8 –	Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).....	61
Tabela 9 –	Matriz de correlação simples de Pearson para as propriedades de flexão estática .....	62
Tabela 10 –	Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de arrancamento de parafusos (AP).....	67
Tabela 11 –	Matriz de correlação simples de Pearson para o arrancamento de parafuso .....	69
Tabela 12 –	Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de ligação interna (LI).....	70
Tabela 13 –	Matriz de correlação simples de Pearson para a ligação interna.....	71

Tabela 14 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (ME <sub>n</sub> ) e observada (ME <sub>o</sub> ) e valores médios de perda de massa (PM) para os fungos <i>Trametes versicolor</i> e <i>Gloeophyllum trabeum</i> .....	74
Tabela 15 – Matriz de correlação simples de Pearson para a perda de massa através do ensaio de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos .....	75

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Processo de preparo das partículas. Moinho de martelos (A), estufa de secagem (B) ..... 33
- Figura 2 – Preparo da solução tanino + água para hidratação em 24 horas (A), pHmetro (B)..... 34
- Figura 3 – Processo de produção dos painéis aglomerados. Tambor rotativo (A), prensagem do colchão a frio em caixa formadora (B), prensagem definitiva a quente em prensa hidráulica (C), barras de aço com altura de 9,5 mm (D) ..... 35
- Figura 4 – Medição da espessura do corpo-de-prova através de relógio comparador e a direita paquímetro digital para as dimensões laterais (A), teste de absorção d'água e inchamento em espessura (B)..... 37
- Figura 5 – Máquina universal de ensaios utilizada (A), visualização mais aproximada do teste de flexão estática (B), momento do rompimento do corpo-de-prova (C), detalhe do corpo-de-prova rompido (D) ..... 39
- Figura 6 – Corpo-de-prova colado face a face e com o parafuso inserido para a realização do ensaio (A), teste de resistência ao arrancamento de parafusos (B)..... 40
- Figura 7 – Colagem das amostras nos blocos de metal (A), visualização do teste de ligação interna (B) ..... 41
- Figura 8 – Fungo *Trametes versicolor* para podridão branca (A), *Gloeophyllum trabeum* para podridão parda (B) ..... 42
- Figura 9 – Vista do interior da incubadora..... 45
- Figura 10 – cobertos por micélio dentro dos frascos de ensaio (A), retirados dos frascos de ensaio e com micélio ainda aderido (B)..... 46
- Figura 11 – Imagem que retrata o final do ensaio, com duas amostras cobertas por micélio dos fungos, e a amostra à direita sem a inoculação, servindo como bloco de correção..... 47
- Figura 12 – Valores de absorção d'água (2 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos ..... 54
- Figura 13 – Valores de absorção d'água (24 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos ..... 55

Figura 14 – Valores de inchamento em espessura (2 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos.....	58
Figura 15 – Valores de inchamento em espessura (24 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos.....	60
Figura 16 – Valores de módulo de ruptura observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos .....	63
Figura 17 – Valores de módulo de elasticidade observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos .....	64
Figura 18 – Modelo estimado do módulo de ruptura através do módulo de elasticidade, para chapas de partículas naturais e processadas .....	65
Figura 19 – Valores de arrancamento de parafusos observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos .....	68
Figura 20 – Valores de ligação interna observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos .....	71
Figura 21 – Valores de perda de massa observados e ajustados para o fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i> , em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos .....	76

## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1 – Tabela para seleção de modelo para AA2H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....90
- Apêndice 2 – Tabela para seleção de modelo para AA2H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....90
- Apêndice 3 – Tabela para seleção de modelo para AA24H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....90
- Apêndice 4 – Tabela para seleção de modelo para AA24H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....91
- Apêndice 5 – Tabela para seleção de modelo para IE2H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....91
- Apêndice 6 – Tabela para seleção de modelo para IE2H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....91
- Apêndice 7 – Tabela para seleção de modelo para IE24H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....91
- Apêndice 8 – Tabela para seleção de modelo para IE24H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....92
- Apêndice 9 – Tabela para seleção de modelo para MOR em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....92
- Apêndice 10 – Tabela para seleção de modelo para MOR em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....92
- Apêndice 11 – Tabela para seleção de modelo para MOE em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....92
- Apêndice 12 – Tabela para seleção de modelo para MOE em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....93
- Apêndice 13 – Tabela para seleção de modelo para AP em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....93
- Apêndice 14 – Tabela para seleção de modelo para AP em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....93
- Apêndice 15 – Tabela para seleção de modelo para LI em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz .....93

Apêndice 16 – Tabela para seleção de modelo para LI em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz.....	94
Apêndice 17 – Tabela para seleção de modelo para PM por <i>Gloeophyllum trabeum</i> em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz.....	94
Apêndice 18 – Tabela para seleção de modelo para PM por <i>Gloeophyllum trabeum</i> em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz .....	94



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>21</b>
2.1 Objetivo geral .....	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
3.1 Cultura do arroz.....	22
3.2 Casca de arroz.....	23
3.3 Chapas aglomerados e matéria-prima para sua confecção .....	24
3.4 Chapas de casca de arroz .....	25
3.5 Adesivos para produção de chapas aglomeradas .....	27
3.5.1 Adesivos à base de tanino .....	28
3.5.2 Formulações de adesivos à base de tanino .....	31
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
4.1 Obtenção e preparo da matéria-prima .....	33
4.2 Fabricação das chapas .....	34
4.3 Ensaios físicos, mecânicos e biológicos .....	36
4.3.1 Massa específica e teor de umidade .....	36
4.3.2 Absorção d'água e inchamento em espessura .....	37
4.3.3 Flexão estática .....	38
4.3.4 Arrancamento de parafusos .....	39
4.3.5 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna).....	40
4.3.6 Ensaio biológico de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos .....	41
4.3.6.1 Preparação dos .....	41
4.3.6.2 Fungos xilófagos e condições de ensaio .....	42
4.3.6.3 Frascos de ensaio .....	43
4.3.6.4 Blocos de correção .....	46
4.3.6.5 Espécies de referência .....	47
4.3.6.6 Perda de massa e classificação por classes de resistência .....	48
4.4 Delineamento experimental.....	48
4.5 Análises dos resultados .....	49
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
5.1 Propriedades físicas das chapas .....	51
5.1.1 Massa específica e teor de umidade .....	51
5.1.2 Absorção d'água .....	52
5.1.3 Inchamento em espessura .....	56
5.2 Propriedades mecânicas dos painéis .....	61
5.2.1 Flexão estática .....	61

5.2.2 Arrancamento de parafusos .....	66
5.2.3 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna).....	70
<b>5.3 Propriedades biológicas de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos .....</b>	<b>73</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>80</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>90</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As chapas de madeira aglomerada foram desenvolvidas com o intuito de fornecer alternativas para a utilização de resíduos produzidos pela atividade madeireira. Pela composição simples (madeira, adesivo e parafina), baixa complexidade de fabricação e baixo custo, o aglomerado ganhou rapidamente a aceitação dos consumidores pelo mundo.

Além da madeira, as chapas aglomeradas podem incorporar resíduos resultantes de outras atividades como o beneficiamento de grãos. Dentre esses, pode-se destacar o arroz (*Oryza sativa* L). Esta cultura no Rio Grande do Sul tem importante papel na economia regional, sendo a principal atividade econômica de inúmeros municípios do estado, notadamente na Metade Sul.

A produção de resíduos na cultura do arroz está relacionada a palha e, principalmente, a casca, que corresponde a aproximadamente 20% do peso do arroz. Composta de sílica, a casca implica em três problemas principais: primeiro, de ordem ambiental, esses resíduos, por serem de difícil decomposição, permanecem no solo por vários anos, causando agressão ao meio ambiente. Segundo, de saúde pública, já que a sua queima, às vezes, a céu aberto, prática ainda empregada em muitos casos, gera produtos tóxicos ao homem. O terceiro problema é de ordem econômica, já que a não utilização desse material constitui uma forma de desperdício, uma vez que a ele poderia ser agregado valor para então servir de incremento na renda do produtor.

Segundo Melo (2009), no Rio Grande do Sul, tem-se um volume expressivo desse resíduo concentrado na Metade Sul do estado, o que facilita a logística de sua utilização. Estimando-se que, aproximadamente, 45 a 50% do volume nacional de arroz é produzido no estado, ter-se-ia aproximadamente um milhão de toneladas de casca de arroz anualmente (IRGA, 2005). Uma fábrica de chapas aglomeradas de médio porte consome, por ano, de 200 a 500 mil toneladas de matéria-prima (madeira). Então, esse volume seria suficiente para suprir a demanda de mais de uma unidade industrial. Nesse sentido, está se buscando desenvolver formas de aproveitamento desse material na fabricação de chapas aglomeradas, para evitar ou diminuir o problema ambiental, de saúde pública e econômico.

Por outro lado, colagens com adesivos à base de tanino têm-se mostrado eficientes, com propriedades muitas vezes superiores aos da ureia-formaldeído, principal adesivo empregado no Brasil atualmente. Possui como vantagens ser de fonte renovável e produzido em escala industrial no Rio Grande do Sul.

Em vista disso, a presente investigação pretende explorar o potencial desses recursos subutilizados no Brasil no desenvolvimento de chapas aglomeradas.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

O presente estudo tem como objetivo avaliar o aproveitamento de casca de arroz (*Oryza sativa* L) para a fabricação de chapas aglomeradas, coladas com adesivo à base de tanino-formaldeído.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar e avaliar a influência de três teores de adesivos (7, 10 e 13%) à base de tanino-formaldeído, três classes de massa específica (0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>) e dois tipos de partículas de casca de arroz (natural e processada), em chapas aglomeradas, quanto as:

- Propriedades físicas (absorção d'água e inchamento em espessura);
- Propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e módulo de ruptura por meio do teste de flexão estática, resistência ao arrancamento de parafuso e resistência à tração perpendicular à superfície da chapa ou ligação interna);
- Propriedades biológicas (ensaio de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos).

## 3 REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Cultura do arroz

Segundo o Ministério da Agricultura (2012), o arroz está entre os cereais mais consumidos no mundo. O cultivo do arroz ocupa o segundo lugar em área plantada no mundo, só perdendo para o trigo. O maior produtor é a China, seguido da Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnã e outros.

Em 2005 o Brasil ocupava o décimo lugar, produzindo cerca de 2% da produção mundial (ABIAP, 2005). Kaefer (2002) e o Ministério da Agricultura (2005) relataram que o Brasil produzia cerca de 12 milhões de toneladas de arroz com casca anualmente. Entre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul já era o maior produtor, ocupando uma área plantada de aproximadamente um milhão de hectares. O rendimento médio era de 6.000 kg/ha, com percentuais de 45 a 50% da produção nacional, variando de acordo com as condições climáticas de cada safra (IRGA, 2005).

Nos dias atuais, segundo o Ministério da Agricultura (2012), o Brasil é o nono maior produtor mundial e colheu 11,26 milhões de toneladas na safra 2009/2010, em uma área de cultivo menor. A produção está distribuída nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso. O cultivo de arroz irrigado, praticado na região Sul do Brasil contribui, em média, com 54% da produção nacional, sendo que o Rio Grande do Sul continua sendo o maior produtor brasileiro. Em Santa Catarina, o plantio por meio do sistema pré-germinado responde pelo segundo lugar na produção do grão irrigado, com 800 mil toneladas anuais.

Ainda segundo o Ministério da Agricultura (2012), as projeções de produção e consumo de arroz, avaliadas pela Assessoria de Gestão Estratégica do Mapa, mostram que o Brasil vai colher 14,12 milhões de toneladas de arroz na safra 2019/2020. Equivale ao aumento anual da produção de 1,15% nos próximos dez anos. O consumo deverá crescer a uma taxa média anual de 0,86%, alcançando 14,37 milhões de toneladas em 2019/2020. Assim, a importação projetada para o final do período é de 652,85 mil toneladas. A taxa anual projetada para o consumo

de arroz nos próximos anos, de 0,86%, está pouco abaixo da expectativa de crescimento da população brasileira.

### 3.2 Casca de arroz

A casca de arroz é um revestimento ou capa protetora formada durante o crescimento do grão, de baixa densidade e elevado volume. É um material fibroso, cujos maiores constituintes são celulose (50%), lignina (30%) e resíduos inorgânicos (20%). O resíduo inorgânico contém, em média, 95 a 98%, em peso, de sílica, na forma amorfa hidratada, perfazendo 13 a 29% do total da casca (HOUSTON, 1972 apud POUEY, 2006). Patel et al. (1987) encontraram percentuais de 22% de  $\text{SiO}_2$ , 74% de material orgânico e água, e em torno de 4% de outros elementos constituintes como  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{MnO}_2$ . A lignina e a celulose são removidas durante a queima da casca.

Segundo Foletto et al. (2005), a produção de casca de arroz no mundo chega a 80 milhões de toneladas anuais, sendo a Índia responsável por 22 milhões. Somente no estado do Rio Grande do Sul foram produzidas 6,310 milhões de toneladas de arroz na safra 2003/2004. Sabendo-se que as cascas representam 20% desse valor, a produção anual desse rejeito no estado é da ordem de 1.162.000 toneladas.

A casca de arroz é composta por quatro camadas estruturais, fibrosas, esponjosas ou celulares (HOUSTON, 1972 apud POUEY, 2006):

- epiderme externa, coberta por uma espessa cutícula de células silificadas;
- esclerênquima ou fibra hipoderme, com parede lignificada;
- célula parênquima esponjosa;
- epiderme interna.

Para Della (2001), a sílica está mais concentrada na epiderme externa, contudo, uma pequena, mas significativa, quantidade reside na camada interna adjacente ao grão de arroz (JAMES e RAO, 1986; KRISHNARAO e GODKHINDI, 1992).

Considerando valores médios, a massa específica a granel da casca de arroz é de  $101 \text{ kg/m}^3$ , a massa específica aparente é de  $900 \text{ kg/m}^3$  e a massa específica absoluta é de  $1400 \text{ kg/m}^3$  (AGOPYAN, 1991).

### 3.3 Chapas aglomeradas e matéria-prima para sua confecção

As chapas aglomeradas podem ser fabricadas a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira resistência mecânica adequada. Segundo Dacosta (2004), a matéria-prima pode resultar de madeira extraída das florestas ou reflorestamentos, bem como do aproveitamento de resíduos industriais florestais ou de agricultura com a finalidade direta de abastecer a indústria de aglomerados.

No Brasil, as matérias-primas utilizadas na confecção de chapas são basicamente madeiras de *Pinus* sp. (OKINO et al., 2004) e *Eucalyptus* sp. (PEDRAZZI et al., 2006), principalmente na forma de madeira roliça. Keinert (1993) afirma que essas madeiras são as preferidas devido ao crescimento rápido, à rotação curta e às altas taxas de retorno.

Nos últimos anos, a tendência pela utilização de resíduos pela indústria nacional tem despertado o interesse de vários autores (BRITO, 1996; SANTANA e TEIXEIRA, 1996; OKINO et al., 1997; TEIXEIRA et al., 1997; OKINO et al., 1998; OKINO et al., 2004; PEDRAZZI et al., 2006; entre outros).

Um material deixa de ser resíduo pela sua valorização como matéria-prima, para fabricação de novos produtos. Nesse caso, o resíduo passa a ser tratado como subproduto do processo produtivo (VALLE, 1995).

Segundo Fagundes (2003), a utilização de restos de madeira, especialmente aqueles oriundos de serrarias, vem sendo estudada pelas empresas produtoras no Brasil, em função do provimento de madeira, acompanhando decisões que mantenham a qualidade, tais como classificação por espécie, idade da tora, seleção de tipos e armazenagem. Embora teoricamente a maior parte desta matéria-prima possa ser utilizada no processo de produção de aglomerados, exige-se que seja limpo, necessitando, para isso, que as serrarias se adaptem ao desdobro de madeira sem a casca.



Fagundes (2003), também relata que a geração de resíduos nas serrarias do estado do Rio Grande do Sul situa-se numa faixa entre 35 e 45 % para pinus e entre 40 e 50 % para as serrarias de madeira de eucalipto.

Na etapa do desdobro são gerados, serragem ou pó de serra, costaneiras, lascas, maravalhas, resíduos do refilamento, aparas ou destopo e casca (FAO, 1975; IWAKIRI et al., 2000; FAGUNDES, 2003; HASELEIN et al., 2002).

A agroindústria gera resíduos que também podem constituir importante fonte de matéria-prima para produção de componentes construtivos, dependendo das quantidades disponíveis e dispersão geográfica (JOHN, 1996). Grandes quantidades de resíduos são produzidas todos os anos em culturas como cana-de-açúcar, milho, soja e arroz, por exemplo.

Santana e Teixeira (1996) investigaram a possibilidade de fabricar aglomerados com bagaço de cana-de-açúcar, resíduo da exploração sucro-alcooleira.

Algumas causas que influenciam a resistência de chapas fabricadas com resíduos agrícolas incluem a cera, os tipos de célula da planta, que ocasionam laços fracos entre as partículas, e os extrativos, que afetam a cura da resina (Loxton & Hague, 1997). Estes autores recomendam que seja considerado o tamanho das partículas, a formulação de resina e os pré-tratamentos para remover ceras, extrativos, etc.

Rijo (1988), em seu estudo sobre aglomerados de bambu, observou que, aumentando-se o conteúdo de resina, melhora a ligação interna em todas as densidades aplicadas.

Teixeira et al. (1997) observaram que as chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram uma resistência natural da madeira à deterioração pelos fungos dos gêneros *Pycnoporus* e *Gloeophyllum*.

### **3.4 Chapas de casca de arroz**

De acordo com Riceboard (2007), o desenvolvimento da tecnologia para manufatura de chapas aglomeradas, 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. Estas chapas podem substituir os aglomerados de partículas de madeira em diversos tipos de uso.

Apesar de Vasishth (1971) afirmar que a casca de arroz geralmente é considerada inadequada para a fabricação de chapas de partículas devido à grande quantidade de sílica, fibras curtas e baixa resistência a substâncias alcalinas, seus estudos demonstraram a produção de chapas satisfatórias se especialmente preparadas com 8% de fenol-formaldeído (FF) em partes por peso e prensadas a temperaturas de 154 a 210°C, durante um período de 8 a 20 minutos.

Chapas também foram confeccionadas por Anônimo (1975), com casca de arroz e 10% de adesivo fenol-formaldeído. O compósito tinha ligação interna de 551,6 kPa, módulo de ruptura (MOR) de 13,1 MPa e densidade de 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Chen (1979) também confeccionou aglomerados utilizando casca de arroz colados com FF e obteve boas propriedades com relação à absorção d'água e inchamento em espessura. Para o autor, as propriedades mecânicas poderiam ser melhoradas com o aumento da densidade e do teor de adesivo. Em outro estudo, Chen (1980) produziu aglomerados de casca de arroz e de partículas de madeira. Os resultados atenderam à norma alemã DIN 68761 para ligação interna, inchamento em espessura e absorção d'água, mas foram consideradas inadequadas em relação ao ensaio para avaliar a resistência à flexão estática. Chapas aglomeradas de casca de arroz foram investigadas também por Gerardi et al. (1998).

A utilização da casca de arroz na confecção de aglomerados é viável economicamente, já que as despesas para transportar a casca de arroz são competitivas com as de transporte de partículas de madeira. Além disso a aquisição da casca de arroz pode ser de menor custo, 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 (CHEN, 1980).

Bulakul (1970) concluiu que chapas de casca de arroz, produzidas com 50 mm de espessura, apresentaram resistência satisfatória, bom isolamento térmico e sonoro, além de alta resistência ao fogo.

Pauleski (2005) verificou que o aumento na proporção de casca de arroz em relação às partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade (HDPE) diminuiu a absorção d'água e o inchamento em espessura. No entanto, a resistência mecânica

dos aglomerados contendo partículas de madeira foi maior. Lee et al. (2003) também concluíram que as chapas produzidas com farinha de casca de arroz (30 e 300 micrômetros) eram inferiores aos similares produzidos com madeira.

Hse e Choong (2002) conduziram estudos para desenvolver um adesivo efetivo e econômico para melhorar as propriedades físicas e mecânicas de aglomerados de casca de arroz. Três adesivos foram testados: ureia-formaldeído (UF), FF e di-isocianato (MDI) em diferentes formulações. Chapas coladas com 1% MDI / 6% UF apresentaram os valores superiores de ligação interna, MOR e MOE e estabilidade dimensional.

Por outro lado, Hiziroglu et al. (2005), ao estudarem aglomerados produzidos com diferentes proporções de *Eucalyptus camaldulensis*, palha de arroz e bambu, concluíram que as propriedades mecânicas, tais como ligação interna, MOR e MOE, eram inferiores quando comparados aos produzidos com *Eucalyptus camaldulensis* puro, sendo também relatada uma estabilidade dimensional inferior. Palha de arroz em combinação com adesivo UF (YANG et al., 2003) e partículas de pneus usados (YANG et al. 2004) foi investigada para produção de chapas. Os usos sugeridos pelos autores foram para o isolamento térmico, acústico e elétrico, e prevenção de danos causados por impacto. Xu et al. (2003) produziram aglomerados de palha de arroz coladas com adesivo MDI modificado e os resultados foram comparados com os da norma norte-americana ANSI A 208.1.

### **3.5 Adesivos para produção de chapas aglomeradas**

Tradicionalmente, os adesivos utilizados na produção de aglomerados são à base de UF (Medium Density Particleboard - MDP), FF e MDI (Oriented Strand Board – OSB).

Conforme Akers (1966), os adesivos não são menos importantes na produção de chapas onde a madeira ou outra fonte de matéria-prima seja utilizada. Além disso, o valor dos adesivos sintéticos atualmente é maior que a própria madeira, influenciando mais os custos de produção.

A escolha do tipo ideal de adesivo e as quantidades aplicadas são de fundamental importância no processo de produção de aglomerados. Wilson e

Kramer (1976) salientaram a importância da correta aplicação do adesivo, em termos de quantidade aplicada e da distribuição uniforme sobre e entre as partículas.

De acordo com Kollmann et al. (1975) e Maloney (1989), dentro do grupo das resinas termoendurecedoras, os adesivos mais usados para fabricação de chapas de partículas são as colas à base de UF e FF.

### 3.5.1 Adesivos à base de tanino

Os taninos, em geral, são ricos em fenóis e polifenóis e, por isso, quando misturados ao formaldeído geram adesivo de boa qualidade. Muitos estudos têm sido realizados a fim de descobrir uma aplicação prática de resinas à base de taninos, que são encontrados em diversas espécies florestais de vários países. Existem dois tipos principais de taninos: condensados e hidrolisáveis (SJÖSTRÖM, 1981). De acordo com Pizzi (1983), 90% da produção mundial de taninos é do tipo condensado, sendo o mais adequado para preparação de adesivos. Este é encontrado na madeira e na casca de várias espécies florestais podendo destacar-se a acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild), quebracho (*Schinopsis* sp), mangue (*Rhizophora* spp) pinus (principalmente *Pinus radiata*), casca de nozes, dentre outras. Das espécies estudadas, no entanto, as acácias têm-se mostrado mais promissoras e, em especial, a *Acacia mearnsii* De Wild, que, sem dúvida, tem sido a mais empregada.

Conforme Nock e Richter (1978), a primeira patente requerida para fabricação de adesivos à base de tanino data de 1914. No entanto, as primeiras tentativas foram insatisfatórias e os estudos destes adesivos foram abandonados. Somente a partir de 1950 é que as pesquisas foram renovadas em várias partes do mundo.

Pizzi et al. (1981) e George et al. (1976) expuseram que o tanino-formaldeído apresenta propriedades similares ao fenol-formaldeído e é utilizado industrialmente em alguns países. Recentemente também foi utilizado, no Rio Grande do Sul, para produção de chapas de partículas aglomeradas (chapa Seta), resistentes à umidade, em escala piloto.

Em relação aos adesivos à base de tanino, tem-se que ressaltar sua importância em função de existirem fábricas deste produto no Estado do Rio Grande do Sul. O tanino, fabricado para curtimento de couro, tem mercado dirigido e, além do Rio Grande do Sul, só existem fábricas de importância econômica na África do Sul. Em geral, a fração produzida que não alcançou os parâmetros necessários para venda dentro do mercado de curtimento do couro é usada para produção de adesivos (HILLIG, 2000).

Pizzi et al. (1981) fizeram uma revisão dos estudos realizados nos 10 anos anteriores, na África do Sul, sobre a produção de adesivos de taninos retirados desta espécie e sua aplicação na produção de chapas aglomeradas, compensados e laminados. Entre estes estudos encontra-se o trabalho de Coppens et al. (1980) que elaboraram adesivo à base de tanino-formaldeído para colagem de painéis aglomerados de uso externo. Pizzi (1982) também desenvolveu um adesivo por meio da combinação de tanino extraído de *Pinus patula* e di-isocianatos. O autor encontrou excelentes resultados laboratoriais com esse adesivo e o recomendou para aplicação industrial.

Fechtal e Riedl (1993) extraíram taninos da casca de *Eucalyptus astrigens*, *Eucalyptus sideroxylon* e *Acacia mearnsii* e trataram com íons sulfito ( $\text{SO}_3^{--}$ ) para superar a alta viscosidade e melhorar a reatividade. Depois de utilizar diversas combinações dos extratos na produção de aglomerados, os adesivos obtidos somente de eucaliptos não proporcionaram boa resistência à água, sendo as chapas consideradas apropriadas para uso interno. Por outro lado, os autores consideraram os taninos obtidos de acácia e as combinações, comparáveis às resinas fenol-formaldeído.

Mori et al. (2001) removeram tanino da casca de três espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus urophylla*). Apesar de considerado superior às outras espécies, as colagens com adesivos produzidos com extrato de *Eucalyptus citriodora* não resistiram aos ensaios de envelhecimento acelerado.

Sellers Junior e Miller Junior (2004) utilizaram três tipos de adesivos à base de tanino para produção em laboratório de chapas de partículas orientadas (OSB) de pinus. Os resultados preliminares foram considerados promissores e atenderam, ou até mesmo excederam, aos exigidos pela norma canadense para chapas OSB. Dix e Marytzky (1988) estudaram a utilização de adesivos à base de extratos de

casca de *Picea abies* e *Pinus sylvestris*, utilizadas puras ou com FF ou MDI como fortificantes, em aglomerados. Estes autores também utilizaram adesivo para colagem de compensados e de madeira sólida. Em todos os casos, encontraram aplicação prática destes extratos quando fortificados com as resinas sintéticas.

De modo geral, os adesivos à base de tanino têm boa resistência à água e são de menor custos que os à base de fenol. Pode-se dizer que o tanino-formaldeído está em uma posição intermediária entre as resinas uréicas e fenólicas. Alguns autores, como Anderson (1977), chegaram a concluir que resinas à base de fenol e de fenol/resorcinol podem ser substituídas por extratos de casca de determinadas espécies florestais. Não obstante, alguns problemas são encontrados para o uso de adesivo tanino-formaldeído na fabricação de aglomerados. Santana e Coppens (1979) e Santana e Pastore Junior (1980) referiram-se à alta viscosidade das soluções de tanino, que pode, no entanto, ser facilmente corrigida por um pré-tratamento alcalino (refluxo) do extrato. Os maiores problemas parecem ser a alta umidade requerida para a manta de partículas e a alta proporção de adesivo. Tem-se pouca informação sobre este assunto, porém Santana e Pastore Junior (1980) recomendaram 20% de umidade para o colchão. No mesmo trabalho, a porcentagem de adesivo utilizada foi de 12% de sólidos resinosos calculados sobre o peso de partículas a 3% de umidade.

George et al. (1976) realizaram testes em chapas de partículas de madeira aglomeradas fabricadas com adesivo à base de tanino de *Acacia molissima*, usando teor de adesivo de 8 a 10%. Os testes mostraram boas propriedades de resistência mecânica das chapas e maior resistência à imersão em água fervente do que painéis colados com ureia-formaldeído.

Ndazi et al. (2006) produziram chapas com casca de arroz e adesivo à base de tanino de *Acacia mearnsii* De Wild. Segundo os autores, a casca de arroz está entre os resíduos agrícolas que estão disponíveis facilmente em grandes quantidades e que tem sido considerada como matéria-prima para a produção de aglomerados. A maior dificuldade está na falta de interação direta com a maioria dos adesivos. Os resultados experimentais mostraram que, processando as partículas em moinho de martelo, resultou em uma melhora drástica na ligação interna, MOR e MOE das chapas.

### 3.5.2 Formulações de adesivos à base de tanino

Santana et al. (1995) concluíram ser possível a substituição de 33% do fenol por tanino na produção de resina FF para colagem de compensado de pinus. Barbosa et al., (2000) modificaram quimicamente taninos condensados de *Acacia mearnsii* De Wild antes da reação com formaldeído. O adesivo de tanino-formaldeído modificado foi utilizado para colagem de compensados que foram testados em condições seca, úmida e após fervura. Tostes et al. (2004) testaram a colagem de chapas de partículas aglomeradas com adesivo UF modificado com tanino extraído da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. Misturas tanino-formaldeído (tanino de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden e *Eucalyptus pellita*) para colagem de chapas de flocos foram analisadas por Carneiro et al. (2004) e Vital et al. (2004), encontrando valores de propriedades das chapas superiores aos mínimos estabelecidos pela ANSI/A 280.1, exceto resistência à umidade.

Sellers Junior e Miller Junior (2004) usaram taninos comerciais misturados com hexametilenotetramina e FF para produção de adesivos para colagem de OSB. Hidrólise ácida ou alcalina para reduzir o efeito de substâncias tais como gomas e açúcares que são extraídos juntamente com o tanino, tem sido empregada. Por exemplo, sulfitação foi utilizada por Carneiro et al. (2004) no preparo de adesivo para colagem de chapas de flocos de pinus. Já Santana e Teixeira (1996) utilizaram refluxo alcalino no preparo de adesivo de tanino-formaldeído apropriado para a colagem de chapas aglomeradas.

Para Pizzi (1994), adesivos que não são fortificados com outras resinas são os mais comuns na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de uso externo. Pode ser útil, mas nem sempre necessário, modificar o extrato de tanino quimicamente.

Apenas três condições podem limitar a aplicação industrial: a vida útil do adesivo, sua viscosidade e taxa de perda de umidade da chapa durante a prensagem. O primeiro ponto é facilmente resolvido já que é o pH necessário à combinação do tanino com o formaldeído que causa problema. Sendo assim é suficiente eliminar um desses elementos da resina e aplicá-lo separadamente para resolver o problema. Isso é feito em algumas fábricas pela adição separada de paraformaldeído na forma de pó fino às partículas antes da aplicação do adesivo

(solução de tanino com altos valores de pH) ser misturada às partículas (PIZZI, 1979).

A resina líquida é composta de uma solução de tanino em baixo pH (4 a 4,5, geralmente pH natural do tanino) misturada com endurecedor à base de pó de paraformaldeído. Uma quantidade pré-determinada de hidróxido de sódio diluído é também adicionada diretamente ao misturador separadamente. A viscosidade do adesivo também não é problema: pode ser ajustada pela adição de água, baixando o teor de sólidos da resina, ou pela elevação da temperatura da cola para 30 a 35°C, o que causa uma diminuição drástica da viscosidade (PIZZI, 1979).

Dessa forma, o único fator limitante do tempo de prensagem é a taxa de eliminação da umidade da chapa durante a prensagem a quente. Em um processo de fabricação com o sistema descrito acima (com alto pH e teor de umidade do colchão de partículas acima de 20%), pode-se obter prensagem de 9 s/mm. Tempo de prensagem de até 7 s/mm tem sido obtido com taninos mais reativos, tais como extratos de casca de *Pinus radiata* e de nozes (PIZZI, 1994).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Obtenção e preparo da matéria-prima

A casca de arroz utilizada nesta pesquisa é procedente da Indústria de Beneficiamento de Arroz Cerealista De David Ltda, localizada no bairro Camobi, município de Santa Maria, RS. Este material foi levado para o Laboratório de Produtos Florestais (LPF), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde passou pelo processo de preparação, que consistiu em passagem por moinho de martelo (partículas processadas) e sem passagem por moinho de martelo (partículas naturais).

As partículas processadas foram reduzidas em moinho de martelo, equipado com peneira de orifícios de 5,0 mm de diâmetro (Figura 1A). Após, todo material, tanto natural como processado, passou por peneira de malha de 1,0 mm x 1,0 mm para descarte das partículas mais finas e do pó, sendo aproveitado o material que não passou pela malha. Posteriormente, as partículas foram secas em estufa a, aproximadamente, 50°C por um período que variou entre 12 a 24 horas (Figura 1B), até um teor de umidade de 3%, ideal para confecção das chapas.



Figura 1 – Processo de preparo das partículas. Moinho de martelos (A), estufa de secagem (B)

O tanino da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild), na forma de pó, foi doado pela empresa SETA, localizada no município de Estância Velha, RS. Para produção do adesivo em laboratório, o tanino foi hidratado 24 horas antes da formulação, através do preparo de uma solução em água com aproximadamente 50% de sólidos (Figura 2A). Posteriormente, foi adicionado hidróxido de sódio (NaOH) até que o pH 8 fosse atingido, sendo que, para esta medição, utilizou-se de pHmetro (Figura 2B). O formaldeído foi adicionado apenas no momento da aplicação do adesivo, sendo utilizado na proporção de 10% (base peso seco do tanino).

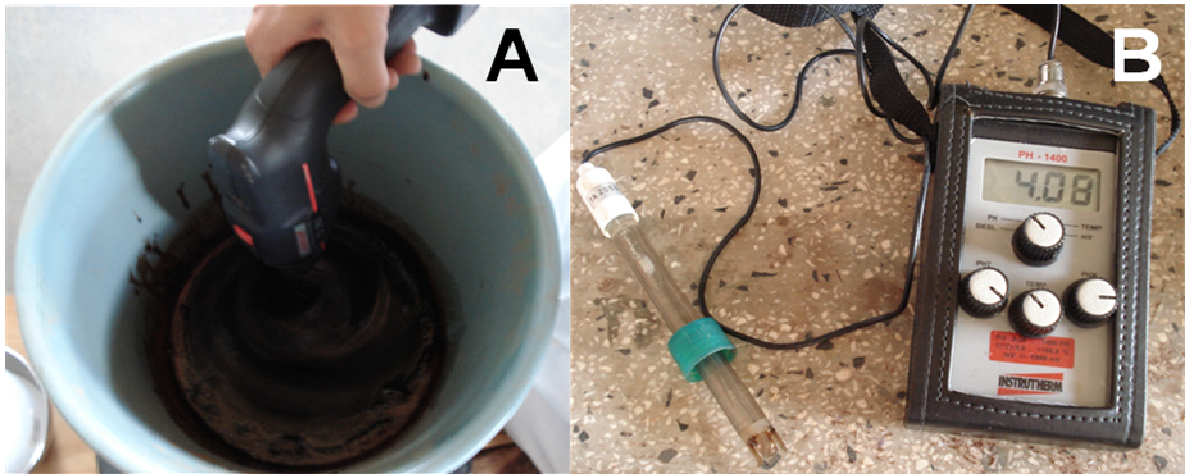


Figura 2 – Preparo da solução tanino + água para hidratação em 24 horas (A), pHmetro (B)

## 4.2 Fabricação das chapas

Para o monitoramento do teor de umidade das partículas de casca de arroz, após a secagem, foram separadas 5 amostras que foram secas a 103°C, até massa constante. Quando necessário, foi adicionado certa quantidade de água para que o material atingisse a umidade estabelecida de 3%.

Em seguida, as partículas foram então misturadas com o adesivo tanino-formaldeído em um tambor rotativo no LPF/UFSM (Figura 3A). A aplicação do adesivo foi por meio de uma pistola acionada por compressor de ar com pressão de 8 Kgf/cm<sup>2</sup> e vazão de 50 g/min. Para facilitar a aplicação do tanino-formaldeído, foi adicionada a quantidade de água necessária para ajustar o teor de umidade do

colchão (TUc) em, aproximadamente, 20%. O colchão foi formado manualmente em uma caixa formadora com dimensões de 40 cm x 40 cm x 20 cm e pré-prensado em prensa manual à temperatura ambiente por, aproximadamente, 1 minuto (Figura 3B).

Após a prensagem a frio, o colchão de partículas foi retirado da caixa formadora e coberto com uma folha de papel vegetal e uma chapa de aço galvanizada. Em seguida, foi então levado à prensa hidráulica, da marca OMECO (Figura 3C), com capacidade para aplicação de carga de 100 toneladas e pratos com dimensões de 60 cm x 60 cm.

Sendo assim, as chapas foram confeccionadas com dimensões de 40 cm x 40 cm x 0,95 cm, com pressão específica de 30 kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura dos pratos ajustada para 180°C. A espessura de 0,95 cm foi definida por gabaritos de barras de aço (Figura 3D), as quais foram colocadas nas laterais do colchão, limitando o fechamento da prensa. O tempo total de prensagem aplicado para promover a evaporação da água e a cura do adesivo foi de 8 minutos.



Figura 3 – Processo de produção das chapas aglomeradas. Tambor rotativo (A), prensagem do colchão a frio em caixa formadora (B), prensagem definitiva a quente em prensa hidráulica (C), barras de aço com altura de 9,5 mm (D)

Após a prensagem, as chapas foram identificadas, lixadas e tiveram suas bordas aparadas, passando para as dimensões finais de 39 cm x 39 cm x 0,95 cm. Estas foram dispostas em câmara climatizada (20°C e 65% de umidade relativa) até massa constante. Após a climatização, os foram confeccionados para os ensaios físicos, mecânicos e biológicos e novamente levados à câmara climatizada, onde permaneceram até o momento dos ensaios.

### **4.3 Ensaios físicos, mecânicos e biológicos**

Para avaliação da qualidade das chapas produzidas, foram realizados ensaios físicos (teor de umidade; massa específica; absorção d'água e inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática; arrancamento de parafuso e ligação interna), adotando-se as recomendações da norma ASTM D 1037 (1998), e biológico (resistência a fungos), seguindo a ASTM D 2017 (2005) para os ensaios com fungos.

#### **4.3.1 Massa específica e teor de umidade**

Para estes dois ensaios físicos, os foram cortados com dimensões nominais de 5 cm x 5 cm x 0,95 cm. Após a climatização, foram determinadas as dimensões reais e a massa ao teor de umidade de equilíbrio e, após a secagem em estufa a 103 °C, a massa das amostras secas. Estes dados foram utilizados para o cálculo da massa específica observada (MEo) e do teor de umidade de equilíbrio (TUEq) de cada amostra. Foram utilizadas duas amostras por chapa, totalizando seis para cada tratamento.

#### 4.3.2 Absorção d'água e inchamento em espessura

Confeccionou-se amostras com dimensões nominais de 15 cm x 15 cm x 0,95 cm, sendo demarcados oito pontos em suas superfícies para medição dos valores de espessura com relógio comparador (Figura 4A). As dimensões laterais foram obtidas com paquímetro digital (Figura 4A), com 0,01 mm de precisão; e a massa, com balança digital, com precisão de 0,01 g.

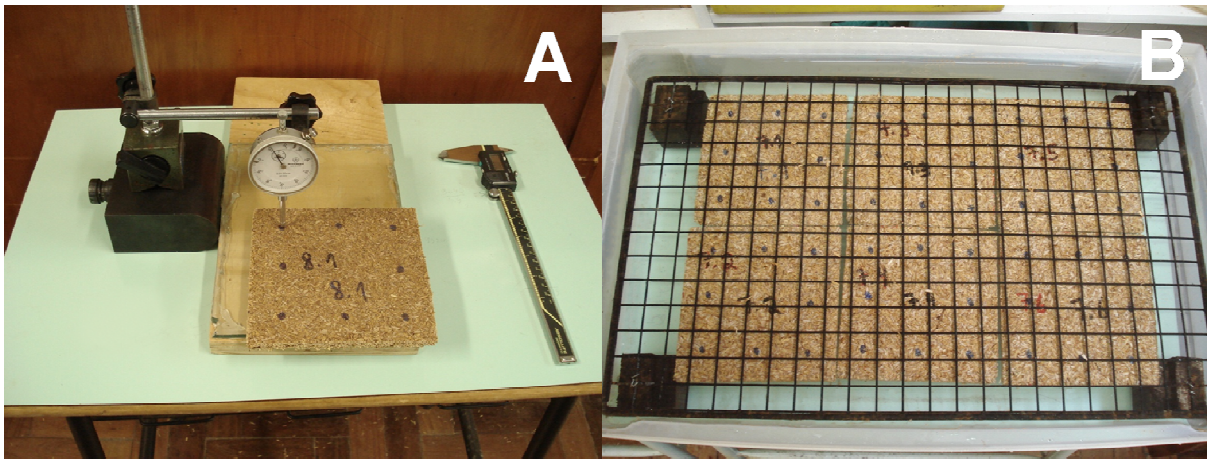


Figura 4 – Medição da espessura do corpo-de-prova através de relógio comparador e a direita paquímetro digital para as dimensões laterais (A), teste de absorção d'água e inchamento em espessura (B)

Estes dados foram utilizados para o cálculo da absorção d'água e inchamento em espessura (Equação 1 e 2). Todas estas variáveis foram obtidas das amostras, ao teor de umidade de equilíbrio e após 2 e 24 horas de imersão em água (Figura 4B).

$$AB(\%) = \frac{PMF - PMI}{PMI} * 100 \quad (1)$$

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

$$IE(\%) = \frac{EMF - EMI}{EMI} * 100 \quad (2)$$

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

#### 4.3.3 Flexão estática

Para obtenção dos valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), os foram dimensionados com 30 cm x 7,5 cm x 0,95 cm, sendo utilizados 6 amostras para cada tratamento. Foram mensuradas as dimensões e a massa ao teor de umidade de equilíbrio imediatamente antes dos testes, para a determinação da massa específica observada. Estes testes foram realizados em máquina universal de ensaios, marca Amsler, com capacidade para 20 toneladas (Figura 5A). O vão entre apoios foi de 24 vezes a espessura (22,8 cm), como pode ser observado na Figura 5B e Figura 5C. A velocidade de aplicação da carga foi de, aproximadamente, 5 mm/minuto, conforme exigência da norma ASTM D 1037 (1998).

A máquina de ensaios é dotada de um computador acoplado com software específico para aquisição dos dados, como mostra a Figura 5A. Sendo assim, após a realização dos testes, determinaram-se os módulos de elasticidade e de ruptura diretamente pelos gráficos gerados no computador e realizados os ajustes da regressão linear.

Na Figura 5D, é possível visualizar a maneira que os foram rompidos durante os testes de flexão estática.

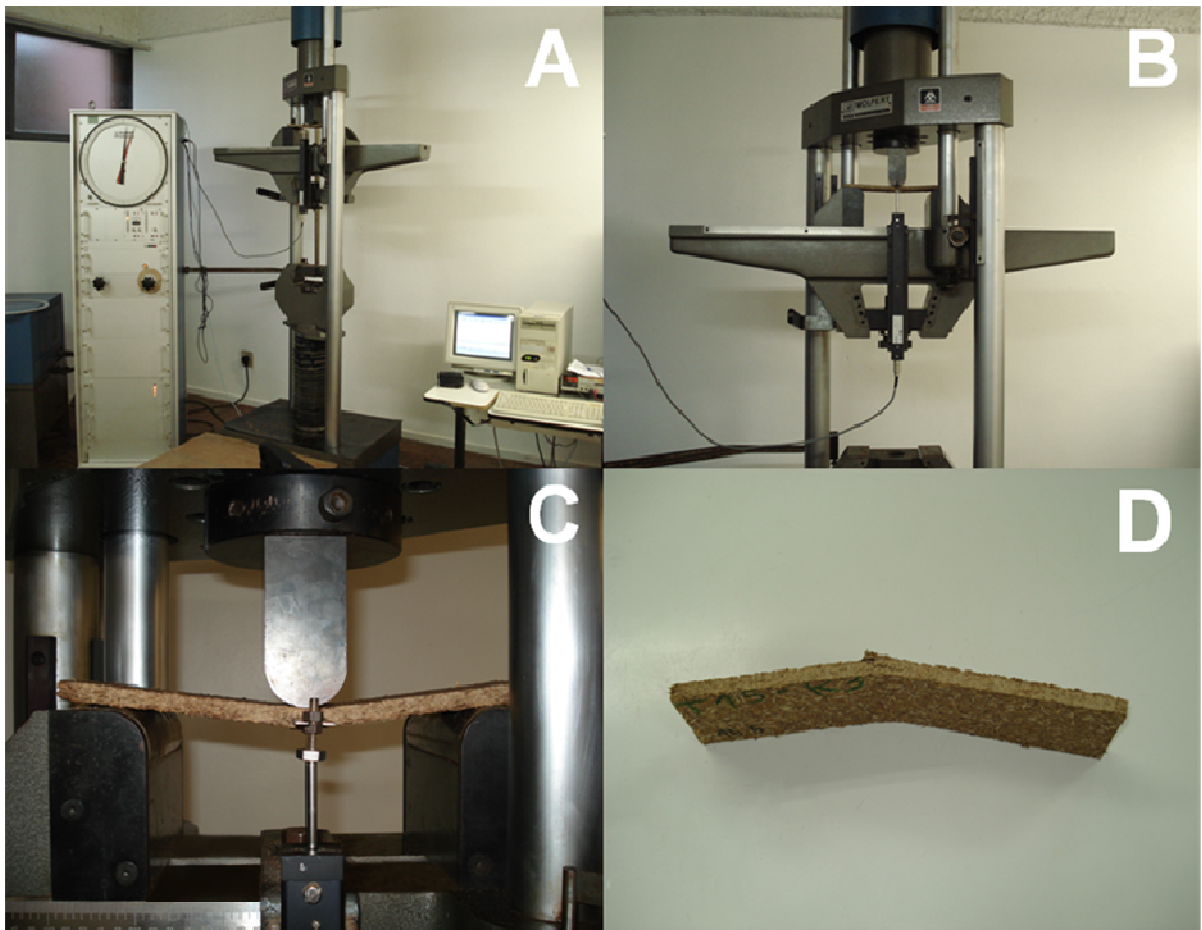


Figura 5 – Máquina universal de ensaios utilizada (A), visualização mais aproximada do teste de flexão estática (B), momento do rompimento do corpo-de-prova (C), detalhe do corpo-de-prova rompido (D)

#### 4.3.4 Arrancamento de parafuso

No ensaio de arrancamento de parafuso foram utilizados os mesmos em que foram realizados os testes de flexão estática após o rompimento, portanto, também foram seis repetições para cada tratamento. Os dois lados resultantes foram colados um sobre o outro, o que deu origem a uma nova amostra com as dimensões de 14,5 cm x 7,5 cm x 1,9 cm (Figura 6A).

Os foram perfurados ao longo da espessura e perpendicularmente à superfície da chapa, utilizando-se uma broca de 3,2 mm de diâmetro. Nesse orifício foram inseridos parafusos com 3,5 mm de diâmetro, 2,54 cm de comprimento e com 16 roscas/polegada, até 2/3 de seu comprimento (Figura 6A). Posteriormente, foram

realizados os testes na máquina universal de ensaios, em que foi obtida a resistência máxima ao arrancamento de parafuso, utilizando-se a velocidade de 1,5 mm/minuto (Figura 6B).

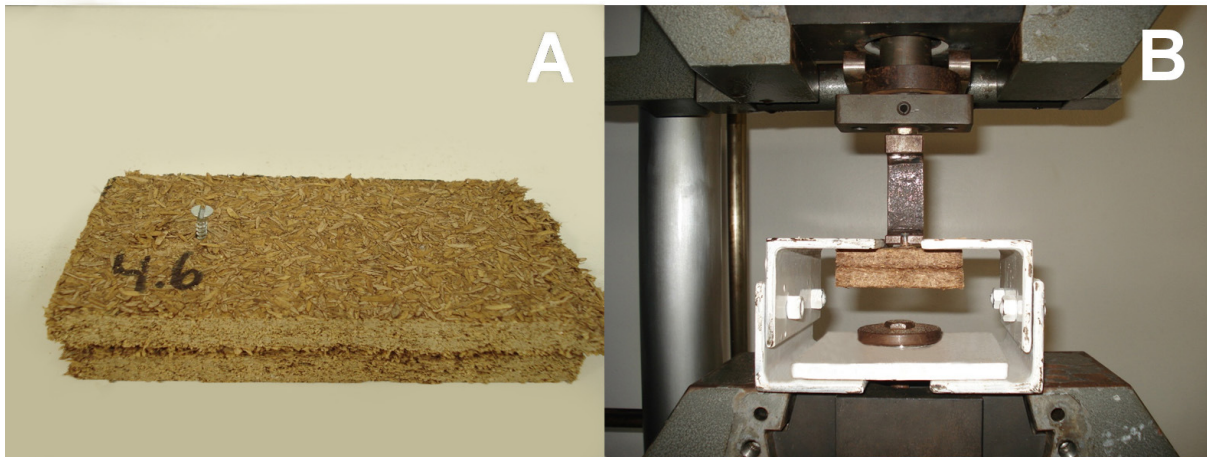


Figura 6 – Corpo-de-prova colado face a face e com o parafuso inserido para a realização do ensaio (A), teste de resistência ao arrancamento de parafuso (B)

#### 4.3.5 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna)

Foram utilizados de 5 cm x 5 cm x 0,95 cm, com as faces coladas por meio de adesivo à base de epoxi, em blocos de metal (Figura 7A). Anteriormente ao ensaio, foram medidas as dimensões e a massa das amostras. A velocidade do teste foi ajustada, com base na espessura dos , em 0,76 mm/min e, no momento da ruptura, registrou-se a carga máxima. Os valores de ligação interna (LI) foram calculados por meio da relação entre a carga máxima e a área de esforço expressos em kgf/cm<sup>2</sup>. De cada chapa foram retiradas 4 amostras, totalizando 12 por tratamento. Na Figura 7B é possível observar a realização do teste de tração.



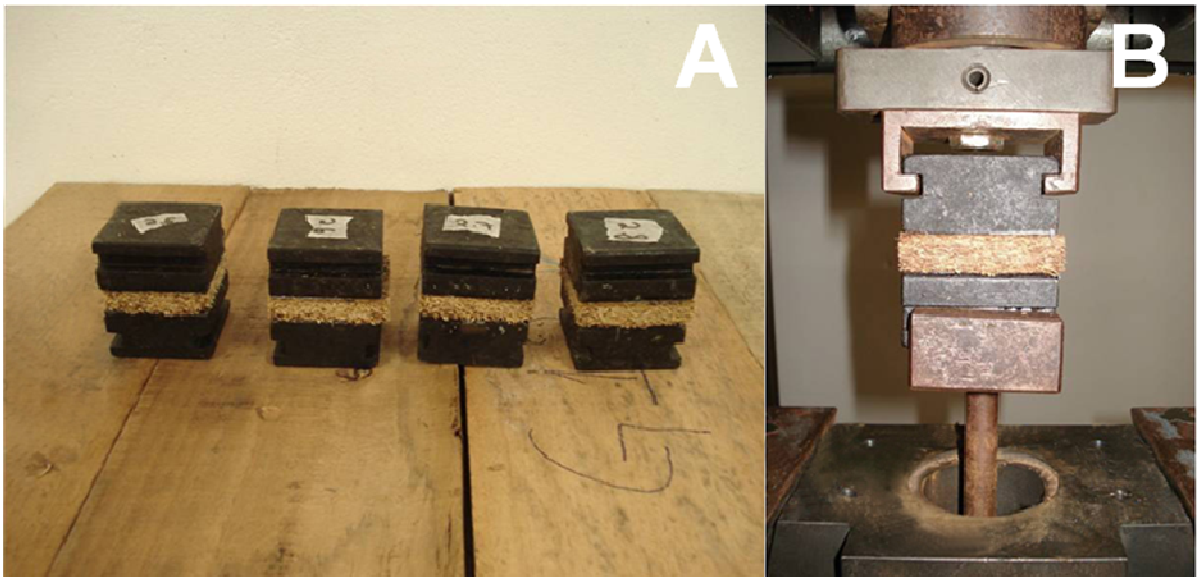


Figura 7 – Colagem das amostras nos blocos de metal (A), visualização do teste de ligação interna (B)

#### 4.3.6 Ensaio biológico de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos

O ensaio de apodrecimento acelerado foi conduzido no setor de Biodegradação e Preservação da Madeira, do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro, em Brasília, DF. A metodologia empregada foi a proposta pela norma ASTM D-2017 (2005).

##### 4.3.6.1 Preparação dos

As amostras foram preparadas nas dimensões de 2,5 cm x 2,5 cm, e espessura igual à da chapa, no LPF da UFSM. Após foram enviadas ao LPF do Serviço Florestal Brasileiro, para ensaio de apodrecimento acelerado.

Todos os foram numerados com caneta de escrita permanente, identificando o tratamento e número da amostra. O material foi acondicionado em estufa com circulação forçada de ar a 50 °C, até atingir massa constante. Posteriormente, foram

pesados em balança analítica com precisão de 0,0001g e o resultado registrado como massa inicial (Mi).

Para cada tratamento foram ensaiados 20 , sendo 8 para podridão branca, 6 para podridão parda e 6 blocos de correção (sem fungo).

Após a pesagem inicial, os foram esterilizados em autoclave, a 121 °C por 45 minutos.

#### 4.3.6.2 Fungos xilófagos e condições de ensaio

Foram empregadas duas espécies de fungos xilófagos provenientes da coleção do LPF: *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat, espécie causadora de podridão branca (Figura 8A), e *Gloeophyllum trabeum* (Persoon. ex Fries.) Murr., espécie causadora de podridão parda (Figura 8B).

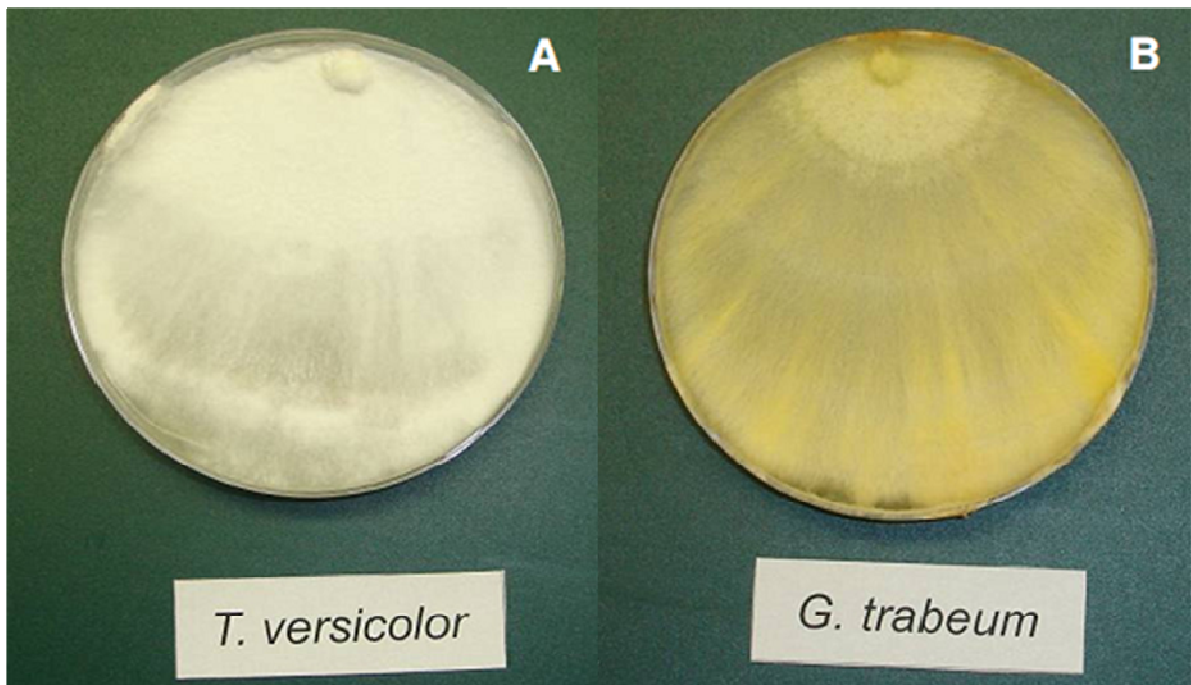


Figura 8 – Fungo *Trametes versicolor* para podridão branca (A), *Gloeophyllum trabeum* para podridão parda (B)

(Fonte: GARLET, 2012)

Os fungos foram repicados em placas de petri descartáveis, com 90 mm de diâmetro, contendo 20 mL de meio de cultura malte sólido. O meio sólido foi preparado na concentração de 30 g de extrato de malte e 17 g de ágar bacteriológico para 1 litro de água deionizada. Imediatamente após o preparo, o meio foi esterilizado em autoclave a 121 °C por 15 minutos. Após, o meio ainda quente foi pipetado para as placas de petri.

Para cada espécie de fungo foram inoculadas 10 placas de petri. O inóculo consistia de um disco de 1 cm de diâmetro contendo o micélio do fungo, retirado de uma placa mãe com idade inferior a 3 meses, mantida sob refrigeração a 5 °C.

Após inoculação, as placas foram levadas à incubadora por duas semanas para o crescimento do micélio. Posteriormente, para cada espécie de fungo foram selecionadas quatro placas, com bom crescimento, para servirem como fonte de inóculo para as culturas em meio líquido.

Na cultura em meio líquido, foram utilizados frascos erlenmeyer de 1000 mL de capacidade total, contendo 200 mL de meio malte líquido a 3%. Foram preparados quatro frascos para cada espécie de fungo. Cada frasco foi inoculado com 2 discos de 1 cm de diâmetro, contendo o micélio retirado da borda de crescimento de uma das placas de petri previamente selecionadas. Após a inoculação, os frascos erlenmeyer permaneceram na incubadora até o micélio recobrir totalmente a superfície do meio de cultura (duas semanas).

No momento da inoculação dos frascos de ensaio, foi selecionado um erlenmeyer com meio líquido para cada espécie de fungo, para servir como fonte de inóculo. O meio de cultura foi drenado e o micélio transferido para a jarra de um liquidificador doméstico, onde acrescentou-se 250 mL de meio malte líquido a 3% e, em seguida, o micélio foi fragmentado por 20 segundos na velocidade máxima do aparelho. A jarra foi previamente esterilizada por dupla lavagem com álcool a 92,8 °GL.

#### 4.3.6.3 Frascos de ensaio

Foram usados frascos de vidro transparente, com boca larga, tampa rosqueável e capacidade de 250 mL, contendo 100 g de solo (horizonte B), livre de

matéria orgânica. O solo recebeu adição prévia de calcário, para elevar o pH a 6,0. A umidade do solo foi ajustada para 130% da capacidade de campo, com adição de água deionizada.

Em cada frasco de ensaio foi colocada, sobre o solo, uma placa suporte de 33 mm x 29 mm x 3 mm para o desenvolvimento inicial do fungo. Sendo placas de pinus (*Pinus* sp.), para o cultivo de *Gloeophyllum trabeum*; e embaúba (*Cecropia* sp.), para o cultivo de *Trametes versicolor*. A esterilização foi feita em autoclave a 121 °C por 45 minutos.

Cada frasco foi inoculado com 1 mL de meio de cultura, contendo o micélio fragmentado, depositado diretamente sobre a placa suporte. Após a inoculação os frascos permaneceram na incubadora por duas semanas, para o crescimento do micélio.

Os frascos foram preparados uma semana antes da inoculação, durante o período de crescimento dos fungos em meio líquido. O número de frascos preparados e inoculados foi 30% superior à quantidade prevista para ser usada no ensaio. Assim, apenas os frascos que visualmente apresentavam o melhor crescimento do micélio e estavam livres de contaminações foram selecionados para receberem os.

Após a colonização das placas suporte, introduziu-se um corpo-de-prova em cada frasco de ensaio. Os permaneceram na incubadora por 14 semanas em contato com os fungos. Durante todas as fases do ensaio, a incubadora permaneceu com temperatura ajustada para 26 ( $\pm 1$ ) °C e umidade relativa de 70 ( $\pm 5$ )% (Figura 9).



Figura 9 – Vista do interior da incubadora

(Fonte: GARLET, 2012)

Todas as operações de manipulação de fungos (repicagem, inoculação, fragmentação do micélio, introdução de nos frascos de ensaio) foram realizadas sob condições assépticas, no interior de capela de fluxo laminar.

Encerrado o período de apodrecimento, os foram retirados dos frascos de ensaio (Figura 10A e 10B) e submetidos a uma limpeza cuidadosa para remoção do micélio aderido. Foram acondicionados em estufa, sob as mesmas condições pré-ensaio e após atingirem massa constante, foram novamente pesados para determinação da massa final (Mf).

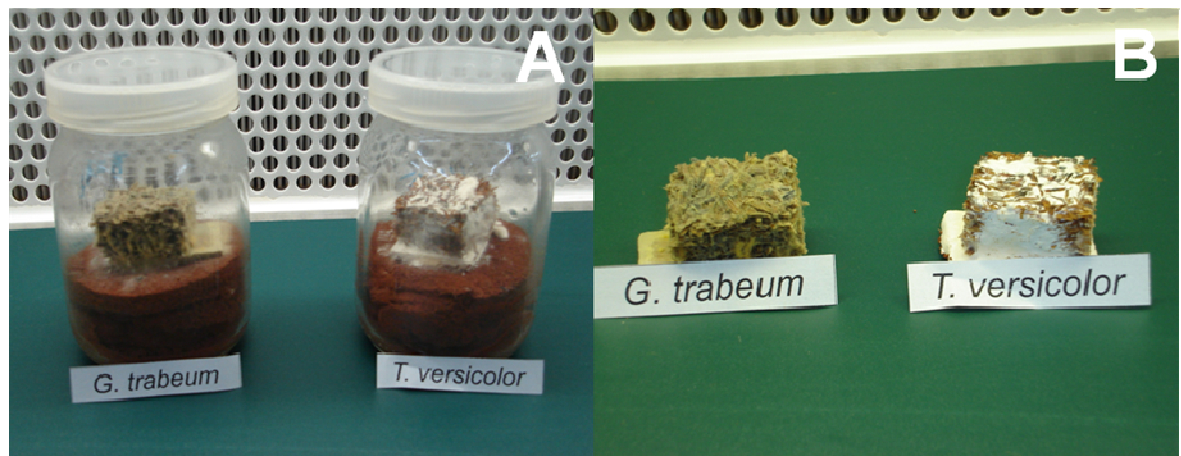


Figura 10 – cobertos por micélio dentro dos frascos de ensaio (A), retirados dos frascos de ensaio e com micélio ainda aderido (B)

(Fonte: GARLET, 2012)

#### 4.3.6.4 Blocos de correção

Para cada tratamento, seis foram introduzidos em frascos de ensaio não inoculados (sem fungos) e receberam o mesmo tratamento e manipulação dos demais (Figura 11). Os blocos de correção têm o objetivo de determinar a perda de massa resultante da manipulação dos e oscilações no teor de umidade antes e após o ataque. Servem, portanto, para determinar a perda de massa não causada pela ação dos fungos.

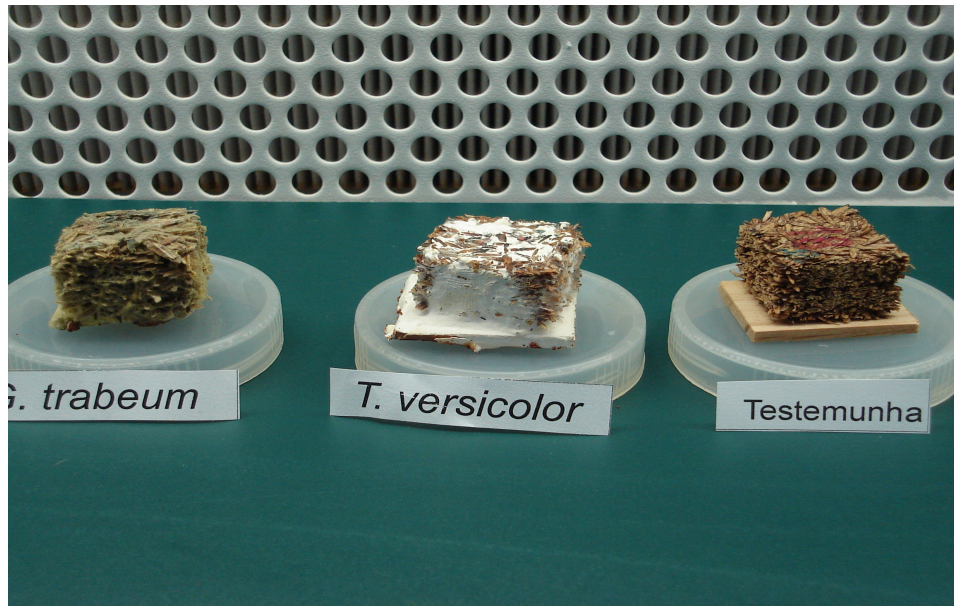


Figura 11 – Imagem que retrata o final do ensaio, com duas amostras cobertas por micélio dos fungos, e a amostra à direita sem a inoculação, servindo como bloco de correção

(Fonte: GARLET, 2012)

#### 4.3.6.5 Espécies de referência

Foram utilizados 16 (2,5 cm x 2,5 cm x 0,9 cm) de pinus (*Pinus* sp.) como espécie de referência para o fungo *Gloeophyllum trabeum* e 16 de embaúba (*Cecropia* sp.) para o fungo *Trametes versicolor*.

Os de referência são indicadores do vigor vegetativo da cultura fúngica utilizada no ensaio e das condições de incubação. Segundo a norma ASTM D 2017 (2005), o teste é considerado válido somente quando o fungo provoca perda de massa de 50% sobre as amostras de referência, num período de até 16 semanas.

A seleção das espécies de referência levou em consideração a existência de dados de vários ensaios realizados no LPF, que comprovam serem estas espécies susceptíveis aos fungos utilizados.

#### 4.3.6.6 Perda de massa e classificação por classes de resistência

A partir dos valores de massa inicial e final, foi possível calcular a perda de massa individual de cada corpo-de-prova e, posteriormente, calcular a perda de massa média de cada tratamento.

De posse destes dados, os tratamentos foram classificados quanto à resistência ao ataque dos fungos, segundo os critérios estabelecidos pela ASTM D 2017 (2005), apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de resistência ao apodrecimento com fungos xilófagos, segundo a norma ASTM D 2017 (2005)

<b>Classes de Resistência</b>	<b>Perda de Massa (%)</b>	<b>Massa Residual (%)</b>
Altamente Resistente (AR)	0 – 10	90 – 100
Resistente (R)	11 – 24	76 – 89
Moderadamente Resistente (MR)	25 – 44	56 – 75
Não-Resistente (NR)	> 45	> 55

#### 4.4 Delineamento experimental

O experimento, conforme Tabela 2, foi realizado com as seguintes avaliações:

- teor de adesivos (TA): 7, 10 e 13% (com base no peso seco das partículas);
- massa específica (ME) das chapas: 0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>;
- preparo das partículas: Natural (N) e Processada (P) em moinho de martelo.



Tabela 2 – Delineamento experimental

Tratamento	TA (%)	ME (g/cm <sup>3</sup> )	Partícula
1	7	0,65	N
2	7	0,65	P
3	7	0,95	N
4	7	0,95	P
5	7	1,15	N
6	7	1,15	P
7	10	0,65	N
8	10	0,65	P
9	10	0,95	N
10	10	0,95	P
11	10	1,15	N
12	10	1,15	P
13	13	0,65	N
14	13	0,65	P
15	13	0,95	N
16	13	0,95	P
17	13	1,15	N
18	13	1,15	P

Onde: TA = teor de adesivos; ME = massa específica; N = partícula natural; P = partícula processada.

Estas combinações perfizeram um total de 18 tratamentos, sendo que, para cada um destes tratamentos avaliados, foram feitas 3 repetições, totalizando, portanto, 54 chapas confeccionadas a partir do resíduo de casca de arroz.

#### 4.5 Análise dos resultados

Os dados referentes ao presente estudo foram processados e analisados de forma eletrônica, a partir da construção de um banco de dados, utilizando-se o programa Excel® 2007, e de um programa de análise específico para atender os objetivos da pesquisa, o software Statgraphics Centurion.

Os resultados dos ensaios físicos, mecânicos e biológicos foram submetidos à análise de correlação simples de Pearson a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se as variáveis de massa específica observada (MEo) e teor de adesivo (TA). As variáveis resultantes dos ensaios físicos foram a absorção d'água e o

inchamento em espessura, ambos após 2 e 24 horas (AA2H, AA24H, IE2H e IE24H); os mecânicos foram o módulo de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE), arrancamento de parafuso (AP) e ligação interna (LI); já os biológicos foram podridão branca através do fungo *Trametes versicolor* (PB) e podridão parda através do fungo *Gloeophyllum trabeum* (PP).

Após, os dados foram analisados pelo método stepwise e por regressão linear múltipla a 5% de probabilidade de erro. A seleção dos melhores modelos foi realizada com base nos menores valores de P e Syx (erro padrão da estimativa), nos maiores valores de F e R<sup>2</sup>aj (coeficiente de determinação ajustado) e através da análise visual dos gráficos dos resíduos. No apêndice é possível visualizar alguns dos melhores modelos (para os ensaios físicos, mecânicos e biológicos) utilizados na seleção.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Propriedades físicas das chapas

#### 5.1.1 Massa específica e teor de umidade

Na Tabela 3 observam-se os valores médios resultantes dos ensaios físicos de massa específica e teor de umidade de equilíbrio, para cada tratamento.

Tabela 3 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e teor de umidade de equilíbrio (TUEq)

<b>Tratamentos</b>	<b>TA (%)</b>	<b>MEn (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Partículas (N, P)</b>	<b>MEo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TUEq (%)</b>
T1	7	0,65	N	0,628	10,20
T2			P	0,633	10,31
T3		0,95	N	0,932	10,21
T4			P	0,928	10,29
T5		1,15	N	1,120	10,33
T6			P	1,123	10,30
T7	10	0,65	N	0,640	10,31
T8			P	0,638	10,34
T9		0,95	N	0,925	10,37
T10			P	0,930	10,30
T11		1,15	N	1,123	10,34
T12			P	1,122	10,32
T13	13	0,65	N	0,640	10,35
T14			P	0,628	10,38
T15		0,95	N	0,935	10,36
T16			P	0,928	10,36
T17		1,15	N	1,127	10,33
T18			P	1,130	10,32

A massa específica nominal (MEn) foi de 0,65 g/cm<sup>3</sup> para as chapas de média densidade e 0,95 g/cm<sup>3</sup> e 1,15 g/cm<sup>3</sup> para as de alta densidade. Entretanto, foram observados valores variando entre 0,628 e 0,640 g/cm<sup>3</sup>, 0,925 e 0,935 g/cm<sup>3</sup>, 1,120 e 1,130 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Essa pequena variação, também observada por Hillig (2000) e Dacosta (2004), ocorre no processo manual de manufatura das chapas em laboratório, especialmente nas fases de montagem do colchão e/ou na adição de adesivos e outros aditivos. Hillig (2000) acrescenta que estas pequenas variações são comuns, por se tratar de variáveis de difícil controle. Iwakiri (1989) relata ainda que o material utilizado, o teor de umidade das partículas e as diferenças de massa específica entre partículas também podem proporcionar variações na massa específica final da chapa.

Já o teor de umidade de equilíbrio (TUEq) das amostras variou entre 10,20 e 10,38%. Percebe-se que o acréscimo da massa específica e o teor de adesivo (TA) nas chapas de casca de arroz não influenciaram na umidade de equilíbrio das mesmas. Todos os tratamentos apresentaram um padrão de variação semelhante, não sendo observada diferença significativa. Melo (2009) afirma que essa baixa variabilidade proporciona uma maior confiabilidade nos demais resultados obtidos, já que a umidade da chapa pode interferir significativamente em suas propriedades.

### 5.1.2 Absorção d'água

Para auxiliar na interpretação dos dados, são apresentados na Tabela 4 os valores médios de absorção d'água, alcançados nos períodos de 2 e 24 horas de imersão. Observa-se que eles variaram de 23,30 a 109,54%. As chapas fabricadas com casca de arroz processada tiveram, na grande maioria dos tratamentos, maior taxa de AA2H, se comparadas as de partículas naturais. Isso ocorre devido à maior superfície de contato das partículas processadas. Entretanto, esta diferença de absorção entre os tipos de partículas é menor na AA24H.

Tabela 4 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de absorção d'água após 2 e 24 horas (AA2H e AA24H)

Tratamentos	TA (%)	MEn (g/cm <sup>3</sup> )	Partículas (N, P)	MEo (g/cm <sup>3</sup> )	AA2H (%)	AA24H (%)
T1	7	0,65	N	0,628	50,68	109,54
T2			P	0,633	60,16	105,62
T3		0,95	N	0,930	48,92	96,65
T4			P	0,932	57,94	94,44
T5		1,15	N	1,122	33,67	75,75
T6			P	1,120	46,89	74,52
T7	10	0,65	N	0,642	41,86	96,58
T8			P	0,637	51,56	94,81
T9		0,95	N	0,927	35,14	92,75
T10			P	0,928	36,89	81,26
T11		1,15	N	1,118	30,60	64,37
T12			P	1,123	35,51	73,04
T13	13	0,65	N	0,642	32,57	89,81
T14			P	0,630	34,52	91,40
T15		0,95	N	0,935	27,62	60,62
T16			P	0,928	31,78	62,28
T17		1,15	N	1,128	23,30	53,54
T18			P	1,127	29,61	60,22

Na Tabela 5, observa-se a matriz de correlação de características físicas dos , mais especificamente dos resultados de absorção d' água após 2 e 24 horas. A única correlação não significativa foi entre MEo e TA, tanto para partículas naturais quanto processadas. Ademais, para ambas as partículas, as melhores correlações foram observadas entre os parâmetros AA2H e AA24H. Correlações significativas entre estes parâmetros também foram observadas por Mello (2009) e Morais (2011).

Tabela 5 – Matriz de correlação simples de Pearson para absorção d'água dos painéis

	Partícula Natural				Partícula Processada			
	MEo	TA	AA2H	AA24H	MEo	TA	AA2H	AA24H
MEo	1				1			
TA	-0,05ns	1			0,05ns	1		
AA2H	-0,38s	-0,48s	1		-0,38s	-0,36s	1	
AA24H	-0,57s	-0,50s	0,70s	1	-0,67s	-0,46s	0,73s	1

MEo = Massa Específica observada (g/cm<sup>3</sup>); TA = Teor de adesivo (%); AA2H e AA24H = Absorção de água após 2 e 24 horas (%); s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

Na Figura 12, é possível verificar a análise de regressão entre a AA2H e a massa específica para partículas naturais e processadas.

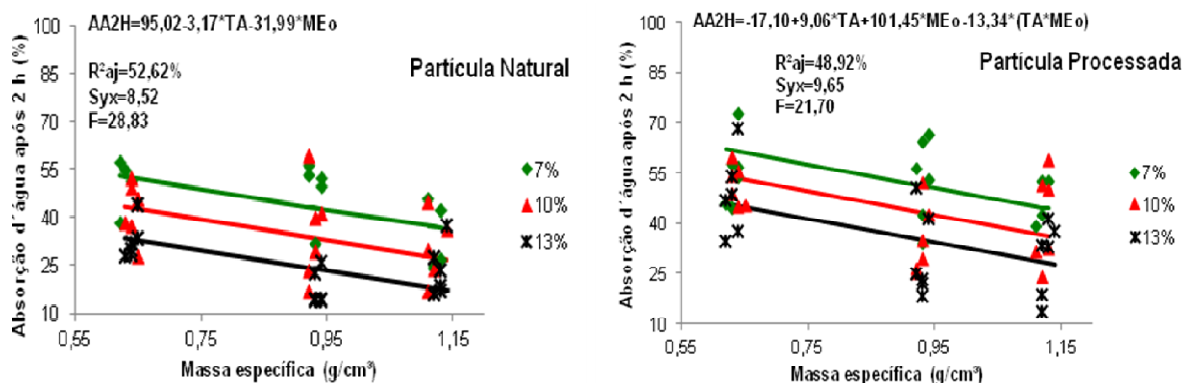


Figura 12 – Valores de absorção d'água (2 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Como era esperado, a absorção d'água diminuiu com o aumento da ME, o que pode ser facilmente explicado pela diminuição dos espaços vazios em amostras mais densas (HILLIG, 2000; DACOSTA, 2004; PEDRAZZI, 2005).

As chapas com ambos os tipos de partículas tiveram diferença significativa a 5% de probabilidade de erro, quanto ao teor de adesivos. Quanto maior o TA menor a absorção d'água, portanto os tratamentos com 13% de adesivo e 1,15 g/cm<sup>3</sup> de ME tiveram os melhores valores: 23,30% para partículas naturais e 29,61% para

processadas. Valor semelhante ao verificado por Melo (2009), que encontrou 20% de absorção para chapas com 100% de partículas naturais de casca de arroz e superior à literatura brasileira com chapas de madeira.

Os resultados obtidos para chapas produzidas com espécies de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii* mostraram valores médios de AA2H que variaram na faixa de 42,09 a 71,75% para 2 h de imersão (IWAKIRI et al., 1996). Na pesquisa realizada por Iwakiri et al. (1995), para chapas de madeira aglomerada de pinus e bracinga e mistura destas espécies, os valores médios obtidos foram na faixa de 41,31 a 98,96% para AA2H. Os valores mais baixos encontrados para a casca de arroz podem ocorrer devido aos altos teores de sílica em sua composição, sendo uma característica positiva para absorção d'água.

Ainda, quanto à diferença de absorção nos diferentes teores de adesivos, comportamento semelhante foi encontrado por Dacosta (2004) e Pedrazzi (2005), que também estudando 3 TA (4, 8 e 12%), só que em partículas de madeira, observaram uma tendência decrescente dos valores de absorção com o aumento do TA. Iwakiri et al. (2000) explicam que a aplicação de maior quantidade de adesivo às partículas pode ter contribuído para melhor impermeabilização das superfícies das partículas e, conseqüentemente, para redução na absorção d'água.

A Figura 13 apresenta a tendência das linhas ajustadas entre a AA24H e a massa específica, para partículas naturais e processadas.

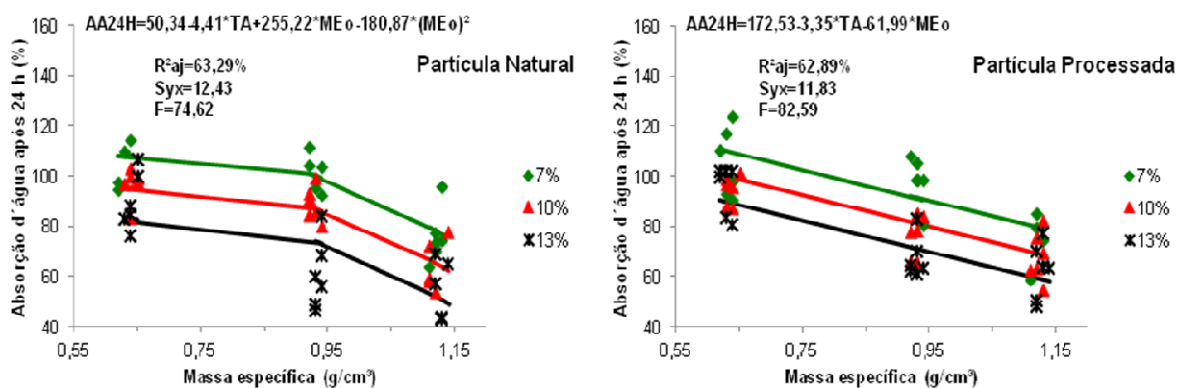


Figura 13 – Valores de absorção d'água (24 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Se comparadas as Figuras 12 e 13, é possível notar a semelhança de comportamento das equações ajustadas. Assim como na AA2H, a AA24H diminui com o aumento da ME, mantendo a similaridade de resultados com Hillig (2000), Dacosta (2004) e Pedrazzi (2005). Além disso, também houve diferença significativa a 5% de probabilidade de erro para os 3 TA, sendo que quanto maior o TA menor a absorção d'água, mantendo novamente a conformidade com Iwakiri et al. (2000), Dacosta (2004) e Pedrazzi (2005).

### 5.1.3 Inchamento em espessura

Na Tabela 6, observam-se os valores médios resultantes dos ensaios físicos de inchamento em espessura, alcançados nos períodos de 2 e 24 horas de imersão. Nota-se que eles variaram de 8,44 a 25,71% para IE2H e 23,69 a 66,22% para IE24H.

Analisando esta mesma tabela mais detalhadamente, é possível verificar que, para esta característica física, não ocorreu o mesmo comportamento observado na absorção d'água. Para IE2H, ora as partículas naturais tinham valores mais baixos, ora mais altos. Já para IE24H, no geral, as partículas processadas tiveram valores um pouco inferiores às naturais.



Tabela 6 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de inchamento em espessura após 2 e 24 horas (IE2H e IE24H)

Tratamentos	TA (%)	MEn (g/cm <sup>3</sup> )	Partículas (N, P)	MEo (g/cm <sup>3</sup> )	IE2H (%)	IE24H (%)
T1	7	0,65	N	0,628	20,47	66,22
T2			P	0,633	25,71	54,44
T3		0,95	N	0,930	22,01	63,46
T4			P	0,932	25,56	48,53
T5		1,15	N	1,122	9,31	42,78
T6			P	1,120	20,27	39,86
T7	10	0,65	N	0,642	23,49	51,13
T8			P	0,637	21,55	38,70
T9		0,95	N	0,927	22,99	44,99
T10			P	0,928	20,74	35,22
T11		1,15	N	1,118	13,92	27,58
T12			P	1,123	20,20	30,22
T13	13	0,65	N	0,642	15,29	35,21
T14			P	0,630	15,42	27,67
T15		0,95	N	0,935	12,55	28,52
T16			P	0,928	11,59	25,44
T17		1,15	N	1,128	8,44	23,83
T18			P	1,127	11,44	23,69

Na Tabela 7, observa-se a matriz de correlação entre as propriedades físicas dos , ou seja, os resultados de inchamento em espessura após 2 e 24 horas.

Nas partículas processadas, a MEo não teve correlação significativa com nenhuma outra característica; já nas partículas naturais, a única correlação não significativa foi entre MEo e TA. As demais características tiveram correlação significativa a 5% de probabilidade de erro, sendo as melhores entre IE24H e TA (0,75) e IE24H e IE2H (0,67) para chapas confeccionados com partículas naturais; já para as processadas, verificou-se IE24H e TA (0,83) e IE24H e IE2H (0,73). Melo (2009) confeccionou chapas com 100% de casca de arroz e com mistura casca de arroz/madeira, também utilizando adesivo tanino-formaldeído, e observou correlação semelhante entre IE24H e IE2H (0,80).

Tabela 7 – Matriz de correlação simples de Pearson para inchamento em espessura dos painéis

	Partícula Natural				Partícula Processada			
	MEo	TA	IE2H	IE24H	MEo	TA	IE2H	IE24H
MEo	1				1			
TA	-0,05ns	1			0,05ns	1		
IE2H	-0,48s	-0,29s	1		-0,07ns	-0,52s	1	
IE24H	-0,45s	-0,75s	0,67s	1	-0,24ns	-0,83s	0,73s	1

MEo = Massa Específica observada (g/cm<sup>3</sup>); TA = Teor de adesivo (%); IE2H e IE24H = Inchamento em espessura após 2 e 24 horas (%); s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

A Figura 14 representa o modelo estimado entre o IE2H e a ME para partículas naturais e processadas.

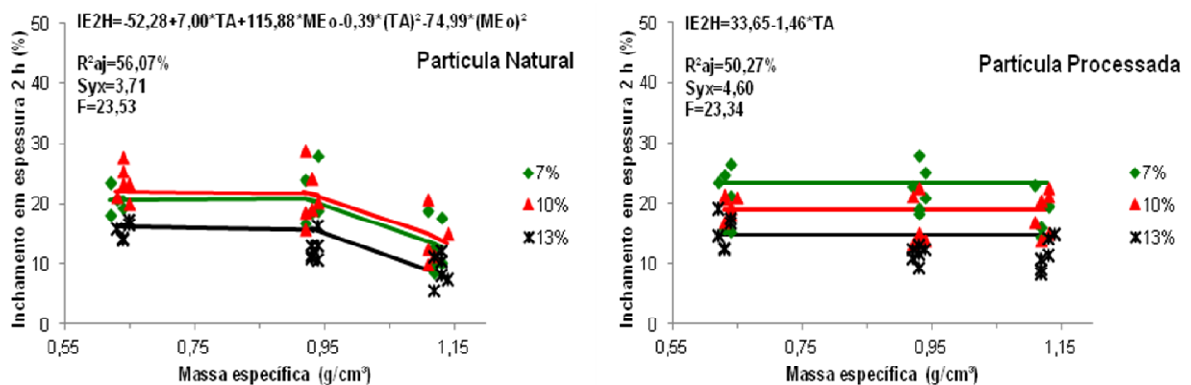


Figura 14 – Valores de inchamento em espessura (2 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Foi observado que o inchamento em espessura, nas chapas confeccionadas com partículas naturais, permaneceu praticamente constante da ME 0,65 a 0,95 g/cm<sup>3</sup> e, a partir deste ponto, iniciou uma reta decrescente até 1,15 g/cm<sup>3</sup>. Autores como Albuquerque (2002) e Morais (2011) também observaram menores valores de inchamento em espessura para maiores densidades. No entanto, nas chapas com partículas processadas, o IE2H permaneceu constante nas 3 ME (0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>), analisadas no presente estudo científico.

Para ambos os tipos de partículas houve diferença significativa a 5% de probabilidade de erro, quanto ao teor de adesivos, exceto o TA de 7 e 10% para partículas naturais, que não diferiram estatisticamente. Por meio da Figura 14 é possível visualizar que as duas linhas ajustadas estão praticamente sobrepostas. Os demais teores de adesivos seguiram a mesma tendência observada na absorção d'água, ou seja, quanto maior o TA menor o inchamento em espessura. Albuquerque (2002) também verificou uma diminuição desta característica, aumentando o TA de 8 para 12 %. Iwakiri et al. (2000) descrevem que a aplicação de maior quantidade de adesivo reduziu o inchamento em espessura das chapas.

A norma brasileira NBR 14810-1/ABNT (2006) estabelece que o inchamento em espessura após 2 horas seja no máximo de 8%. Analisando a Tabela 6 e a Figura 14 juntamente, é possível constatar que todos os valores estão superiores ao exigido pela ABNT. Entretanto, as chapas com partículas naturais, 13% de TA e 1,15 g/cm<sup>3</sup> de ME, chegaram muito próximo ao estabelecido pela norma brasileira (8,44%). Outras chapas também apresentaram um bom potencial ao inchamento em espessura após 2 horas, principalmente as de 13% de adesivo.

Melo (2009) encontrou 14,71% de IE2H, com partículas de casca de arroz naturais, 0,65 g/cm<sup>3</sup> de ME e 8% de adesivo tanino-formaldeído, valor um pouco inferior ao tratamento de características semelhantes ao do presente estudo (20,47%). Esta diferença pode ter ocorrido pelo menor TA deste tratamento (7%) e pela não utilização da emulsão de parafina, já que esta melhora os valores de absorção e inchamento das chapas. Além disso, Pizzi et al. (1981) afirmam que a qualidade de adesivos tanino-formaldeído depende muito de sua formulação, do material de origem e de tratamentos para melhoria de sua eficiência.

A Figura 15 evidencia o modelo estimado entre o IE24H e a ME, em chapas compostas por partículas naturais e processadas. Assim como houve similaridade de comportamento entre AA2H e AA24H, ocorreu também entre IE2H e IE24H.

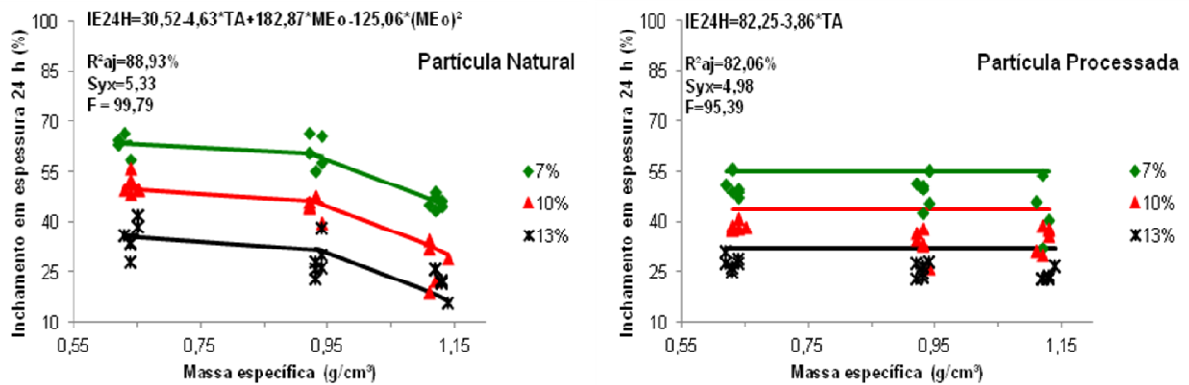


Figura 15 – Valores de inchamento em espessura (24 horas) observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

A equação ajustada para chapas de partículas naturais mostra uma baixa declividade da reta entre a massa específica de 0,65 a 0,95 g/cm<sup>3</sup>, mas que se acentua entre 0,95 a 1,15 g/cm<sup>3</sup>. Sendo assim, estes resultados mantêm a similaridade de comportamento com Albuquerque (2002) e Morais (2011). Enquanto as chapas com partículas processadas não apresentaram diferença significativa, a 5% de probabilidade de erro, entre IE24H e ME.

Do mesmo modo que IE2H, ocorreu significância a 95% de confiabilidade para IE24H nos 3 teores de adesivos analisados, sendo maior os valores de inchamento quanto maior TA, sustentando novamente o que foi descrito por Iwakiri et al. (2000): “a aplicação de maior quantidade de adesivo reduz o inchamento em espessura”.

Os melhores valores encontrados de IE24H para chapas de partículas naturais e processadas foram 23,83 e 23,69%, respectivamente. A norma DIN 68761 estabelece que o inchamento em espessura, após 24 horas, seja no máximo de 15% (GERMAN STANDARDS COMMITTEE, 1961). Sendo assim, todos os tratamentos estão com valores superiores ao estabelecido. No entanto, a norma ANSI 208.1 (1987) considera aceitável o percentual de até 35% de IE24H, valor atingido por todas as chapas (natural e processada) com 13% de adesivo e, de 10% de adesivo e 1,15 g/cm<sup>3</sup> de ME, também para ambas as partículas.

## 5.2 Propriedades mecânicas das chapas

### 5.2.1 Flexão estática

Na Tabela 8, observam-se os valores médios para cada tratamento resultante dos ensaios mecânicos de flexão estática. O MOE variou entre 1115,60 e 8991,60 kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto o MOR obteve variação de 29,01 a 66,27 kgf/cm<sup>2</sup>. Além disso, os valores de massa específica observada foram bem próximos às massas específicas nominais de 0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 8 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR)

Tratamentos	TA (%)	MEn (g/cm <sup>3</sup> )	Partículas (N, P)	MEo (g/cm <sup>3</sup> )	MOE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )
T1	7	0,65	N	0,628	2004,55	38,44
T2			P	0,634	1115,60	29,01
T3		0,95	N	0,932	3397,00	38,98
T4			P	0,930	3137,83	41,26
T5		1,15	N	1,120	3477,14	41,41
T6			P	1,120	3221,02	42,28
T7	10	0,65	N	0,645	3058,55	51,44
T8			P	0,632	2169,60	42,01
T9		0,95	N	0,925	4451,00	52,98
T10			P	0,930	3912,28	48,78
T11		1,15	N	1,122	4685,21	59,50
T12			P	1,125	4064,71	51,08
T13	13	0,65	N	0,640	3693,10	57,06
T14			P	0,628	3119,60	50,01
T15		0,95	N	0,935	5401,00	58,98
T16			P	0,928	5225,02	61,83
T17		1,15	N	1,127	7005,86	66,27
T18			P	1,130	8991,60	63,28

Na Tabela 9, verifica-se a matriz de correlação entre as propriedades de flexão estática (MOE e MOR), TA e MEo dos . As melhores correlações para chapas com partículas naturais foram entre MOR e TA (0,67) e MOR e MOE (0,67), sendo que não houve correlação entre MEo e TA. Nas chapas de partículas processadas, a única correlação não significativa ocorreu também entre MEo e TA, as demais foram significativas estatisticamente a 95% de confiabilidade, destacando-se as correlações entre MOR e TA (0,78) e MOR e MOE (0,65). A correlação entre MOR e MOE é verificada em inúmeros trabalhos científicos. Morais (2011) constatou uma correlação entre estas propriedades de 0,78, isto significa que à medida que o MOR aumenta, o MOE aumenta em proporção semelhante. Reforçando o que será abordado nos gráficos da Figura 18.

Tabela 9 – Matriz de correlação simples de Pearson para as propriedades de flexão estática

	Partícula Natural				Partícula Processada			
	MEo	TA	MOR	MOE	MEo	TA	MOR	MOE
MEo	1				1			
TA	0,03ns	1			0,006ns	1		
MOR	0,33s	0,67s	1		0,41s	0,78s	1	
MOE	0,48s	0,33s	0,67s	1	0,36s	0,35s	0,65s	1

MEo = Massa Específica observada (g/cm<sup>3</sup>); TA = Teor de adesivo (%); MOR = Módulo de Ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>); MOE = Módulo de Elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>); s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

Na Figura 16, nota-se o modelo estimado entre o MOR e a massa específica para partículas naturais e processadas.

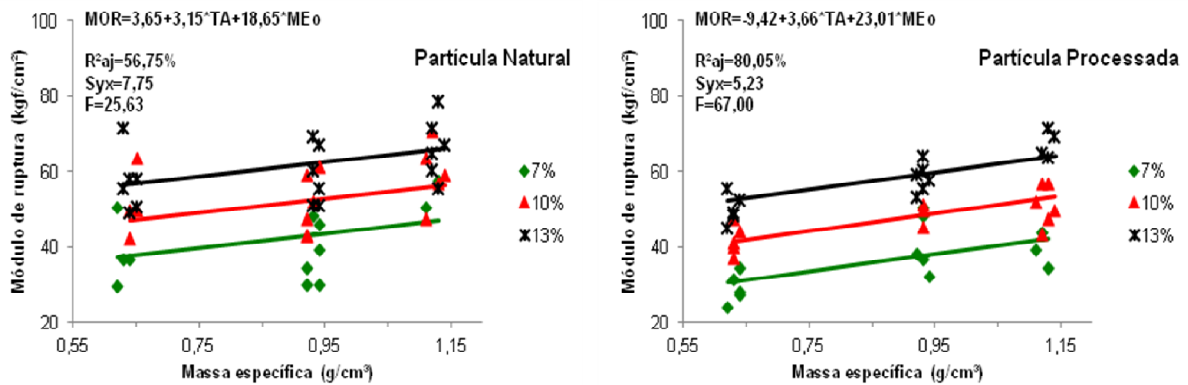


Figura 16 – Valores de módulo de ruptura observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

O pior desempenho foi observado para as chapas de partículas processadas e massa específica nominal (MEn) de 0,65 g/cm<sup>3</sup> (29,01 kgf/cm<sup>2</sup>). Entretanto, como esperado, os melhores valores foram observados para as partículas naturais e MEn de 1,15 g/cm<sup>3</sup> (66,27 kgf/cm<sup>2</sup>). Porém os valores observados foram inferiores à norma americana de comercialização, ANSI A 208.1, para chapas de média (0,64 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>) e alta densidade (0,80 a 1,12 g/cm<sup>3</sup>) do tipo 1, que admite como valor mínimo requerido 112 e 168 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente, para média e alta ME.

Melo (2009) encontrou um MOR médio de 37,44 Kgf/cm<sup>2</sup> para 0,65 g/cm<sup>3</sup> de ME, 8% de TA e partículas naturais de casca de arroz, valor inferior ao deste estudo (38,44 kgf/cm<sup>2</sup>), para chapas com características semelhantes (0,65 g/cm<sup>3</sup> de ME, 7% de TA e também com partículas naturais de casca de arroz).

Analisando os gráficos da Figura 16, nota-se que os valores de MOR ascendem com o aumento da ME. Da mesma forma, Haselein (1989), Hillig (2000) e Albuquerque (2002) observaram que o aumento na densidade resulta em aumento no MOR.

Quanto aos três TA examinados no presente estudo, foi possível observar que, o aumento desta propriedade na chapa, acarretou no acréscimo dos valores de MOR para ambos os tipos de partículas. Comportamento semelhante foi encontrado por Iwakiri et al. (2000), que utilizaram 2 teores de adesivos (8 e 12%) e avaliaram que, com 12% de adesivo, era possível obter maiores valores de MOR.

Na Figura 17, é possível verificar a análise de regressão entre o MOE e a ME para partículas naturais e processadas.

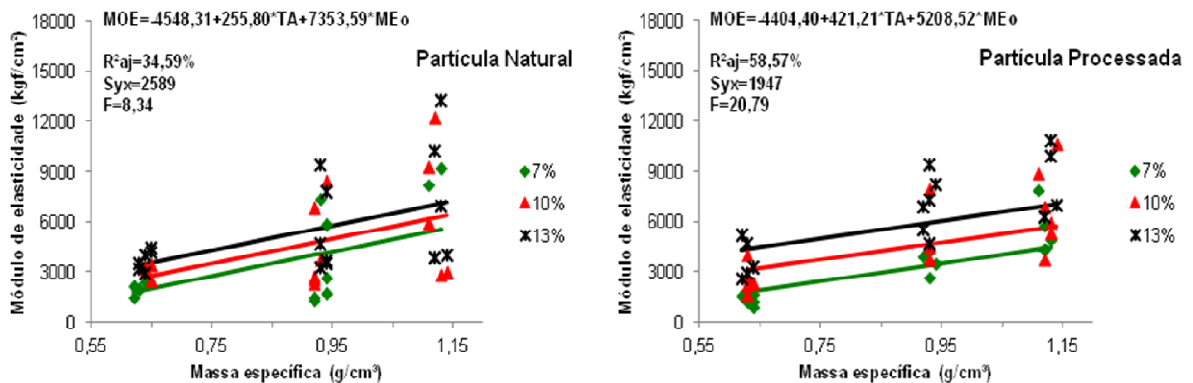


Figura 17 – Valores de módulo de elasticidade observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Se comparadas as Figuras 16 e 17, é possível notar a semelhança de comportamento das equações ajustadas. Assim como no MOR, o MOE teve um acréscimo significativo, a 95% de confiabilidade, com o aumento da ME. Mantendo, portanto, a similaridade de resultados com Hillig (2000), Dacosta (2004) e Pedrazzi (2005) que, do mesmo modo como no MOR, relataram que um aumento na densidade resulta em um aumento no MOE.

O teor de adesivo diferenciou estatisticamente (5% de probabilidade de erro) para as chapas de partículas naturais e processadas. Na Figura 17, é possível visualizar que as linhas de tendências são superiores para maiores TA. Comportamento este também encontrado por Brito (1984), Albuquerque (2002) e Keinert Jr. e Matos (1987).

Para chapas de partículas processadas, por exemplo, observaram-se valores mais baixos de MOE com 7% de adesivo (1115,60 a 3221,02 kgf/cm<sup>2</sup>, de 0,65 a 1,15 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente), que aumentaram com 10% (2169,60 a 4064,71 kgf/cm<sup>2</sup>, de 0,65 a 1,15 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) e ainda mais com 13% (3119,60 a 8991,60 kgf/cm<sup>2</sup>, de 0,65 a 1,15 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente). As chapas de partículas naturais tiveram variação semelhante, sendo a melhor média para MOE de 7005,86 kgf/cm<sup>2</sup>.

A norma americana de comercialização ANSI A 208.1 para chapas de média densidade (0,64 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>) e alta densidade (0,80 a 1,12 g/cm<sup>3</sup>) do tipo 1 admite como valores mínimos requeridos 17600 e 24480 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente (ANSI, 1987). Nesse sentido, pode-se observar que para o MOE nenhum dos tratamentos atingiu os valores requeridos pela norma ANSI.



Autores que trabalharam com partículas de madeira encontraram médias de MOE superiores. Iwakiri et al. (2000) encontraram valores para o MOE variando de 12422,48 a 23516,71 kgf/cm<sup>2</sup>, em chapas de *Eucalyptus* spp., com 8% de adesivo, emulsão de parafina, massa específica de 0,75 g/cm<sup>3</sup> e prensagem durante 8 minutos. Pedrazzi (2005), trabalhando com aglomerados de palitos e serragem da espécie *Eucalyptus saligna*, com massa específica de 0,65 g/cm<sup>3</sup>, 8% de adesivo e prensagem durante 8 minutos, encontrou MOE variando entre 9798,53 e 15193,61 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente para palitos e serragem.

Os resultados alcançados no presente estudo contradizem Hancock e Chandramouli (1974), que afirmam ser as propriedades das chapas produzidas com casca de arroz similares às com partículas de madeira. Entretanto, inúmeras variáveis envolvidas no processo produtivo, tais como adesivos, massa específica, tempo de prensagem, dentre outras, influenciam diretamente a qualidade do produto final e podem ter contribuído nesta divergência de resultados.

A estimativa do MOR em função do MOE apresentou um razoável ajuste por regressão linear (Figura 18). O coeficiente de determinação foi de 53,35% para as chapas de partículas processadas e de 47,24% para as de partículas naturais.

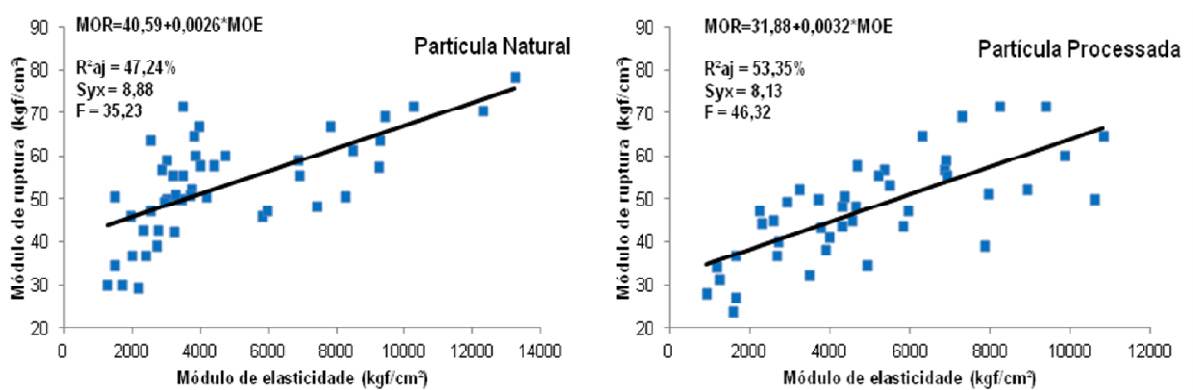


Figura 18 – Modelo estimado do módulo de ruptura através do módulo de elasticidade, para chapas de partículas naturais e processadas

Ainda na Figura 18, verifica-se que à medida que o MOR aumenta, o MOE aumenta em proporção semelhante para ambos os tipos de partículas. Haselein (1989), Hillig (2000), Pedrazzi (2005) e Melo (2010) observaram a mesma tendência, porém as correlações foram distintas ao do presente estudo (67% para partículas

naturais e 65% para processadas): 69, 88, 82 e 92%, respectivamente, para cada autor citado. Segundo Kelly (1977), a relação entre tais variáveis geralmente segue esse padrão, isso se deve à influência de diversas variantes do processamento, que exercem de forma similar tanto no MOE como no MOR.

### 5.2.2 Arrancamento de parafuso

Para auxiliar na interpretação dos dados, são apresentadas na Tabela 10 as médias de resistência ao arrancamento de parafuso (AP). Observa-se que esta propriedade mecânica teve valores superiores em chapas de partículas naturais para 13% de adesivo, já para 7 e 10% os valores ora eram maiores para partículas naturais ora para processadas. Estas médias de AP variaram de 12,33 kgf, para 7% de TA, 0,65 de MEn e partícula processada a 37,33 kgf, para 13% de TA, 1,15 de MEn e partícula natural.

A MEo variou de 0,628 a 0,645 g/cm<sup>3</sup> para MEn de 0,650 g/cm<sup>3</sup>, para as chapas de média densidade, e de 0,925 a 0,935 g/cm<sup>3</sup> e 1,121 a 1,130 g/cm<sup>3</sup> para MEn de 0,950 g/cm<sup>3</sup> e 1,150 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, para as de alta densidade. Essa pequena variação também foi observada por Iwakiri (1989), Hillig (2000) e Dacosta (2004).

Tabela 10 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de arrancamento de parafusos (AP)

<b>Tratamentos</b>	<b>TA (%)</b>	<b>MEn (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Partículas (N, P)</b>	<b>MEo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>AP (kgf)</b>
T1	7	0,65	N	0,628	13,88
T2			P	0,634	12,33
T3		0,95	N	0,932	15,67
T4			P	0,930	19,67
T5		1,15	N	1,121	19,17
T6			P	1,121	21,25
T7	10	0,65	N	0,645	14,08
T8			P	0,632	19,17
T9		0,95	N	0,925	29,00
T10			P	0,930	22,58
T11		1,15	N	1,122	29,75
T12			P	1,125	32,10
T13	13	0,65	N	0,640	18,58
T14			P	0,628	16,58
T15		0,95	N	0,935	33,67
T16			P	0,928	32,33
T17		1,15	N	1,127	37,33
T18			P	1,130	35,92

Na Tabela 11, observa-se a matriz de correlação entre as características físicas dos e o arrancamento de parafuso. A única correlação não significativa foi entre MEo e TA, tanto para partículas naturais quanto para processadas. Ademais, para ambas as partículas, as melhores correlações foram observadas entre os parâmetros AP e MEo, sendo 0,56 para partículas naturais e 0,67 para processadas, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 11 – Matriz de correlação simples de Pearson para o arrancamento de parafuso

	Partícula Natural			Partícula Processada		
	MEo	TA	AP	MEo	TA	AP
MEo	1			1		
TA	-0,05ns	1		0,06ns	1	
AP	0,56s	0,52s	1	0,67s	0,44s	1

MEo = Massa Específica observada (g/cm<sup>3</sup>); TA = Teor de adesivo (%); AP = Arrancamento de parafuso (kgf); s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

Na Figura 19, é possível verificar a análise de regressão entre o AP e a ME para partículas naturais e processadas.

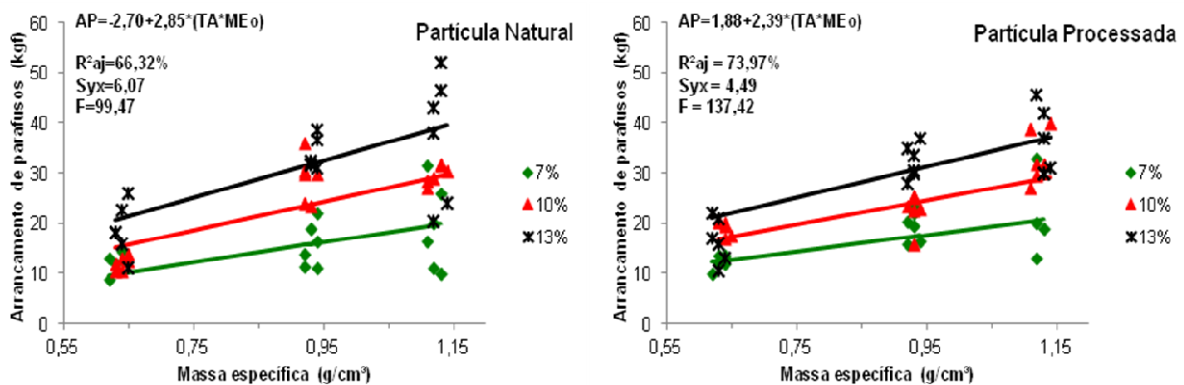


Figura 19 – Valores de arrancamento de parafuso observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Como era esperado, o AP obteve diferença significativa, a 95% de confiabilidade, nas 3 classes de ME adotadas neste estudo. A linha de tendência do modelo ajustado foi crescente com o aumento da ME, para ambas as partículas. Portanto, de modo geral, o aumento da densidade proporcionou maior resistência, o que está de acordo com Moslemi (1974), que afirma que o AP aumenta com a massa específica. Este comportamento pode ser facilmente explicado pela diminuição dos espaços vazios em amostras mais densas.

As chapas de partículas naturais e processadas, com coeficiente de determinação de 66,32 e 73,97%, respectivamente, tiveram diferença significativa a 5% de probabilidade de erro, quanto ao teor de adesivos. Quanto maior o TA, maior a resistência ao AP. Além disso, visualizando a Figura 19, percebe-se que as retas se distanciam com o aumento do TA, ou seja, com 13% de adesivo ocorre uma maior diferença de resistência do que a 10 e 7%. Possivelmente a massa específica pode ter influenciado neste comportamento.

Pedrazzi (2005), ao estudar aglomerados confeccionados a partir de resíduos de madeira e colados com adesivo à base de ureia-fomaldeído, também observou que o aumento da quantidade de adesivo aplicado proporcionou maior resistência ao arrancamento de parafuso. A mesma tendência também foi observada por Brito (1984) e Maciel (2001), que relataram da seguinte forma: “o aumento do teor de adesivo resultou num acréscimo da resistência das chapas ao AP”. Fato também observado por Colli et al. (2010) em seu estudo com aglomerados de *Schyzolobium amazonicum* e fibras de *Cocos nucifera*.

Conforme a Tabela 10, e podendo também ser visualizado na Figura 19, os valores de AP variaram de 12,33 Kgf, para 7% de TA, 0,65 g/cm<sup>3</sup> de MEn e partícula processada; e a 37,33 Kgf, para 13% de TA, 1,15 g/cm<sup>3</sup> de MEn e partícula natural. Independente das classes de ME, todos os valores de AP foram inferiores aos exigidos pela norma ANSI A 208.1 (1987) para chapas de média densidade (0,64 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>), que admite um valor mínimo requerido de 102 kgf.

Dacosta (2004), em chapas constituídas por maravalha de *Pinus elliottii* e massa específica de 0,60 e 0,70 g/cm<sup>3</sup> com 8% de ureia-fomaldeído, observou 55 e 75 kgf, respectivamente, valores superiores aos do presente estudo. Calegari et al. (2004) avaliaram painéis de *Pinus elliottii* com 0,65 g/cm<sup>3</sup> de massa específica e 10% de teor de adesivo e obtiveram 105 kgf, valor também superior ao do presente estudo. Melo (2009) explica que a superioridade de resistência destas chapas à base de madeira se deve ao fato de que o acréscimo de casca de arroz proporciona uma redução da resistência ao arrancamento de parafuso.

### 5.2.3 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna)

Através da Tabela 12, é possível a visualização dos valores médios para cada tratamento resultante dos ensaios mecânicos de ligação interna. A LI ou resistência à tração perpendicular à superfície da chapa variou entre 0,08 e 0,47 kgf/cm<sup>2</sup>. Além disso, os valores de massa específica observada foram bem próximos às massas específicas nominais de 0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 12 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores de ligação interna (LI)

<b>Tratamentos</b>	<b>TA (%)</b>	<b>MEn (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Partículas (N, P)</b>	<b>MEo (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>LI (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
T1	7	0,65	N	0,640	0,08
T2			P	0,629	0,14
T3		0,95	N	0,930	0,19
T4			P	0,931	0,16
T5		1,15	N	1,120	0,10
T6			P	1,130	0,12
T7	10	0,65	N	0,640	0,19
T8			P	0,636	0,22
T9		0,95	N	0,927	0,34
T10			P	0,929	0,35
T11		1,15	N	1,123	0,30
T12			P	1,110	0,38
T13	13	0,65	N	0,635	0,26
T14			P	0,636	0,30
T15		0,95	N	0,931	0,41
T16			P	0,930	0,40
T17		1,15	N	1,130	0,47
T18			P	1,128	0,30

Na Tabela 13, verifica-se a matriz de correlação entre as propriedades de LI, TA e MEo dos . A única correlação significativa foi entre LI e TA, para chapas de partículas naturais (0,41) e processadas (0,47), sendo que não houve correlação

para as demais propriedades. Dacosta (2004) também verificou correlação entre a ligação interna e o teor de adesivo, embora em valor inferior (0,35).

Tabela 13 – Matriz de correlação simples de Pearson para a ligação interna

	Partícula Natural			Partícula Processada		
	MEo	TA	LI	MEo	TA	LI
MEo	1			1		
TA	-0,23ns	1		0,07ns	1	
LI	0,22ns	0,41s	1	0,20ns	0,47s	1

MEo = Massa Específica observada (g/cm<sup>3</sup>); TA = Teor de adesivo (%); LI = Ligação Interna (kgf/cm<sup>2</sup>); s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

A Figura 20 evidencia o modelo estimado entre a LI e a ME, em chapas compostas por partículas naturais e processadas.

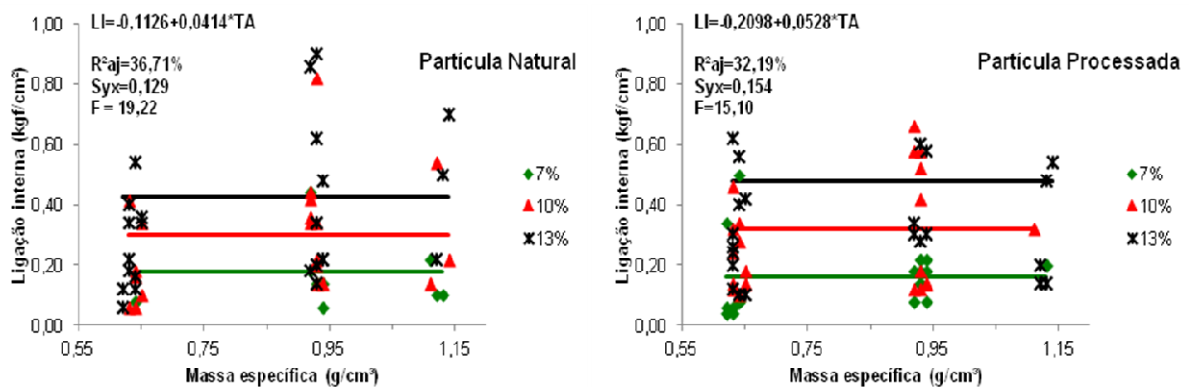


Figura 20 – Valores de ligação interna observados e ajustados em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Contrário a todos os comportamentos observados até o presente momento, tanto para as propriedades mecânicas quanto para a maioria das propriedades físicas, a LI não obteve alteração significativa (95% de confiabilidade) nos seus valores, permanecendo constante com o aumento da ME.

Resultado contrário ao que a literatura tem se deparado (PLACE e MALONEY, 1977; HASELEIN, 1989; ALBERTO e KEINERT JUNIOR, 1993; BRITO, 1996). Estes autores descreveram que chapas mais densas apresentaram valores mais altos de ligação interna. Afirmam ainda que uma maior densificação proporciona a diminuição de espaços vazios e da porosidade, resultando, desse modo, em uma colagem mais eficiente. Entretanto também relatam outro fator de reconhecida influência sobre esse parâmetro, que é a quantidade e a qualidade do adesivo utilizado na manufatura das chapas. Iwakiri et al. (2004) acrescentaram que essa diferença de comportamento pode ser atribuída à menor disponibilidade de adesivo em função do aumento da quantidade de partículas. Esta menor disponibilidade, muitas vezes, contribui para o não aumento desta propriedade mecânica com o acréscimo da ME.

Do mesmo modo que nas demais propriedades mecânicas, ocorreu diferença significativa a 5% de probabilidade de erro para a LI nos 3 teores de adesivos analisados, sendo maior os valores de tração perpendicular quanto maior TA, mantendo a similaridade de resultados com os autores já citados na presente pesquisa (BRITO, 1984; IWAKIRI et al., 2000; MACIEL, 2001; DACOSTA, 2004; IWAKIRI et al., 2004; PEDRAZZI, 2005; COLLI et al., 2010).

Os valores médios encontrados para LI em chapas de partículas naturais e processadas variaram de 0,08 kgf/cm<sup>2</sup> para 7% de adesivo a 0,47 kgf/cm<sup>2</sup> para 13% de adesivo. As normas de comercialização americana (ANSI A 208.1, 1987) e alemã (DIN 68761 - GERMAN STANDARDS COMMITTEE, 1961) estabelecem os valores mínimos de 4,22 e 3,50 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Sendo assim, as médias de LI atingidas ficaram bem abaixo do mínimo exigido pelas normas referenciadas.

Resultados inferiores de resistência a tração perpendicular também foram observados por Hiziroglu et al. (2005) para chapas de *Eucalyptus camaldulensis* com palha de arroz. Os autores relatam que esse comportamento está relacionado à estrutura cilíndrica e oca das partículas da palha que podem ter atuado como uma barreira durante a aplicação do adesivo, tendo por resultado uma colagem não uniforme entre as partículas. Acredita-se que comportamento semelhante pode ter ocorrido no presente estudo. Outra provável influência trata-se da baixa permeabilidade mencionada por Youngquist et al. (1993), que pode ter dificultado a adesão das partículas.



Conhecendo essa dificuldade de colagem apresentada pelas partículas de casca de arroz, Hse e Choong (2002) conduziram estudos para desenvolver um adesivo efetivo e econômico para melhorar as propriedades físico-mecânicas de chapas de casca de arroz, em que foram avaliados três adesivos: ureia-formaldeído, fenol-formaldeído e di-isocianato em várias formulações. Os autores chegaram à conclusão que as chapas coladas com 1% MDI mais 6% UF apresentaram os melhores resultados quanto à ligação interna, MOE, MOR e estabilidade dimensional.

Hiziroglu et al. (2005) também evidenciaram deficiências na interação entre as partículas e o aglutinante, ao estudarem chapas produzidas com diferentes proporções de *Eucalyptus camaldulensis*, palha de arroz e bambu, chegando à conclusão de que a ligação interna com palha de arroz era inferior quando comparada as chapas produzidos com *Eucalyptus camaldulensis* puro.

Lee et al. (2003) estudaram inclusão parcial de farelo de casca de arroz em consórcio com madeira para produção de aglomerados com adesivo à base de ureia-formaldeído. Assim como no presente estudo, foi observado que a casca de arroz proporcionou chapas de qualidade inferior, tanto para as propriedades físicas, como para resistência mecânica.

Ndazi et al. (2006) produziram aglomerados com casca de arroz e adesivo à base de tanino de acácia mimosa. Segundo os autores, a casca de arroz está entre os resíduos agrícolas que estão disponíveis facilmente em grandes quantidades e, nesse ponto de vista, pode ser considerada uma excelente matéria-prima para a produção de chapas. A maior dificuldade está na falta de interação direta com a maioria dos adesivos.

### **5.3 Propriedades biológicas de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos**

Na Tabela 14, é possível a visualização dos valores médios de perda de massa para cada tratamento, resultante dos ensaios de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos do tipo podridão branca (*Trametes versicolor*) e podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*).

Assim como nos testes físicos e mecânicos, os ensaios biológicos também tiveram valores de massa específica observada bem próximos às massas específicas nominais de 0,65, 0,95 e 1,15 g/cm<sup>3</sup>.

A perda de massa observada nas madeiras de referência foi de 54,90% na madeira de *Cecropia* sp., causada pelo fungo *Trametes versicolor*, e de 62,19% na madeira de *Pinus* sp., causada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*. Estes valores foram observados após 14 semanas de ensaio e são superiores ao valor mínimo de 50% estabelecido pela norma ASTM D 2017 (2005). Estes dados atestam que as condições gerais de ensaios foram favoráveis ao desenvolvimento dos fungos, e que as culturas empregadas estavam em pleno vigor vegetativo, portanto, os resultados do ensaio são válidos.

Tabela 14 – Tratamentos, teor de adesivos (TA), partículas natural (N) e processada (P), massa específica nominal (MEn) e observada (MEo) e valores médios de perda de massa (PM) para os fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*

Tratamentos	TA (%)	MEn (g/cm <sup>3</sup> )	Partículas (N, P)	MEo (g/cm <sup>3</sup> )	<i>T. versicolor</i> PM (%)	<i>G. trabeum</i> PM (%)
T1	7	0,65	N	0,630	18,79 R	28,10 MR
T2			P	0,639	16,69 R	30,68 MR
T3		0,95	N	0,930	17,28 R	29,59 MR
T4			P	0,930	18,40 R	29,69 MR
T5		1,15	N	1,121	16,04 R	27,67 MR
T6			P	1,125	16,69 R	26,11 MR
T7	10	0,65	N	0,636	17,27 R	31,95 MR
T8			P	0,638	20,11 R	29,95 MR
T9		0,95	N	0,935	19,18 R	28,41 MR
T10			P	0,928	20,44 R	25,07 MR
T11		1,15	N	1,129	13,31 R	19,49 R
T12			P	1,129	18,04 R	23,65 R
T13	13	0,65	N	0,636	17,30 R	29,78 MR
T14			P	0,634	19,15 R	30,65 MR
T15		0,95	N	0,930	16,62 R	25,34 MR
T16			P	0,931	17,85 R	23,51 R
T17		1,15	N	1,131	16,32 R	24,90 R
T18			P	1,130	16,18 R	22,02 R

***Pinus* sp.** (referência para podridão parda)

**62,19 NR**

***Cecropia* sp.** (referência para podridão branca)

**54,90 NR**

R = resistente; MR = moderadamente resistente e NR = não resistente, segundo a ASTM D 2017 (2005).

De acordo com os critérios da norma americana, ASTM D 2017 (2005), todos os tratamentos foram classificados como resistentes ao fungo *Trametes versicolor* para podridão branca. Isto indica que a resistência ao apodrecimento foi pouco afetada pelas variáveis testadas, sendo devido, principalmente, à resistência intrínseca da casca de arroz.

Para o fungo *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda), a maioria dos tratamentos foi classificada como moderadamente resistente. Para este fungo, o aumento da densidade da chapa e do teor de adesivo diminuiu a perda de massa, sendo os tratamentos T11, T12, T16, T17 e T18 classificados como resistentes ao apodrecimento. A influência da ME e do TA sobre a resistência biológica será abordada mais detalhadamente, a seguir, nos comentários referentes à Figura 21.

Na Tabela 15, verifica-se a matriz de correlação entre a perda de massa para podridão branca (PB) e parda (PP) e as propriedades de TA e MEo dos .

Tabela 15 – Matriz de correlação simples de Pearson para a perda de massa através do ensaio de apodrecimento acelerado com fungos xilófagos

	Partícula Natural				Partícula Processada			
	MEo	TA	PB	PP	MEo	TA	PB	PP
MEo	1				1			
TA	0,01ns	1			0,002ns	1		
PB	-0,26ns	-0,07ns	1		-0,19ns	0,19ns	1	
PP	-0,46s	-0,14ns	0,20ns	1	-0,54s	-0,28s	0,15ns	1

MEo = Massa Específica observada (g/cm<sup>3</sup>); TA = Teor de adesivo (%); PB = podridão branca através do fungo *Trametes versicolor* (%); PP = podridão parda através do fungo *Gloeophyllum trabeum* (%); s e ns = significativo e não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de correlação de Pearson.

A única correlação significativa, a 5% de probabilidade de erro, para chapas de partículas naturais foi entre PP e MEo (-0,46), sendo que não houve correlação para as demais propriedades. Nas chapas de partículas processadas, foi observado correlação entre PP e MEo (-0,54) e PP e TA (-0,28), não havendo correlação para as demais propriedades. Assim, a melhor correlação foi entre PP e MEo (-0,54) em painéis de partículas processadas. Além disso, a perda de massa para PB não teve

correlação com nenhuma das propriedades contidas nas chapas, para ambos os tipos de partículas.

A análise de regressão não constatou diferença significativa a 5% de probabilidade de erro entre a perda de massa para *Trametes versicolor* (PB), ME e TA, tanto para partículas naturais quanto processadas. O que também foi verificado na Matriz de correlação simples de Pearson, na Tabela 15, reforçando, portanto, o resultado encontrado. Assim sendo, não foi feita ilustração gráfica para este tipo de fungo, já que não houve uma tendência de acréscimo ou decréscimo da resistência da chapa à perda de massa.

Entretanto, a perda de massa para o *Gloeophyllum trabeum* (PP) teve diferença significativa a 95% de confiança, com o acréscimo da ME. Na ilustração gráfica da Figura 21, nota-se que à medida que aumenta a ME, ocorre maior resistência da chapa ao ataque do fungo causador da podridão parda, já que ocorre a diminuição da perda de massa. Este comportamento é verificado nos dois tipos de partículas utilizadas no presente estudo.

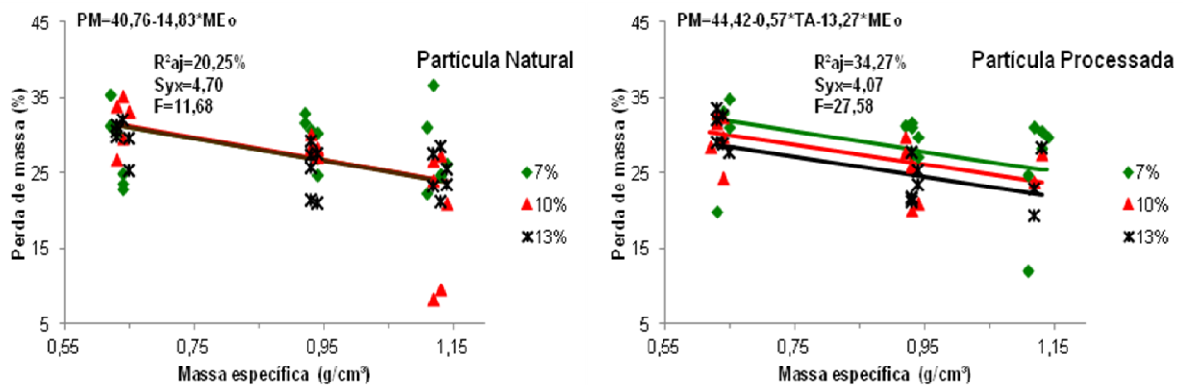


Figura 21 – Valores de perda de massa observados e ajustados para o fungo *Gloeophyllum trabeum*, em função da massa específica, para chapas de partículas naturais e processadas, com 3 teores de adesivos

Quanto ao TA, também foi constatado diferença significativa a 5% de probabilidade de erro, para as chapas confeccionadas com partículas processadas. Com o aumento do adesivo tanino-formaldeído, ocorreu o aumento da resistência ao ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum*, causador da podridão parda. Okino et al.

(2007), ao estudarem a resistência de chapas OSB de *Pinus taeda*, também relatam que o aumento do TA proporcionou maior resistência ao fungo apodrecedor.

Já para as chapas de partículas naturais não foi observado diferença de perda de massa com o aumento do TA. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 21.

Os tratamentos classificados como resistentes podem ser utilizados em situações onde haja risco de umidificação eventual, porém fora do contato com solo ou água. Materiais classificados como moderadamente resistentes só devem ser usados fora do contato com a umidade, sob pena de serem atacados por fungos. Para estes aglomerados são necessários estudos da aplicação de produtos preservativos para melhorar sua resistência ao ataque de fungos xilófagos (DIROL e DEGLISE, 2001).

Entretanto, para fins de indicação de uso das chapas, por razões de segurança, deve-se considerar a pior situação. Como não é possível prever qual espécie de fungo irá atacar as peças em serviço, deve-se considerar os dados do fungo que apresentou a maior perda de massa, como indicador da durabilidade do material avaliado.

Considerando o exposto acima, as chapas que podem ser utilizadas em ambientes de umidade eventual são as de tratamentos T11, T12, T16, T17 e T18, classificados como resistentes ao apodrecimento para ambos os tipos de fungos analisados neste estudo.

Ademais, Teixeira et al. (1997) mencionam que a classificação “moderadamente resistente”, indicada pela ASTM D 2017 (2005), e obtida por parte dos tratamentos em estudo para podridão parda, não inviabiliza o uso das chapas, contanto que estas não venham a ser utilizadas em ambientes adversos, tais como: uso exterior e em contato direto com o solo.

## 6 CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados observados e discutidos no presente trabalho, pode-se relatar as seguintes conclusões e recomendações para as chapas de casca de arroz com adesivo à base de tanino-formaldeído:

As propriedades físicas tiveram comportamento semelhante nos diferentes tratamentos analisados. Com o aumento da massa específica e do teor de adesivo as chapas apresentaram maior resistência a absorção d'água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas. A exceção foi o IE2H e IE24H, para partículas processadas, onde não ocorreu variação com o aumento da massa específica. Somente as chapas com 13% de adesivo apresentaram valores mínimos requeridos pelas normas de comercialização, quanto à estabilidade dimensional.

Além disso, o teor de umidade de equilíbrio não sofreu nenhuma variação significativa com o acréscimo da massa específica e do teor de adesivo, não ocorrendo variações entre os tratamentos avaliados.

Todas as propriedades mecânicas analisadas no presente estudo tiveram valores médios inferiores às normas de comercialização. Entretanto, ficou evidente que o acréscimo da massa específica e do teor de adesivo proporcionou maiores valores para estas propriedades. Com exceção da ligação interna, que permaneceu constante com a ampliação da massa específica, ou seja, o aumento da quantidade de partículas na composição da chapa não influenciou significativamente neste ensaio mecânico.

Ocorreu correlação significativa entre MOR e MOE para ambos os tipos de partículas (naturais e processadas), onde se verificou que à medida que o MOR aumenta, o MOE aumenta em proporção semelhante, seguindo o padrão encontrado na literatura.

O melhor desempenho das chapas desenvolvidas no presente trabalho foi verificada nos ensaios biológicos. De acordo com os critérios da norma americana, ASTM D 2017 (2005), todos os tratamentos foram classificados como resistentes ao fungo *Trametes versicolor* para podridão branca. Isto indica que a resistência ao apodrecimento foi pouco afetada pelas variáveis testadas devido, principalmente, à resistência intrínseca da casca de arroz.

Para o fungo *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda), a maioria dos tratamentos foram classificados como moderadamente resistente. Neste caso, o aumento da massa específica e do teor de adesivo diminuiu a perda de massa, sendo os tratamentos T11, T12, T16, T17 e T18 classificados como resistentes ao apodrecimento.

De modo geral, a utilização de casca de arroz, em comparação com a literatura de chapas com partículas de madeira, reduziu os principais parâmetros que identificam a qualidade dos aglomerados, que são suas propriedades físico-mecânicas. Entretanto, esta matéria-prima revelou ser uma alternativa de elevado potencial para a confecção de chapas de maior resistência a fungos apodrecedores. Podendo desta forma, ser recomendada para construção civil, na forma de chapas sanduíche, permitindo um bom isolamento térmico e acústico. A realização de estudos que avaliem esses parâmetros são de fundamental importância.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIAP. Disponível em: **ABIAP** <<http://abiap.com.br>>. Acesso em: 27 nov. 2005.

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, 1991.

AKERS, L. E. Particle board and hardboard. **Pergamon series of monographs on furniture and timber**. Great Britain: Balckie & Son Ltda, 1966. v. 4, 172 p.

ALBERTO, M. M. M.; KEINERT JR., S. Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”: parte I: efeito sobre as propriedades de resistência. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. p. 613.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2002.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI-A-208.1-87. **Mat-formed wood particleboard**. New York, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 1037. Standard test methods for evaluating properties of Wood based fiber and particle panel materials. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v.04.09, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 2017. Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v.0410, p.5, 2005.

ANDERSON, A. B. Bark extracts as bonding agent for particleboard. **ACS-American Chemical Society symposium series wood technology: chemical aspects**. n. 43, p. 235-242, 1977.

ANÔNIMO. Resin coated rice hulls and the production of composite articles there from. Cor Tech Research Ltd. **Patent**, P.N.: GB 1403154, I.D.: 750813. 1975.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR-14810-1: **Chapas de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro, 2ª edição, 2006. 51p.

BARBOSA, A. P.; MANO, E.B.; ANDRADE, C.T. Tannin-based resins modified to reduce wood adhesive brittleness. **Forest Products Journal**, v. 50, n.9, p.89-92. 2000.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais waferboard**. 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BRITO, E. O. Estimativa de produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista Madeira**, v.4, n.26, p.34-39, 1996.

BRITO, E. O.; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 17-21, dezembro 2006.

BRITO, E.O.; SILVA, G. C. Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arborea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.9, n.1, p.127-134, 2002.

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; December 14-18; Vienna, Austria. 39 p, 1970.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; DELLA LUCIA, R.M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de uréia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**. v.28, n.5, p.715-724, 2004.

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.

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.

COLLI, A.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; LUCIA, R. M. D. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de Coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, v.34, n.2, p.333-338, 2010.

COPPENS, H. A.; SANTANA, M.A.E.; PASTORE, F.J. Tannin formaldehyde adhesive for exterior-grade plywood and particleboard manufacture. **Forest Products Journal**, v.30, n.4, p.38-42, 1980.

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

DELLA, V. P. **Processamento e Caracterização de Sílica Ativa Obtida a partir de Cinza de Casca de Arroz**. Florianópolis, 2001. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

DIROL, D.; DEGLISE, X. **Durabilité dès bois et problèmes associés**. Hermes Science Europe Ltd. Paris, 2001. 416 p.

DIX, B.; MARYTZKY R. Tannin-formaldehyde resins from bark extracts of Norway spruce and Scots pine. **Holz als Roh und Werkstoff**. v. 46, n. 1, p. 19-25, 1988.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación). **Actas de la consulta mundial sobre paneles a base de madera**. Roma, 1975. 245p.

FECHTAL, M.; RIEDL, B. Use of *Eucalyptus* and *Acacia mollissima* bark extract-formaldehyde adhesives in particleboard manufacture. **Holzforschung**. v. 47, n. 4, p. 349-357, 1993.

FOLETTTO, E. L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R. S.; PORTUGAL JR., U. L.; JAHN, S. J. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Quim. Nova**, Vol. 28, No. 6, 1055-1060, 2005.

GEORGE J.; ZOOLAGUD, S. S.; RANGARAJU, T. S. Preliminary investigations on the use of tannin adhesives for particleboard manufacture. **IPIRI Journal**. v. 6, n. 1, p. 37-41, 1976.

GERARDI, V.; MINELLI, F.; VIGGIANNO, D. Steam treated rice industry residues an alternative feedstock for the wood based particleboard industry in Italy. **Biomass and Bioenergy**, v14, n.1, p.18-27. 1998.

GERMAN STANDARDS COMMITTEE. Deutschen Normenausschuss. **Specifications for particleboards**. Holtz, 1971. (DIN 68761 (1)-1961 (3)).

HANCOCK, W. V.; CHANDRAMOULI, P. Comparatives proprieties of Rice husk board, particleboard, and wafer board. **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v.5, n.1, p.18 27, 1974.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucaliptus grandis* W. Hill ex Maiden) e embaúva (*Cecropia sp.*)**. 1989, 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria. v. 12, n. 2. p. 127-134, 2002.

HILLIG, É. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000, 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 55, n. 12, p. 221-225, 2005.

HSE, C. Y.; CHOONG, E. T. Modified formaldehyde based resin adhesives for rice hull wood particleboard. **Southern Research Station**, n.07, p.81 86, 2002.

IRGA. **Informativo IRGA**. 2005. Disponível em: <<http://irga.rs.gov.br>>. Acesso em: 27 nov. 2005.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989, 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Revista Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P.; SEVERO, E. T. D.; RINCOSKI, C. R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N.S. Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais "waferboard". **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.14, n.1-2, p.107-114, 1995.

IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO JUNIOR, A.; FABROWSKI, F.; INTERAMENSE, M. T. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v.15, n.1, p.33-41, 1996.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU J.; SILVA, J. D.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.883-887, 2004.

JAMES, J.; RAO, M. S. Reaction Product of Lime and Silica from Rice Husk Ash. **Cement and Concrete Research**, v. 16, p.67-73, 1986.

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.

KEINERT JR., S. Atualidades e perspectivas da utilização da madeira de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. para produção de painéis no Brasil e no exterior. In: Simpósio brasileiro de pesquisa florestal.1, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade de Investigações Florestais, 1993. p.227-239.

KEINERT JR., S.; MATOS, J.L.M. Utilização de Pinus pinaster para a fabricação de chapas de partículas. **Floresta**, v.17, n.1 / 2., p.113-120, 1987.

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. 703p.

KRISHNARAO, R. V.; GODKHINDI, M. M. Distribution of Silica in Rice Husks and its Effect on the Formation of Silicon Carbide. **Ceramics International**. 18. 1992. p. 243-49.

LEE, Y. K.; KIM, S.; YANG, H. S.; KIM, H. J. Mechanical properties of rice husk flour-wood particleboard by urea-formaldehyde resin. **Journal of the Korean Wood Scientia and Technology**, v.31, n.3, p.42-49, 2003.

LOXTON, C., HAGUE, J. Utilization of agricultural crop materials in panel products. In: **Forest Products Society**. The use of recycled wood. Madison, 1997. p.190-192.

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

M.A. **Ministério da Agricultura**. 2005. Disponível em: <<http://agricultura.gov.br>>. Acesso em: 27 nov. 2005.

M.A. **Ministério da Agricultura**. 2012. Disponível em: <<http://agricultura.gov.br>>. Acesso em: 08 jun. 2012.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. 3. ed. San Francisco: Miller Freeman, 672 p. 1989.

MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto**. 2011. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MORI, C.; PIMENTA, A. S.; VITAL, B. R.; MORI, F. A. Uso de taninos de casca de três espécies de *Eucalyptus* na produção de adesivos para colagem de madeira. **Revista Árvore**, v.25, n.1, p.19-28, 2001.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois University Press: Carbondale, v.2, 1974, 244p.

NDAZI, B.; TESHAI, J. V.; KARLSSON, S.; BISANDA, E. T. N. Production of rice husks composites with *Acacia mimos*a tannin-based resin. **Journal of Materials Science**. 41, p. 6978-6983. 2006.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G. **Tópicos de tecnologia da madeira: adesão e adesivos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1978. 93 p.

OKINO, E. Y. A.; ANDAHUR, J. P. V. SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Resistência físico mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, n.52, p.35-42, 1997.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; ANDAHUR, J. P. V. Resistência ao ataque de fungos de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, n.53, p.81-86, 1998.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; ANDAHUR, J. P. V. TEIXEIRA. D. E. Resistência ao ataque de fungos de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.53, p. 1-5, 2004.

PATEL, M.; KARERA, A.; PRASANNA P. Effect of thermal and chemical treatments on carbon and sílica contents in rice husk. **Journal of Materials Science**. n.22, p.2457 – 2464, 1987.

PAULESKI, D. T. **Características de compósitos manufacturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira**. 2005. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, v.16, n.2, p.201-212, 2006.

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

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. ed. Marcel Dekker, New York. 289p. 1994.

PIZZI, A. **Hybrid interior particleboard using wattle tannin adhesives**. *Holzforschung Holzverwertung*. v. 31, n. 4, p. 86-87, 1979.

PIZZI, A. Pine tannin adhesives for particleboard. **Holz als Roh und Werkstoff**. v. 40, n.8, p. 293-301, 1982.

PIZZI, A.; SCHARFETTER, H.; KES, E. W. Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. 1. Experience with tannin based adhesives. **National Timber Research Institute**, v.39, n.3, p.85-89, 1981.

PIZZI, A. Tannin-based wood adhesives. **In: Wood Adhesives: Chemistry and Technology**. A.Pizzi, ed. Marcel Dekker, New York. p. 177-241. 1983.

PLACE, T. A.; MALONEY, T. M. Internal Bond and moisture response properties of three layer, Wood bark boards. **Forest products journal**, v.27, n.3, p.50-54, 1977.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Porto Alegre, 2006. 345p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

RICEBORD. **Technology offer. doc.** Disponível em: <<http://www.nrdcindia.com/pages/ricebord.htm>,2007>. Acesso em: 22 mar. 2007.

RIJO, C. Influencia del aumento de la densidad y nivel de adhesivo en las propiedades mecánicas de tableros de partículas de Chusquea culeou aglomerados con urea formaldehido. **Bosque**, Santo Domingo, v.9, n.1, p.53-59, 1988.

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

SANTANA, M. A. E.; BAUMANN, M. G. D.; CONNER, A. H. Resol resins prepared with tannin liquefied in phenol. **Holzforschung**, v.49, p.146-152. 1995.

SANTANA, M. A. E.; COPPENS, H. A. **Adesivo de tanino-formaldeído para fabricação de compensado e aglomerado para uso interior e exterior.** Brasília: IBDF, 1979. 19 p.

SANTANA, M. A. E., PASTORE JUNIOR, F. **Adesivos de tanino-formaldeído para aglomerados:** influência do pH de refluxo e do pH de utilização nas propriedades do adesivo. Brasília: IBDF, 1980. 12 p.

SANTANA, M. A. E.; TEIXEIRA, D. E. **Uso de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas aglomeradas.** Brasília: IBAMA, 1996. 42p.

SELLERS JUNIOR, T.; MILLER JUNIOR, G. D. Laboratory manufacture of high moisture southern pine strand board bonded with three tannin adhesive types. **Forest Products Journal**, v.54, n.12, p. 296-301. 2004.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications.** Orlando, Florida, Academic Press, Inc, 1981. 223p.

SOUZA, F. X. Casca de arroz carbonizada: um substrato para a propagação de plantas. **Revista Lavoura Arrozeira**, v.46, n.406, p.11, 1993.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, n.52, p.29-34, 1997.

TOSTES, A. de S.; LELIS, R. C. C.; PEREIRA, K. R. M.; BRITO, E. O. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v.11, n.2, p.14-19, 2004.

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



VASISHTH, R. C. 1971. Water resistant composite board from rice husk. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), **Proceedings...ECAFE** interregional seminar on industrial processing of rice. Vienna, Austria: United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). 1971. 9p.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Adesivos a base de taninos de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**. v.28, n.4, p.571-582, 2004.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

WILSON, J. B.; KRAHMER, R. L. Particleboard: microscopic observations of resin distribution and board fracture. **Forest Products Journal**. v. 26, n. 11, p. 42-45, 1976.

XU, X. W.; WU, Q. L.; ZHOU, D. G.; ZHOU, X. Y. An experimental trial manufacturing rice straw-based particleboard with modified MDI resin. **Journal of Nanjing Forestry University**, v.27, n.3, p.21-25, 2003.

YANG, H. S.; KIM, D. J.; KIM, H. J. Rice straw-wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. **Bioresource Technology**, v.86, p.117-121, 2003.

YANG, H. S.; KIM, D. J.; LEE, Y. K.; KIM, H. J.; JEON, J. Y.; KANG, C. W. Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials. **Bioresource Technology**, v.95, n.1, p.61-65, 2004.

YOUNGQUIST, J. A. et al. Agricultural fibers in composition panels. In: XXVII International Particleboard/Composite Materials Symposium. Washington State University: Pullman, p.133 152, 1993.

## APÊNDICE

Apêndice 1 – Tabela para seleção de modelo para AA2H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
AA2H=95,02-3,17*TA-31,99*MEo	52,62	8,52	28,83*
AA2H=95,64-28,56*LOG(TA*MEo)	46,22	10,55	15,16

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 2 – Tabela para seleção de modelo para AA2H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
AA2H=-17,10+9,06*TA+101,45*MEA-13,34*(TA*MEo)	48,92	9,65	21,70*
AA2H=77,36-7,02*LOG(TA*MEo) <sup>2</sup>	38,87	14,24	9,73
AA2H=102,36-2,69*TA-34,65*MEo	33,32	16,86	8,75

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 3 – Tabela para seleção de modelo para AA24H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
AA24H=50,34-4,41*TA+255,22*MEo-180,87*(MEo) <sup>2</sup>	63,29	12,43	74,62*
AA24H=135,76-0,22*(TA) <sup>2</sup> -35,47*(MEo) <sup>2</sup>	60,75	12,85	38,93
AA24H=130,24-5,33*(TA*MEo)	60,04	12,97	29,16
AA24H=180,91-4,38*TA-60,82*MEo	58,13	13,27	35,02

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 4 – Tabela para seleção de modelo para AA24H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
AA24H=172,53-3,35*TA-61,99*MEo	62,89	11,83	82,59*
AA24H=152,51-33,56*LOG(TA)-52,53*LOG(MEo)	61,53	12,04	44,21
AA24H=131,25-10,16*LOG(TA*MEo) <sup>2</sup>	61,16	12,10	41,16

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 5 – Tabela para seleção de modelo para IE2H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
IE2H=-52,28+7,00*TA+115,88*MEo-0,39*(TA) <sup>2</sup> -74,99*(MEo) <sup>2</sup>	56,07	3,71	23,53*
IE2H=29,73-0,04*(TA) <sup>2</sup> -9,43*(MEo) <sup>2</sup>	43,83	5,22	11,46
IE2H=39,47-0,82*TA-15,79*MEo	39,73	5,38	11,37

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 6 – Tabela para seleção de modelo para IE2H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
IE2H=33,65-1,46*TA-1,47*MEo	50,27	4,60	23,34*
IE2H=22,34-0,05*(TA*MEo) <sup>2</sup>	39,48	6,19	9,17

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 7 – Tabela para seleção de modelo para IE24H em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
IE24H=30,52-4,63*TA+182,87*MEo-125,06*(MEo) <sup>2</sup>	88,93	5,33	99,79*
IE24H=352,11-4,65*TA-263,90*MEo+194,27*LOG(MEo)	85,51	5,54	97,38
IE24H=120,80-4,62*TA-35,65*MEo	80,13	6,50	96,86

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 8 – Tabela para seleção de modelo para IE24H em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$IE24H=82,25-3,86*TA-8,13*MEo$	82,06	4,98	95,39*
$IE24H=121,40-37,81*LOG(TA)-6,48*LOG(MEo)$	77,95	5,11	89,37

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 9 – Tabela para seleção de modelo para MOR em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$MOR=3,65+3,15*TA+18,65*MEo$	56,75	7,75	25,63*
$MOR=74,97+3,04*TA-150,79*MEo+97,23*(MEo)^2$	52,26	8,14	20,69
$MOR=2,32+3,24*TA+19,68*MEo-0,0051*(TA*MEo)^2$	51,13	8,24	16,70

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 10 – Tabela para seleção de modelo para MOR em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$MOR=-9,42+3,66*TA+23,01*MEo$	80,05	5,23	67,00*
$MOR=-73,27+3,64*TA+178,78*MEo-89,61*(MEo)^2$	75,86	5,75	57,16
$MOR=-12,95+3,89*TA+25,74*MEo-0,0148*(TA*MEo)^2$	75,29	5,82	43,67

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 11 – Tabela para seleção de modelo para MOE em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$MOE=-4548,31+255,80*TA+7353,59*MEo$	34,59	2589	8,34*
$MOE=-6962,13+486,25*TA+10069,3*MEo-258,87*(TA*MEo)$	32,98	2616	5,47
$MOE=1867,97+552,37*TA-11344,8*MEo-15,31*(TA)^2+10718,40*(MEo)^2$	32,05	2632	4,18

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 12 – Tabela para seleção de modelo para MOE em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$MOE = -4404,40 + 421,21 * TA + 5208,52 * MEo$	58,57	1947	20,79*
$MOE = -51661,90 + 417,41 * TA + 120493,0 * MEo - 66320,9 * (MEo)^2$	31,13	2687	6,63
$MOE = 6546,17 + 567,37 * TA + 6863,86 * MEo - 8,97 * (TA * MEo)^2$	29,40	2716	4,37

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 13 – Tabela para seleção de modelo para AP em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$AP = -2,70 + 2,85 * (TA * MEo)$	66,32	6,07	99,47*
$AP = -28,21 + 2,44 * TA + 29,69 * MEo$	60,90	6,54	39,94

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 14 – Tabela para seleção de modelo para AP em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$AP = 1,88 + 2,39 * (TA * MEo)$	73,97	4,49	137,42*
$AP = -18,94 + 1,70 * TA + 28,53 * MEo$	70,92	4,75	59,54

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 15 – Tabela para seleção de modelo para LI em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$LI = -0,1126 + 0,0414 * (TA * MEo)$	36,71	0,129	19,22*
$LI = -0,5083 + 0,0432 * TA + 0,3587 * MEo$	34,37	0,170	9,01

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 16 – Tabela para seleção de modelo para LI em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$LI = -0,2098 + 0,0328 \cdot TA + 0,1592 \cdot MEo$	32,19	0,154	15,10*
$LI = 0,0294 + 0,0270 \cdot (TA \cdot MEo)$	28,53	0,158	9,84

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 17 – Tabela para seleção de modelo para PM por *Gloeophyllum trabeum* em painéis constituídos por partículas naturais de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$PM = 40,76 - 0,29 \cdot TA - 11,83 \cdot MEo$	20,25	4,70	11,68
$PM = 34,52 - 0,01 \cdot (TA)^2 - 6,88 \cdot (MEo)^2$	19,65	4,74	7,73
$PM = 33,88 - 0,74 \cdot (TA \cdot MEo)$	6,76	4,82	7,48

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.

Apêndice 18 – Tabela para seleção de modelo para PM por *Gloeophyllum trabeum* em painéis constituídos por partículas processadas de casca de arroz

Modelo	R <sup>2</sup> aj	Syx	Fc
$PM = 44,42 - 0,57 \cdot TA - 13,27 \cdot MEo$	34,27	4,07	27,58
$PM = 35,49 - 0,97 \cdot (TA \cdot MEo)$	33,40	4,10	25,98
$PM = 31,19 - 0,05 \cdot (TA \cdot MEo)^2$	32,03	4,14	14,82

\* Modelo selecionado considerando o R<sup>2</sup> aj, Syx e Fc. Onde: R<sup>2</sup>aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão da estimativa; Fc = F calculado.