

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Centro de Engenharias**  
**Curso de Engenharia Industrial Madeireira**



Trabalho de Conclusão de Curso

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS  
COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

**Getúlio Reis Lourenço Neto**

**Pelotas, 2017**

**Getúlio Reis Lourenço Neto**

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS  
COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

Trabalho Acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

L892p Lourenço Neto, Getúlio Reis

Propriedades tecnológicas de painéis aglomerados produzidos com resíduos lignocelulósicos / Getúlio Reis Lourenço Neto ; Erika da Silva Ferreira, orientadora. — Pelotas, 2017.

53 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) — Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Casca de arroz. 2. Erva-mate. 3. Madeira reconstituída.. I. Ferreira, Erika da Silva, orient. II. Título.

CDD : 674

Getúlio Reis Lourenço Neto

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS  
COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial Madeireira, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 10/03/17

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Érika da Silva Ferreira (orientadora)  
Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Merielen de Carvalho Lopes (2° examinadora)  
Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

---

Prof. Ms. Gabriel Valim Cardoso (3° examinador)  
Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

**Nota do Autor**

A reprodução e divulgação, parcial ou total, por meio digital ou impressa é permitida, desde que a fonte seja citada.

Dedico ao meu vô Oraci  
(*In memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha gratidão a Universidade Federal de Pelotas por ter proporcionado a criação do curso ao qual obtive todo o aprendizado.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão das bolsas de iniciação tecnológica e industrial, bem como o fomento ao desenvolvimento desta pesquisa.

As empresas Fibraplac, Arrozeira Pelotas, IF Sul-Rio-Grandense - Campus Pelotas - Visconde da Graça - CAVG, Hexion Química do Brasil e ao Laboratório de Painéis de Madeira do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – DETF da Universidade Federal do Paraná - UFPR, pela cessão das matérias-primas empregadas na produção dos painéis (madeira, casca de arroz e erva-mate), resina ureia-formaldeído e realização do ensaio de resistência a tração perpendicular, respectivamente.

Agradeço a minha mãe, pois ela sempre fez o possível e o impossível para me ajudar, sempre cuidou de mim e esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida e me criou para ser forte e enfrentar o mundo sempre de cabeça erguida.

Ao Pierre e a Victoria, bolsistas que desenvolveram esse projeto na equipe, dedicando-se em todas as etapas, desde o preparo das amostras até os ensaios e foram ótimos colegas de trabalho e se tornaram ótimos amigos. Agradeço também ao Andrey, Diego, Kelvin e Mario, pela ajuda com a parte final do projeto com as longas análises químicas. Agradecendo também ao Professor Gabriel Cardoso que cedeu o espaço e os equipamentos do laboratório de química da madeira para realização dessas análises.

A todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica, em especial a Professora Érika Ferreira, minha orientadora, pois foi quem me mostrou a área que eu tenho maior interesse no curso e isso foi responsável pela minha permanência até o fim. Agradeço imensamente pelos conselhos dados para o meio acadêmico e para a vida.

Também gostaria de agradecer a todos os funcionários que trabalharam no prédio da Engenharia Industrial Madeireira durante esses anos, pois todos sempre foram muito amigáveis comigo.

Um agradecimento especial a todos meus amigos, que sempre me apoiaram e estiveram dispostos a me ajudar nos momentos difíceis da vida.

Enfim, a todos que me ajudaram de alguma forma, sou grato a vocês.

## Resumo

LOURENÇO NETO, G. R. **Propriedades Tecnológicas de Painéis Aglomerados Produzidos com Resíduos Lignocelulósicos**. 2017. 52f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Devido a grande quantidade de resíduos gerados na produção de arroz e erva-mate, bem como a dificuldade de seu descarte adequado, o objetivo do estudo foi avaliar tecnologicamente os painéis aglomerados produzidos com resíduos lignocelulósicos, com finalidade de uso decorativo. Inicialmente as partículas dos materiais (madeira de pinus, casca de arroz e erva-mate consumida) foram secas a 3% de umidade e classificadas por meio do peneiramento em malhas de 10, 16 e 30 *mesh*, sendo posteriormente encoladas com 8% de adesivo ureia-formaldeído, base peso seco de partículas. Os parâmetros empregados no processo de prensagem foram: 180°C de temperatura, 6 minutos de prensagem e pressão específica de 40kgf/cm<sup>2</sup>, produzindo chapas com densidade nominal de 0,70kgf/cm<sup>3</sup> e dimensões de 500 x 500 x 8mm. Com relação a caracterização química dos materiais foram determinados a solubilidade em água fria e quente, solubilidade em etanol-tolueno, teor de cinzas e teor de lignina, de acordo com as especificações da norma TAPPI. As partículas foram caracterizadas fisicamente por meio da densidade real, densidade aparente e teor de umidade. Para determinação das propriedades tecnológicas dos painéis foram realizados os ensaios de densidade aparente, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura, resistência a tração perpendicular (RTP) e flexão estática (MOE e MOR). As propriedades físicas das partículas apresentaram valores adequados de densidade e teor de umidade para manufatura dos painéis aglomerados. Com relação as análises químicas a erva-mate foi o material que apresentou os teores de extrativos mais elevados, tendo esse parâmetro aumentado consideravelmente quando o processo de extração foi realizado em água quente. Para solubilidade em etanol-tolueno o resíduo de erva-mate manteve a tendência de alto teor de extrativos, sendo os teores de cinzas e lignina de acordo com a literatura consultada. Os painéis aglomerados confeccionados com os resíduos de erva-mate foram os que apresentaram os valores mais satisfatórios de inchamento em espessura, o que proporcionou a esses painéis uma estabilidade dimensional elevada. Apenas o tratamento com madeira de pinus apresentou resistência a flexão próxima aos requisitos indicados para o MOE e MOR e superiores a RTP propostos pela norma europeia. Os painéis aglomerados constituídos por resíduos lignocelulósicos apresentaram potencial para serem empregados de maneira decorativa em ambientes internos.

**Palavras-chave:** casca de arroz; erva-mate, madeira reconstituída.

## Abstract

LOURENÇO NETO, G. R. **Technological Properties of Particleboard Produced with Lignocellulosic Residues**. 2017. 52s. 2017. Course Final Paper - Course Wood Industrial Engineering, Engineering Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2017.

Due to the large amount of residues generated in the production of rice and *Ilex paraguariensis* St. Hil., as well as the difficulty of an adequate disposal of them, the objective of this study was to evaluate technological properties of particleboards produced with lignocellulosic residues for decorative purposes. Initially the particles of the materials (pine wood, rice husk and consumed *Ilex paraguariensis*) were dried at 3% moisture and sorted by sieving in 10, 16 and 30 mesh and then glued with 8% adhesive urea-formaldehyde, basis dry weight of particles. The parameters used in the pressing process were: 180°C of temperature, 6 minutes of pressing time and specific pressure of 40kgf / cm<sup>2</sup>, producing panels with nominal density of 0.70kgf/cm<sup>3</sup> and dimensions of 500 x 500 x 8mm. Regarding the chemical characterization of the materials, the solubility in cold and hot water, solubility in ethanol-toluene, ash content and lignin content were determined according to TAPPI specifications. The particles were physically characterized by real density, apparent density and moisture content. Density, moisture content, water absorption, swelling in thickness, internal bond (RTP) and static bending (MOE and MOR) were used to determine the technological properties of the panels. The physical properties of the particles presented adequate values of density and moisture content for the manufacture of the panels. Regarding the chemical analyzes, the *Ilex paraguariensis* was the material that presented the highest extractive contents, and this parameter increased considerably when the extraction process was carried out in hot water. For ethanol-toluene solubility the mate herb residue maintained the tendency of high extractive content, being the ash and lignin contents according to the literature consulted. The agglomerated panels made with the *Ilex paraguariensis* residues presented the most satisfactory values for swelling in thickness, which provided these panels a high dimensional stability. Only the treatment with pine wood presented flexural strength close to the requirements indicated for the MOE and MOR and superior to RTP proposed by the European standard. Particleboards constituted by lignocellulosic residues had the potential to be used in a decorative manner in indoor use due were appearance aesthetic provided by the texture, color and smell of the boards.

**Keywords:** rice husk; *Ilex paraguariensis*; reconstituted wood.

## Lista de Figuras

Figura 1 - a) Compensado; b) MDP ( <i>Medium Density Particleboard</i> ); c) MDF ( <i>Medium Density Fiberboard</i> ); d) OSB ( <i>Oriented Strand Board</i> ).....	19
Figura 2 - Plantio de arroz.....	24
Figura 3 - Plantio de erva mate.....	25
Figura 4 - Estrutura molecular do polímero ureia-formaldeído.....	26
Figura 5 - a) casca de arroz; b) erva-mate.....	30
Figura 6 – Fluxograma de secagem e classificação do material.....	31
Figura 7 – Fluxograma de fabricação dos painéis aglomerados.....	33
Figura 8 - Etapas do processo de prensagem: a) Encoladeira de partículas; b) Formação do colchão; c) Prensagem a quente.....	34
Figura 9 - Painéis produzido: a) erva-mate; b) madeira de pinus; c) casca de arroz. .	35
Figura 10 – Layout de corte do painel: a) esquadreamento; b) corte dos corpos de prova; .....	36
Figura 11 – Ensaio realizados nos painéis: a) Absorção de Água e Inchamento em espessura; b) Flexão Estática (Módulo de elasticidade e Módulo de Ruptura).....	37

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação dos painéis de madeira aglomerada .....	20
Tabela 2 - Propriedade da resina ureia-formaldeído .....	30
Tabela 3 - Tratamentos experimentais.....	34
Tabela 4 - Parâmetros do processo de prensagem .....	34
Tabela 5 - Tipo de ensaio, normas e número de corpo de provas por painel .....	36
Tabela 6 - Valores médios de solubilidade em água fria (SAF), solubilidade em água quente (SAQ.), os valores de pH, Valores médios de solubilidade em etanol-tolueno (SET), teor de cinzas (TC) e teor de Lignina (TL) .....	39
Tabela 7 - Valores médios para teor de umidade (TU), densidade aparente (DA) e densidade relativa (DR) das partículas classificadas .....	41
Tabela 8 - Valores médios de teor de umidade (TU), densidade aparente (DA), absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE).....	41
Tabela 9 - Valores médios de modulo de ruptura (MOR) modulo de elasticidade (MOE) e resistência a tração perpendicular (RTP) .....	43

## Lista de Siglas

AA – Absorção de água

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AGEFLOR - Associação gaucha de empresas Florestais

ANCOVA – Análise de Covariância

ASTM - American Society for Testing and Materials

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

CAVG – Campus Visconde da Graça

DA – Densidade Aparente

DH<sub>2</sub>O - Densidade da água equivalente a 1,0 g/cm<sup>3</sup>.

DR - Densidade real

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EN - European Standard

HDF - High Density Fiberboard

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IE – Inchamento em espessura

IF – Instituto Federal

LAPAM – Laboratório de Painéis de Madeira

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDF – *Medium Density Fiberboard*

MDP – *Medium Density Particleboard*

MOE – Modulo de elasticidade

MOR – Modulo de ruptura

OSB – *Oriented Strand Board*

PA - peso da amostra

pH – Potencial de Hidrogeniônico

PH<sub>2</sub>O - peso da água

RS – Rio Grande do Sul

SAF – Solubilidade em água fria

SAQ - Solubilidade em água Quente

SET - Solubilidade em Etanol-Tolueno

TAPPI - *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*

TC – Teor de Cinzas

TL – Teor de Lignina

TS – Teor de Sólidos

TU – Teor de Umidade

UFPEL – Universidade Federal de Pelotas

VT - Volume Total da Mistura

## Lista de Equações

Equação 1.....32

Equação 2.....33

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1 Objetivo Geral .....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
3.1 Painéis de madeira reconstituída.....	19
3.2 Painéis de madeira aglomerada .....	20
3.3 Panorama do mercado de painéis aglomerados.....	21
3.4 Matéria-prima utilizada na produção do painéis aglomerados .....	22
3.4.1 Espécies arbóreas .....	22
3.4.2 Resíduos lignocelulósicos.....	23
a) Casca de arroz .....	23
b) Erva-mate .....	24
3.5 Adesivos para produção de painéis aglomerados .....	26
3.6 Propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados .....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
4.1 Materiais .....	29
4.2 Secagem e classificação da matéria-prima .....	30
4.3 Caracterização química dos materiais .....	32
4.4 Determinação das propriedades físicas das partículas.....	32
4.5 Manufaturas dos painéis aglomerados .....	33
4.6 Ensaio Físico-Mecânicos .....	35
4.7 Análise Estatística.....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>39</b>
5.1 Propriedades químicas das partículas .....	39
5.2. Propriedades físicas das partículas .....	40
5.3. Propriedades físicas dos painéis .....	41
5.3. Propriedades mecânicas dos painéis .....	42
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>45</b>
<b>Referências</b> .....	<b>46</b>
<b>Apêndices</b> .....	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis aglomerados, de acordo com Iwakiri (2005), são constituídos por partículas de madeira ou outro material de origem lignocelulósica, distribuídas em uma matriz randômica, com incorporação de resina sintética e consolidados por meio de prensagem a quente.

Nesse contexto, Martins (2014) verificou que a dificuldade em se obter madeira maciça com qualidade satisfatória direciona o uso dos painéis de madeira reconstituída para suprir as demandas no mercado madeireiro, tendo destaque por serem produtos que se equivalem e até superam a madeira maciça em diferentes empregos.

O Brasil se consolidou como referência na produção e comercialização do arroz fora da Ásia, continente que consome e produz mais de 90% de todo cereal do mundo (ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ, 2013). Segundo o Instituto Rio Grandense do Arroz (2015) o estado do Rio Grande do Sul colheu cerca de 1.000.000 ha semeados de arroz produzindo mais de 7.000.000 toneladas do cereal.

O sul do estado do Rio Grande do Sul possui extensas áreas de plantações de arroz, que após a colheita e o beneficiamento do cereal, restam as cascas (palha) como o resíduo mais abundante.

Com relação a erva-mate a AGEFLOR (2015) constatou que a cadeia produtiva dessa essência florestal empregou em torno de 700 mil pessoas em mais de 725 empresas apresentando uma produção de 355.000 toneladas por ano sendo plantada em 486 municípios nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso.

Sobre plantio e beneficiamento da erva-mate, cabe ressaltar a grande quantidade de resíduos gerados pós consumo dessa erva pela sociedade, que de modo geral, descarta este material em lixos urbanos convencionais sem haver uma reutilização adequada dessa matéria-prima de baixo valor agregado.

Desta forma, a quantidade de resíduos sólidos oriundos das indústrias de beneficiamento agrícola se torna cada vez mais problemática. Este fato pode estar relacionado à dificuldade em se descartar os resíduos gerados (casca de arroz e erva-mate) em aterros sanitários convencionais ou por meio de sua queima gerando energia. Uma alternativa possível estaria relacionada à viabilidade técnica de uso destes resíduos lignocelulósicos na fabricação de novos produtos, agregando-se maior valor a uma matéria-prima que possui baixo custo de aquisição.

A reconstituição de materiais considerados resíduos pelas indústrias de beneficiamento agrícola em painéis aglomerados seria uma maneira não tradicional de reutilizar as cascas de arroz e erva-mate pós consumo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Este estudo teve como objetivo geral avaliar o potencial tecnológico de painéis aglomerados manufaturados a partir de resíduos lignocelulósicos gerados no município de Pelotas - RS com finalidade de uso em ambientes internos.

### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar e avaliar as propriedades químicas da madeira de pinus (*Pinus* sp) - testemunha, casca de arroz (*Oriza sativa* L.) e erva-mate pós consumo (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), de acordo com a norma TAPPI (solubilidade em água fria e quente, extrativos solúveis em etanol-tolueno, teor de lignina e teor de cinzas);
- ✓ Caracterizar e avaliar as propriedades físicas das partículas da madeira de pinus (*Pinus* sp) e dos resíduos lignocelulósicos, tais como: teor de umidade, densidade aparente e densidade real;
- ✓ Produzir em escala piloto painéis de partículas de média densidade (aglomerados) utilizando como matéria-prima a madeira de pinus e os resíduos lignocelulósicos sendo consolidados por meio do adesivo ureia-formaldeído com 8% de sólido resinoso;
- ✓ Caracterizar e avaliar as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados de acordo com especificações da norma brasileira - ABNT (teor de umidade, densidade aparente, absorção de água, inchamento em espessura e resistência à tração perpendicular) e europeia - EN (flexão estática - MOE e MOR).

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Painéis de madeira reconstituída

Os painéis de madeira reconstituída podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos por meio de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005). Alguns exemplos de madeira reconstituída são apresentados na figura 1.

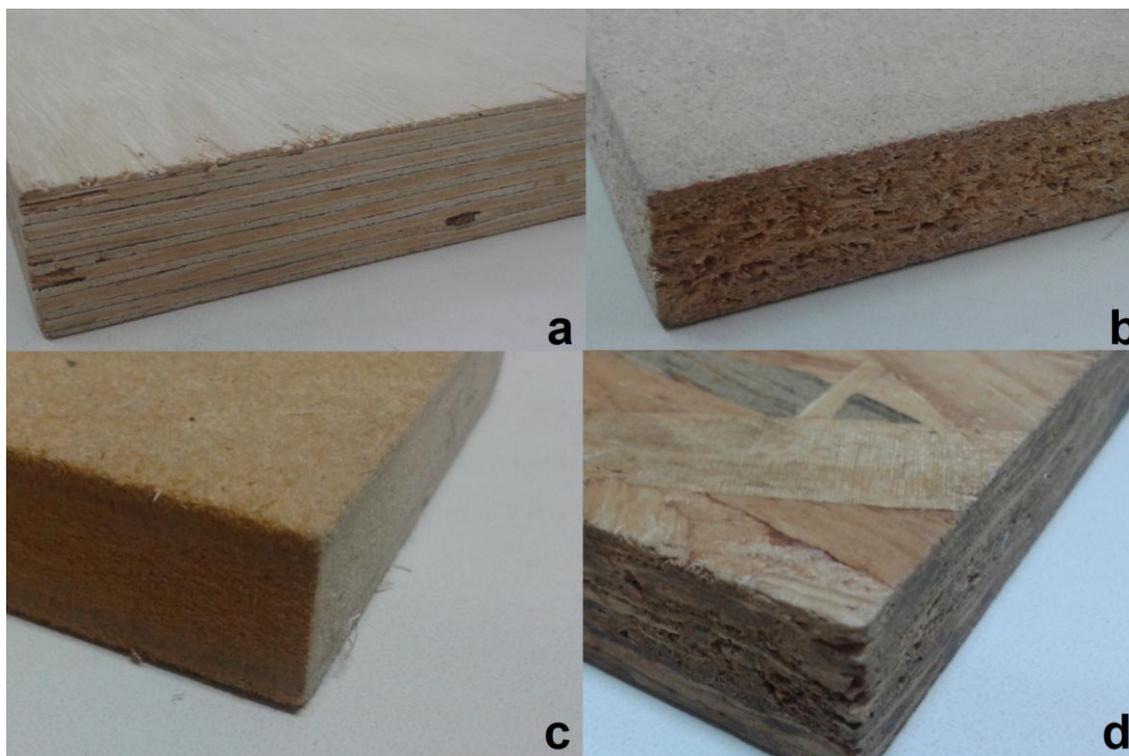


Figura 1 - a) Compensado; b) MDP (*Medium Density Particleboard*); c) MDF (*Medium Density Fiberboard*); d) OSB (*Oriented Strand Board*).

Fonte: O AUTOR, 2016.

De acordo com Mattos (2008) os painéis de madeira são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas. Substituem a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos.

Melo (2009) menciona que na produção de painéis reconstituídos tem se vantagens quando comparados à madeira maciça, como por exemplo, maior homogeneidade ao longo das peças produzidas, baixa exigência na escolha da matéria-prima, eliminação de defeitos como grã irregular, nós e defeitos gerados no processo de secagem.

### 3.2 Painéis de madeira aglomerada

Os painéis aglomerados são manufaturados com partículas de madeira aglutinadas com adesivos sintéticos por meio da prensagem sob alta temperatura. A principal vantagem desse produto é a de substituir a escassa e encarecida madeira serrada em diferentes usos, como na fabricação de móveis, portas, pisos e rodapés. São também aplicados na construção civil, em painéis de parede e forros, entre outros usos (NAPOLI, 2013).

De acordo com Iwakiri et al. (2001) os painéis aglomerados são empregados na confecção de móveis e na construção civil, sendo que no Brasil, a primeira indústria destes painéis surgiu no Paraná no ano de 1966. Depois disso, várias outras indústrias surgiram por todo o País.

Para Iwakiri (2005) os painéis aglomerados são classificados pela sua densidade, tipo de partículas e distribuição das partículas ao longo da chapa, conforme é apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos painéis de madeira aglomerada

<b>Densidade</b>	Baixa Média Alta	Até 0,59g/cm <sup>3</sup> De 0,59 a 0,80g/cm <sup>3</sup> Acima de 0,80g/cm <sup>3</sup>
<b>Tipo de Partículas</b>	Convencional <i>Flakeboard</i> <i>Waferboard</i> <i>Strandboard</i>	Partículas tipo <i>Silver</i> Partículas tipo <i>Flake</i> Partículas tipo <i>Wafer</i> Partículas tipo <i>Strand</i>
<b>Distribuição das partículas na chapa</b>	Homogêneos Múltiplas camadas Camadas graduadas Partículas orientadas (OSB)	

Fonte: Adaptado IWAKIRI, 2005.

Conforme Iwakiri (2005), a secagem das partículas é um dos fatores determinantes, pois influencia na cura da resina, no tempo e na pressão do processo, sendo 3% ou menos o teor de umidade adequado das partículas. O adesivo é aplicado considerando um teor de 6 a 12% em relação ao peso seco das partículas, sendo aplicado de forma homogênea, garantindo que as propriedades do painel se mantenham uniformes. Na formação do colchão são definidas a espessura e a densidade do painel, tendo em vista a distribuição uniforme das partículas, sendo

posteriormente encaminhado ao processo de pré-prensagem e prensagem a quente, com controle de tempo, temperatura e pressão até a consolidação da chapa.

A princípio, os painéis aglomerados podem ser fabricados com qualquer outro material lignocelulósico que lhes provenha resistência mecânica e densidade pré-estabelecida, tendo em vista que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante com a das madeiras duras que possuem menor teor de lignina e uma maior quantidade de hemiceluloses do tipo pentosanas (ROWELL et al., 2000).

### **3.3 Panorama do mercado de painéis aglomerados**

O setor de painéis de madeira tem se mostrado com um forte dinamismo no mundo. Os maiores produtores e consumidores são a China e os Estados Unidos, sendo esse último com 13% do mercado e com 49% do consumo sendo de MDP. Com exceção desses dois países, há uma grande dispersão do consumo de painéis pelo globo (Mattos, 2008).

Para o IBÁ (2015) o Brasil se destaca mundialmente na fabricação de painéis de madeira reconstituída empregando matéria-prima oriundas de florestas plantadas e tendo investimentos em tecnologia e automação por parte das empresas, além das melhorias nas operações florestais e nos processos produtivos

Os painéis de madeira produzidos no Brasil são amplamente usados no mundo todo. Em janeiro de 2016, o mercado de painéis lucrou US\$ 8 milhões com exportações para a América Latina e US\$ 3 milhões na América do Norte sendo que em janeiro esses números aumentaram para US\$ 11 Milhões e US\$ 4 Milhões, respectivamente (IBÁ,2017).

Noce et al. (2008) afirmam que o potencial do Brasil é significativo, visto a competitividade do país em produtos que podem ser usados como insumos no processo de produção de painéis e também em outros em que são os painéis que representam os insumos.

As indústrias de MDP no Brasil nas regiões sul e sudeste tem como foco atender aos polos moveleiros que estão instalados principalmente nos Estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. As florestas plantadas dos gêneros de pinus e eucalyptus servem de suprimento de madeira para as indústrias, mesmo que nas regiões norte e centro-oeste tenham extensas áreas de florestas tropicais nativas (ALMEIDA et al., 2012).

### 3.4 Matéria-prima utilizada na produção do painéis aglomerados

#### 3.4.1 Espécies arbóreas

Conforme dados da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 2013) a indústria brasileira de painéis de madeira reconstituída utiliza madeira de florestas plantadas, sendo que dessas florestas, 500 mil hectares plantados são de *Pinus spp* e *Eucalyptus spp*. Fato que de acordo com Iwakiri et al. (2004) determina uma qualidade superior ao produto, pois existe um melhor controle de homogeneidade da matéria-prima.

A espécie utilizada deve ter um bom comportamento na colagem, principalmente na resistência da linha de cola. A densidade da madeira tem influência direta na porosidade e permeabilidade do lenho. O pH e os extrativos presentes na madeira são diferentes em cada espécie e influenciam na cura das resinas (NOCK & RICHTER, 1978).

Segundo Lynam (1959), a massa específica da madeira tem influência no volume de matéria-prima para produção dos painéis e na quantidade de adesivo. Painéis de mesma densidade podem ser feitos com volumes distintos devido as massas específicas das espécies usadas. Quanto ao consumo de adesivo, a madeira de alta densidade tem um menor área de partículas, assim a quantidade aplicada de adesivo é menor, entretanto, a área de contato entre as partículas também é menor, o que conduz à formação de chapas com baixa resistência mecânica.

As madeiras utilizadas na fabricação de particulados são provenientes de madeira de reflorestamento das espécies de o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (Iwakiri, 2001). As madeiras do gênero *Pinus* são as mais usadas devido ao fato de apresentarem de baixa densidade e por não conterem elementos que limitam a manufatura das chapas, além de que o pH e o teor de extrativos presentes não têm sido fatores limitantes na confecção dos painéis (Iwakiri et al., 2005).

Devido as condições climáticas do Brasil, espécies exóticas quando plantadas aqui possuem um desenvolvimento superior aos locais de origem. É o caso de espécies do gênero *Eucalyptus* que estão sendo utilizadas na indústria de painéis sendo que testes com *E. grandis*, *E. pilularis* e *E. saligna* mostraram diferenças entres as propriedades das espécies e que a espécie *E. grandis* foi o que obteve os melhores resultados, apesar de que as três espécies apresentarem parâmetros satisfatórios para a industria de painéis (JANKOWSKY, 1983).

### **3.4.2 Resíduos lignocelulósicos**

De acordo com Lima et al. (2006) os materiais lignocelulósicos, considerados resíduos agroindustriais, tem sido utilizados com sucesso na fabricação de painéis como o bagaço de cana-de-açúcar na confecção de aglomerados e as fibras do epicarpo de babaçu.

Freire et al. (2015) informou que com a pressão ambiental para que resíduos fossem reutilizados, surgiram estudos para o aproveitamento de resíduos como a confecção de painéis aglomerados utilizando os mais diversos resíduos como bagaço de cana-de-açúcar, casca e palha de arroz, palha de milho, bambu e alguns outros.

De acordo com Caraschi et al (2009), a utilização de produtos à base de materiais lignocelulósicos na produção de chapas de aglomerados, chapas de fibra, e de compensados tem aumento ao longo do tempo e a tendência é de que a demanda cresça devido não só a diminuição da oferta de madeiras nativas que são comercializadas como também a de reflorestamento. A madeira reconstituída tem se tornado importante e está tendo cada vez mais interesse. Apesar de essa tendência favorecer a preservação de florestas nativas e estimularem o reflorestamento, esses não são os únicos interesses na busca de materiais alternativos. Produzir de painéis de resíduos com diferentes origens pode contribuir para atender a demanda do mercado e estimular a produção com novos materiais e de painéis com finalidade de uso arquitetônico.

#### **a) Casca de arroz**

O arroz tem seu destaque no cenário mundial por ter sua produção, área de cultivo e consumo espalhados em todos os continentes, cumprindo papel econômico e social (MAPA, 2015).

O estado do Rio Grande do Sul produz anualmente em torno de 5 milhões de toneladas, sendo responsável por cerca de 50% da produção brasileira do cereal. Na figura 2 pode ser observado um plantio de arroz.



Figura 2 - Plantio de arroz.

Fonte: PLANTAÇÃO DE ARROZ, 2016.

Melo (2009) afirma que a casca de arroz é o revestimento formado durante o crescimento do grão com a função de proteção, possui baixa densidade e é gerado um alto volume dela.

A casca representa 20% do peso total do arroz e grandes quantidades são descartadas com resíduo, causando problemas como a emissão de metano, o que pode acarretar em diversos problemas de saúde dos seres humanos. (CHUNGSANGUNSIT et al., 2004).

A casca de arroz é composta de 50% de celulose, 26% de lignina e 4% de outros componentes, o que faz com que 80% seja matéria orgânica. Percebe-se que a lignina e celulose estão presentes em concentrações elevadas, o que torna o processo de decomposição da casca de arroz em condições anaeróbicas muito difícil (WALLAUER, 2011).

A utilização da casca de arroz para a produção de painéis aglomerados pode ser viável, já que os gastos com o transporte da casca de arroz são equiparáveis com os de partículas de madeira, sendo que o custo de aquisição da casca poder ser muito mais barato, já que é um material que raramente é aproveitado. Enquanto a madeira que seria empregada no painel aglomerado poderia ser utilizada em produtos de maior valor agregado (CHEN, 1980 apud MELO, 2009).

## **b) Erva-mate**

Segundo Guiotoku (2008), a erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) é originária da América do Sul sendo consumida principalmente como forma de infusão ou chimarrão nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

A região Sul do país tem destaque como maior produtor, onde 596 municípios possuem algum desenvolvimento de atividade erva-mateira chegando a uma produção anual 650.000ton de folhas aproximadamente (ESMELINDRO, et al. 2002). Um exemplo de plantio de erva-mate é apresentado na figura 3.



Figura 3 - Plantio de erva mate.

Fonte: VERDES PAMPAS, 2016.

A erva-mate possui uma importância socioeconômica em vários municípios da região Sul do Brasil, pois caracteriza os ciclos econômico desses lugares. Os destinos mais comuns dessa matéria-prima que é composta de folhas e ramos finos são as bebidas como o chimarrão, o mate gelado e o chá-mate. Porém, as indústrias química e farmacêutica têm tentado fazer uso da espécie para fabricação de outros produtos, como medicamentos, tintas e desinfetantes (WENDLING, 2007).

O consumo da erva-mate no mercado interno obteve crescimento, entretanto, ainda é limitado, comercial e industrialmente. Então, possibilidades de ampliação desse mercado seria a diversificação de produtos e a modernização do processo de produção (CAMPOS et al., 1996).

Lourenço (2001) informa que o resíduo gerado no processamento das folhas de erva-mate é usado principalmente como combustível para geração de energia, porém alguns estudos mostraram potencial para utilizações distintas.

De acordo com Guitouki (2008), que utilizou palitos de Erva Mate na Produção de Aglomerados, é necessário desenvolver potenciais aplicações tecnológicas utilizando resíduo da erva-mate para agregar valor aos subprodutos obtidos e ampliar o mercado para esta matéria-prima.

### 3.5 Adesivos para produção de painéis aglomerados

De acordo com Chinasso e Lopes (2008), os adesivos sintéticos podem ser classificados em adesivos termofixos ou termoplásticos. Os adesivos termofixos são ativados com a aplicação de calor e nesse processo ocorre a policondensação, sendo que as mudanças físicas e químicas são irreversíveis, fazendo com que o adesivo se torne insolúvel e rígido.

Os adesivos termofixos possuem módulo de rigidez muito superior quando comparados aos adesivos termoplásticos (SANTOS, 2005) e são utilizados em larga escala para a colagem da madeira nas indústrias de painéis e móveis sendo a ureia-formaldeído e fenol-formaldeído os principais os adesivos empregados (TEODORO E LELIS, 2005).

A base da química da ureia-formaldeído é dada pela adição por etapas dos componentes até a obtenção de uma resina com baixa massa molar. O comportamento dessa interação é determinado de acordo com grupos funcionais, sendo que a ureia reage como se fosse uma amina e o formaldeído reage como se fosse um glicol. Nessa interação, ocorre a liberação de água na reação entre ureia e formaldeído resultando num grupo hidroximetileno, podendo ocorrer tanto em meio ácido como em meio básico (LESSMANN, 2008). A estrutura molecular do polímero ureia-formaldeído é apresentada na figura 4.

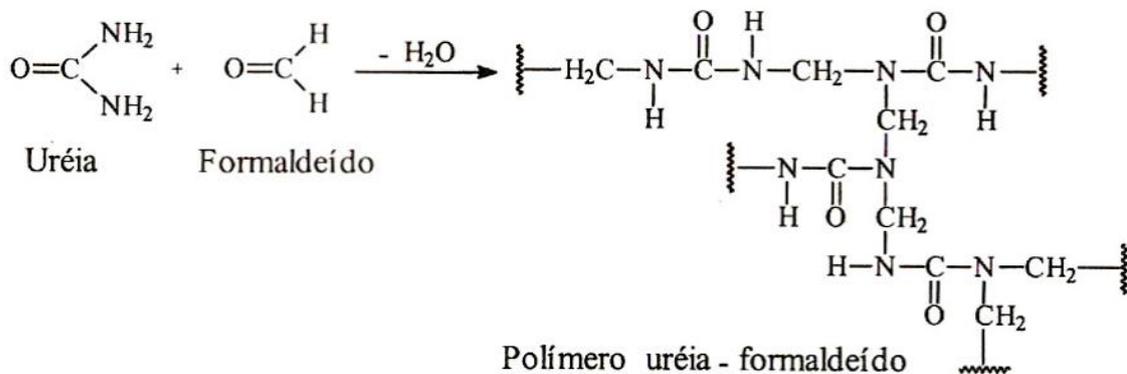


Figura 4 - Estrutura molecular do polímero ureia-formaldeído.

Fonte: CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, 2016.

Como catalisador, é utilizado o sulfato de amônio, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, que se caracteriza por um composto inorgânico, contendo 21% de do seu peso em nitrogênio. sob a forma de íons de amônio e 24% de enxofre sob a forma de íons de sulfato. O sulfato de amônio ocorre naturalmente como um mineral raro (LIDE, 2004).

A resina ureia-formaldeído é amplamente empregada nas indústrias de painéis. Fato que é justificado graças ao seu custo baixo quando comparado a outras resinas, mas possuem outras vantagens como rápida reação em prensa quente, por não apresentarem cor após a cura e é de fácil manuseio (IWAKIRI, 2005).

Ao todo 90% dos painéis aglomerados produzidos mundialmente utilizam esse tipo de resina (ROFFAEL & SCHNEIDER, 1983 *apud* TOSTES, 2004). Ainda assim, de acordo com Marra (1992), a resina ureia-formaldeído apresenta baixa resistência à umidade, o que limita seu uso em ambientes externos.

De acordo com Eleotério (2000), o incremento do teor de resina resulta em valores menores para as propriedades de inchamento em espessura e absorção de água. O autor também menciona que um maior teor de resina resulta em propriedades mecânicas superiores. Ou seja, painéis com alto conteúdo de resina têm alta resistência e rigidez. A eficiência da resina em aglomerados não depende somente das propriedades do adesivo, mas também da distribuição das partículas e do contato entre elas, sendo uma alternativa de melhorar a estabilidade dos aglomerados usar um maior teor de resina na superfície do colchão

### **3.6 Propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados**

Souza et al. (2012) produzindo painéis de *Pinus sp* com densidade aparente de  $0,62\text{g/cm}^3$  e 9% de resina ureia-formaldeído encontrou resultados de 66,46% para a absorção de água e 29,29% para o inchamento em espessura. A densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam as diferentes espécies de madeiras.

Estudos desenvolvidos por diferentes pesquisadores que avaliaram o potencial tecnológico de emprego da casca de arroz e resíduos de erva-mate para fabricação de painéis aglomerados (MELO, 2009; SOUZA, 2012; GUIOTOKU et al., 2008) obtiveram propriedades satisfatórias para determinados empregos.

Mota (2015) avaliou painéis de casca de arroz com adesivo ureia-formaldeído com densidade de  $0,16\text{g/cm}^3$  e 8% de teor de resina, observando 152% de absorção de água e 8,2% de inchamento em espessura. Os elevados percentuais de absorção de água podem ser explicados devido a baixa densidade dos painéis, o que proporciona mais espaços vazios que permitem a entrada de água. Entretanto, o reduzido inchamento em espessura ocorre devido a pequena quantidade de material fibroso referente a matéria-prima utilizada na fabricação do painel.

Souza (2012) avaliou as propriedades tecnológicas de painéis aglomerados produzidos com casca de arroz apresentando densidade nominal de  $0,65\text{g/cm}^3$  e com

incorporação de 7% do adesivo tanino-formaldeído, tendo encontrando valores para absorção de água e inchamento em espessura de 109,54% e 66,22%, respectivamente. No mesmo estudo o autor verificou MOE 2.004,55kgf/cm<sup>2</sup> e MOR 38,44kgf/cm<sup>2</sup>. Nesse contexto, o MOE está relacionado a rigidez do material, ou a capacidade de não deformação, e o MOR se refere a resistência do painel, que é a capacidade de transmitir as forças internamente sem que haja ruptura.

Guitouki et al (2008) pesquisou sobre a utilização de palitos de erva-mate na produção de painéis de aglomerados feito com 20% de resina ureia-formaldeído verificando que as chapas apresentaram 13% de inchamento em espessura e 58% de absorção de água. Isto sugere que a absorção de água não necessariamente terá influencia direta no inchamento em espessura dos painéis.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em três laboratórios localizados no curso de Engenharia Industrial Madeireira, sendo dividida em três etapas apresentadas abaixo:

- ✓ **1° Etapa:** recebimento, secagem e classificação da matéria-prima; determinação da solubilidade em água fria e quente; caracterização física das partículas; manufatura dos painéis aglomerados; e caracterização física das chapas - Laboratório de Painéis de Madeira - LAPAM / Centro de Engenharias - CEng / UFPel;
- ✓ **2° Etapa:** determinação da solubilidade em etanol/tolueno, teor de cinzas e teor de lignina - Laboratório de Química da Madeira - LQM / CEng / UFPel;
- ✓ **3° Etapa:** ensaio mecânico de resistência à tração perpendicular - Laboratório de Painéis de Madeira (Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – DETF / Universidade Federal do Paraná - UFPR) e flexão estática (MOE e MOR) - Laboratório de Propriedades Mecânicas da Madeira / CEng / UFPel, ambos por meio de uma máquina universal de ensaios.

### 4.1 Materiais

A madeira de pinus (caracterizada por um mix de espécies - *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*) foi doada na forma de cavacos pela empresa Fibraplac, localizada no município de Glorinha – RS, com teor de umidade médio de 50%. Este material foi utilizado como tratamento testemunha, para haver comparação frente aos painéis produzidos nas indústrias.

As cascas de arroz (*Oriza sativa L.*) foram cedidas pela indústria de beneficiamento de arroz denominada Arrozeira Pelotas, localizada na cidade de Pelotas - RS (Figura 5a), a um teor de umidade médio de 12%.

A erva-mate (*Ilex paraguariensis St. Hilaire*) pós-consumo foi coletada em pontos de descarte localizados no prédio do curso de Engenharia Industrial Madeireira / CEng / UFPel e nas instalações do Campus Pelotas-Visconde da Graça - CAVG do IF Sul-rio-grandense (Figura 5b), caracterizando-se por diferentes fontes de origem e granulometrias de material a um teor de umidade superior a 90%.



Figura 5 - a) casca de arroz; b) erva-mate.

Fonte: LAPAM, 2013.

O adesivo ureia-formaldeído utilizado para produção dos aglomerados foi cedido pela empresa Hexion Química do Brasil, localizada na cidade de Montenegro – RS. As propriedades da resina são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Propriedade da resina ureia-formaldeído

Propriedade	Valor
Teor de sólidos (%)	68,88
Viscosidade copo Ford n° 4 (mPa.s)	384,95
pH	8,11
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,27
Tempo de formação de gel (s)	69,30

Como catalisador empregado para a resina ureia-formaldeído foi utilizada uma solução de sulfato de amônio a 25% de sólidos na proporção de 2% sob o peso do sólido resinoso.

#### 4.2 Secagem e classificação da matéria-prima

A Figura 6 apresenta o fluxograma de secagem e classificação do material. Os cavacos de pinus foram inicialmente dispostos em lonas plásticas e secos ao ar livre por um período de 24 horas até atingirem um teor de umidade próximo a 25-30%. Em seguida passaram por um processo de fragmentação secundária em moinho de martelo com malha de 9mm de abertura.

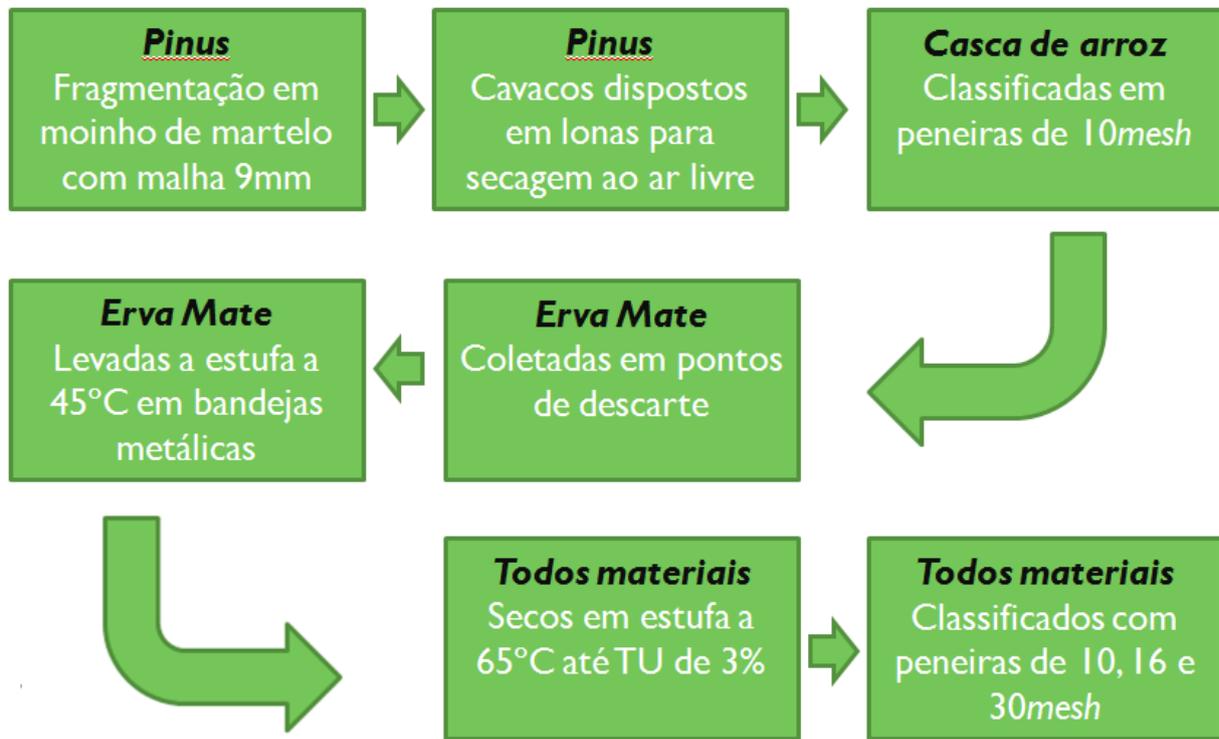


Figura 6 – Fluxograma de secagem e classificação do material.

Fonte: O AUTOR, 2016.

As amostras de cascas de arroz foram classificadas em peneiras de 10mesh de granulometria para a retirada do pó, sendo posteriormente armazenadas em sacos com capacidade para 50 litros.

Após a coleta da erva-mate nos pontos de descarte as amostras foram dispostas em bandejas metálicas e encaminhadas a uma estufa com circulação forçada de ar regulada a 45°C de temperatura, para dessa forma, potencializar sua secagem evitando-se a fermentação do material, em função de se encontrar com elevado teor de umidade inicial (erva-mate pós consumo), atingindo ao final do procedimento um teor de umidade próximo a 8%.

As partículas da casca de arroz (material íntegro), erva-mate e pinus foram secas em estufa com circulação forçada de ar e temperatura regulada a 60°C até atingirem o teor de umidade de 3%, necessário a produção das chapas. Em seguida foram classificadas empregando-se peneiras de 10, 16 e 30mesh, caracterizando o material para manufatura dos aglomerados as partículas que ficaram retidas nas malhas de 16 e 30mesh. Após as matérias-primas foram armazenadas em sacos plásticos com capacidade de 50 litros por um período máximo de 24h até a produção das chapas.

### 4.3 Caracterização química dos materiais

As amostras utilizadas na realização das análises químicas passaram por um processo de fragmentação secundária, sendo utilizado um moinho de facas tipo *Willey*. As partículas que, posteriormente a segunda fragmentação, atravessaram a peneira de 40*mesh* e que ficaram retidas na malha de 60*mesh* foram utilizadas nas análises, de acordo com as especificações da norma TAPPI 264 om (88).

As análises químicas foram realizadas em duplicata para cada um dos materiais seguindo as especificações das seguintes normas: solubilidade em água fria e água quente – TAPPI 207 cm (99), pH – TAPPI 252 om (02), solubilidade em etanol-tolueno - TAPPI 204 cm (07), teor de cinzas - TAPPI 211 om (12) e teor de lignina - TAPPI 222 om (11).

### 4.4 Determinação das propriedades físicas das partículas

Para determinação da densidade aparente e real das partículas utilizou-se metodologia descrita por Souza (2011), onde para densidade aparente foi determinado inicialmente a massa de uma proveta de 50ml, em seguida a amostra seca ao ar livre (material lignocelulósico) foi adicionada uniformemente a proveta até preenchimento do volume do recipiente determinado-se assim a massa da amostra. A densidade aparente foi realizada em triplicata e calculada pela razão entre massa da amostra sobre volume do recipiente.

A densidade real foi caracterizada por meio da adição de 15g da amostra seca ao ar livre (PA) em uma proveta de 500ml e em seguida adicionou-se 150g de água (PH<sub>2</sub>O) à temperatura ambiente, determinando o volume total da mistura amostra e água (VT). A densidade real (DR) foi determinada por meio da equação 1:

$$DR = PA / [VT - (PH_2O / DH_2O)]$$

Equação 1

, onde:

DR = densidade real (g/cm<sup>3</sup>);

PA = peso da amostra (g);

PH<sub>2</sub>O = peso da água (g);

DH<sub>2</sub>O = densidade da água equivalente a 1,0 g/cm<sup>3</sup>.

VT=volume total da mistura (cm<sup>3</sup>)

Para controle do teor de umidade dos materiais foram retiradas amostras, nas diferentes etapas do processo de secagem, e encaminhadas a estufa laboratorial regulada a  $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$  até peso constante, empregando-se o método gravimétrico por meio da equação:

$$\text{TU} = \frac{(\text{Pu} - \text{Ps})}{\text{Ps}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

, onde:

TU= teor de umidade (%);

Pu= peso úmido (g);

Ps= peso seco após estufa (g).

#### 4.5 Manufaturas dos painéis aglomerados

O fluxograma de fabricação dos painéis aglomerados está apresentado na figura 7 .

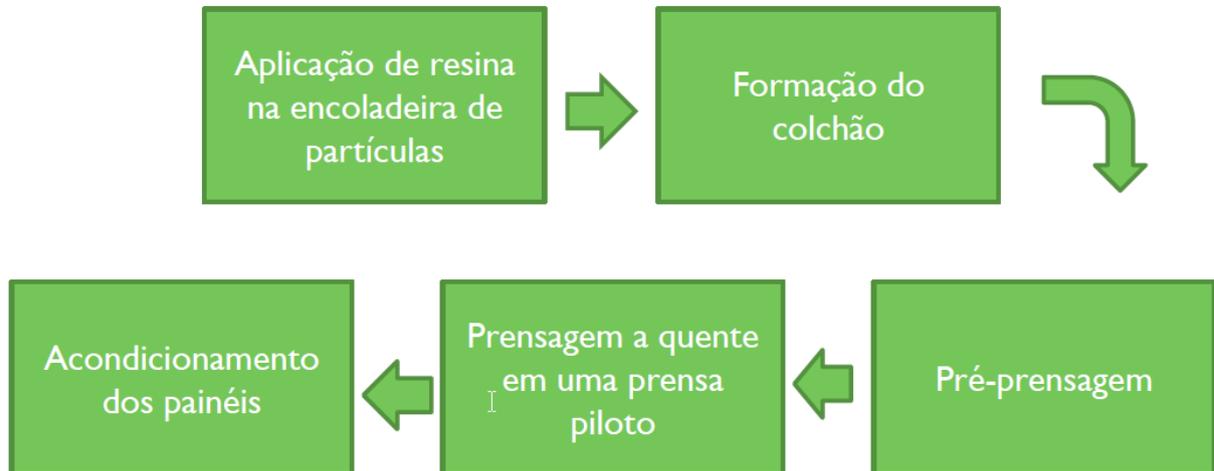


Figura 7 – Fluxograma de fabricação dos painéis aglomerados.

Fonte: O AUTOR, 2016.

Os painéis foram manufaturados com os resíduos do beneficiamento de indústrias agrícolas e tendo a madeira como tratamento testemunha, sendo consolidados por meio da adição de adesivo ureia-formaldeído, temperatura e pressão, tendo como principais etapas do processo: aplicação de resina na encoladeira de partículas (Figura 8a), formação do colchão (Figura 8b), pré-prensagem, prensagem a quente (Figura 8c) e acondicionamento dos painéis.

As chapas foram produzidas por meio de uma prensa piloto, com capacidade de 160 toneladas e Controle Lógico Programável (CLP) de tempo, temperatura e pressão, de acordo com os tratamentos experimentais apresentados na tabela 3.



Figura 8 - Etapas do processo de prensagem: a) Encoladeira de partículas; b) Formação do colchão; c) Prensagem a quente.

Fonte: LAPAM, 2014.

Tabela 3 - Tratamentos experimentais

Tratamentos	Material
01 (testemunha)	Pinus
02	Casca de arroz
03	Erva mate extraída

Um total de 9 painéis aglomerados foram produzidos, sendo realizadas três repetições por tratamento. As chapas apresentaram dimensões de (500 x 500 x 8)mm, densidade nominal de  $0,70 \text{ g/cm}^3$  e 8% de sólido resinoso. O processo de prensagem foi realizado de acordo com os parâmetros apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros do processo de prensagem

Parâmetros de prensagem	
Temperatura de prensagem	180°C
Pressão específica	40 kgf/cm <sup>2</sup>
Tempo de prensagem	6 minutos

Após o processo de prensagem os painéis (Fig. 9), foram resfriados e armazenadas em sala climatizada a temperatura de  $20(\pm 3)^{\circ}\text{C}$  e  $65(\pm 5)\%$  de umidade relativa do ar, onde permaneceram até atingirem o teor de umidade de equilíbrio próximo a 12%.

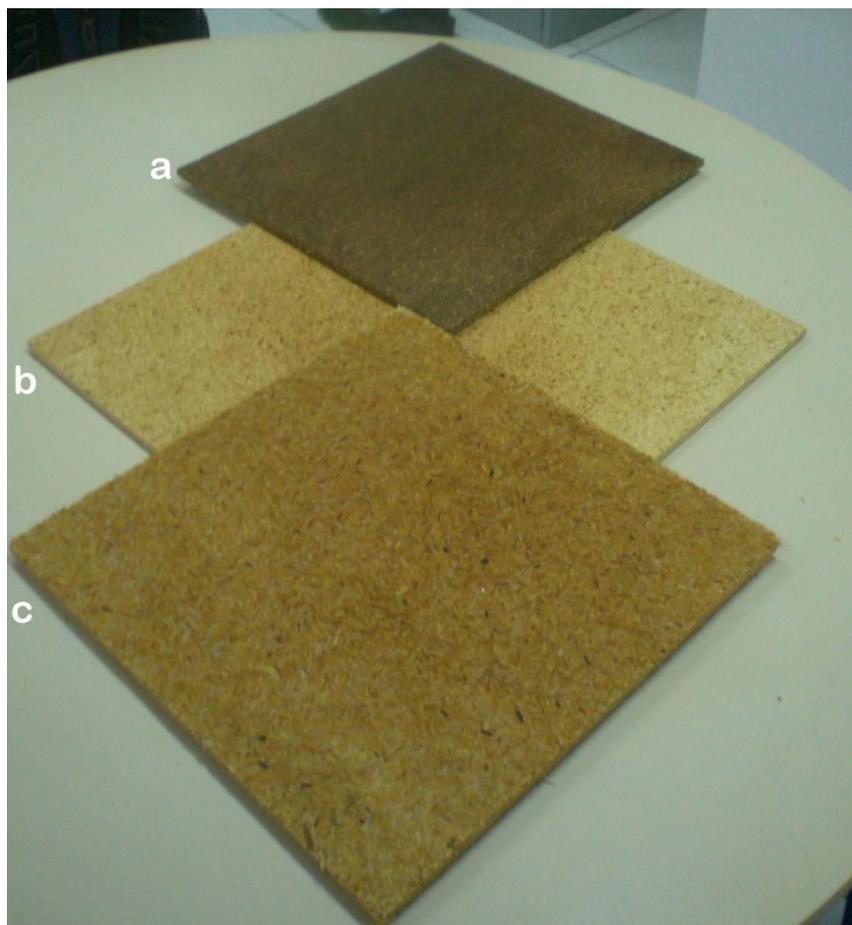


Figura 9 - Painéis produzido: a) erva-mate; b) madeira de pinus; c) casca de arroz.

Fonte: LAPAM, 2014.

#### 4.6 Ensaio Físico-Mecânico

Após o processo de condicionamento das chapas foi realizado o esquadreamento das bordas por meio de uma serra circular simples de bancada e corte dos corpos de prova de acordo com as especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2013) e Norma Europeia (EN, 1993).

Na tabela 5 são apresentados os ensaios físicos e mecânicos realizados, referenciando as normas, dimensões e número de corpos de prova amostrados por chapa. A Figura 10 pode ser observado o *layout* de corte utilizado.

Tabela 5 - Tipo de ensaio, normas e número de corpo de provas por painel

Ensaio	Norma	Dimensões (mm)	*C.P. por painel
Densidade Aparente	NBR 14810 (2013)	50 x 50	5
Teor de Umidade	NBR 14810 (2013)	50 x 50	5
Absorção de água (24h)	NBR 14810 (2013)	50 x 50	5
Inchamento em Espessura (24h)	NBR 14810 (2013)	50 x 50	5
Flexão estática (MOE e MOR)	EN 310 (1993)	50 x 210	5
Resistência à tração perpendicular	NBR 14810 (2013)	50 x 50	5

\*C.P. Corpos de Prova

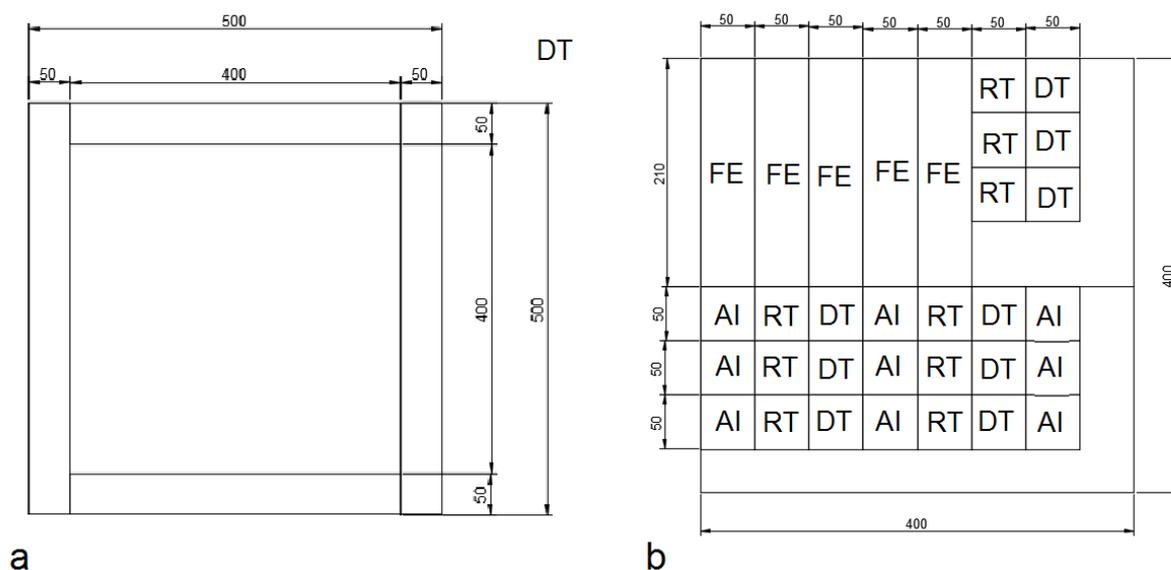


Figura 10 – Layout de corte do painel: a) esquadramento; b) corte dos corpos de prova; FE: Flexão Estática; RT: Resistência a tração perpendicular; AI: Absorção de água e inchamento em espessura; DT: Densidade e Teor de Umidade

Fonte: O AUTOR, 2014.

A norma europeia EN 310 (1993) para determinação da flexão estática foi utilizada em função da alteração da norma brasileira e, por consequência, inexistência do acessório necessário de acordo com as especificações atuais no laboratório para realização deste ensaio. Na figura 11 podem ser observados os ensaios de absorção de água, inchamento espessura e de flexão estática.

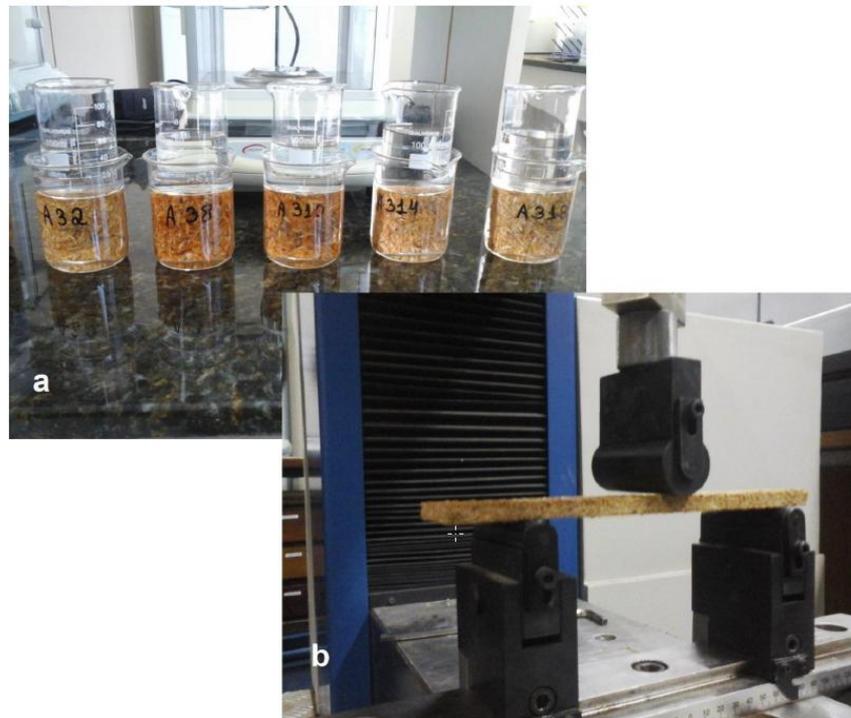


Figura 11 – Ensaio realizados nos painéis: a) Absorção de Água e Inchamento em espessura; b) Flexão Estática (Módulo de elasticidade e Módulo de Ruptura).

Fonte: LAPAM, 2016.

#### 4.7 Análise Estatística

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado com três repetições para as análises físicas das partículas, duas repetições para as análises químicas dos materiais e cinco repetições para as análises das propriedades dos painéis aglomerados produzidos.

Para as análises físicas e químicas das amostras foi empregada uma estatística descritiva básica (média e coeficiente de variação).

Para o atendimento dos requisitos necessários ao emprego da análise de variância e avaliação das propriedades dos painéis foi aplicado o teste de *Shapiro Wilk* para determinação da normalidade dos dados e a verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de *Levene*.

Posteriormente, os dados médios referentes as propriedades (absorção de água, inchamento em espessura e flexão estática - MOE e MOR) dos painéis foram submetidos a análise de covariância – ANCOVA, em função da variação da densidade aparente entre as chapas.

Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, empregou-se o teste Tukey a 5% de significância para comparação entre as médias dos tratamentos avaliados.

Para as variáveis respostas inchamento em espessura, módulo de ruptura e módulo de elasticidade foi necessário a realização da transformação dos dados (raiz

quadrada) em função do não atendimento aos requisitos necessários para realização da ANCOVA.

A utilização da análise de covariância neste estudo se justifica pela dificuldade de controle rigoroso da densidade dos painéis durante o processo de produção em laboratório, havendo a necessidade de ajuste dos valores das propriedades em torno da densidade média encontrada para todo conjunto de dados.

Com relação a propriedade de resistência à tração perpendicular dos painéis produzidos, não foi possível o emprego da ANCOVA em função do não atendimento dos requisitos necessários para realização da análise, mesmo com as diferentes tentativas de transformação matemática dos dados. Desta forma, foi empregada apenas uma estatística descritiva básica.

O programa estatístico utilizado para o processamento das variáveis foi o *Statgraphics Centurion* versão XVII - X64.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Propriedades químicas das partículas

A tabela 6 apresenta os resultados médios para solubilidade em água fria (SAF), solubilidade em água quente (SAQ), valores de pH dos extratos aquosos, solubilidade em etanol-tolueno (SET), teor de cinzas (TC) e teor de lignina (TL) dos materiais utilizados para confecção dos painéis aglomerados.

Tabela 6 - Valores médios de solubilidade em água fria (SAF), solubilidade em água quente (SAQ.), os valores de pH, Valores médios de solubilidade em etanol-tolueno (SET), teor de cinzas (TC) e teor de Lignina (TL)

Propriedades químicas	Madeira de Pinus	Casca de Arroz	Erva-mate
SAF (%)	3,64 (0,77)*	2,53 (8,94)	27,77 (0,99)
pH	5,64 (0,50)	6,83 (0,62)	5,02 (0,56)
SAQ (%)	6,85 (0,92)	6,97 (0,20)	34,22 (0,90)
pH	5,02 (0,14)	5,74 (0,37)	5,25 (0,13)
SET (%)	6,55 (0,35)	1,65 (1,67)	27,79 (1,52)
TC (%)	0,32 (0,00)	14,64 (0,12)	4,77 (0,07)
TL (%)	28,32 (0,10)	36,81 (0,10)	26,87 (0,11)

\* () coeficiente de variação.

Mendes et al. (2002) encontraram teores de extrativos médios inferiores para madeira de pinus - 1,80%. Entretanto, Andrade et al. (2002) observaram valores entre 0,98% a 5,41% na determinação da solubilidade em água fria para madeira de *Pinus taeda*, de acordo com a norma ASTM D 1110 (1994). O resultado apresentado para o resíduo erva-mate foi o que obteve o mais elevado teor de extrativos observado nas análises.

Em relação a variável solubilidade em água quente, a quantidade do teor de extrativos aumentou consideravelmente em comparação aos encontrados para a solubilidade em água fria, em função do fator temperatura. O tratamento com erva-mate apresentou valor de SAQ de 34,22% superior aos demais tratamentos avaliados. Vale ressaltar que os materiais apresentaram um valor de pH ácido. E valores de pH tendendo a acidez é característica da retirada de extrativos considerados ácidos, como por exemplo o tanino (TAPPI 207 cm, 1999).

Os baixos valores dos coeficientes de variação indicam estabilidade entre as repetições das análises. Maziero et al. (2014) encontraram percentuais de 5,6% para solubilidade em etanol-tolueno em madeira de *Pinus spp.* De acordo com Klock (2013) madeiras de conífera costumam apresentar teores de extrativos de  $5\pm 3\%$  significando que o resultado observado se encontra dentro do padrão para madeira de pinus.

Com relação a variável solubilidade em etanol-tolueno o valor de 1,65% para a casca de arroz é inferior ao encontrado por Jacinto et al. (2016) - 2,17%. Paula et al. (2011), encontraram extrativos totais de 4,06%, também superior ao presente estudo.

O resíduo de erva-mate manteve a tendência do alto teor de extrativos observado para a solubilidade em água quente e fria. Os teores de extrativos influenciam no processo de prensagem, pois pode ocorrer a formação de bolhas durante o processo, o que causaria uma redução das propriedades mecânicas (MALONEY, 1993).

O teor de cinzas encontrado para a madeira de pinus foi de 0,32%. Em um estudo sobre madeira de *Pinus elliottii*, Balloni (2009) encontrou um valor de 0,41%, essa diferença é explicada devido à mistura de espécies que foi utilizada nesse estudo, bem como variáveis relacionadas a idade e sítio dos povoamentos.

Jacinto et al (2016) observaram teor de cinzas de casca de arroz de 14,23%, similar ao valor do encontrado no presente estudo de 14,64%. Com relação ao resíduo erva-mate, Pagliosa (2009) encontrou teores de cinzas para a casca e para folha de 6,26 e 6,22%, respectivamente. O fato desses valores serem superiores aos encontrados no presente estudo (4,77%) pode ser justificado devido a erva-mate utilizada ter sido analisada pós consumo humano, o que poderia alterar suas propriedades químicas.

Com relação a propriedade teor de lignina, o valor encontrado para madeira de pinus de 28,32% está dentro dos valores indicados para madeira de coníferas mencionado por Klock (2013) de  $28\pm 2\%$ .

O teor de lignina para casca de arroz encontrado por Jacinto et al. (2016) foi de  $29,4\pm 5,9\%$  sendo próximo ao 36,81% observado. O valor encontrado para a erva-mate (26,87%) é próximo ao resultado observado no estudo desenvolvido por Pagliosa (2009), sendo  $28,68 \pm 2,20\%$  para a folha e  $25,26 \pm 1,27\%$  para a casca de erva-mate.

## 5.2. Propriedades físicas das partículas

Os valores médios que se referem ao teor de umidade (material seco ao ar livre), densidade aparente e relativa para as partículas classificadas que foram

empregadas para a produção dos painéis aglomerados variaram de 7,29% a 10,52%, 0,24g/cm<sup>3</sup> a 0,29g/cm<sup>3</sup> e 0,60g/cm<sup>3</sup> a 0,76g/cm<sup>3</sup>, respectivamente (tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios para teor de umidade (TU), densidade aparente (DA) e densidade relativa (DR) das partículas classificadas

Tratamento	TU (%)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	DR (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Madeira de Pinus</b>	7,29 (0,19)*	0,24 (0,63)	0,76 (1,48)
<b>Casca de Arroz</b>	10,72 (1,45)	0,11 (0,91)	0,60 (0,00)
<b>Erva Mate</b>	7,81 (0,54)	0,29 (1,67)	0,75 (0,01)

\* () coeficiente de variação.

Os parâmetros observados indicam que os materiais estavam em condições de serem utilizados para fabricação das chapas, pois de acordo com Iwakiri (2005) partículas com elevadas densidades impossibilitam que a formação do colchão apresente a altura necessária para a espessura requerida.

### 5.3. Propriedades físicas dos painéis

Os Valores médios para teor de umidade (TU), densidade aparente (DA), absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) dos painéis aglomerados produzidos com os resíduos lignocelulósicos podem ser observados na tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios de teor de umidade (TU), densidade aparente (DA), absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE)

Tratamento	T.U. (%)	DA. (g/cm <sup>3</sup> )	A.A. (%)	I.E. (%)***
<b>Pinus</b>	6,34 (4,41)*	0,68 <sup>a**</sup> (8,07)	104,08 <sup>b</sup> (12,18)	(5,64) 32,03 <sup>b</sup> (7,77)
<b>Casca de arroz</b>	7,95 (1,90)	0,58 <sup>b</sup> (7,40)	146,21 <sup>a</sup> (17,74)	(6,56) 43,36 <sup>a</sup> (9,14)
<b>Erva – mate</b>	8,14 (3,60)	0,70 <sup>a</sup> (9,51)	96,69 <sup>b</sup> (5,33)	(5,05) 25,74 <sup>c</sup> (8,18)

\* () coeficiente de variação; \*\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey; \*\*\* () dados transformados pela raiz quadrada dos valores originais.

A análise de variância para densidade aparente dos painéis foi estatisticamente significativa (apêndice A), por isso houve a necessidade de fazer uma análise de covariância para avaliar as características físicas e mecânicas dos painéis aglomerados. Devido à dificuldade em se manter um controle rigoroso da densidade dos painéis quando a produção é realizada em laboratório, as densidades aparentes

médias dos painéis de madeira e de casca de arroz diferiram da densidade nominal estipulada de  $0,70\text{g/cm}^3$ . Os valores médios de teor de umidade e densidade aparente dos painéis aglomerados produzidos variaram, respectivamente de 6,34% a 8,4% e  $0,58\text{g/cm}^3$  a  $0,70\text{g/cm}^3$ .

Os resultados para absorção de água variaram de 96,69% a 146,21% e os resultados de inchamento em espessura em vinte e quatro horas foram de 25,74% a 43,36%. A análise de covariância para absorção de água (apêndice D) e inchamento em espessura (apêndice G) apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Os painéis aglomerados confeccionados com os resíduos de erva-mate foram os que apresentaram os valores mais satisfatórios para o inchamento em espessura, o que proporcionou uma estabilidade dimensional elevada a essas chapas quando comparada aos demais tratamentos. O que podem ter influenciado nesta propriedade do painel é o elevado teor de extrativos observados neste material.

Os painéis aglomerados produzidos com casca de arroz, utilizando 8% de adesivo ureia-formaldeído e densidade nominal de  $0,65\text{g/cm}^3$  confeccionados por Melo (2009) apresentaram valores de absorção de água inferiores aos encontrados (67,25%). Os aglomerados de casca de arroz e com teores de adesivo tanino-formaldeído distintos (7, 10 e 13%) produzidos por Souza (2012) não só obtiveram resultados inferiores de absorção de água que variaram de 89,81% a 109,54%, como também para inchamento em espessura (15,29% a 23,49%). As diferenças entre os tipos de adesivos, densidade e espessura das chapas podem explicar esse fato, bem como a norma empregada para avaliação desta propriedade tenha sido a norma ASTM D 1037 (1988).

### **5.3. Propriedades mecânicas dos painéis**

Os resultados médios referentes ao módulo de ruptura dos painéis aglomerados produzidos apresentaram uma variação de 3,01MPa a 7,06MPa, a qual a análise de covariância foi estatisticamente significativa (apêndice J) e referente ao módulo de elasticidade variaram de 799MPa a 1393,85MPa, também apresentado diferença estatística (apêndice M), podendo ser observados na tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios de módulo de ruptura (MOR) módulo de elasticidade (MOE) e resistência a tração perpendicular (RTP)

<b>Tratamento</b>	<b>MOR (MPa)</b>	<b>MOE (MPa)</b>	<b>RTP (MPa)</b>
<b>Madeira de Pinus</b>	(2,52)* 7,06 <sup>a**</sup> (17,16)***	(37,16) 1.393,85 <sup>a</sup> (10,09)	0,75 (11,30)
<b>Casca de Arroz</b>	(2,10) 3,54 <sup>b</sup> (11,99)	(28,61) 825,59 <sup>b</sup> (9,42)	0,04 (36,70)
<b>Erva Mate</b>	(1,52) 3,01 <sup>c</sup> (16,90)	(28,01) 799,00 <sup>c</sup> (14,02)	0,10 (73,48)

MOR \*( ) dados transformados pela raiz quadrada dos valores originais; \*\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey; \*\*\* ( ) coeficiente de variação.

De modo geral observou-se uma redução significativa da resistência mecânica a flexão estática dos painéis aglomerados produzidos com partículas de casca de arroz seguidos pela erva-mate como matéria-prima.

Com relação aos requisitos das normas EN 312 (2003) e NBR 14810-2 (2013), para os módulos de ruptura (13MPa) e elasticidade (1.600MPa) os painéis produzidos apresentaram resultados médios inferiores, e apenas o tratamento com madeira de pinus foi o que se aproximou das especificações mínimas para o MOE.

Souza (2012) desenvolveu um estudo com painéis aglomerados da casca de arroz empregando adesivo tanino-formaldeído com teores que variavam de 7 a 13% e com densidade de 0,65g/cm<sup>3</sup> e avaliados de acordo com a norma ASTM D 1037 (1988), observou valores médios de MOR superiores aos que foram encontrados (3,76MPa a 5,59MPa), isso pode ser explicado com o fato de o adesivo tânico possuir uma resistência superior ao adesivo ureico e também pelo aumento do teor de sólido resinoso empregado. Contudo, o autor observou valores de módulo de elasticidade inferiores (96,57MPa a 362,16MPa) ao presente trabalho. No estudo desenvolvido por Melo (2009) também ocorreu a mesma tendência, com resultados superiores para MOR (4,49MPa) e inferiores para MOE (172,49MPa).

Os valores encontrados para a propriedade de resistência a tração perpendicular tiveram uma tendência de redução nos painéis aglomerados produzidos com os resíduos de casca de arroz e erva-mate em relação à madeira de pinus. Também observa-se que os valores do coeficiente de variação dos painéis aglomerados produzidos com esses resíduos lignocelulósicos foram elevados, o que indica uma alta variação dessa propriedade ao longo do painel. E isso pode ser justificado pelo fato de que a ligação interna dessas chapas tenha sido reduzida em função das propriedades químicas observadas para a casca de arroz (teor de cinzas) e erva-mate (teores de extrativos) se apresentarem elevadas.

Em seu trabalho, Melo (2009) encontrou valores similares aos observados no atual estudo em relação os aglomerados de casca de arroz (0,04MPa) e valores superiores para a madeira *Eucalyptus grandis* (0,157MPa), observando uma tendência de redução da resistência conforme o aumento da percentagem da casca de arroz nos painéis. Porém, Souza (2012) encontrou resultados que variaram de 0,003 a 0,025MPa, sendo inferiores aos encontrados no presente estudo.

Apenas o tratamento testemunha (madeira de pinus) atendeu aos requisitos propostos pelas normas EN 312 (2003) e NBR 14810-2 (2013), que exige um valor mínimo de 0,35MPa. Isso faz com que o processo laboratorial possa ser comparado em sua resistência a painéis produzidos em processos industriais.

## 6 CONCLUSÕES

Com os resultados observados pode-se concluir que:

- ✓ Com relação às propriedades químicas dos extratos aquosos em água fria e quente, a erva-mate obteve valor superior aos demais tratamentos, sendo a casca de arroz com valor similar a propriedade da madeira de pinus;
- ✓ A erva-mate apresentou o mais elevado teor de extrativos em etanol / tolueno e a casca de arroz se apresentou superior ao teor de cinzas e lignina;
- ✓ As partículas apresentaram propriedades físicas satisfatórias para a produção de painéis;
- ✓ A absorção de água foi superior nas chapas produzidas com casca de arroz, entretanto, os painéis constituídos por madeira de pinus e a erva-mate apresentaram propriedades similares;
- ✓ Os painéis aglomerados de erva-mate foram os que apresentaram inchamento em espessura inferior quando comparados aos demais tratamentos avaliados, fato que pode ser justificado em função dos elevados teores de extrativos observados para esse material;
- ✓ Os painéis de madeira de pinus apresentaram resistência mecânica (MOR, MOE e RTP) superiores aos aglomerados produzidos com resíduos lignocelulósicos;
- ✓ De modo geral, os painéis aglomerados produzidos com os resíduos lignocelulósicos apresentaram potencial para emprego em ambientes internos devido ao atrativo estético.

## Referências

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira; **Programa setorial da qualidade de painéis de partícula de madeira (MDP) e painéis de fibras de Madeira.**2013 Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=5a7b585e849441d58eb7829306ff57e&ext=.pdf&cd=2641>>. Acesso em: 17 /10 /2016

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810 – 1 – **Painéis de Partículas de Média Densidade – Parte 1:** Terminologia. 2013. 5p

\_\_\_\_\_. NBR 14810 – 2 – **Painéis de Partículas de Média Densidade – Parte 2 :** Requisitos e Método de Ensaio. 2013. 69p.

ALMEIDA, Vanessa Coelho et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta amazônica**, Manaus, vol. 42, p. 59 – 64, 2012.

ALONÇO, Airton dos Santos; SANTOS, A.B. Cultivo do arroz irrigado no Brasil. **Embrapa Clima Temperado, Sistema de Produção**, Capão do Leão v. 8, p. 124 -131, 2015.

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.

ANDRADE, Alan Sulato. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e classe de produtividade.** 2006. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2006.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ARROZ. **Anuário Brasileiro do Arroz:** 2013. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2013. 140p.

ASSOCIAÇÃO GAUCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS - AGEFLOR. Florestas plantadas privadas. **A indústria de base florestal.** Disponível em: <<http://www.ageflor.com.br/noticias/biblioteca/anuario-ageflor-2015-ano-base-2014.pdf>> . Acesso em: 27/02/2017

BALLONI, CARLOS JOSÉ VESPÚCIO. **Caracterização física e química da madeira de *Pinus elliottii*.** 2009. 41f. Trabalho de Conclusão de curso (Curso de Engenharia Industrial Madeireira) - Campus Experimental De Itapeva, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2009.

BRONDANI, Gilberto et al. Diferenciais de custos em culturas de arroz: a experiência do Rio Grande do Sul. **Revista Universo Contábil**, Blumenau, v. 2, n. 1, p. 61-74, 2006.

CAMPOS, Moacir Alberto **Balço de biomassa e nutrientes em povoamento da *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1991.

CARASCHI, José Cláudio; LEO, Alcides Lopes; CHAMMA, Paula VC Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, vol. 19, nº 1, p. 47-53, 2009.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS. **PROCESSOS INDUSTRIAIS-PRÁTICA" Polímeros**. Disponível em : < [http://sistemas.timoteo.cefetmg.br/nos/\\_media/bd:roteiro:quimica:polimeros.pdf](http://sistemas.timoteo.cefetmg.br/nos/_media/bd:roteiro:quimica:polimeros.pdf) > Acessado em 29/01/2017

CHINASSO, Carlos Augusto; LOPES, Merielen de Carvalho Adesivos para madeira. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL, 1., 2008, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: Unicentro, 2008.

CHUNGSANGUNSIT, Thipwimon; GHEEWALA, Shabbir H.; PATUMSAWAD, Suthum. Environmental profile of power generation from rice husk in Thailand. In: The Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE). **Anais...** 2004. p. 1-3.

ELEOTÉRIO, Jackson Roberto. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ESMELINDRO, Maria Carolina et al. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p. 193-204, 2002.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 310: **Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Brussel, Belgium, 1993.

\_\_\_\_\_. EN 312. **Particleboards – Specifications**. .English Version. 2003.

FREIRE, ALF et al. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados -Uma revisão de literatura. **Revista Espacios**, Caracas, v. 36, n. 10, p 3 – 6. 2015.

GATANI, Mariana Pilar et al. Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 18, p. 1286-1293, 2013.

GUIOTOKU, M. et al. Utilização de palitos de erva-mate na produção de painéis de aglomerado. Embrapa Florestas. **Comunicado técnico**, Colombo, n. 214, p. 6, 2008.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Produtividades municipais** safra 2014/2015. Disponível em: < <http://www.irga.rs.gov.br/inicial>> Acesso em: 27/02/2017

IWAKIRI, Setsuo et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2001.

IWAKIRI, Setsuo et al. Painéis de madeira aglomerada. **Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF**, p. 137-182, 2005.

IWAKIRI, Setsuo et al. Particleboard manufacturing from *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 883-887, 2004.

JACINTO;Rodolfo.Cardoso.; GRUBERT; Rodrigo Antunes.; BRAND;Martha Andreia.; Qualidade De Resíduos Da Cadeia Produtiva Do Arroz Para Geração De Energia. In: XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. **Anais . . . 2016**, Curitiba, PR.

Disponível em: [http://www.ebramem.com.br/content/artigos/corrigidos/167\\_corrigido.pdf](http://www.ebramem.com.br/content/artigos/corrigidos/167_corrigido.pdf). Acesso em: 17/10/2016.

JANKOWSKY, Ivaldo Pereira; DE AGUIAR, Osmar JR. Manufatura de painéis compensados com eucalyptus: caracterização de diversas espécies. **Floresta**, Curitiba, v. 14, n. , p. 46 -53, 1983.

KLOCK, Umberto et al. Química da madeira. **Curitiba: UFPR**, v. 4. FUPEF: Curitiba, 2013.

LESSMANN, Valter Ernesto. **Estudo da reação de cura de resinas uréia-formol por espectrometria de ressonância magnética nuclear**. 2008. 121f. Dissertação (Mestrado em Química) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LIDE, David R. **Handbook of chemistry and physics**. National Institute for Standards and Technology, CRC Press, New York, 2010, 2.677p.

LIMA, A. M.; VIDAURRE, G. B.; LIMA, R. M.; BRITO, E. O. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.645-650. 2006.

LOURENÇO, Rivail Salvador et al. Influência da cobertura morta na produtividade da erva-mate. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 43, p. 113-122, 2001.

LYNAM, F. C. Factors influencing the properties of wood chipboard. **Particleboard Manufacture and Application**. Presmedia Books Ltd. DK, 1969.

MALONEY, Thomas. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2 ed. New York: Backbeat Books, 1977. 688p.

MARRA, Alan **Technology of wood bonding – Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992, 453 p. 18

MARTINS, Jairo das Neves.; **Potencial de extração dos polifenóis das cascas de folhosas para produção de adesivos**. 2014. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Industrial Madeireira) - Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

MATTOS, René Luiz Grion; GONÇALVES, Roberta Mendes; LACERDA, Flávia das Chagas. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES setorial, Rio de Janeiro**, n. 27, p. 121-156, 2008.

MAZIERO, Rômulo; ITMAN FILHO, André; SOARES, Kinglston. Caracterização química dos resíduos de pinus spp. para fabricação de compósitos plástico-madeira. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Anais...**Cuiabá, 2014, 8p.

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

MENDES, Lourival Marin et al. Anatomia e características físico-químicas da madeira de *Zanthoxylum tingoassuiba* St. Hil. de ocorrência na região de Lavras/MG. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 15-25, 1999.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Arroz**. Versão eletrônica. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>> Acesso em: 17/10/2016

MOTA; Luciani da Silva **Propriedades físicas de painéis aglomerados de baixa densificação produzidos com casca de arroz**. 2015. 53f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Industrial Madeireira) - Centro de Engenharias, Universidade federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

NAPOLI, Lygia Maria et al. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 475-484, 2013.

NOCE, Rommel et al. Competitividade do Brasil no mercado internacional de aglomerado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 113-118, 2008.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G. **Adesão e adesivos**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1978. 93p.

PAGLIOSA, Cristiane Manfé et al. **Caracterização química do resíduo de ervais e folhas" in natura" de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.)**. 2009. 146f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PAULA, Luana Elis de Ramos et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

**Plantação de arroz**. Disponível em:<<http://plantacaodearroz.com.br/wp-content/uploads/2015/11/lugar-para-plantar-arroz.jpg>>acessado em 17/10/2016

ROWELL, Roger M.; HAN, James S.; ROWELL, Jeffrey S. Characterization and factors effecting fiber properties. **Natural Polymers and Agrofibers Bases Composites**. Embrapa Instrumentacao Agropecuaria, São Carlos, 13560-970 SP, Brazil, 2000., p. 115-134, 2000.

SANTOS, Alessandra Fernandes. **Avaliação do comportamento mecânico de um adesivo estrutural epóxi utilizado na indústria automobilística**. 2005. 167f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SOUZA, Joel Telles de. **Aproveitamento da casca de arroz para fabricação de chapas aglomeradas**. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SOUZA, K. B. et al. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de Pinus de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 8, n. 4 , p 841 – 849, 2012.

SOUZA, Rafael Valim Xavier **Caracterização e preparo da biomassa visando seu aproveitamento energético**. 2011,48f. Trabalho de conclusão de curso de graduação (Engenharia de Energia) - Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC, 2011.

TAPPI - **Testing Procedures of Technical Association of the Pulp and Paper Industry**.- TAPPI In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2002 (coletânea de normas)

TEODORO, Anderson. Siqueira.; LELIS,Roberto Carlos Costa Colagem de madeira sólida com adesivo natural à base de tanino. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, Seropédica, v. 25, n. 1, p. 55-9, 2005.

TOSTES, A. S. et al. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo ureia-formaldeído (UF) modificado com tanino da casca de Eucalyptus pellita F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2004.

**Verdes Pampas**; disponível em <http://verdespampas.com.br/> acessado em 17/10/2016

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B.. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial** (Banco Nacional Do Desenvolvimento Econômico E Social) Produtos Florestais, 2014. p.323-384. Versão eletrônica. Disponível em <[https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt\\_BR](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/?locale=pt_BR) > Acesso em: 14 /10/ 2016.

WALLAUER, Frederico Alberto **Estudo e avaliação da adição de cinza de casca de arroz à borracha EPDM**. 2011. 48 f. Trabalho de Conclusão de curso (Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WENDLING, Ivar; DUTRA, Leonardo Ferreira; GROSSI, Fernando. Notas Científicas Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 289-292, 2007.

## Apêndices

### Apêndice A – Análise de variância para variável densidade aparente dos painéis

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	0,119053	2	0,0595267	19,17	0,000000
Dentro dos grupos	0,130427	42	0,0031054		
<b>Total</b>	<b>0,24948</b>	<b>44</b>			

### Apêndice B – Teste para homogeneidade das variâncias para variável densidade aparente dos painéis

Test	Statistic	P- Value
Levene's	1,59695	0,214565

### Apêndice C – Teste para verificação da normalidade para variável densidade aparente dos painéis

Test	Statistic	P- Value
Shapiro-Wilk W	0,962634	0,238939

### Apêndice D – Análise de covariância para variável absorção de água

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Covariável Densidade	6225,03	1	6225,03	33,02	0,0000
Efeito principal					
A: Trata	5046,01	2	2523,01	13,38	0,0000
Resíduo					
<b>Total (corrigido)</b>	<b>7728,49</b>	<b>41</b>	<b>188,5</b>		

### Apêndice E – Teste para homogeneidade das variâncias para variável absorção de água

Test	Statistic	P- Value
Levene's	0,757942	0,4749

### Apêndice F – Teste para verificação da normalidade para variável absorção de água

Test	Statistic	P- Value
Shapiro-Wilk W	0,946339	0,0563739

### Apêndice G – Análise de covariância para variável inchamento em espessura

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Covariável Densidade	1,51661	1	1,51661	7,23	0,0103
Efeito principal					
A: Trata	16,7189	2	8,35947	39,83	0,00000
Resíduo	8,60405	41	0,209855		
<b>Total (corrigido)</b>	<b>27,343</b>	<b>44</b>			

**Apêndice H – Teste para homogeneidade das variâncias para variável inchamento em espessura**

Test	Statistic	P- Value
Levene's	1,58386	0,271434

**Apêndice I – Teste para verificação da normalidade para variável inchamento em espessura**

Test	Statistic	P- Value
Shapiro-Wilk W	0,964211	0,271434

**Apêndice J – Análise de covariância para variável MOR**

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Covariável Densidade	1,17674	1	1,17674	13,61	0,0007
Efeito principal A: Trata	6,28761	2	3,14381	36,35	0,00000
Residuo	3,20008	37	0,0864888		
Total (corrigido)	10,8888	40			

**Apêndice K – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOR**

Test	Statistic	P- Value
Levene's	1,59188	0,2168

**Apêndice L – Teste para verificação da normalidade para variável MOR**

Test	Statistic	P- Value
Shapiro-Wilk W	0,94485	0,0659013

**Apêndice M – Análise de covariância para variável MOE**

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Covariável Densidade	273,601	1	273,601	56,37	0,0000
Efeito principal A: Trata	691,279	2	345,639	71,22	0,00000
Residuo	179,571	37	4,85326		
Total (corrigido)	1191,4	40			

**Apêndice N – Teste para homogeneidade das variâncias para variável MOE**

Test	Statistic	P- Value
Levene's	0,805534	0,4543

**Apêndice P – Teste para verificação da normalidade para variável MOE**

Test	Statistic	P- Value
Shapiro-Wilk W	0,964867	0,324352