**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por
partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu**

Flávia Maria Silva Brito

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2018**

Flávia Maria Silva Brito
Engenheira florestal

**Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas
de bagaço de cana-de-açúcar e bambu**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais.

Piracicaba
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Brito, Flávia Maria Silva

Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu / Flávia Maria Silva Brito. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

214 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Granulometria 2. Água quente 3. Molhabilidade 4. Durabilidade natural 5. Tratamento térmico I. Título

Aos meus pais, irmãos e a pequena Liana,
Afetuosamente dedico...

AGRADECIMENTOS

Ao Divino Pai Eterno por me dar forças para seguir em frente e não desanimar com as dificuldades.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” por me acolher e oferecer uma instituição de ensino de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Orientador e Prof. Geraldo Bortoletto Júnior, pelos ensinamentos e orientação desta pesquisa.

Aos meus pais, Fidelino Antônio Brito e Maria do Alívio Silva, pelas lições de humildade, exemplo de vida e por serem luz no meu caminho.

Aos meus irmãos, Wagner Silva Brito, Wailson Silva Brito e Maria Adelina Silva Brito, que sempre me ajudaram e incentivaram a seguir em frente.

À Usina Furlan, pela concessão do material utilizado no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao SI Group CRIOS Resina S.A, pela doação do adesivo utilizado nessa pesquisa.

Ao Marcelo Ticelli do Instituto Agronômico de Campinas, pela doação do bambu utilizado nesse trabalho.

Ao Prof. Mário Tomazello Filho, pela colaboração com equipamento.

Ao Prof. Antônio Aprígio Curvelo, pela disponibilidade do laboratório para realização das análises químicas e à aluna de doutorado Bárbara Duarte Branquinho, pelo auxílio nesta etapa da metodologia.

Ao Prof. Juarez Benigno Paes, pela boa vontade sempre que solicitado, apoio técnico e disponibilidade do laboratório para execução dos ensaios de resistência natural e sua aluna de doutorado Luciana Ferreira da Silva, pelo auxílio na montagem dos experimentos.

A Profa. Débora Terezia Balogh, pela disponibilidade do goniômetro para realização dos ensaios de molhabilidade.

Ao Prof. Francides Gomes da Silva Júnior, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Prof. José Otávio Brito, pela disponibilização da estufa para realização do tratamento térmico e ao técnico Udemílson pelo auxílio no laboratório.

Aos Professores Ivaldo Pontes Jankowsky, Juliano Fiorelli e Luiz Fernando de Moura, pelas contribuições no exame de qualificação.

Ao Prof. Francisco Antônio Rocco Lahr, pelo incentivo no doutorado.

Ao técnico Alex Canale, pela paciência e auxílio no laboratório.

Aos técnicos Carlito e Sabino, pelo auxílio prestado sempre que requisitados.

Aos amigos da Pós-Graduação do Programa de Recursos Florestais da ESALQ, principalmente as colegas de laboratório, Karina Soares Modes, Saly Takeshita e Ana Caroline Margarido Valle, pelas rápidas conversas e risadas compartilhadas. Em especial agradeço a Paula Surdi, pela amizade e auxílio nas etapas iniciais dos experimentos e nas análises estatísticas.

Ao aluno de iniciação científica Gustavo Villa Nova Alves, pelo apoio nos trabalhos realizados no laboratório.

Ao Luís Eduardo Bragatto, pelas palavras de conforto no decorrer desta jornada.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desta pesquisa.

Muito obrigada!

“Não existem erros, apenas lições. O crescimento é um processo de tentativa e erro: experimentação. As experiências que não deram certo fazem parte do processo, assim como as bem-sucedidas”

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Produção de painéis de madeira e a indústria dos painéis aglomerados	19
3.2 Painéis MDP	20
3.2.1 Processo de produção de painéis de partículas	21
3.2.2 Variáveis que interferem nas propriedades dos painéis de partículas	22
3.2.2.1 Fatores inerentes a madeira	22
3.2.2.2 Fatores inerentes ao processo	24
3.3 Características gerais do Bambu (<i>Dendrocalamus asper</i>)	28
3.4 Bagaço de cana-de-açúcar	29
3.5 Termorretificação	31
3.6 Perfil de densidade.....	33
3.7 Molhabilidade de superfície	34
3.8 Resistência natural.....	35
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1 Bagaço de cana-de-açúcar	37
4.2 Bambu.....	38
4.3 Resina	40
4.4 Determinação da massa específica básica dos cavacos de bambu e das partículas de bagaço de cana-de-açúcar.....	40
4.5 Classificação granulométrica e medição das partículas para o cálculo do índice de esbeltez	40
4.6 Tratamento das Partículas de Bagaço e Bambu.....	41
4.6.1 Em Água Quente	41
4.6.2 Em Estufa de Termorretificação	42
4.7 Análises das partículas.....	44
4.7.1 Teor de umidade de equilíbrio e Composição química das partículas	44
4.8 Produção dos Painéis Aglomerados de Bagaço e Bambu	46
4.8.1 Aplicação do adesivo e da parafina	47

4.8.2 Formação do colchão de partículas, prensagem e obtenção das amostras	48
4.9 Ensaios físicos e mecânicos.....	49
4.10 Determinação da razão de compactação.....	52
4.11 Perfil de densidade.....	53
4.12 Ângulo de contato.....	55
4.13 Resistência ao ataque de fungos	56
4.14 Análise estatística dos resultados	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1 Experimento I: Painéis aglomerados constituídos de partículas de bagaço de cana-de-açúcar.....	61
5.1.1 Granulometria das partículas	61
5.1.2 Análise química das partículas de bagaço de cana-de-açúcar	62
5.1.3 Massa específica básica das partículas e razão de compactação	65
5.1.4 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis	65
5.1.5 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão.....	66
5.1.6 Inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura	69
5.1.7 Flexão estática	70
5.1.8 Arrancamento de parafuso.....	71
5.1.9 Ligação Interna	72
5.1.10 Perfil de densidade.....	73
5.1.11 Ângulo de contato.....	76
5.1.12 Resistência natural	78
5.2 Experimento II: Painéis aglomerados constituídos de partículas de bambu	81
5.2.1 Granulometria das partículas de bambu	81
5.2.2 Análise química das partículas de bambu.....	82
5.2.3 Massa específica básica e razão de compactação	84
5.2.4 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis	84
5.2.5 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão.....	85
5.2.6 Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura	87
5.2.7 Flexão estática	90
5.2.8 Arrancamento de parafuso.....	92
5.2.9 Ligação interna	93
5.2.10 Perfil de densidade.....	94
5.2.11 Ângulo de contato.....	97

5.2.12 Resistência natural.....	101
5.3 Experimento III: painéis aglomerados constituídos com mistura de partículas	103
5.3.1 Índice de esbeltez das partículas de bagaço de cana e bambu.....	103
5.3.2 Razão de compactação.....	104
5.3.3 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis	105
5.3.4 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão.....	105
5.3.5 Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura	107
5.3.6 Flexão estática	109
5.3.7 Arrancamento de parafuso.....	110
5.3.8 Ligação interna	111
5.3.9 Perfil de Densidade.....	113
5.3.10 Ângulo de contato.....	115
5.3.11 Resistência natural	119
5.4 Experimento IV: painéis de partículas termorretificadas e diferentes teores de adesivo .	122
5.4.1 Umidade de equilíbrio e alteração na cor das partículas	122
5.4.2 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis	123
5.4.3 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão.....	124
5.4.4. Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura	127
5.4.5 Flexão estática	129
5.4.6 Arrancamento de parafuso.....	130
5.4.7 Ligação interna	132
5.4.8 Perfil de densidade.....	133
5.4.9 Ângulo de contato.....	135
5.4.10 Resistência natural.....	138
5.5 Resumo das propriedades dos painéis aglomerados.....	140
6 CONCLUSÕES	143
7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	147
REFERÊNCIAS	149
ANEXOS	165

RESUMO

Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu

O presente estudo teve por objetivo avaliar a qualidade de painéis de partículas de média densidade (MDP), manufaturados a partir de bagaço de cana-de-açúcar e bambu (*Dendrocalamus asper*). A massa específica nominal foi $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ e utilizou-se adesivo à base de uréia-formaldeído. O delineamento consistiu em 16 tratamentos, divididos em quatro Experimentos. Foram avaliadas as propriedades físicas (Massa Específica Aparente - MEA, Absorção de Água - AA, Inchamento em Espessura - IE e Taxa de Não-Retorno em Espessura - TNRE), mecânicas (Flexão Estática - MoR e MoE, Arrancamento de Parafuso de Superfície e Topo - APS e APT e Ligação Interna - LI, além do Perfil de Densidade, Molhabilidade e Resistência Natural. Os objetivos foram: I - Avaliar painéis de partículas de bagaço de cana com duas granulometrias (0,50 mm e 0,85 mm), tratadas e não tratadas em água quente; II - Avaliar os painéis adotando as mesmas variáveis do experimento anterior, porém, empregando partículas de bambu; III - Avaliar os painéis gerados a partir da mistura de ambos materiais nas proporções de 100%, 75%, 50%, 25% e 0%; IV - Avaliar os painéis constituídos com partículas termorretificadas de bagaço e bambu encoladas com três teores de adesivo (10, 12 e 14%). Os resultados do Experimento I mostraram que propriedades físicas (IE2h, IE24h, AA24h e TNRE), mecânicas (MoR, MoE, APS, APT e LI) e molhabilidade não foram influenciadas pelos fatores (granulometria e condição de partículas). Os fatores influenciaram de forma interativa o perfil de densidade de massa específica aparente da camada externa. A resistência natural foi influenciada pelos fatores e os painéis foram inclusos na categoria “resistência moderada”. Os resultados do Experimento II mostraram que as partículas tratadas em água quente resultaram em aumento significativo dos valores de IE2h, IE24h e TNRE. O APS, APT e LI apresentaram melhorias significativas para os painéis manufaturados com partículas tratadas em água quente. Os fatores avaliados influenciaram a massa específica aparente da camada externa dos painéis. Houve interação significativa entre os fatores para o ângulo inicial obtido com água. O fungo *G. trabeum* causou maiores perdas de massa nos painéis constituídos com partículas tratadas em água quente e o *T. versicolor* evidenciou maior índice de ataque em chapas confeccionadas com partículas controle. No Experimento III o aumento da razão de compactação apresentou tendência significativa de aumento de valores da AA24h, IE2h, IE24h e TNRE, além do MoR. Tal variável reduziu a AA2h, APT e LI, proporcionou picos mais acentuados de massa específica nas faces dos painéis, reduziu significativamente a molhabilidade e aumentou a perda de massa dos painéis submetidos aos fungos *P. placenta* e *G. trabeum*. No Experimento IV o tratamento térmico promoveu melhorias significativas para AA2h, AA24h, IE2h e IE24h, porém reduziu o MoR, MoE, APS, APT e LI, que foram melhoradas com o aumento no teor de adesivo, além do perfil de densidade. Não houve influência significativa na molhabilidade, comparando os painéis com mesmo teor de adesivo e nem considerando diferentes teores de adesivo. De forma geral, os painéis apresentaram melhorias significativas na resistência biológica com a termorretificação e aumento no teor de adesivo. Bagaço de cana-de-açúcar e bambu representam boas alternativas de matérias-primas para confecção de chapas aglomeradas. Os painéis podem ser utilizados para forros, isolamento térmico e acústico, revestimentos, painéis decorativos, componentes para construção civil, substrato para piso, embalagens, pequenos objetos entre outras aplicações.

Palavras-chave: Granulometria; Água quente; Molhabilidade; Resistência natural; Tratamento térmico

ABSTRACT

Production and quality evaluation of particleboards produced with particles of sugarcane bagasse and bamboo

The aiming of this study was to evaluate the quality of medium density particleboard (MDP) manufactured with particles of sugarcane bagasse and bamboo with nominal density of 0.65 g.cm^{-3} and urea-formaldehyde adhesive. The experimental design was composed of 16 treatments divided in four experiments. The physical properties (apparent density, water absorption, thickness swelling and the nonrecoverable tax, mechanical (static bending – modulus of elasticity and modulus of rupture, screw withdrawal strength and internal bonding) were evaluated, as well as the density profile, wettability and natural resistance. The objectives were: I - To evaluate panels of sugarcane bagasse particles with two granulometries (0.50 mm and 0.85 mm) treated and not treated in hot water; II – To evaluate the panels using the same variables of the previous experiment, however using bamboo particles; III - Evaluate the panels origin from the mixture of both materials in proportions of 100%, 75%, 50%, 25% and 0%; IV - Evaluate the panels constituted with heat treatment particles of bamboo and bagasse and glued with three adhesive contents (10, 12 and 14%). The results of the Experiment I showed that physical (IE2h, IE24h, AA24h and TNRE) and mechanical properties (MoR, MoE, APS, APT and LI) and wettability were not influenced by the factors (grain size and particle condition). The factors influenced the apparent specific bulk density profile of the outer layer. Natural resistance was influenced by the factors and the panels were included in the "moderate resistance" category. The results of Experiment II showed that the particles treated in hot water resulted in a significant increase in the values of IE2h, IE24h and TNRE. APS, APT and LI showed significant improvements for panels manufactured with hot water treated particles. The evaluated factors influenced the apparent specific mass of the outer layer of the panels. There was a significant interaction between the factors for the initial angle obtained with water. The *G. trabeum* fungus caused greater mass losses in the panels constituted with particles treated in hot water and *T. versicolor* evidenced a higher attack rate in plates made with control particles. In Experiment III the increase in compaction ratio showed a significant tendency to increase values of AA24h, IE2h, IE24h and TNRE, in addition to MoR. This variable reduced AA2h, APT and LI, provided more pronounced peaks of specific mass in the faces of the panels, significantly reduced wettability and increased the mass loss of the panels submitted to *P. placenta* and *G. trabeum* fungi. In Experiment IV the heat treatment promoted significant improvements for AA2h, AA24h, IE2h and IE24h, but reduced MoR, MoE, APS, APT and LI, which were improved with the increase of the adhesive content, as well as the density profile. There was no significant influence on wettability, comparing the panels with the same adhesive content and different adhesive contents. In general, the panels showed significant improvements in the biological resistance with thermortification and increase in the adhesive content. Sugarcane bagasse and bamboo represent good alternatives of raw materials for confection of agglomerated sheets. The panels can be used for linings, thermal and acoustic insulation, coatings, decorative panels, components for civil construction, substrate for flooring, packaging small objects among other applications.

Keywords: Granulometry; Hot water; Wettability; Natural resistance; Heat treatment

1 INTRODUÇÃO

Os painéis aglomerados são largamente utilizados na produção de móveis para diversos ambientes, por exemplo, sala, quarto, cozinha, banheiro e escritório. Esses painéis são obtidos a partir de partículas secas de madeira misturadas com adesivo e consolidadas sob calor e pressão (MOSLEMI, 1974; IWAKIRI, 2005; MATTOS et al., 2008). Os painéis aglomerados atualmente são também conhecidos como MDP (*Medium Density Particleboard*).

Algumas variáveis são muito importantes no processo de produção de aglomerados, tais como a massa específica da madeira, que será utilizada para fabricação desses painéis. A utilização de um material mais denso resultará na redução do volume de partículas e, conseqüentemente, na redução da sua área superficial específica. Nessas condições, a aplicação do mesmo conteúdo de resina eleva a sua disponibilidade por unidade de área superficial das partículas, resultando em chapas com melhores propriedades, compensando o efeito da redução na razão de compactação – relação entre as massas específicas do painel e da matéria-prima (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

A importância do uso de madeiras de baixa massa específica está relacionada com a razão de compactação, que deve ser no mínimo 1,3 para possibilitar a densificação necessária da chapa (IWAKIRI et al., 2006). As propriedades mecânicas apresentam relação direta com a razão de compactação, porém as propriedades físicas são inversamente proporcionais (KELLY, 1977). Espécies de madeira de alta massa específica podem ser utilizadas em misturas com madeira de massa específica mais baixa, gerando um produto de melhor qualidade (LAHR; CHRISTOFORO, 2013).

A combinação de espécies distintas para fabricação de chapas aglomeradas é muito importante no sentido de ampliar a oferta de matéria-prima para as indústrias que requerem grandes volumes de madeira. Diferentes características físicas e químicas podem ser consorciadas por meio da mistura homogênea das partículas de madeira para viabilizar o processo de colagem e formação do painel (IWAKIRI et al., 2010).

Um fator essencial para produção dos painéis é o adesivo que será utilizado, pois este promove a união de materiais, em função de ligações de superfície. Os adesivos mais empregados no Brasil para fabricação de painéis aglomerados são constituídos à base de uréia-formaldeído (MACIEL, 2001).

A principal matéria-prima utilizada para a fabricação de chapas aglomeradas no Brasil é a madeira, dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Contudo, intensificam-se estudos sobre a

viabilidade da utilização de materiais alternativos, visando diversificar as fontes de abastecimento das indústrias.

Um desses materiais alternativos é o bambu que possui excelentes características físico-mecânicas, rapidez de crescimento, facilidade de obtenção e versatilidade de usos. A desvantagem desse material está relacionada com a baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, tais como fungos e insetos (ESPELHO; BERALDO, 2008).

O emprego de bambu na produção de aglomerados pode ser uma alternativa para regiões com escassez de madeira. Segundo Liese (1998), a massa específica do bambu varia entre 0,5 e 0,8 g.cm⁻³. Do ponto de vista físico-mecânico, tem-se como vantagem da inclusão de bambu em painéis, o aumento das propriedades de resistência e elasticidade e da estabilidade dimensional (CALEGARI et al., 2007; HIZIROGLU et al., 2005). No Brasil, já foram produzidos painéis experimentais utilizando o bambu associado, ou não a outros materiais lignocelulósicos tal como a madeira, por exemplo, variando o tipo e teor de adesivo e o ciclo de prensagem (CALEGARI et al., 2007; JOSÉ; BERALDO, 2010; 2014; MARINHO et al., 2013; ARAÚJO, 2015; MELO et al., 2015a).

Com o crescimento da construção civil e da indústria moveleira, principais consumidores de madeira no Brasil, tornou-se necessário o desenvolvimento de materiais alternativos, como opção de utilização para diversas finalidades. Para fabricação de aglomerados, por exemplo, é desejável que esses materiais possuam caráter renovável, além de que resultem potencialmente em painéis com valores de propriedades físicas e mecânicas equivalentes ou superiores aos especificados em normas para chapas aglomeradas constituídas de madeira. A agroindústria brasileira apresenta inúmeros resíduos lignocelulósicos com potencialidades de aproveitamento para fabricação de novos materiais (CARASCHI et al., 2009). Neste contexto, um material alternativo para manufatura de materiais particulados é o bagaço de cana-de-açúcar, conforme apontado por Soares (2012) e Barrero (2015), uma vez que esse tipo de resíduo da indústria sucroalcooleira é gerado em larga escala no País.

A massa específica básica média do bagaço de cana é de 0,090 g.cm⁻³. Estudos apontam para a viabilidade técnica do seu uso para a produção de painéis aglomerados, como já ocorre em outros países, tais como Cuba, Colômbia, China, Argentina e Rússia. As chapas possuem, entre outras características, facilidade na usinagem e boa colagem na montagem de peças de móveis. Possuem, porém, constituintes básicos altamente susceptíveis ao ataque de organismos xilófagos (TEIXEIRA et al., 1997).

No Brasil, exemplos de estudos sobre a produção experimental de painéis aglomerados de bagaço de cana, associados ou não com outros materiais lignocelulósicos, são os realizados

por Pedreschi (2009), Barros Filho (2009), Belini et al. (2010), Fiorelli et al. (2011), Mendes et al. (2014) e Barrero (2015). Os resultados destes estudos indicaram a viabilidade do emprego do bagaço, uma vez que as propriedades dos painéis atenderam aos requisitos das diferentes faixas de uso propostas pela norma padrão que utilizaram. Estudos que abordam a produção de aglomerados a partir da mistura de bambu e bagaço de cana são escassos na literatura, com exceção de um trabalho realizado por Belini et al. (2014a).

O bambu possui alta massa específica, dessa forma para produção de painéis de média densidade resulta em baixa razão de compactação. Como consequência, as propriedades mecânicas do painel são prejudicadas, embora apresente boa estabilidade dimensional. Por outro lado, o bagaço possui baixa massa específica e na produção de aglomerados de média densidade resulta em alta razão de compactação. Por consequência disso as propriedades mecânicas do painel podem ser beneficiadas (se a quantidade de adesivo aplicada for adequada para recobrir uma área superficial específica relativamente alta e isso pode aumentar sobremaneira o gasto com adesivo, sendo que se trata de um insumo de alto custo), mas a estabilidade dimensional é prejudicada.

Dentro desse contexto considera-se que a mistura destes materiais alternativos (bagaço de cana e bambu), de alta e baixa massa específica, respectivamente, pode favorecer uma razão de compactação ideal e resultar em painéis com propriedades adequadas. O presente estudo pretende avaliar experimentalmente aglomerados de média densidade, produzidos a partir da mistura dos referidos materiais alternativos, em diferentes proporções e com partículas termorretificadas, coladas com adesivo à base de UF. Os resultados dos Experimentos foram confrontados com a NBR 14810 (2006, 2013) visando adquirir subsídios para inferir sobre a sua qualidade. Essa Norma é específica para painéis de madeira de média densidade, porém foi utilizada porque os materiais empregados nos experimentos (bagaço de cana e bambu) possuem holocelulose e lignina, o que os tornam similares a madeira. Ressalta-se ainda que os painéis constituídos com a mistura das partículas dos materiais alternativos representam um produto inovador no mercado.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a qualidade dos painéis aglomerados, produzidos em escala laboratorial, utilizando partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu, tratadas em água quente e termorretificadas. Os objetivos específicos foram:

- a) Avaliar os efeitos da granulometria das partículas de bagaço de cana e do tratamento destas em água quente, sobre as propriedades dos painéis produzidos;
- b) Avaliar os efeitos da granulometria das partículas de bambu e do tratamento destas em água quente, sobre as propriedades das chapas;
- c) Avaliar os efeitos das proporções de misturas entre partículas de bagaço de cana e bambu nas propriedades dos painéis;
- d) Avaliar os efeitos do tratamento térmico das partículas e dos teores de adesivo nas propriedades das chapas;
- e) Avaliar a interação de solventes com os painéis por medida de ângulo de contato;
- f) Avaliar a resistência natural dos painéis e classificá-los conforme a ASTM D 2017 (2005).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produção de painéis de madeira e a indústria dos painéis aglomerados

De acordo com os dados da FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO, 2015) os principais exportadores de painéis são China e Canadá, enquanto os Estados Unidos e Alemanha são os principais importadores. O Brasil é o sexto maior produtor de painéis do mundo. Em 2015, a produção de painéis de madeira reconstituída foi de 7,5 milhões de metros cúbicos, com redução de 6,3% em relação a 2014 (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2016). Houve uma redução na compra de vários produtos, como móveis, que é o principal segmento consumidor de chapas de madeira, cuja retração nas vendas em 2015 foi de 16,2% em volume. Sendo assim, as vendas de painéis de madeira no mercado interno recuaram 11,3%. No entanto, as exportações atingiram 641 mil metros cúbicos, alta de 52,3% em relação a 2014 (IBÁ, 2016).

A indústria de painéis aglomerados surgiu na Europa, após a segunda guerra mundial, em função da indisponibilidade de matéria-prima de boa qualidade para fabricação de compensados. Com a escassez, tornou-se necessário buscar outras fontes de matéria-prima, como resíduos de madeira, para fabricação de painéis de partículas com o objetivo de suprir a demanda do mercado (MOSLEMI, 1974; HILLIG et al., 2002;).

Em 1946, o processo de desenvolvimento de painéis aglomerados foi retomado nos Estados Unidos com o aperfeiçoamento dos equipamentos e processos de produção. A partir da década de 60, ocorreu uma grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos. Na década de 70 iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos “waferboard” e “oriented strandboard” (OSB) (IWAKARI, 2005).

A fabricação de painéis aglomerados no Brasil teve início em 1966, na cidade de Curitiba-PR. Esse setor industrial prosperou significativamente e atualmente há várias unidades fabris instaladas nas regiões Sul e Sudeste do País (IWAKIRI, 2005). As fábricas produtoras de chapas aglomeradas desempenham um papel importante no setor florestal, pois movimentam recursos, contribuindo com a geração de empregos, pela importância estratégica e promovem abastecimento de indústrias moveleiras (NOCE et al., 2008). As maiores indústrias produtoras de painéis de aglomerados de média densidade são Duratex, Berneck, Masisa, Fibraplac, Eucatex, Arauco, Repinho e Bonet (WOOD BASED PANELS INTERNATIONAL – WBPI 2015/2016).

3.2 Painéis MDP

O painel MDP é composto por adesivo sintético e partículas de madeira, as quais são combinadas com aplicação de calor e pressão, se consolidando e dando origem ao painel. Por ser feito à base de fibras naturais vegetais, o MDP também pode ser classificado como um composto lignocelulósico (SILVA, 2012).

Algumas vantagens que esses painéis possuem estão relacionadas à menor exigência quanto às características da matéria-prima (por exemplo, é permitido utilizar madeira de diâmetro relativamente reduzido, utilizar resíduos do processamento mecânico da madeira e de culturas agrícolas na produção), boa estabilidade dimensional em relação ao plano da chapa, bem como a disponibilidade de peças com dimensões relativamente grandes. Algumas das desvantagens incluem superfícies e bordas sem bom acabamento visual (as partículas são visíveis e não formam uma peça lisa e uniforme), baixa qualidade na usinagem, devido à possibilidade de esfarelamento das partículas, dificuldade para fixar pregos e dobradiças, baixa resistência a umidade (IWAKIRI, 2005).

A madeira oriunda de reflorestamento é a principal fonte de matéria-prima utilizada nas indústrias, para fabricação dos aglomerados. De forma geral, qualquer fonte de fibra pode ser utilizada na produção das chapas, entretanto, do ponto de vista comercial, a qualidade do produto final limita o campo de escolha. Alguns materiais lignocelulósicos podem ser combinados para fabricação dos painéis, tais como fibras virgens ou recicladas, resíduos agrícolas, como bagaço de cana, palha de arroz e trigo, além de polímeros sintéticos como polipropileno, poliestireno e polietileno (CALEGARI et al., 2004).

A classificação dos painéis pode ser feita com base na massa específica, no tipo de partícula e distribuição das mesmas na chapa. Os painéis com densidade abaixo de $0,59 \text{ g.cm}^{-3}$ são classificados como painéis de baixa densidade, na faixa de $0,59$ a $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$, são de média densidade e acima de $0,80 \text{ g.cm}^{-3}$ são considerados de alta densidade. Os aglomerados convencionais são constituídos por partículas do tipo “sliver”, “flakeboard” são formados por partículas do tipo “flake”, “waferboard” são formados por partículas “wafer” e os aglomerados “strandboard” (partículas “strand”). Os painéis ainda podem ser classificados como homogêneos, múltiplas camadas, camadas graduadas e de partículas orientadas (IWAKIRI, 2005).

Podem ser comercializados em dois tipos, sem revestimento ou revestidos. Inicialmente, eram utilizadas lâminas de madeira para esse fim. Porém, com a redução da oferta desse material, especialmente na Região Sul do País, deu-se início à substituição destas lâminas por

lâminas sintéticas, tais como Finish Foil (FF) e Baixa Pressão (BP). Dentre as vantagens, destaca-se o melhor acabamento, não havendo a necessidade de custos adicionais com tratamento de superfície. As lâminas FF são fabricadas em película de papel que podem ser lisas ou impressas com padrões madeirados, coladas na chapa. Geralmente, painéis com esse tipo de revestimento são utilizados para confecção de armários. As lâminas BP consistem numa folha de papel impregnada com melamina, que pode ser fundida à chapa por meio de pressão e calor, geralmente é utilizada em cozinhas (HASELEIN et al., 2001).

Para avaliar a qualidade dos painéis são realizados ensaios físicos e mecânicos preconizados pela NBR 14810 (ABNT, 2013). Alguns exemplos desses ensaios são massa específica aparente, teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática, resistência ao arrancamento de parafuso de superfície e de topo, ligação interna, além do perfil de densidade.

3.2.1 Processo de produção de painéis de partículas

IWAKARI (2005) descreve o processo de produção de painéis aglomerados, desde o descascamento das toras até o esquadreamento dos painéis.

A etapa inicial consiste no descascamento das toras de madeira, que pode representar de 10 a 17% do volume, dependendo da espécie. Os equipamentos que são utilizados podem ser móveis ou estacionários com capacidade e volume específico e diferentes métodos de operação. Posteriormente, as toras descascadas são transformadas em cavacos e destes obtém-se as partículas. A geometria das partículas (dimensões e forma) é definida de acordo com a finalidade do painel. As partículas entram no secador com umidade variando de 35 a 120% e alcançam teores entre 3 a 5%. O equipamento mais utilizado é o secador de tambor rotativo.

A próxima etapa consiste na classificação das partículas, que geralmente é feita por meio de equipamentos pneumáticos, que classificam o material em função do peso ou classificador de telas, onde a seleção é realizada por meio da área superficial das partículas.

A aplicação do adesivo nas partículas é realizada em grande parte por pulverização buscando uniformidade na aplicação. A formação do colchão é realizada sobre esteiras de acordo com a massa específica das chapas. A caixa formadora possui saídas conforme a configuração do painel, para deposição das partículas de diferentes tamanhos.

Em seguida o colchão é pré-prensado, ocorrendo uma prévia compactação do colchão, posteriormente, segue para a prensa, para a consolidação por meio de pressão e temperatura em um determinado tempo, de forma a promover a cura da resina. Após o processo de prensagem os painéis são resfriados, climatizados, lixados e redimensionados.

3.2.2 Variáveis que interferem nas propriedades dos painéis de partículas

Os principais fatores que influenciam as características finais e qualidade das chapas podem ser relativos à matéria-prima ou ao processo. Em relação aos inerentes à madeira destaca-se a espécie, massa específica e extrativos. Os fatores inerentes ao processo abrangem a densidade do painel, razão de compactação, geometria das partículas, resina e parâmetros do ciclo de prensagem (SURDI, 2015).

3.2.2.1 Fatores inerentes a madeira

A variabilidade da estrutura anatômica, propriedades físicas e químicas de uma determinada espécie de madeira podem influenciar de forma positiva ou negativa na confecção de produtos colados (IWAKIRI et al., 2012). Segundo Maloney (1993), as várias espécies podem resultar em matérias primas distintas em relação a geração de partículas, além de interagir com as variáveis do processo, refletindo nas características finais das chapas. A grande variabilidade da estrutura interna implica na organização dos tecidos, proporção de ocorrência dos elementos anatômicos, tamanho dos elementos celulares e localização dos componentes no sentido longitudinal do fuste (TSOUMIS, 1991). O material a ser utilizado deve atender alguns parâmetros, tais como disponibilidade em quantidades adequadas, baixo custo, forma adequada para a fabricação de chapa, baixo custo no manuseio e estocagem (MOSLEMI, 1974).

Sabe-se que a massa específica é obtida por meio da razão entre a quantidade de lenho por unidade de volume. A densidade básica influencia na relação entre pressão de prensagem e resistência do colchão no momento da prensagem a quente. Durante esse processo forma-se um gradiente de densidade vertical, ou seja, ao longo da espessura do painel, cujo gradiente exerce influencia sobre as suas propriedades mecânicas (WANG et al., 2000).

A razão de compactação é calculada em função da relação entre as massas específicas do painel e do material lignocelulósico. Para uma mesma densidade de painel, o uso de madeira de maior densidade resulta em menor volume relativo de partículas para uma mesma massa,

bem como menor razão de compactação, ou seja, menor contato entre partículas e impacto negativo na resistência mecânica do painel. Porém, sendo menor o volume de partículas e, por consequência, sendo menor a área superficial específica destas, a mesma quantidade de resina aplicada, sobre as partículas de madeira de menor densidade, tem sua disponibilidade aumentada para realizar maior número de ligações adesivas, podendo compensar o efeito da redução da razão de compactação.

As espécies mais indicadas para produzir painéis de partículas de média densidade devem possuir massa específica até $0,550 \text{ g.cm}^{-3}$ (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993). Hillig et al. (2002) afirmam que a densidade das chapas produzidas é de 40% a 50% maior do que a da madeira usada na sua confecção.

Hillig (2000) destaca que esse aumento na densidade, se deve ao fato das madeiras com densidade menor permitirem uma maior taxa de compressão das partículas, além da maior área superficial específica para o mesmo peso, resultando no melhor contato entre elas e, consequentemente melhorando a colagem. Por outro lado, quando a densidade da madeira é muito baixa, podem ser geradas maiores quantidades de finos e poeira, durante a sua transformação em partículas e, aumentando o consumo de adesivo, pois os finos e a poeira possuem maior área superficial específica.

Outro fator que merece destaque em relação à espécie utilizada é a acidez da madeira, a qual pode ser quantificada através do pH. Segundo Moslemi (1974), a maioria das espécies de madeira utilizada na indústria de aglomerados é classificada como ácida e esse fato pode influenciar negativamente no processo de cura do adesivo e na escolha do catalisador que será utilizado junto ao adesivo. Geralmente o pH das espécies de madeira está situado entre 3 e 6 (IWAKIRI, 2005).

Os extrativos ou substâncias estranhas são elementos impregnantes encontrados no lume e/ou na parede celular da madeira. São constituídos de materiais orgânicos, tais como óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos, gomas, graxas e resinas. São produzidos durante o processo de formação do cerne e seus efeitos predominantes estão relacionados à redução da higroscopicidade e permeabilidade da madeira (CRUZ et al., 2006). Tais elementos, podem ser extraídos da madeira utilizando-se água e solventes orgânicos, tais como etanol, acetona, diclorometano, metanol e etanol/tolueno (OLIVEIRA et al., 2005).

Razera (2006) afirma que os extrativos podem interferir de forma negativa no processo de cura do adesivo e aumentar o tempo necessário de prensagem das chapas. Se o teor de extrativos totais nos materiais lignocelulósicos forem elevados, há uma grande probabilidade de redução da qualidade das chapas, devido aos problemas de aumento no consumo de adesivos,

redução das propriedades de resistência mecânica e da absorção de água, além do surgimento de bolhas durante o processo de prensagem a quente da chapa (IWAKIRI, 2005).

Os exsudados resinosos e oleosos são hidrofóbicos e a maioria dos adesivos para madeira utiliza água como carreador. Sendo assim, pode ser que os adesivos não tenham boa molhabilidade e não penetrem devidamente na superfície, caso possuam extrativos (FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL, 2010). Os extrativos podem ser volatilizados na prensagem a quente, em função da alta pressão, calor e umidade e pode provocar “bolhas” reduzindo a resistência da ligação interna (MOSLEMI, 1974; MARRA, 1992).

Destaca-se ainda o teor de umidade da madeira, cujo fator exerce influência direta no processo de transformação dos cavacos em partículas, pois, um baixo teor de umidade, proporciona maiores quantidades de finos e desgaste das máquinas (HILLIG, 2000). A variação da umidade pode estar associada a alguns fatores, tais como materiais oriundos de diferentes localidades, variação de proporção entre o cerne e alburno e proporção de diferentes espécies (MALONEY, 1993). Esse fator, ainda pode gerar problemas operacionais, principalmente na cura da resina durante o processo de prensagem e interferir no tempo e na pressão necessária para consolidar o colchão de partículas até a espessura final dos painéis (MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005).

3.2.2.2 Fatores inerentes ao processo

A razão de compactação, definida pela relação entre a massa específica do painel e do material lignocelulósico, deve atender a um índice mínimo de 1,3 a 1,6 que garante uma área de contato satisfatória entre as partículas do material e a densificação necessária para a formação da chapa aglomerada (IWAKIRI, 2005). Valores acima de 1,6 melhoram as propriedades de resistência, porém, o inchamento em espessura será elevado em função da maior taxa de compressão exercida sobre o material durante o processo de prensagem dos painéis (IWAKIRI et al., 2006).

Chapas confeccionadas com material de baixa massa específica possuem maior resistência à flexão e tração quando comparadas com aquelas que são fabricadas com material de alta massa específica (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993). Quando o material é mais denso, resulta em uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades do painel, pois a área de superfície de contato entre partículas é insuficiente para garantir propriedades satisfatórias. Com isso torna-se necessário alterar outras variáveis do processo, tais como aumentar o teor de resina, porém o custo de produção será elevado (MENDES, 2001).

Geralmente, todas as propriedades tecnológicas das chapas são influenciadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Se a razão for muito pequena as partículas não terão um contato suficiente entre si o que pode interferir de forma negativa na colagem e na resistência da chapa. Por outro lado, quando as chapas são produzidas com alta razão de compactação, torna-se necessária uma força maior de prensagem, entretanto a mesma pode ocasionar problemas de evaporação de água durante essa fase, além do consumo excessivo de matéria prima (HILLIG et al., 2002). A massa específica da chapa aglomerada possui relação direta com a densidade da madeira, taxa de compressão, umidade do colchão e outros fatores e influencia grande parte das propriedades das chapas (HILLIG et al., 2002).

A geometria das partículas pode determinar certas características das chapas, principalmente, as mecânicas. As partículas, por exemplo, podem ser do tipo “sliver”, “flake”, “wafer” e “strand” (MOSLEMI, 1974; HASELEIN et al., 2002; IWAKARI, 2005). Ressaltam-se algumas características importantes das partículas, tais como o índice de esbeltez, razão de planicidade e área superficial específica diretamente relacionadas com a geometria (MALONEY, 1977). As dimensões das partículas são determinadas com base no comprimento, largura e espessura e com essas medidas é possível calcular o índice de esbeltez, que é um parâmetro muito importante, definido em função da razão entre o comprimento e espessura. Esse índice, exerce influências na área de contato das partículas constituintes dos painéis, consumo relativo de resina e grau de adesão (IWAKIRI, 1989; RAZERA, 2006)).

A geometria das partículas influencia as propriedades de resistência e rigidez à flexão, resistência à tração paralela e perpendicular à superfície (ligação interna), resistência ao arrancamento de parafusos, absorção de líquidos, inchamento em espessura e características de superfície das chapas (MALONEY, 1977; IWAKIRI, 2005; RAZERA, 2006). Alterações no volume do colchão são resultantes da utilização de diferentes tipos e geometria de partículas. Quanto menor o volume do colchão, menor é a área de recebimento dos compostos em emulsão, como adesivo, parafina e água, em função disso, maiores serão as perdas (CALEGARI et al., 2004). Ferreira (2013) cita que a geometria das partículas influencia as principais propriedades de resistência das chapas, por isso é um parâmetro importante de ser controlado, para confecção de produtos de qualidade.

A resina é o componente mais caro na fabricação dos painéis. Por isso é importante que se utilize menores quantidades na manufatura, desde que não tenha interferências nas propriedades tecnológicas (BUFALINO, 2010). A quantidade de adesivo que será utilizada no processo é determinada em função do conteúdo de sólido resinoso e com base no peso seco das partículas, que pode variar entre 5 e 10%. (MALONEY, 1977; IWAKARI, 2005). É necessário

controlar a quantidade de adesivo que será aplicado nas partículas, bem como assegurar a homogeneidade em relação a distribuição do mesmo, com o objetivo de gerar propriedades uniformes sobre toda a extensão do painel (IWAKIRI, 2005).

O adesivo à base uréia-formaldeído (UF) é indicado para fabricação de produtos que serão utilizados em ambiente interno. Começou a ser fabricado no início da década de 30 e atualmente tem grande aplicação na indústria madeireira, para colagem de madeira sólida, compostos laminados e particulados em geral (ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2005). A uréia é produzida comercialmente pela reação do dióxido de carbono e amônia numa faixa de temperatura entre 135°C a 200°C e pressão de 70 a 130atm. O formaldeído é obtido pela oxidação do metanol, preparado comercialmente a partir do monóxido de carbono e hidrogênio ou de petróleo (IWAKARI, 2005).

Podem ser formulados para curar à temperatura ambiente (20°C) ou em altas temperaturas que variam até 160°C. A coloração clara do adesivo UF é uma vantagem, além do baixo custo, facilidade de manuseio e cura rápida. Cita-se como desvantagem a liberação de formaldeído (altamente tóxico) durante a prensagem a quente (CAMPOS; LAHR, 2004).

O teor de adesivo influencia nas propriedades das chapas. Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmam que a quantidade de resina a ser aplicada tem relação direta com a área superficial específica das partículas a ser recoberta. Segundo Marra (1992), espécies que possuem baixa densidade necessitam de um maior volume de partículas para formar o colchão para uma determinada massa específica nominal, assim, aumenta-se a área superficial e torna-se necessário uma maior quantidade de resina para garantir boa aderência e colagem satisfatória.

Alguns produtos são utilizados associados à resina para confecção dos painéis com o intuito de promover melhorias nas suas propriedades, a exemplo, cita-se a emulsão de parafina, aplicada em pequenas proporções com base na massa de partículas a 0% de umidade. O objetivo é reduzir a higroscopicidade das partículas e melhorar a estabilidade dimensional das chapas. Os catalisadores (cloreto de amônia e sulfato de amônia) são utilizados para reativar a pré-condensação aumentando a velocidade de polimerização e cura do adesivo. Os retardantes de fogo, são componentes químicos como fosfato de amônia, ácido bórico, sulfato de amônia, utilizados no momento da fabricação das chapas ou impregnando os painéis após o processo de prensagem. Outros produtos químicos também podem ser aplicados no processo de produção, tais como preservantes contra fungos e insetos. A proporção varia entre 0,25% a 2,5% com base no peso seco das partículas. Produtos à base de boro, em proporções de 1% a 2% são suficientes para melhorar a resistência ao ataque de fungos e é eficaz contra insetos. Produtos à base de hexaclorociclohexano são indicados contra os insetos xilófagos (IWAKIRI, 2005).

A prensagem é uma etapa essencial na confecção de chapas de madeira, uma vez que determina a espessura, densidade final e transfere calor, que proporciona a cura da resina (adesivo) e consolidação do painel (CALEGARI et al., 2005). Os parâmetros do processo (tempo de prensagem, temperatura, pressão e tempo de fechamento da prensa) influenciam na estrutura do colchão de partículas, refletindo na qualidade dos painéis.

O tempo de prensagem é contabilizado a partir do momento em que os pratos tocam a superfície do colchão de partículas, determinando sua espessura até a abertura dos mesmos. Esse tempo varia em torno de 6 a 12 minutos e deve ser suficiente para que o centro da chapa atinja a temperatura ideal para a cura da resina e para a migração da umidade pelas bordas da chapa (SILVA et al., 2006; MENDES et al., 2006). Está diretamente relacionado com a eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura, da distribuição da umidade no colchão. Nas fábricas esse tempo, pode ser estipulado em torno de 6 a 12 segundos por mm de espessura do painel (IWAKIRI, 2005).

A temperatura de prensagem dos painéis tem a função de processar a polimerização, cura da resina e plasticização da madeira e assim reduzir a sua resistência a compressão e facilitar a consolidação do colchão até a espessura final do painel (IWAKARI, 2005). A taxa de calor é transferida da camada externa para o interior da chapa. Nos primeiros instantes de prensagem, ocorre a formação de vapor nas faces do colchão, plasticizando a madeira e facilitando sua compressão. O centro do painel durante esse período está frio e resistindo à compressão, entretanto, quando o mesmo atinge a temperatura que permitiria uma maior compactação, a chapa já atingiu a espessura desejada e não será mais compactado (ELEOTÉRIO, 2000).

A função principal da pressão é a densificação e consolidação do colchão, através de um maior contato entre as partículas até a espessura final das chapas (KELLY, 1977). A importância da pressão aplicada sobre as partículas deve-se a influência que exerce sobre a área de contato do material e sobre a consolidação do painel através da compressão das partículas até a espessura desejada.

O tempo de fechamento da prensa é o tempo transcorrido a partir do contato dos pratos da prensa com a superfície do colchão, até atingir a espessura final do painel. Quanto menor o tempo de fechamento, maior será o gradiente vertical de densidade, ou seja, maior a densificação das camadas superficiais do painel em relação as camadas internas (IWAKARI, 2005).

Destaca-se ainda o teor de umidade das partículas. É de extrema importância verificar o teor de umidade das partículas na fase da prensagem a quente, para evitar problemas como

delaminação ou “estouro” no painel (YOUNGQUIST, 1999). Recomenda-se teor médio de umidade das partículas entre 3 a 5%, porém, após a mistura com o adesivo UF, o teor aumenta para valores entre 8 e 14% (TSOUMIS, 1991).

A distribuição de umidade no colchão de partículas contribui significativamente para as propriedades finais das chapas. Se ocorrer variação da umidade em relação às camadas externas e internas que formam as chapas, aquelas externas com maior teor de umidade serão mais densificadas e essas chapas apresentarão maior resistência e rigidez a flexão do que as chapas prensadas com teor de umidade uniforme do colchão (MALONEY, 1977).

Chamma (2004) ressalta que o teor de umidade das partículas, na etapa de prensagem, influencia na resistência à compressão, uma vez que, com a temperatura, ocorre a plasticização das partículas, resultando na menor resistência à compactação da chapa. Durante a prensagem, a transferência de calor para o interior da chapa depende da umidade e essa transferência promove a cura do adesivo e a plasticização do material.

A formação do colchão pode ser feita de forma aleatória (homogênea, multicamadas e camadas graduadas) e orientada (os sistemas de deposição do material se referem ao mecanismo utilizado na estação formadora). A produção de chapas com três camadas requer três ou mais estágios de formação. As duas camadas externas são constituídas com partículas menores em relação à camada interna. O teor de adesivo utilizado na camada externa do painel é maior em relação à interna, em função das diferenças na área superficial das partículas (RAZERA, 2006).

3.3 Características gerais do Bambu (*Dendrocalamus asper*)

De acordo com Moizés (2007) o bambu pode ser utilizado como material estrutural na construção civil, bem como na produção de pisos, de painéis laminados, de fibras e de partículas, de objetos e utensílios para uso geral, além de ser matéria-prima para celulose. A utilização do bambu como matéria prima para fabricação de chapas, agrega vantagens do ponto de vista tecnológico, como o acréscimo das propriedades de resistência e estabilidade dimensional. Porém, é um material que se deteriora rapidamente em função das reservas de amido, que são atrativos para organismos xilófagos (BERALDO; AZZINI, 2004).

O *Dendrocalamus asper* (Schult) Backer ex Hayne é uma espécie de bambu nativo do Sudeste da Ásia e, provavelmente, foi trazido para o País pelos colonizadores portugueses. Apresenta touceiras de grande porte, com até 30 m de altura e o diâmetro dos colmos na base pode atingir mais de 30 cm em touceiras cultivadas no Brasil (TOMBOLATO et al., 2012) e os internódios variam entre 20 e 50 cm (CIARAMELLO; AZZINI, 1971). Os colmos jovens são

cobertos por tricomas, que lhes conferem uma coloração marrom. Desenvolve-se melhor a pleno sol e tolera temperaturas de até -5°C. É o bambu de maior porte encontrado no Brasil, comumente identificado erroneamente como *Dendrocalamus giganteus* que é conhecido popularmente como bambu gigante e bambu balde (TOMBOLATO et al., 2012).

No Brasil, essa espécie é muito utilizada para estruturas de todos os portes e na fabricação de produtos em bambu laminado colado (TOMBOLATO et al., 2012), em função da sua boa resistência e absorve muito bem a compressão, por isso é muito útil para construção em geral, porém, em função da sua grande quantidade de amido é afetado por insetos (VASCONCELLOS, 2015), e por tal motivo é importante o tratamento preservante do bambu. Produz brotos de ótima qualidade para alimentação (CIARAMELLO; AZZINI, 1971) e também é utilizado para paisagem ornamental, uma vez que o grande porte das hastes e a cor marrom dos colmos jovens proporcionam beleza única à touceira desta espécie de bambu (TOMBOLATO et al., 2012).

3.4 Bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea, originária da Ásia, pertencente ao gênero *Saccharum*. É apropriada para plantio em climas tropicais e subtropicais e sua utilização pelo homem vem desde a colonização do País. Destaca-se como uma das principais culturas do mundo, cultivada em mais de cem países (SOUZA; SANTOS, 2002).

O maior banco de germoplasma de cana-de-açúcar do mundo está localizado na cidade de Camamu, no estado da Bahia, e conta com mais de 5 mil variedades. A regionalização de seu programa de melhoramento genético, por meio de seus doze pólos regionais bem distribuídos pelo Brasil, possibilita ao banco de germoplasma desenvolver variedades com maiores índices de produção. As variedades produzidas pelo programa são eficazes para 100% das condições relacionadas ao solo e ao clima onde a planta é cultivada, tanto para as novas fronteiras agrícolas do Brasil, como para outros países da América e da África (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA – CTC, 2013).

O Brasil é responsável por mais de 50% do açúcar comercializado no mundo. A cana é cultivada em todas as regiões do País (COMPANHIA NACIONAL DE ABSTECIMENTO – CONAB, 2013). A produção brasileira foi de 665,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2015/2016, apresentando incremento de 4,9% em relação à safra passada (CONAB, 2016), sendo o bagaço, resultante da moagem da cana-de-açúcar, o resíduo agroindustrial gerado em maior quantidade no Brasil. De acordo com a mesma fonte em relação a produtividade destaca-

se o estado de São Paulo como maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, consequentemente, também o maior produtor potencial de açúcar e etanol.

A quantidade de resíduo (bagaço) produzida após a moagem depende do teor de fibra da cana processada, que possui, em média, 46% de fibra e 50% de umidade, resultando, aproximadamente, em 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada. A produção é cada vez maior, em função do aumento dos plantios de cana, decorrentes, principalmente, de investimentos públicos e privados na produção sucro-alcooleira (ALMEIDA, 2014).

Pela proporção em que é produzido e devido à sua composição, o bagaço constitui-se em um dos mais importantes subprodutos para a indústria sucroalcooleira. Suas principais aplicações são: combustível para caldeira e alimentação de gado confinado (ALCARDE, 2014), além da incorporação no solo. Após a moagem da cana é gerado um bagaço composto por partículas heterogêneas, com dimensões entre 1 mm a 25 mm e tamanho médio de 6 mm, podendo variar essas medidas, em função do maquinário utilizado no processamento da cana (SILVA, 2016).

O bagaço de cana é constituído basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, onde os dois primeiros constituintes formam um arranjo sistemático incrustado pela lignina (RODRIGUES; PEIXOTO, 1993). Browning (1967), citado por Santos (2010), ressalta a presença de compostos no bagaço, não constituintes da parede celular, conhecidos como extrativos, os quais podem ser removidos com diferentes solventes. Segundo Pitarello (2013) o processo de lavagem do bagaço é capaz de remover compostos inorgânicos solúveis e sacarose residual que, eventualmente, permanecem no bagaço após o processo de moagem e extração exaustiva do caldo da cana-de-açúcar.

Em relação à produção de painéis aglomerados, tal resíduo além de sofrer uma agregação de valor, pode ajudar a atender à demanda da indústria de painéis, o que ainda poderá causar uma redução nos custos de produção e consequentemente tornar o setor mais competitivo no cenário econômico (MENDES et al., 2012).

Destaca-se que são escassos na literatura estudos com painéis manufaturados a partir da mistura de bagaço de cana e bambu. Um raro exemplo é o trabalho de Belini et al. (2014a), no qual foram utilizadas partículas de bambu (*Bambusa vulgaris*) como reforço em painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar, produzidos com $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ de massa específica nominal e colados com resina à base de óleo de mamona. Os autores concluíram que a inserção de partículas de bambu resultou em melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, com redução de uso de recurso fibroso (bagaço) e de resina.

3.5 Termorretificação

Existem vários processos industriais que utilizam calor para tratar a madeira, cuja ação pode ocorrer de várias formas, conforme as transformações estruturais e respectivos efeitos almejados sobre as propriedades do produto final. Existem pelo menos cinco métodos diferentes, que foram desenvolvidos na Europa, criados em resposta ao aumento da consciência ambiental, com o intuito de reduzir o uso de produtos químicos para preservação contra degradação biológica dos produtos de madeira e gerar menos impacto no ambiente (SALIM et al., 2010). Além disso, o tratamento térmico ainda proporciona mais estabilidade dimensional da madeira.

Esteves e Pereira (2009) destacam os seguintes processos térmicos: *Thermowood* (Finlândia), *Platowood* (Holanda), *Bois Perdure* e *Rectification* (França) e *OilHeat Treatment* (Alemanha). As fases de todos esses processos incluem: aquecimento, tratamento, esfriamento e estabilização. As principais diferenças entre os mesmos estão relacionadas ao modo de realização do aquecimento e com as condições operatórias na fase de tratamento, que ocorre em temperaturas de 160°C a 260°C. Rodrigues e Rouset (2009a) destacam que algumas propriedades tecnológicas da madeira podem ser modificadas, conforme o aumento da temperatura.

Durante a termorretificação da madeira os componentes mais afetados são as hemiceluloses, as quais apresentam baixa resistência à ação do calor, e no final do processo obtém-se um produto sólido com características distintas, quando comparado à madeira “in natura”. Algumas destas características podem se adequar melhor a determinadas aplicações da madeira, tais como revestimentos para pisos, forros e guarnições para portas.

Dependendo do tempo e da temperatura adotada no processo de termorretificação da madeira pode-se obter melhorias na sua estabilidade dimensional, resistência contra intempéries e agentes biodeterioradores, molhabilidade e ligação com adesivos hidrofóbicos. Ressalta-se ainda a redução do teor de umidade de equilíbrio e do inchamento, além da coloração escura que o material adquire após o processo de termorretificação (SILVA, 2012).

Em função das melhorias que o tratamento térmico da madeira pode trazer, o mesmo já ocorre em escala industrial, em muitos países da Europa (RODRIGUES, 2009b). Grande parte dos produtos termorretificados comercializados na Europa são direcionados para as indústrias de pisos (BORGES; QUIRINO, 2004).

Paul et al. (2006) verificaram que painéis do tipo OSB confeccionados com partículas de *Pinus sylvestris*, termorretificadas a 220 e 240°C, mostraram redução significativa do

inchamento em espessura e o tratamento térmico não influenciou na resistência da ligação interna. Mendes (2010a) avaliou o efeito do tratamento térmico nas partículas “strand” e nos painéis OSB. Foram utilizadas partículas de *Pinus Taeda* tratadas a 200 e 240°C. O autor concluiu que os painéis produzidos com partículas tratadas a 240°C apresentaram melhor estabilidade dimensional. Para as propriedades mecânicas não houve diferença significativa entre as duas temperaturas de tratamento das partículas. O tratamento térmico realizado nos painéis melhorou significativamente as propriedades físicas e não comprometeu a resistência das chapas.

Boonstra et al. (2006) realizaram um experimento, no qual analisaram o efeito do pré-tratamento térmico de partículas de *Picea abies* e *Pinus sylvestris* sobre as propriedades de painéis de madeira reconstituída. Inicialmente, utilizaram vapor sob alta pressão e em seguida efetuaram um aquecimento de 180°C em atmosfera de N₂. Os pesquisadores notaram que a estabilidade dimensional dos painéis aumentou e a qualidade de colagem foi reduzida.

Andrade (2013) trabalhou com painéis de partículas termorretificadas produzidos com resíduos de madeira de pinus provenientes de embalagens. O autor adotou 3 temperaturas de tratamento térmico (180, 200 e 220°C) e utilizou adesivo a base de UF. O autor concluiu que, a adição de partículas tratadas termicamente proporcionou melhorias na estabilidade dimensional das chapas, mas contribuiu para a redução das propriedades mecânicas.

Borella et al. (2014) avaliaram o efeito do tratamento térmico sobre a estabilidade dimensional de painéis aglomerados fabricados com *Eucalyptus grandis*, utilizando três temperaturas (180, 200 e 220°C) e concluíram que os tratamentos utilizados não promoveram melhorias na estabilidade dimensional das chapas.

Brito (2013) realizou um trabalho para verificar o efeito do tratamento térmico nas propriedades tecnológicas do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) laminado colado termorretificado. As taliscas de bambu foram tratadas a 100 (controle) 140, 160, 180 e 200°C durante 60 minutos, para cada temperatura. Foi observado um incremento significativo na durabilidade e estabilidade do material a partir da temperatura de 160°C. Em contrapartida houve uma queda na densidade básica e na resistência mecânica do material.

Carvalho et al. (2015) realizaram tratamento térmico em painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar e verificaram o efeito nas propriedades físicas e mecânicas das chapas. Utilizaram dois tempos de tratamento térmico (8 e 12 min) e três temperaturas (200, 230 e 260°C). Concluíram que o tratamento térmico proporcionou melhorias na estabilidade dimensional das chapas, sem inviabilizar seu uso devido a redução das propriedades mecânicas.

Segundo Colla (2010) se o bambu for tratado termicamente, em condições ideais de temperatura e tempo de aquecimento, o produto final pode ser melhor do que aqueles tratados de forma convencional em usinas de tratamento de madeira, utilizando-se arseniato de cobre cromatado (CCA), ou cromo, cobre e boro (CCB). Uma vantagem do tratamento térmico é a não utilização de produtos químicos que podem ser nocivos ao homem e ao ambiente.

3.6 Perfil de densidade

O perfil de densidade de painéis de madeira reconstituída, caracteriza-se pelas faces mais densas que o centro e é formado durante a fase de prensagem. Com o aquecimento dos pratos da prensa, inicia-se a transmissão de calor para o colchão de partículas ou fibras e a umidade presente nestes materiais transforma-se em vapor, plasticiza a lignina e facilita sua compressão. Inicialmente as faces são aquecidas e o miolo do painel está mais frio e resistente à compressão. Em seguida, o centro da chapa atinge a temperatura que permitiria uma maior compactação, porém, o painel já atingiu a espessura desejada e, assim, torna-se pouco compactado (KELLY, 1977).

Alguns fatores influenciam na formação do perfil de densidade, tais como o tempo de fechamento da prensa. Se for utilizado um tempo de fechamento mais rápido é possível atingir a espessura do painel desejada antes do centro aquecer suficientemente para consolidar-se. Por outro lado, se o fechamento da prensa for mais lento, há tempo suficiente para que a temperatura aumente no centro do painel, favorecendo uma distribuição uniforme da pressão e uma melhor densificação da chapa, até a espessura final. O perfil de densidade gera informações sobre o comportamento do painel em relação a propriedades tais como a ligação interna, resistência ao arrancamento de parafusos e flexão estática (CHAMMA, 2004).

Segundo Chen et al. (2010) a massa específica aparente das chapas é determinada tradicionalmente pelo método gravimétrico, que consiste inicialmente na medição direta de todas as dimensões e massa da amostra, sendo depois calculada pela razão entre massa e volume. Entretanto, esse método não determina pontualmente a variação da densidade ao longo da espessura dos painéis. Dentro desse contexto, a técnica de densitometria de raios X para aferição da massa específica aparente se destaca em função da precisão, detalhamento e praticidade, com alta resolução espacial.

Surdi (2015) cita que os valores obtidos por este método podem ser associados ao fato de que o feixe colimado permite uma atenuação micrométrica no sentido da espessura das amostras, determinando, assim, a massa específica pontual, considerando a geometria das

partículas, teor de umidade e reatividade da resina. Normalmente, são esses fatores que condicionam valores diferentes do perfil de densidade, quando comparados aos da massa específica aparente obtida pelo método gravimétrico.

Siqueira (2004) define raio-X como uma radiação eletromagnética penetrante e invisível a olho nu. Quando a madeira é atravessada por ele ocorre uma interação entre esse material e a radiação. Uma parte dos fótons de raios-X são retirados do feixe incidente numa quantidade proporcional à densidade da madeira, da espessura das amostras e da quantidade de fótons incidentes. O gradiente vertical de densidade ou perfil de densidade, também, é afetado pelo tempo e pressão no momento da prensagem, bem como pelo tempo de fechamento da prensa (MELO; DEL MENEZZI, 2010).

3.7 Molhabilidade de superfície

Segundo Bica (2011) o grau de molhabilidade se caracteriza pela relação entre as forças coesivas e adesivas que existem entre o líquido que será depositado e a superfície receptora. As forças de adesão são responsáveis pelo espalhamento da gota sobre a superfície e as coesivas impedem a deformação da gota dificultando o contato com a superfície. É importante determinar a molhabilidade dos painéis, uma vez que os mesmos podem receber algum tipo de acabamento na superfície, a qual pode assumir comportamento hidrofílico ou hidrofóbico.

Segundo Cademartori et al. (2016) o aumento da molhabilidade e adesão da superfície podem funcionar como ferramentas essenciais, caso seja necessário acabamento final (revestimento com tintas e vernizes) dos materiais. Várias técnicas, de aspecto físico ou químico, podem ser utilizadas para verificar o aumento da molhabilidade dos materiais aos produtos de revestimento. Dentre essas técnicas, destaca-se o ângulo de contato, que é um método simples e de fácil interpretação.

O ângulo de contato (θ) é definido entre a superfície da madeira e a linha tangente à interface ar-sólido-líquido, e, normalmente, é utilizado para expressar características de molhabilidade de superfícies (CÉSAR, 2011). A importância desse teste está relacionada com os produtos de acabamento que poderão ser aplicados na superfície dos painéis.

A Figura 1, demonstra o comportamento da evolução de uma gota sobre a superfície de painéis aglomerados.

Figura 1 - Imagens representativas dos ângulos de contato na superfície dos painéis aglomerados: (A) Superfície não molhante; (B) Superfície parcialmente molhante; (C) Superfície molhante

De acordo com Myers (1999) a molhabilidade da superfície pode ser classificada em: “molhante”, “parcialmente molhante” e “não molhante”. Se $\theta = 0^\circ$ ou menor que 30° a superfície pode ser classificada como “molhante”. Se o ângulo de contato assumir valores iguais a 30° ou entre 30° e 89° classifica-se como “parcialmente molhante” e se for igual ou maior que 90° a superfície é caracterizada como “não molhante”.

3.8 Resistência natural

Os fungos são os principais agentes biológicos que atacam a madeira e basicamente se diferenciam em emboloradores, manchadores e apodrecedores (STANGERLIM et al., 2013). Os basidiomicetos representam uma classe na qual estão incluídos os principais fungos apodrecedores de madeira, causadores da podridão parda e podridão branca, os quais evidenciam características enzimáticas próprias em relação à decomposição dos constituintes primários da madeira. Os fungos de podridão parda são responsáveis pela decomposição dos polissacarídeos da parede celular e o aspecto da madeira exibe uma coloração residual pardacenta. Os fungos de podridão branca atacam, indistintamente, polissacarídeos e lignina. Nesse caso, a madeira adquire coloração mais clara (OLIVEIRA et al., 2005). Lepage (1986) afirma que os fungos de podridão parda reduzem as características mecânicas do material mais rápido que a podridão branca, em contrapartida a redução da densidade, ao final do processo de deterioração é maior para os fungos de podridão branca.

Destaca-se que alguns tipos de tratamentos podem ser utilizados com o objetivo de aumentar a resistência da madeira ao ataque de agentes biodegradadores. Normalmente são empregados produtos tóxicos, como CCA (Cobre, Cromo e Arsênio) e o CCB (Cobre, Cromo e Boro). Outro tipo que pode ser utilizado para o mesmo fim é o tratamento térmico, que tende

a modificar a estrutura química da madeira, influenciando no substrato e consequentemente diminuindo os nutrientes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar (Figura 2) utilizado no desenvolvimento do presente estudo, composto por partículas de granulometria diversa, também conhecido por bagacilho, foi obtido junto à Usina Açucareira Furlan S/A, localizada na cidade de Santa Bárbara D'Oeste – SP. Foi dada preferência de coleta ao resíduo sem traços de deterioração e coloração uniforme presente no pátio da Usina. Após a coleta, o material foi transportado para o Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira – LLAPAM do Departamento de Ciências Florestais – LCF da ESALQ/USP, localizado em Piracicaba – SP.

No pátio do LLAPAM, o bagaço foi exposto ao ar livre, sobre uma lona plástica, para secagem natural até atingir umidade próxima a 18%.

Figura 2 - Bagaço de cana-de-açúcar no pátio da Usina Açucareira Furlan S/A

Posteriormente, a secagem dessas partículas foi complementada em estufa laboratorial, dotada de renovação e circulação forçada de ar, a temperatura de 70°C, durante 3 horas, até atingir teor de umidade médio de 10%. Após secas, as partículas de bagaço foram classificadas, por meio de uma máquina vibratória dotada de um conjunto de peneiras com malhas de 5,66,

4,00, 2,00, 0,85 e 0,5 mm. Foram empregadas na produção dos aglomerados as partículas de bagaço retidas nas malhas de 0,85 e 0,50 mm.

4.2 Bambu

O bambu (*Dendrocalamus asper*), cuja espécie foi escolhida em função da sua disponibilidade e das boas propriedades de resistência mecânica, foi coletado na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (UPD), do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), localizada na cidade de Tatuí – SP. A coleta deu-se a partir de touceiras de bambu com idade superior a três anos (Figura 3).

Figura 3 - Touceira de Bambu (*Dendrocalamus asper*) cultivada na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento na cidade de Tatuí (SP)

Os procedimentos para obtenção das taliscas foram realizados com base na metodologia do trabalho realizado por Brito (2013). As hastes de bambu foram abatidas com o auxílio de uma motosserra. Colmos com o comprimento de 2,00 m foram obtidos seccionando-se as hastes abatidas. Posteriormente, todo o material coletado no campo foi transportado para o LCF. Os colmos foram cortados no sentido longitudinal para obtenção de taliscas, utilizando-se uma serra circular com guia. Posteriormente, as taliscas foram processadas numa plaina desgrossadeira, com o objetivo de remover a camada interna (rica em amido) e externa (casca). Em seguida foram transformadas em cavacos, utilizando-se uma serra de fita (Figura 4). Posteriormente, os cavacos passaram por dois processos subsequentes de secagem (ao ar livre e em estufa), de modo semelhante ao que foi descrito anteriormente para o bagaço de cana.

Figura 4 - Processamento mecânico do bambu: (A) Colmos seccionados em campo; (B) Taliscas processadas com casca; (C) Desengrosso das Taliscas; (D) Taliscas; (E) Cavacos

Depois de secos, os cavacos foram transformados em partículas, através de um moinho de facas *Willey*, dotado de uma peneira com malha de 4,00 mm de abertura. Da mesma maneira descrita anteriormente para o bagaço as partículas de bambu foram classificadas em máquina vibratória e separadas aquelas retidas nas malhas 0,85 e 0,50 mm para serem utilizadas na produção dos aglomerados.

4.3 Resina

A Resina utilizada para a confecção dos painéis aglomerados foi gentilmente doada pela SI Group CRIOS Resina S.A, localizada na cidade de Rio Claro/SP. O adesivo utilizado foi a base de Uréia-Formaldeído (UF), com teor de sólidos de 64,16%, densidade de $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$ e pH igual a 7,88.

4.4 Determinação da massa específica básica dos cavacos de bambu e das partículas de bagaço de cana-de-açúcar

Foram selecionadas 10 amostras de cavacos de bambu para determinação da massa específica básica, seguindo os procedimentos da NBR 11941 (ABNT, 2003). A determinação da massa específica básica das partículas de bagaço de cana foi realizada com base nos procedimentos da mesma norma, porém com pequenas modificações. Para isso foram utilizadas 20 repetições.

Foram pesados 1,5 gramas de partículas de bagaço de cana que posteriormente, foram introduzidas em cartuchos de celulose. A extremidade dos mesmos foi dobrada e grampeada para evitar dispersão do material. Em seguida foram colocados em autoclave e iniciou-se o ciclo de vácuo e pressão, até as partículas saturarem completamente. Posteriormente, o volume foi determinado através do deslocamento de água (método da imersão). Em seguida foram secos em estufa (105°C), para a determinação da massa seca e cálculo da densidade básica das partículas.

4.5 Classificação granulométrica e medição das partículas para o cálculo do índice de esbeltez

A composição granulométrica é referente a distribuição de partículas com diferentes tamanhos. A classificação foi realizada com a utilização de uma máquina vibratória, dotada de cinco peneiras quadradas de aço, com dimensões de $50 \times 50 \times 10 \text{ cm}$. Cada peneira possuía crivos diferentes com aberturas decrescentes que permitia a separação do material por classe de tamanho. Foram utilizadas 3 amostras de 1000 g para cada material lignocelulósico.

O bagaço de cana ou bagacilho possuía dimensões tais que permitiram a sua coleta na Usina e posterior classificação utilizando cinco malhas distintas (5,00; 4,00; 2,0; 0,85 e 0,50 mm) além do coletor (bandeja inferior do sistema de peneiras, destinada a coleta do material

fino, desprovida de aberturas). Utilizou-se para o experimento, as partículas que ficaram retidas nas peneiras de malha de 0,50 e 0,85 mm. No processo de transformação dos cavacos de bambu em partículas foi utilizada a malha de 4,00 mm no moinho e, por isso, durante a classificação utilizaram-se peneiras com crivos de 2,00; 0,85; 0,50 mm e o coletor.

Para a classificação das partículas foi utilizada uma sequência de procedimentos semelhante a descrita por Weber (2011). Inicialmente foi feita a homogeneização das amostras de cada material, ou seja, as partículas foram misturadas e homogeneizadas dentro de um saco plástico e, em seguida, instaladas as peneiras na máquina vibratória, na sequência correta. Posteriormente, foram adicionadas 1000 g de partículas na peneira superior de maior crivo de abertura. O reostato da máquina foi programado para um tempo de 10 minutos de vibração. Ao término de 10 minutos foi realizada a pesagem das partículas que ficaram retidas nas diferentes malhas do conjunto, além do coletor. O peso obtido foi transformado em porcentagem (%), com base na quantidade inicial de partículas que foi depositada na primeira peneira.

Utilizou-se um paquímetro digital para realizar a medição das dimensões (comprimento e espessura) das partículas de granulometria 0,50 e 0,85 mm do bagaço de cana-de-açúcar e do bambu. O índice de esbeltez foi obtido pela razão entre o comprimento e a espessura das partículas.

4.6 Tratamento das Partículas de Bagaço e Bambu

4.6.1 Em Água Quente

Uma porção adequada de partículas de bagaço com granulometria de 0,85 mm e 0,50 mm foi tratada em água quente, e repetiu-se o mesmo procedimento para as partículas de bambu, com o objetivo de remover-lhes materiais solúveis, os quais potencialmente interferem nas propriedades dos painéis aglomerados de modo prejudicial, por exemplo, na resistência da colagem e na resistência natural ao ataque de fungos.

As partículas foram acondicionadas numa caixa com dimensões de 63x30x83cm (largura x altura x comprimento), estruturada em barras de ferro (5/16”), forrada com dupla camada de sombrite nas laterais e na tampa para evitar a dispersão das partículas na água durante o tratamento.

A caixa contendo as partículas foi imersa em água quente contida num tanque metálico, com dimensões de 1,2x0,70x1,5m (largura x altura x comprimento), dotado de um conjunto de

resistências elétricas e termostato, regulado para manter a temperatura do líquido em 70°C (Figura 5).

Figura 5 - Tratamento das partículas em água quente

A relação entre massa (kg) de partículas e volume (m³) de água utilizada em cada tratamento foi de 7,5:1,17. As partículas ficaram imersas no tanque de água quente por 2 horas. Após esse período, a caixa foi removida do tanque e as partículas foram lavadas em água corrente para retirar parte dos materiais solúveis extraídos, os quais eventualmente poderiam ter ficado sobre a superfície das mesmas.

4.6.2 Em Estufa de Termorretificação

As partículas de bagaço e bambu foram termorretificadas utilizando-se uma estufa elétrica laboratorial programável, com controle de temperatura e tempo efetuado por um sistema automático acoplado, disponível no Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE/LCF/ESALQ).

As partículas destinadas ao tratamento térmico foram previamente secas para um teor de umidade médio de 3% e em seguida foram inseridas em bandejas metálicas vazadas com 13 cm de altura, 18 cm de largura e 58 cm de comprimento. Posteriormente, as bandejas foram forradas com papel alumínio (Figura 6A) para evitar a dispersão das partículas e acondicionadas dentro de duas caixas metálicas retangulares e independentes entre si, dotadas de tampas

frontais destacáveis (Figura 6B). As caixas comportavam cinco bandejas cada uma, as quais foram fechadas e colocadas dentro de uma estufa, dotada de um sensor externo que indica o tempo e a temperatura no interior da mesma (Figura 7).

Figura 6 - Tratamento térmico: (A) Partículas na bandeja forrada com papel alumínio; (B) Bandejas no interior de uma caixa metálica

Cada caixa possuía dois orifícios independentes na sua parede superior. Um destes orifícios teve por finalidade permitir a injeção de nitrogênio para o interior da caixa, durante o tratamento térmico das partículas, através de uma mangueira conectada a um balão de nitrogênio externo à estufa. O outro orifício teve por finalidade permitir a saída de oxigênio para o exterior da caixa e da estufa, deslocado em função da injeção de nitrogênio, através de outra mangueira. A passagem das mangueiras foi viabilizada através de orifícios existentes na parede superior da estufa. A injeção de nitrogênio teve por objetivo manter uma atmosfera inerte no interior da caixa e evitar o risco de ignição das partículas.

O processo de tratamento térmico das partículas foi iniciado em temperatura ambiente (30°C). A taxa de aquecimento inicial aplicada foi de 3,33°C/min e mantida até a estufa atingir 100°C, consumindo para tanto um tempo de 21 minutos. A partir deste ponto a taxa de aquecimento foi reduzida para 1°C/min e mantida até que a temperatura de 220°C fosse atingida, consumindo, para tanto, cerca de 141 minutos. Quando a estufa chegou aos 220°C essa temperatura foi mantida por um período de 201 minutos para o tratamento térmico efetivo das partículas.

Figura 7 - Cilindro de nitrogênio acoplado a estufa utilizada no processo de termorretificação das partículas
Fonte - Adaptado de Mendes (2010)

Após o tratamento térmico a estufa foi desligada automaticamente e as partículas permaneceram no interior das caixas até retomarem a temperatura ambiente. Posteriormente, retirou-se as partículas das caixas, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos que depois foram lacrados.

4.7 Análises das partículas

4.7.1 Teor de umidade de equilíbrio e Composição química das partículas

Foram coletadas amostras controle e termorretificadas de partículas de bagaço de cana e bambu. As mesmas foram acondicionadas em bandejas e expostas em sala climatizada com

temperatura e umidade relativa controlada, respectivamente, $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$, permanecendo assim, até atingirem a umidade de equilíbrio com esse ambiente. Durante o período de climatização foram feitas pesagens subsequentes até verificar-se a estabilização da massa das partículas. Para avaliar os teores de umidade de equilíbrio das amostras de partículas foi utilizada uma balança determinadora de umidade.

A composição química das partículas de bagaço de cana e bambu foi determinada no Laboratório de Química Orgânica do Instituto de Química de São Carlos (IQSC/USP).

As partículas controle, tratadas em água quente e termorretificadas, de ambas as granulometrias (0,50 e 0,85 mm) foram misturadas em partes iguais e depois transformadas em serragem num moinho do tipo *Willey*. A serragem obtida foi classificada e selecionou-se o material com granulometria de 60 “mesh”. Antes da análise química, a umidade de cada amostra de serragem foi determinada em uma balança determinadora de umidade.

Para análise do teor de lignina Klason (insolúvel) foram seguidas as recomendações da norma TAPPI 222 cm – 02. A lignina Klason (solúvel) foi realizada de acordo com os procedimentos de Novo (2012). O teor de lignina total foi obtido pela soma da lignina residual e da lignina solúvel em ácido.

Para determinação dos extrativos em água quente seguiram-se os procedimentos da norma TAPPI 207 cm – 99. Os teores de extrativos totais foi realizado com base nas recomendações da norma TAPPI 204 cm – 97. As cinzas foram obtidas de acordo com a TAPPI 211 om - 02. O percentual de holocelulose foi determinado pelo somatório dos teores de extrativos e ligninas, subtraído de 100, conforme demonstrado na Equação 1:

$$\text{Teor de Holocelulose (\%)} = 100 - (\text{ET} + \text{LR} + \text{LS}) \quad (1)$$

Em que:

ET = Extrativos Totais

LR = Lignina Residual

LS = Lignina Solúvel

4.8 Produção dos Painéis Aglomerados de Bagaço e Bambu

Os painéis foram produzidos no LLAPAM com massa específica nominal de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ e espessura nominal de 15,70 mm. Na produção das chapas foram adotados 16 tratamentos, conforme descrito na Tabela 1. Para cada tratamento foram produzidos 03 painéis (repetições), totalizando 48 unidades.

Os tratamentos adotados foram analisados por meio de 04 experimentos consecutivos, descritos a seguir.

Tabela 1 - Tratamentos adotados na produção dos painéis aglomerados de bagaço de cana e bambu

Tratamentos	Partículas						Tratamento das partículas			Teor de Adesivo (%)		
	Bagaço		Bambu		Mistura		Sem tratamento	Água quente	Termorretificada em estufa a 220°C	10	12	14
	0,50 mm	0,85 mm	0,50 mm	0,85 mm	Bambu (%)	Bagaço (%)						
T1	X						X			X		
T2	X							X		X		
T3		X					X			X		
T4		X						X		X		
T5			X				X			X		
T6			X					X		X		
T7				X			X			X		
T8				X				X		X		
T9					100	0				X		
T10					75	25				X		
T11					50	50				X		
T12					25	75				X		
T13					0	100				X		
T14					75	25			X		X	
T15					75	25			X		X	
T16					75	25			X			X

Experimento I - composto pelos tratamentos T1, T2, T3 e T4. Neste caso o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial do tipo 2×2 para os tratamentos. Foram analisados 2 fatores, cada um em 2 níveis: granulometria das partículas do bagaço (0,85 mm e 0,50 mm) e tratamento das partículas (não tratadas e tratadas em água). Inicialmente foi efetuada uma análise de variância (ANOVA) para avaliar os resultados dos tratamentos. Em casos de rejeição da hipótese de igualdade, foi aplicado o Teste de Tukey para

comparação das médias entre os tratamentos, conduzidos ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Experimento II - composto pelos tratamentos T5, T6, T7 e T8. O delineamento experimental e a análise estatística tiveram o mesmo formato descrito no experimento anterior (I), porém, neste caso foram consideradas as partículas de bambu.

Experimento III - composto pelos tratamentos T9, T10, T11, T12 e T13. Em função dos resultados obtidos nos Experimentos I e II, optou-se por utilizar na manufatura dos painéis a mistura das partículas de granulometria 0,85 e 0,50 mm e não tratá-las em água quente. Sendo assim, no Experimento III considerou-se um único fator (mistura entre partículas de bagaço e bambu) em cinco níveis (proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Para verificar o efeito dos tratamentos sobre as propriedades dos painéis produzidos foi realizada uma análise de variância e, posteriormente, aplicado o teste de médias de Tukey, conduzido a um nível de 5% de probabilidade de erro, para identificar as médias que diferirem entre si. O objetivo dessa análise foi indicar uma proporção de mistura entre partículas que resultasse em melhor desempenho das propriedades dos painéis, sendo todos eles colados com teor de adesivo de 10%. Foram obtidas duas proporções deste experimento, a saber, 75% de partículas de bagaço de cana e 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana, porém, como o bambu estava disponível em maiores quantidades no laboratório, esse tratamento foi selecionado para ser utilizado no Experimento IV.

Experimento IV - composto pelos tratamentos T10, T14, T15 e T16. Foi selecionado o tratamento composto por 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana, como referência de painéis controle. As partículas foram termorretificadas em temperatura de 220°C e as chapas foram constituídas utilizando três níveis de adesivo (10%, 12% e 14%) a base de UF. Para verificar o efeito dos teores de adesivo sobre as propriedades dos painéis produzidos foi realizada uma análise de variância e, posteriormente, aplicado o teste de médias de Tukey, conduzido a um nível de 5% de probabilidade de erro.

4.8.1 Aplicação do adesivo e da parafina

Aplicou-se sobre as partículas resina à base de UF, com teores de sólidos resinosos de 10%, 12% e 14%, conforme o tratamento adotado, baseados na massa de partículas a 0% de umidade. Ao adesivo foi incorporada uma solução de sulfato de amônia (catalisador) numa proporção de 5% de sólidos.

O adesivo e o catalisador foram misturados, homogeneizados e aplicados sobre as partículas, no interior de uma encoladeira do tipo tambor rotativo, através de uma pistola a ar comprimido, disponíveis no LLAPAM. Posteriormente, e da mesma maneira do adesivo, foi aplicado sobre as partículas emulsão de parafina num teor de 1,0% de sólidos. Em ambos os casos ajustou-se o tambor da encoladeira para trabalhar com 12 rotações por minuto.

4.8.2 Formação do colchão de partículas, prensagem e obtenção das amostras

A massa de partículas impregnada com adesivo e parafina, previamente calculada para produzir painéis com $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$ de massa específica nominal, foi depositada manualmente em uma caixa de madeira formadora do colchão, com dimensões internas de 40 x 40 cm. Em seguida foi realizada a pré-prensagem a frio do colchão, em uma prensa hidráulica manual, para retirada de ar e pré-consolidação. Posteriormente, o colchão foi prensado a quente, utilizando separadores de aço com espessura de 15,70 mm, em uma prensa hidráulica motorizada, com controle automático de temperatura, pressão e tempo de fechamento e abertura dos pratos, disponível no LLAPAM. As etapas de manufatura dos painéis e os equipamentos utilizados encontram-se ilustrados na Figura 8.

Os parâmetros do ciclo de prensagem, utilizados em todos os Experimentos foram os seguintes: 35 kgf.cm^{-2} de pressão, temperatura de 180°C e tempo de prensagem de 10 minutos (1 minuto para o fechamento dos pratos da prensa, 8 minutos sob a pressão estipulada e 1 minuto para abertura dos pratos).

Figura 8 - Manufatura dos painéis: (A) Encoladeira; (B) Caixa formadora do colchão; (C) Prensa hidráulica manual; (D) Colchão de partículas; (E) Prensa hidráulica motorizada; (F) Painéis finalizados

Depois da prensagem, os painéis foram retirados da prensa e colocados na posição vertical para resfriarem, permanecendo assim até restabelecerem a temperatura ambiente. A Figura 9 ilustra dois dos painéis após serem produzidos e resfriados.

Figura 9 – Painéis aglomerados: (A) Painéis constituídos com partículas controle (Painéis constituídos com 100% de partículas de bagaço de cana); (B) Painéis produzidos com partículas tratadas termicamente (Painéis constituídos com 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana)

Depois de resfriados, os painéis foram acondicionados no Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeira e Derivados – LEMMAD do LCF, numa sala climatizada com temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$.

Durante o período de climatização foram selecionadas aleatoriamente três chapas para realização de pesagens sucessivas, até as mesmas atingirem massa constante, indicando que alcançaram a umidade de equilíbrio com o ambiente. Após atingirem tal condição, procedeu-se à retirada de corpos de prova dos painéis para realização dos ensaios previstos.

4.9 Ensaios físicos e mecânicos

Durante a execução dos Experimentos I e II, foram seguidas as recomendações da NBR 14810 (ABNT, 2006), que se encontrava disponível no LLAPAM. Posteriormente, foi adquirida a NBR 14810 (ABNT, 2013) e os Experimentos III e IV foram realizados conforme as prescrições desta norma.

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados no LEMMAD e as propriedades dos painéis foram as seguintes: massa específica aparente (MEA), absorção de água após 2 horas de imersão em água (AA2h), absorção de água após 24 horas de imersão em água (AA24h), inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água (IE2h), inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água (IE24h), taxa de não-retorno em espessura (TNRE), módulo

de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) à flexão estática, ligação interna (LI) e resistência ao arranque de parafusos na superfície (APS) e no topo (APT) do painel.

Para determinar a massa específica realizou-se a medição direta das amostras utilizadas nos ensaios físicos e mecânicos. Para tanto foi utilizada uma balança para pesagem da massa das amostras, além de paquímetro e micrômetro, para mensurar as dimensões. A massa específica foi obtida pela razão entre a massa e o volume das amostras. Para determinar a massa específica de cada chapa, utilizou-se a média das massas específicas das amostras.

Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de testes dirigida por um sistema eletromecânico, controlado por computador, com capacidade para aplicação de força de até 30 toneladas. A instrumentação padrão dessa máquina abrange células de carga, LVDT e dispositivos cambiáveis para ensaios. Para realização dos ensaios físicos foi utilizado um recipiente com água destilada, além de um dispositivo sugerido pela NBR 14810 para manter as amostras submersas. As amostras destinadas aos ensaios previstos foram retiradas dos painéis conforme o esquema apresentado nas Figuras 10 e 11. As Figuras 12 e 13 ilustram os ensaios realizados.

Figura 10 – Esquema para retirada de amostras dos corpos de prova dos painéis dos Experimentos I e II. TU (Teor de Umidade); FE (Flexão estática), LI (Ligação interna), PD (Perfil de densidade), AA (Absorção de água), IE (Inchamento em espessura), APS (Arrancamento de parafuso de superfície) APT (Arrancamento de parafuso de topo), $\alpha^{\circ}\text{H}_2\text{O}$ (Ângulo de contato – água), $\alpha^{\circ}\text{EG}$ (Ângulo de contato – etilenoglicol), GT, PP e TV (Amostras destinadas aos ensaios de resistência natural: GT -- *Gloeophyllum trabeum*, PP - *Postia placenta*, TV - *Trametes versicolor*)

Figura 11 – Esquema para retirada de amostras dos corpos de prova dos painéis dos Experimentos III e IV. TU (Teor de Umidade), AA (Absorção de água), IE (Inchamento em espessura), TNRE (Taxa de não-retorno em espessura), FE (Flexão estática), LI (Ligação interna), APS (Arrancamento de parafuso de superfície) APT (Arrancamento de parafuso de topo), PD (Perfil de densidade), $\alpha^{\circ}\text{H}_2\text{O}$ (Ângulo de contato – água), $\alpha^{\circ}\text{EG}$ (Ângulo de contato – etilenoglicol), GT, PP e TV (Amostras destinadas aos ensaios de resistência natural: GT - *Gloeophyllum trabeum*, PP - *Postia placenta*, TV - *Trametes versicolor*)

Figura 12 - Ensaios físicos: (A) Pesagem das amostras para obtenção dos dados de absorção de água; (B) Medição das amostras para obtenção dos dados de inchamento; (C) Saturação das amostras

Figura 13 - Ensaio mecânicos: (A) Flexão estática; B Arrancamento de parafuso de topo; (C) Arrancamento de parafuso de superfície; (D) Ligação interna

4.10 Determinação da razão de compactação

A razão de compactação dos painéis foi obtida pela relação entre a massa específica nominal e a densidade básica do material lignocelulósico utilizado (bagaço de cana ou bambu). Foi determinada pela Equação 2:

$$RC = \frac{ME_p}{ME_b} \quad (2)$$

Em que:

Rc = Razão de compactação

ME_p = Massa específica nominal (g.cm⁻³)

ME_b = Massa específica básica do material lignocelulósico (g.cm⁻³)

Para os painéis constituídos com mistura de bagaço de cana e bambu, a razão de compactação foi calculada com base na Equação 3:

$$RC = \frac{MEA}{MEB_{BC} \times (BC\%) + MEB_B \times (B\%)} \quad (3)$$

Em que:

RC = Razão de compactação

MEA = Massa específica aparente do painel aglomerado (g.cm^{-3})

MEB_{BC} = Massa específica básica do bagaço de cana-de-açúcar (g.cm^{-3})

$BC\%$ = Porcentagem de bagaço de cana-de-açúcar no painel

MEB_B = Massa específica básica do bambu

$B\%$ = Porcentagem de bambu no painel

4.11 Perfil de densidade

O perfil de densidade é determinado para verificar o efeito das variáveis do processo de prensagem nos colchões. Esse estudo contribui com o controle de qualidade dos painéis e pode ser utilizado tanto para chapas manufaturas em laboratórios ou indústrias (WANG et al., 2004; BELINI, 2007).

Para análise do perfil de densidade foram retiradas quatro amostras por painel totalizando 12 corpos de prova por tratamento, com dimensões de 15,70x50x50 mm (espessura, largura e comprimento), as quais foram levemente lixadas (lixa de grana 80) antes de serem ensaiadas. Considerando que a análise do perfil de densidade consiste num ensaio não destrutivo, registra-se que estas mesmas amostras, posteriormente, foram utilizadas nos ensaios de resistência da ligação interna (LI).

O procedimento de análise do perfil de densidade dos painéis foi realizado no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira (LAIM) do LCF/ESALQ, utilizando-se um densitômetro de raio X marca QMS modelo QDP-01X, com as seguintes características: voltagem de 10-50KV, corrente de 1,5mA, colimação inicial e final dos feixes de 180 e de 90 μm , respectivamente (Figura 14).

Com a transferência das amostras para o compartimento interno do densitômetro, inicia-se o processo de calibração automática do equipamento e a varredura contínua é realizada ao longo da espessura das amostras. Posteriormente, os feixes de raio X são transformados em valores pontuais de massa específica, obtidos a cada 20 μm , pelo programa QMS. Com a coleta desses dados é gerado um arquivo no formato DAT, que é lido pelo software Excel e possibilita

a construção do gráfico do perfil de massa específica aparente máxima e mínima (SURDI, 2015).

Figura 14 - Obtenção do perfil de densidade de painéis aglomerados constituídos de partículas de bagaço de cana de açúcar e bambu por densitometria de raio X: (A) Densitômetro de raio X; (B) Densitômetro acoplado ao microcomputador para aquisição dos dados; (C) Porta-amostra na câmara de irradiação do equipamento; (D) varredura das amostras pelo feixe colimado de raio X

De posse do gráfico do perfil de densidade, foram estabelecidos 02 parâmetros de massa específica: (A) da camada externa das chapas e (B) da camada central das chapas. Considerou-se uma faixa de 02 mm a partir de cada extremidade do painel, para determinar os valores da camada externa e os valores do miolo do painel foram utilizados para determinar a massa específica aparente da camada central (Figura 15).

Figura 15 - Perfil de densidade do painel: (A) Camada externa; (B) Camada central
Fonte - Ribeiro (2015)

4.12 Ângulo de contato

A determinação do ângulo de contato é importante para verificar a interação de solventes com a superfície dos painéis. As análises dos ângulos de contato foram realizadas no Laboratório do Grupo de Polímeros Bernhard Gross do Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP) utilizando-se um goniômetro da marca *KSV Instruments Ltda*, modelo CAM 200 (Figura 16).

Figura 16 - Equipamento para medir ângulo de contato (goniômetro)

As amostras utilizadas foram cortadas com dimensões de 25x25x15,70mm (comprimento x largura x espessura) e lixadas três vezes (lixa de grana 200), com a finalidade de preparar as suas superfícies para receber a gotícula de reagente. De cada chapa foi extraída uma amostra que recebeu duas gotículas de reagente, totalizando 6 medidas por tratamento.

Água e etilenoglicol foram utilizados como solventes, do mesmo modo ao adotado no trabalho de Oliveira (2013). Segundo Walinder e Johansson (2001), esses solventes possuem caráter polar, tal como a superfície da madeira, e em relação as interações solvente-madeira, a água pode exercer a função de um ácido de Lewis e o etilenoglicol de uma base de Lewis.

Para realização deste teste foi utilizada uma seringa, posicionada a uma altura fixa de 8 mm em relação à superfície das amostras. A seringa era graduada em intervalos de 10 μ L e tinha capacidade de 1ml. O volume da gota para cada solvente foi de 4 μ L. O ângulo de contato foi determinado para os dois solventes, utilizando o software *KSV Contact Angle Measurement system*. O ângulo foi obtido pela média aritmética do ângulo direito e esquerdo para cada gota. As fotografias tinham largura de 512 pixels e altura de 480 pixels. As medições foram realizadas na diagonal de cada superfície de amostra. O procedimento foi realizado em ambiente com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa.

Conforme os procedimentos do trabalho de César (2011), nesta pesquisa também foram considerados dois tempos de medições de ângulos de contato, devido à acomodação das forças que ocorrem com o decorrer do tempo. Para determinação dos tempos de medições dos ângulos de contato, foram realizados pré-testes com os solventes e foi considerada a superfície porosa das chapas, que facilitava a rápida absorção da gota, principalmente para os painéis constituídos de bambu. Sendo assim, para o ângulo inicial (determinado a partir da deposição da gota do solvente na superfície da amostra) fixou-se o tempo de 0 segundos e para o ângulo final (determinado a partir da estabilização do ângulo de contato) fixou-se o tempo de 15 segundos.

4.13 Resistência ao ataque de fungos

Este ensaio foi realizado com o objetivo de verificar a resistência natural dos painéis em relação aos fungos apodrecedores e verificar suas classes de resistência. O ensaio de apodrecimento acelerado foi conduzido no Laboratório de Biodeterioração da Madeira (LBM), Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, ES. Para este ensaio foram seguidas as recomendações da norma ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Foram utilizados os fungos, disponíveis no laboratório, sendo dois fungos de podridão parda, *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum*, e um fungo de podridão branca, *Trametes versicolor*. Estes fungos foram obtidos a partir da repicagem de colônias puras mantidas pelo referido Laboratório.

As amostras foram dimensionadas com 2,50x2,50x1,570cm (comprimento, largura e espessura do painel), numeradas com lápis cópia, identificadas pelo tratamento, fungo e chapa. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa laboratorial durante 48 horas a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ para obtenção da massa seca inicial.

O substrato utilizado foi o latossolo vermelho, coletado nas proximidades do DCFM/UFES proveniente de horizonte B (possui menor quantidade de matéria orgânica). Para uma amostra do solo foi obtido pH 6,5 e capacidade de retenção de água 25%.

Foram utilizados frascos de vidro com tampa rosqueável e capacidade de 600 ml. Os mesmos foram preenchidos com 300 g de solo e posteriormente foram adicionados 67,00 mL de água destilada, além de dois *feed strip* esterilizados e fabricados de madeira de *Pinus* sp., com dimensões nominais de 3,0x2,80x33,00cm (espessura x largura comprimento), com objetivo de suporte para o desenvolvimento dos fungos. Em seguida, procedeu-se à esterilização dos frascos em autoclave a $121 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 30 minutos. Após esse processo, os frascos foram acondicionados em sala de incubação com temperatura e umidade relativa controlada em torno de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 4\%$.

No dia seguinte foi realizada a inoculação dos fungos sobre os alimentadores de *Pinus*. Cada “*feed strip*” recebeu um inóculo de $1,0\text{ cm}^2$, oriundo de culturas vivas obtidas no LBM. O procedimento foi realizado em capela de fluxo laminar. Necessitou-se de um período de 30 dias para o crescimento dos fungos e em seguida foram adicionadas 2 amostras de painéis em cada frasco, sendo uma unidade por alimentador. O experimento foi acondicionado em sala de incubação, em condições climáticas padronizadas com temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa durante 12 semanas (Figura 17).

Figura 17 - Experimento de resistência natural em sala climatizada

Os fungos colonizaram as amostras dos painéis e, no final do período estipulado pela norma, as mesmas foram retiradas dos frascos e cuidadosamente manipuladas com pincel para retirada do micélio e grânulos de solo que ficaram aderidos no material (Figura 18).

Figura 18 - Amostras dos painéis colonizadas por fungos nos ensaios de Resistência natural: (A) *Postia placenta*; (B) *Gloeophyllum trabeum*; (C) *Trametes versicolor*

Posteriormente, as amostras foram secas em estufa em temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa. Com a obtenção dos dados da massa seca inicial e final foi calculada a perda de massa, que foi estabelecida com base nas classes de resistência preconizadas pela ASTM D 2017 (ASTM, 2005), conforme o Quadro 1.

Quadro 1- Classes de resistência da madeira degradada por fungos apodrecedores

Classes de resistência	Massa residual (%)	Perda de massa média (%)
Muito resistente	90-100	0-10
Resistente	76-89	11-24
Resistência moderada	56-75	25-44
Pouco resistente	≤ 55	≥ 45

Fonte - ASTM D 2017 (ASTM, 2005)

Foram utilizadas seis amostras para cada tratamento como referência de perda de massa operacional. As amostras foram inseridas em frascos de vidro, porém não foram inoculadas. Posteriormente, foram acondicionadas na sala de incubação com umidade e temperatura controlada. Segundo Mendes et al. (2013) essas amostras têm por objetivo determinar a perda de massa ocasionada pela manipulação das amostras.

4.14 Análise estatística dos resultados

A classificação granulométrica, análise química, teor de umidade dos painéis e índice de esbeltez foram analisados de forma descritiva. Conforme descrito no subitem 4.7 foram realizadas análises de variância, e quando o teste de F foi significativo ($p < 0,05$), adotou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$), para a comparação entre as médias utilizando-se para isso o programa estatístico SÍSVAR.

Adicionalmente, os valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de todos os tratamentos adotados foram confrontados com os parâmetros requeridos pela NBR 14810 (ABNT, 2006) e NBR 14810 (ABNT, 2013) que estipulam os requisitos para painéis não estruturais para uso interno em condições secas (Tipo P2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I: Painéis aglomerados constituídos de partículas de bagaço de cana-de-açúcar

5.1.1 Granulometria das partículas

De acordo com Rezende e Pimenta (2015), durante o processo de classificação do bagaço de cana, é possível separar o material em duas frações, fibras e parênquima (medula) que se caracteriza pelo aspecto fino, semelhante a pó. Os valores médios obtidos na análise granulométrica das partículas de bagaço de cana-de-açúcar estão descritos na Tabela 2.

Verifica-se que a maior proporção granulométrica foi obtida para a fração dos finos (coletor) e o menor percentual de partículas ficou retido na peneira de 4,0 mm (Tabela 2). As partículas retidas nas peneiras de aberturas de 5,66, 4,0 e 2,0 mm possuem dimensões maiores e podem ser reprocessadas e classificadas para reutilização. As partículas que passaram pela peneira com abertura de 2,0 mm e ficaram retidas na peneira com abertura de 0,85 mm, bem como as que passaram por esta e ficaram retidas na peneira com abertura de 0,50 mm, foram selecionadas para manufatura dos painéis, em função da morfologia adequada para produção de chapas. Essas partículas representaram uma fração de 38,17% do total.

Tabela 2 – Distribuição granulométrica das partículas de bagaço de cana-de-açúcar

Aberturas (mm)	Malhas (<i>mesh</i>)	Proporções de partículas (%)
5,66	3,5	17,35 (1,96)
4,0	5,0	3,13 (0,37)
2,0	10	13,36 (2,10)
0,85	20	23,55 (1,56)
0,50	35	14,62 (0,06)
< 0,50	Coletor	28,33 (1,62)

Percentuais relativos à classificação de 1000 g de partículas de bagaço de cana-de-açúcar

Valores percentuais médios seguidos do desvio padrão

Silva (2013) utilizou um sistema de peneiras que permitia a classificação granulométrica do bagaço de cana em 11 frações (50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 1,2; 0,85; 0,42; 0,15 e 0,075 mm). Foi verificado que as maiores porcentagens de partículas ficaram retidas nas peneiras de 9,5 e 4,75 mm, sendo 26,4 e 26,1% respectivamente. Nas peneiras de 0,85 e 0,42 mm foram obtidas retenções de 20,34 e 2,02%, representando um total equivalente a 22,36%.

Belini (2012) realizou a classificação granulométrica do bagaço de cana para manufatura de painéis. A classificação inicial foi realizada com peneiras dotadas de cinco

aberturas sendo, 12,7, 6,3, 3,15, 2,0 mm, além do coletor. Verificou-se que 58,3% do material fibroso passou pela peneira de 2,00 mm e ficou retido no coletor, cuja fração passou pela segunda classificação com peneiras de 1,0, 0,59, 0,297 mm e coletor. As maiores porcentagens foram obtidas por ordem decrescente dos crivos, sendo, 18,4, 20,4, 29,3, 31,9%.

A retenção das partículas nas peneiras é influenciada pela forma de processamento dos colmos, em função do tipo e modelo dos equipamentos esmagadores e rolos utilizados no processo da extração do caldo de cana. A fração mineral inorgânica, quantidade e tipo de impurezas no bagaço de cana são influenciados por fatores tais como sítios de crescimento, tratamentos culturais aplicados, carregamento e transporte do material, além de fatores ambientais.

Para a produção de painéis aglomerados constituídos com bagaço de cana-de-açúcar, seria indicado que o resíduo fosse armazenado em pátio forrado com piso de cimento para evitar que o material entrasse em contato direto com o solo e fosse contaminado com terra, pedras e materiais indesejáveis. Outros cuidados incluiriam o armazenamento do material em silos, melhor processamento do bagaço de cana e a pré-secagem para evitar deterioração causada por fungos.

5.1.2 Análise química das partículas de bagaço de cana-de-açúcar

Os valores médios que constam na Tabela 3 são referentes aos teores de extrativos em ciclo-hexano e etanol, água quente, extrativos totais, lignina solúvel, insolúvel, total, cinzas e holocelulose.

Tabela 3 - Valores médios dos teores de extrativos solúveis em ciclo/hexano e etanol (CHE), água quente, totais, lignina solúvel, insolúvel, cinzas e holocelulose das partículas de bagaço de cana-de-açúcar

Tratamentos (Partículas)	Extrativos (%)			Ligninas (%)			Cinzas	Holocelulose
	CHE	Água quente	Totais	Solúvel	Insolúvel	Total	(%)	(%)
T1	6,36(0,59)	7,24(2,87)	13,6(1,13)	1,01(0,06)	20,68(0,43)	21,69(0,46)	2,38(0,14)	62,32(2,85)
T2	2,50(0,27)	3,89(1,17)	6,39(0,18)	0,91(0,13)	26,02(0,11)	26,94(1,10)	1,78(0,24)	64,86(1,88)
T3	2,81(0,13)	4,35(1,11)	7,16(4,54)	1,00(0,23)	26,36(2,30)	27,36(2,00)	3,52(0,99)	61,95(1,88)

T1 – Partículas controle; T2 – Partículas tratadas em água quente; T3 – Partículas tratadas termicamente
Valores do desvio padrão entre parênteses

Os teores médios de extrativos totais variaram entre 6,39% a 13,61%, correspondendo, respectivamente, aos tratamentos T2 e T1.

Soares et al. (2017) utilizaram acetona e água quente para obtenção de extrativos totais e encontraram teor de 19,59% para partículas não tratadas de bagaço de cana. A variação nos resultados ocorre em função do solvente, método de extração, espécie, idade do vegetal e fatores ambientais. Sabe-se que o etanol e o tolueno extraem ácidos e compostos oxigenados, o ciclo

hexano retira pigmentos, óleos, ceras e gorduras, e a água quente remove polissacarídeos (TEWARY; MALIK, 2007). Registra-se que, no presente trabalho, o tolueno foi substituído pelo ciclo hexano, para atender às normas do laboratório onde foi realizada a análise.

Observa-se na Tabela 3 que os teores percentuais dos extrativos foram reduzidos com os tratamentos realizados. Para as partículas tratadas termicamente, observou-se uma redução correspondente a 55,82% em relação ao teor inicial de extrativos em CHE. Esse fato pode ser explicado com base na literatura do Thermowood® Handbook (2003) ao afirmar que há aumento nos teores de extrativos, quando o tratamento térmico é realizado com temperaturas de até 180°C, e podem ser reduzidos com temperaturas próximas de 230°C. Esse processo ocorre em função da degradação dos componentes químicos, principalmente das hemiceluloses, em baixas temperaturas e, se forem mais elevadas, ocorre a volatilização dos extrativos voláteis.

O tratamento em água quente foi responsável por uma redução equivalente a 60,69% (Tabela 3) em relação às partículas controle. Este resultado pode ser explicado em função do tratamento por imersão, que provavelmente removeu compostos secundários, tais como amido e açúcar da estrutura do material.

Ressalta-se que o tratamento térmico não elimina os extrativos fenólicos da estrutura do material, como os taninos, e são capazes de aumentar o grau de adesão do material, pois funcionam como adesivo. Logo, para produção de painéis aglomerados é desejável que a matéria-prima utilizada tenha uma porcentagem desses componentes; porém, se o material utilizado para fabricação dos painéis contém altos teores de extrativos, incluindo compostos fenólicos, estes poderão causar estouros no final do processo de prensagem, além de prejudicar a cura da resina e resultar numa baixa qualidade de colagem entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

O menor teor de lignina total (Tabela 3) foi observado para partículas controle (21,69%) e é compatível com dados da literatura. Pandey et al. (2000) citam que o bagaço possui 20% de lignina e Freita et al. (2016) encontraram teor equivalente a 22,54%. As partículas tratadas por imersão em água quente e termorretificadas, evidenciaram valores médios mais elevados. Observa-se que na medida em que o teor de extrativos diminuiu, o teor de lignina total aumentou.

No caso das partículas tratadas termicamente, supõe-se que tenha sido eliminada uma porcentagem do material lignocelulósico e esta foi contabilizada como lignina. Essa suposição se apoia no fato de não ter sido realizada a análise dos materiais, que ficaram retidos nos solventes utilizados. Alguns subprodutos são formados, após o tratamento térmico, com um menor teor de oxigênio resultante da desidratação de polímeros inicialmente presentes no

material lignocelulósico ou da formação de novos componentes resultantes dos subprodutos degradados (INARI et al., 2006).

Segundo Ferreira (2014) os componentes químicos são modificados proporcionalmente em relação ao processo térmico e na maioria das vezes a quantidade de lignina aumenta. Para Esteves e Pereira (2009), após o tratamento, a lignina adquire impurezas na sua constituição, isso ocorre em função de reações de policondensação dos componentes da parede celular, que resulta no processo de reticulação, contribuindo para um aumento aparente no teor desse composto. Sweet e Winandy (1999), afirmam que são desejáveis teores mais elevados de lignina para a produção de painéis de partículas, tendo este componente uma estrutura muito condensada e um aspecto irregular que proporciona alta rigidez ao material.

Sabe-se que o teor de cinzas está diretamente relacionado com as variedades do material, tipo de adubação, condições de cultivo, sítio de crescimento e idade. Para as partículas controle, foi encontrado teor médio de 2,38%, semelhante ao resultado citado por Pandey et al. (2000) de 2,40 % e inferior ao resultado de Freitas et al. (2016) que relataram valor médio de 4,34%. Em relação aos teores obtidos nesta pesquisa (Tabela 3), observou-se que as partículas tratadas em água quente obtiveram menor percentual, enquanto as termorretificadas apresentaram maior valor médio, dentre os tratamentos avaliados.

Segundo Sjöström (1993), algumas espécies possuem cristais de oxalato, fosfato e silicato, como material de reserva, que podem realizar ligações com os ácidos carboxílicos dos componentes químicos da parede celular. Geralmente, esses cristais são encontrados no parênquima na forma de drusas ocupando o lume celular e podem ser contabilizados como cinzas.

Belini (2012) trabalhou com proporções de fibras de eucalipto e bagaço de cana para produção de painéis e observou que o aumento percentual de partículas de bagaço de cana promoveu um acréscimo de cristais nos painéis, possivelmente oriundos de aglomerados de parênquima, presentes no bagaço. Além disso, observou também cristais de sílica no interior das chapas, entre as células do bagaço de cana. Como as partículas tratadas por imersão em água quente apresentaram menor valor percentual de cinzas, supõe-se que alguns cristais que se encontravam presos a carboidratos de baixo peso molecular ou imersos no parênquima foram desprendidos com o tratamento em água quente.

Para as partículas controle, o teor de holocelulose (Tabela 3) foi inferior aos resultados encontrados na literatura. Freitas et al. (2016) obtiveram valor médio de 68,82% e Pandey et al. (2000) encontraram teor correspondente a 70,00%. Como já era esperado, o menor teor de

holocelulose foi verificado nas partículas termorretificadas, possivelmente ocasionado pelo processo de degradação térmica dos constituintes do material.

5.1.3 Massa específica básica das partículas e razão de compactação

A massa específica básica das partículas de bagaço de cana foi $0,090 \text{ g.cm}^{-3}$. Esse valor é condizente com os resultados citados na literatura. Pedreschi (2009) obteve um valor médio de $0,092 \text{ g.cm}^{-3}$, Mendes et al. (2010b) encontraram $0,098 \text{ g.cm}^{-3}$, Mendes et al. (2012) obtiveram $0,098 \text{ g.cm}^{-3}$ e Soares et al. (2017) encontraram $0,120 \text{ g.cm}^{-3}$.

A razão de compactação nominal obtida dos painéis foi 7,22 ($0,65 / 0,090 = 7,22$) e a razão de compactação efetiva foi 6,66 ($0,60 / 0,090 = 6,66$). Esse resultado está acima da faixa dos valores considerados ideais para razão de compactação, que varia entre 1,3 e 1,6 (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; TSOUNIS, 1991; MALONEY, 1993). Ressalta-se que essa faixa de variação foi determinada para painéis de madeira. Iwakari et al. (2014) ressaltam que a baixa densidade de materiais lignocelulósicos e o consequente acréscimo na compactação dos mesmos podem favorecer o aumento das propriedades mecânicas e a redução das propriedades físicas das chapas.

5.1.4 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis

Os valores médios da massa específica aparente e do teor de umidade dos painéis aglomerados estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios de massa específica aparente (MEA) e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	MEA (g.cm^{-3})	Teor de Umidade (%)
T1	0,60 a	9,22
T2	0,59 a	9,83
T3	0,59 a	9,74
T4	0,60 a	9,77
Média Geral	0,60	9,64
CV (%)	1,02	6,93

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica aparente dos painéis aglomerados (ANEXO A, Tabela 60), verificou-se que não houve diferença

significativa entre os tratamentos para os fatores granulometria de partículas (0,5 e 0,85 mm) e condição de tratamento das partículas (tratadas e não tratadas em água quente), bem como não houve interação entre os fatores. Desta forma, pode-se dizer que a massa específica dos painéis não foi alterada pelos fatores testados.

Ao comparar com a massa específica nominal calculada ($0,65 \text{ g.cm}^{-3}$), os valores descritos na Tabela 4 foram inferiores em todos os tratamentos. Segundo Iwakiri et al. (2012), essa diferença possivelmente é resultado das perdas de partículas que ocorrem durante as etapas do processo de fabricação dos painéis em escala laboratorial.

A média geral da massa específica aparente dos painéis de todos os tratamentos foi igual a $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ (Tabela 4). Sendo assim, os painéis podem ser classificados como de média densidade, conforme preconizado pela NBR 14810 (ABNT, 2006), os quais compreendem painéis com massa específica entre $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$. Segundo Fiorelli et al. (2011), essa classificação é fundamental, pois valores mínimos de MoR, MoE, LI e IE possuem relação direta com a massa específica.

Os teores médios de umidade (Tabela 4) ficaram próximos entre si e foram descritos como informação de referência para massa específica. Segundo Melo et al. (2009), a baixa variabilidade do teor umidade proporciona uma maior confiabilidade nos demais resultados obtidos. Todos os tratamentos evidenciaram valores médios de teor de umidade abaixo de 12%. De acordo com Wu (1999), a redução da higroscopicidade é explicada pela transformação do material em partículas, adição de resina e aditivos, além da pressão e temperatura utilizadas durante a prensagem das chapas.

A NBR 14810 (ABNT, 2006) determina uma faixa entre 5 e 11% para o teor de umidade dos painéis aglomerados. Sendo assim, observa-se que todos os valores médios do teor de umidade obtidos dos painéis (Tabela 4) estão dentro desta faixa.

5.1.5 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão

A umidade exerce influência sobre os painéis aglomerados, pois está relacionada com as suas propriedades e usos finais, especialmente quando são utilizados em ambientes externos (IWAKIRI, 1989). Os valores médios de absorção de água dos painéis após 2h e 24h de imersão estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios de absorção de água após 2h e 24h de imersão para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	AA2h(%)	AA24h(%)
T1	68,50	138,20 a
T2	103,52	135,77 a
T3	66,80	133,55 a
T4	97,75	139,86 a
Média Geral	84,14	136,84
CV (%)	10,11	7,58

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO B, Tabelas 62 e 63, respectivamente), verificou-se que para AA2h houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator condição de tratamento das partículas, mas não houve diferença para o fator granulometria das partículas, nem interação entre tais fatores. Para a variável AA24h não houve diferença significativa entre os tratamentos para ambos os fatores avaliados, nem interação significativa entre os mesmos. O resultado do teste de médias de Tukey, realizado para a variável AA2h para o fator condição de partículas, encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Teste de médias para a variável AA2h em função do fator condição de partículas

Condição das Partículas	AA2h (%)
Controle	67,65 b (3,72)
Tratadas	100,63 a (10,62)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

Conforme os dados da Tabela 6, o valor médio de AA2h dos painéis produzidos com partículas tratadas em água quente foi significativamente maior que o dos painéis constituídos com partículas controle. Supõe-se que o tratamento das partículas em água quente retirou extrativos que estariam contidos no lume celular, resultando em espaço adicional a ser preenchido com a água absorvida após a imersão do painel.

Ressalta-se que os painéis produzidos com partículas tratadas em água quente e imersos durante 24 horas foram estatisticamente equivalentes em todos os tratamentos. Essa diferença de absorção entre 2 e 24 horas pode ser explicada em função da eficiência da parafina que atua como agente impermeabilizante apenas nas duas primeiras horas de imersão.

Registra-se que a NBR 14810 (2006 e 2013) não especifica valor limite de AA2h e AA24h para painéis aglomerados.

A absorção de água é um processo mais físico do que químico e está relacionado aos espaços vazios que se encontram no interior do painel e da madeira. Quando ocorre a submersão da chapa a água líquida tende a ocupar os espaços vazios formados entre as partículas, bem como o interior do lume das células, onde permanece por ação de forças capilares (DEL MENEZZI, 2004).

Os valores de algumas propriedades físicas e mecânicas, obtidos no Experimento I serão comparados com resultados da literatura, porém, como a metodologia adotada nestes trabalhos não foi a mesma, tais resultados serão apresentados a título de referência.

Okino et al. (1997) avaliaram o efeito da acetilação de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e produziram, entre outros, painéis aglomerados utilizando adesivo UF em teores de 8% e 12%. Para AA2h, os pesquisadores obtiveram valores médios de 95,5%, considerando o teor de adesivo de 8% e 70,4%, considerando 12% de teor de adesivo. Para AA24h foram obtidos valores de 118,8% para um teor de 8% de adesivo e 94,1%, para um teor de 12%.

Barros Filho (2009) conduziu um trabalho para desenvolver, caracterizar e comparar painéis aglomerados à base bagaço de cana-de-açúcar, colados com UF e melamina formaldeído, aplicados a um de teor de 9% e densidade nominal de $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$. Nos painéis colados com UF, o autor encontrou para AA2h um valor médio de 13,39% e para AA24h 98,76%. Pedreschi (2009) trabalhou com painéis aglomerados de bagaço de cana e densidade nominal de $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ colados com UF aplicado ao teor de 9% e obteve 9,75% para AA2h e 40,32% para AA24h.

Ortuño et al. (2011) avaliaram as propriedades de painéis de partículas constituídos com cana do mato (*Arundo Donax – Giant Red*), colados com adesivo a base de UF, aplicada a 8%, com densidades variando na faixa de 0,63 e $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$. Para AA24h os valores variaram de 42,31 a 79,23%. Silva et al. (2014) conduziram um experimento utilizando madeira de Pinus e bagaço de cana e foram encontrados valores entre 20,34 e 47,39% para os painéis de partículas de bagaço de cana, encoladas com 12% de UF e densidade de $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$.

Mendes et al. (2014) avaliaram a qualidade dos painéis de partículas produzidos com bagaço de cana, madeira de pinus, eucalipto e a mistura desses materiais. Utilizaram o adesivo UF com teor de 8% de sólidos, densidade de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$, temperatura de 160°C , pressão de 4 MPa e tempo de prensagem de 8 minutos. Para os painéis constituídos apenas de partículas de bagaço de cana, os valores encontrados para AA2h e AA24h ficaram entre 15,7 e 47,1%, respectivamente.

5.1.6 Inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura após duas horas de imersão em água (IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h) e a taxa de não-retorno em espessura (TNRE) dos painéis estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e taxa de não-retorno em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	IE2h(%)	IE24h(%)	TNR
T1	25,48 a	41,84 a	33,93 a
T2	31,06 a	40,91 a	31,63 a
T3	32,22 a	46,83 a	37,71 a
T4	35,30 a	47,87 a	37,33 a
Média Geral	31,02	44,36	35,15
CV (%)	13,63	12,49	15,68

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a análise de variância, efetuada para as variáveis IE2h, IE24 e TNRE (ANEXO C, Tabelas 64, 65 e 66 respectivamente), verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores granulometria e condição de tratamento das partículas. Segundo a mesma análise, não houve interação significativa entre os mesmos fatores para nenhuma das variáveis analisadas.

Embora, diferenças significativas não tenham sido detectadas estatisticamente, observa-se que houve uma tendência dos painéis constituídos com partículas de menor granulometria apresentarem valores menos elevados para todas as propriedades avaliadas (Tabela 7). Esse fato também foi observado por Brito e Silva (2002), que trabalharam com dimensões diferentes de partículas de madeira e encontraram comportamento semelhante para os painéis constituídos com menor granulometria.

Os valores médios da taxa de não-retorno foram estatisticamente equivalentes (Tabela 7). Contudo, ainda que não estatisticamente significativa, pode-se observar que houve uma tendência de aumento dos valores médios dos painéis constituídos com partículas de granulometria 0,85 mm. Essa tendência também foi observada para a propriedade de inchamento em espessura.

Okino et al. (1997) trabalharam com painéis colados com UF utilizando teores de 8 e 12% e obtiveram para o IE2h valores médios de 7,4 e 3,6%, respectivamente. Para o IE24h encontraram médias de 12,9 e 7,9%, respectivamente. Barros Filho (2009) obteve para IE2h e

IE24h, resultados médios de 7,03 e 21,44% e Pedreschi (2009) obteve médias de 6,03 e 22,19%. Ortuño et al. (2011) obtiveram valores médios entre 15,04 e 35,91%, para o IE24h. Silva et al. (2014) obtiveram valores de 3,93 a 11,83%. Mendes et al. (2014) encontraram 4,5 e 17,8% para o IE2h e IE24h.

Segundo Maloney (1993) as propriedades de absorção e inchamento resultam em maiores valores, na medida que maior for a taxa de compressão. IWAKIRI (1989) afirma que a exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa resulta em um inchamento residual, devido a liberação das tensões de compressão, denominada de taxa de não-retorno em espessura.

A norma brasileira NBR 14810 (ABNT, 2006), vigente até 2013, estipulava que o valor máximo aceitável de inchamento em espessura em um intervalo de duas horas de imersão, deveria ser de 8%. De acordo com os dados da Tabela 7, verifica-se que nenhum dos tratamentos atenderam ao valor especificado pela norma citada.

5.1.7 Flexão estática

Os valores médios para o MoR e MoE dos painéis de partículas de cada tratamento estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios do módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) a flexão estática dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	MoR (MPa)	MoE (MPa)
T1	13,50 a	692,58 a
T2	12,87 a	798,64 a
T3	15,51 a	718,07 a
T4	13,66 a	849,14 a
Média Geral	13,88	764,61
CV (%)	10,62	22,76

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a análise de variância, efetuada para as variáveis módulo de ruptura e módulo de elasticidade (ANEXO D, Tabelas 67 e 68, respectivamente), verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores granulometria e condição de tratamento das partículas. Segundo a mesma análise, não houve interação significativa desses fatores para ambas as variáveis.

A média geral do MoR foi 13,88 MPa (Tabela 8). Os valores obtidos neste experimento são compatíveis com valores relatados pela literatura. Okino et al. (1997) obtiveram valores entre 12,74 e 17,25 MPa; Pedreschi (2009) encontrou média de 13,65 MPa; Barros Filho (2009) obteve 4,6 MPa, Ortuño et al. (2011) obtiveram valores médios entre 9,93 e 17,67 MPa e Mendes et al. (2014) 12,5 MPa.

Em relação ao módulo de elasticidade (Tabela 8), observou-se que o valor médio encontrado foi 764,61 MPa. A antiga NBR 14810 (ABNT, 2006) não estipulava valores para essa propriedade, porém, a norma vigente, NBR 14810 ABNT, 2013), estipula como valor mínimo 1600 MPa. Em relação a esse índice, verifica-se que o resultado obtido encontra-se abaixo do valor padrão.

Okino et al. (1997) encontraram valores médios entre 1.569 e 2.157 MPa. Barros Filho (2009) obteve 919,00 MPa e Pedreschi (2009) encontrou 1.959 MPa. Ortuño et al. (2011) encontraram valores médios entre 1.467,86 e 3.025,90 MPa. Mendes et al. (2014) obtiveram 2.095,00 MPa.

A NBR 14810 (ABNT, 2006) estabelecia 16 MPa como limite mínimo para o módulo de ruptura. De acordo com os dados da Tabela 8, nenhum dos painéis avaliados nos tratamentos atingiram essa magnitude. Considerando a boa razão de compactação do material, presume-se que isto tenha ocorrido em função da grande área superficial das partículas de bagaço de cana que não foram recobertas suficientemente pelo teor de adesivo utilizado.

5.1.8 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de arrancamento de parafuso de superfície (APS) e de topo (APT) estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície e de topo dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	APS (N)	APT (N)
T1	619,47 a	366,13 a
T2	642,36 a	336,71 a
T3	601,50 a	406,99 a
T4	513,23 a	333,44 a
Média Geral	594,14	360,82
CV (%)	16,38	10,41

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a análise de variância efetuada para as variáveis arrancamento de parafuso de superfície e topo (ANEXO E, Tabelas 69 e 70, respectivamente), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores avaliados (granulometria e condição de partículas). Segundo a mesma análise não houve interação entre os fatores dos tratamentos.

As médias para o APS foram superiores aos valores obtidos para o APT (Tabela 9). Segundo Weber (2011) e Surdi (2015) o APS tende a apresentar os maiores valores de resistência, em função do gradiente de densidade do painel, formado durante a etapa da prensagem. No ensaio do arrancamento de parafuso de topo, o parafuso é inserido no centro do painel, região de baixa densificação, por isso a resistência é menor quando comparada com as faces, nas quais as camadas tendem a ser mais compactadas e oferecem maior resistência ao arranque.

A NBR 14810 (ABNT, 2006) estipulava valores mínimos de 1.020 N para o APS e 800 N para o APT. Sendo assim, os painéis de todos os tratamentos avaliados não atenderam as exigências da norma, considerando ambas as propriedades avaliadas.

5.1.9 Ligação Interna

A ligação interna (LI) é utilizada como um dos melhores parâmetros para avaliar a qualidade da adesão entre as partículas e adesivo. Essa propriedade está diretamente relacionada com todas as demais propriedades físico-mecânicas (MELO et al., 2009). Os valores médios obtidos para a propriedade de ligação interna estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios de ligação interna dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	Ligação interna (MPa)
T1	0,23 a
T2	0,22 a
T3	0,20 a
T4	0,16 a
Média Geral	0,20
CV (%)	17,35

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a análise de variância efetuada para a ligação interna (ANEXO F, Tabela 71), verifica-se que não houve diferença significativa para os fatores granulometria e condição de partículas, assim como não houve interação entre os mesmos.

No entanto, nota-se que houve uma tendência de decréscimo dos valores de ligação interna para as chapas produzidas com partículas de granulometria 0,85 mm (Tabela 10). Presume-se que essa tendência possa ter sido decorrente da maior quantidade de espaços vazios proveniente da maior granulometria resultando em menor área de contato entre partículas, menor número de ligações adesivas e menores valores de resistência. Tal observação é compatível com a colocação de Michelon (2011), o qual afirma que a tendência dos painéis particulados é diminuir a resistência a tração perpendicular à medida que se aumenta a porcentagem de matéria-prima com maior granulometria, em função da quantidade de vazios existentes nos painéis.

O valor médio obtido neste estudo está abaixo dos valores relatados na literatura. Okino et al. (1997) obtiveram 0,26 e 0,46 MPa; Barros Filho (2009) encontrou 0,26 MPa; Pedreschi (2009) obteve 0,39 MPa e Ortuño et al. (2011) encontraram valores entre 0,26 e 1,3 MPa. Mendes et al. (2014) obtiveram 0,46 MPa. Os baixos valores de ligação interna, obtidos neste trabalho, possivelmente estão relacionados com o teor de adesivo aplicado sobre as partículas e talvez não tenha sido suficiente para o recobrimento da área específica total das mesmas, resultando em baixa qualidade de colagem. A NBR 14810 (2006) estipulava um valor mínimo de 0,35 MPa para ligação interna. De acordo com os dados da Tabela 10, verifica-se que nenhum dos tratamentos atingiu essa magnitude.

5.1.10 Perfil de densidade

Os valores médios de massa específica aparente da camada externa e da camada central dos painéis, obtidos pela densitometria de raios X para cada tratamento, encontram-se na Tabela 11. De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica aparente da camada externa (ANEXO G, Tabela 72), observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores granulometria e condição das partículas, bem como houve interação significativa entre os mesmos.

Tabela 11 - Valores médios de massa específica da camada externa e da camada central dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	Camada externa (kg.m⁻³)	Camada central (kg.m⁻³)
T1	573,52	595,97 a
T2	625,04	578,23 a
T3	837,75	592,49 a
T4	613,04	580,00 a
Média Geral	662,34	586,67
CV (%)	2,55	2,00

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

A análise de variância do desdobramento da interação dos fatores dentro de cada nível encontra-se no ANEXO G, Tabelas 73 e 74. Os resultados dos testes de médias de Tukey, realizados para essa variável, relativo à interação entre os fatores granulometria e condição das partículas, encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Teste de médias para a variável massa específica aparente da camada externa da interação entre os fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	Condição das partículas	
	Controle	Tratadas
0,50 mm	573,52 aA	625,04 aB
0,85 mm	837,75 bB	613,04 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas colunas, referem-se aos valores da granulometria e as letras maiúsculas, nas linhas, referem-se ao fator condição das partículas

De acordo com a análise da interação (Tabela 12), nota-se que os painéis constituídos com partículas controle de granulometria 0,85 mm evidenciaram um acréscimo significativo na massa específica aparente da camada externa. Em parte, esse resultado pode ser explicado pela acomodação das partículas de maior granulometria que gerou maiores quantidades de espaços vazios e resultou num colchão mais alto.

Durante a prensagem dos painéis as partículas da camada externa recebem calor antes das partículas da camada central e plasticizam, oferecendo menor resistência à compressão, de modo que a camada externa pode ser mais densificada. Quando a temperatura chega na camada central (esse processo é mais lento no caso de colchão mais alto) e os pratos da prensa encostam nos separadores, não é possível comprimir mais as partículas da camada central. Esses fatores podem explicar o acréscimo da massa específica aparente da camada externa dos painéis.

De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica da camada central dos painéis (ANEXO G, Tabela 75), verifica-se que não houve diferença significativa entre os

tratamentos para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância, não houve interação significativa entre os fatores.

Os perfis de densidade dos painéis constituídos de bagaço de cana obtidos por atenuação de raio X para cada tratamento, encontram-se na Figura 19. As curvas representadas em cada gráfico indicam o perfil das amostras de painéis que foram escaneadas.

Figura 19 - Perfis de densidade aparente dos painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: (A) Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); (B) Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); (C) Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); (D) Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Conforme ilustrado na Figura 19, observou-se que a camada externa dos painéis constituídos com partículas de granulometria 0,85 mm controle (Figura 19 C), evidenciaram picos mais acentuados, confirmando o maior valor médio obtido como resultado da análise da interação (Tabela 12).

Segundo Tomazello Filho et al. (2010), as massas específicas observadas nas faces das chapas resultam do efeito da compactação do material e consolidação da resina, em função da temperatura e da pressão que são exercidas pelas placas metálicas da prensa.

O formato do perfil da massa específica aparente observado em cada chapa foi similar à letra “M”, indicativo da oscilação da massa específica ao longo da espessura dos painéis. Conforme Wong et al. (1999), ocorre uma interação entre calor, umidade e pressão, paralela à direção de prensagem das chapas, que provoca uma deformação heterogênea dos elementos, resultando em uma distribuição desigual de massa específica.

5.1.11 Ângulo de contato

Os valores médios dos ângulos de contato, obtidos com água e etilenoglicol, encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores médios dos ângulos de contato obtidos com água e etilenoglicol (EG), mensurados em dois tempos, para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	α° (água/inicial)	α° (água/final)	α° (EG/inicial)	α° (EG/final)
T1	114,12 a	109,73 a	89,63 a	85,70 a
T2	118,64 a	106,50 a	87,73 a	83,65 a
T3	117,10 a	108,84 a	88,08 a	82,25 a
T4	109,36 a	101,51 a	88,89 a	81,67 a
Média Geral	114,80	106,64	88,58	83,32
CV (%)	5,62	5,05	5,36	8,13

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com a classificação de Myers (1999) e conforme os valores encontrados para os ângulos (iniciais e finais), obtidos com água (Tabela 13), a superfície dos painéis de todos os tratamentos pode ser classificada como “não molhante”. Tal classificação decorre dos valores dos ângulos obtidos terem sido superiores a 90° . Em relação ao etilenoglicol, com exceção do ângulo inicial do tratamento T1, a superfície dos painéis pode ser classificada como “parcialmente molhante”, pois os valores variaram de 30 a 89° .

De acordo com as análises de variância realizadas para os ângulos de contato (água/inicial, água/final, EG/inicial, EG/final) dos painéis (ANEXO H, Tabelas 76, 77, 78 e 79, respectivamente), verificou-se que não houve diferença significativa para os fatores avaliados (granulometria e condição de tratamento das partículas) entre os tratamentos. Segundo a mesma análise, não houve interação entre os tais fatores.

Oliveira (2013) trabalhou com painéis constituídos por pinus, eucalipto e bagaço de cana, testando água, ácido oleico e etilenoglicol. Para os painéis de bagaço de cana, testando água e etilenoglicol, a autora obteve os ângulos iniciais de $104,42^\circ$ e $104,25^\circ$, respectivamente. A diferença entre os valores em ambos trabalhos pode ter sido decorrente de alguns parâmetros que não foram especificados no trabalho de Oliveira (2013), tais como a granulometria das partículas, presença de parafina, altura da seringa, volume da gota e parâmetros de prensagem dos painéis. As Figuras 20 e 21 representam as variações angulares em função do tempo.

Figura 20 – Evolução dos ângulos obtidos com água, em função do tempo: (A) Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); (B) Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); (C) Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); (D) Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Em relação aos ângulos obtidos com água (Figura 20), observa-se que as curvas apresentaram uma ligeira redução do ângulo de contato, em todos os tratamentos avaliados, em função do tempo de deposição da gota.

Esse fato demonstra que o volume de partículas de bagaço de cana, utilizado na manufatura dos painéis, foi bem compactado e permitiu o adensamento da camada externa, tornando-a mais impermeável, o que facilitou o equilíbrio da gota e dificultou a molhabilidade da superfície. Ressalta-se que os colmos de cana foram processados com a casca, que possui cera e apresenta características hidrofóbicas e isso pode ter dificultado a penetração de substâncias líquidas. Dessa forma, essa característica pode ter contribuído com a impermeabilidade das amostras, dificultado o processo de molhabilidade. Além da cera, a parafina aplicada nos painéis também pode ter contribuído para aumentar o efeito de impermeabilização.

Figura 21 - Evolução dos ângulos obtidos com etilenoglicol em função do tempo: (A) Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); (B) Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); (C) Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); (D) Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

De acordo com a Figura 21, observa-se nos gráficos um comportamento similar das curvas em relação aos ângulos obtidos com água representados na Figura 20, diferindo apenas em relação aos menores valores dos ângulos obtidos com etilenoglicol.

5.1.12 Resistência natural

Na Tabela 14 estão descritos os valores médios referentes à perda de massa e a classe de resistência das amostras dos painéis, submetidos ao ataque dos fungos apodrecedores (*Postia placenta*, *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*), conforme a ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Com base nos resultados obtidos e nessa norma, as chapas de todos os tratamentos submetidas aos três fungos podem ser incluídas na classe “resistência moderada”. Essa classificação não inviabiliza o emprego das chapas, desde que as mesmas não sejam utilizadas em ambientes úmidos ou em contato direto com o solo (TEIXEIRA et al., 1997).

Tabela 14 - Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados, expostos aos fungos *P. placenta*, *G. trabeum* e *T. versicolor* e respectivas classes de resistência para cada tratamento do Experimento I

Tratamentos	Fungos Xilófagos					
	<i>P. placenta</i> (Podridão parda)		<i>G. trabeum</i> (Podridão parda)		<i>T. versicolor</i> (Podridão branca)	
	¹ PM (%)	² CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR
T1	30,09 a	³ RM	32,97	RM	31,18	RM
T2	33,71 a	RM	36,38	RM	42,72	RM
T3	33,46 a	RM	27,38	RM	29,30	RM
T4	32,89 a	RM	34,21	RM	34,36	RM
Média geral	32,54	-	32,74	-	34,39	-
CV (%)	11,69		7,45		10,64	

T1 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T2 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T3 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T4 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

¹Perda de massa (%); ²Classe de resistência; ³RM: Resistência Moderada

A análise de variância realizada para o fungo *Postia placenta* (ANEXO I, Tabela 80) não constatou diferença significativa entre os tratamentos, considerando os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise, não houve interação entre os mesmos, portanto, pode-se afirmar que a granulometria e a condição das partículas não exerceram influências na resistência natural das chapas para este fungo.

Conforme as análises de variância efetuadas para a variável resistência natural testando o *G. trabeum* e o *T. versicolor* (ANEXO I, Tabelas 81 e 82, respectivamente), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores granulometria e condição das partículas considerando os dois fungos. Segundo a mesma análise de variância não houve interação entre os fatores testados. Os resultados dos testes de médias de Tukey, encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Teste de médias para a variável resistência natural das amostras submetidas ao ataque do *G. trabeum* e *T. versicolor*, em função dos fatores granulometria e condição de partículas

Granulometria	Perda de massa (%)	
	<i>G. trabeum</i>	<i>T. versicolor</i>
0,50 mm	34,67 b (3,19)	36,95 b (6,64)
0,85 mm	30,79 a (4,10)	31,83 a (5,0)
Condição das Partículas	Perda de massa (%)	
	<i>G. trabeum</i>	<i>T. versicolor</i>
Controle	30,17 a (3,07)	30,24 a (2,67)
Tratadas	35,29 b (3,30)	38,54 b (6,03)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com os dados da Tabela 15, observa-se um acréscimo significativo na perda de massa dos painéis constituídos com partículas de granulometria 0,50 mm, ou seja, as chapas constituídas com partículas menores foram mais degradadas pelos fungos. Presume-se que o arranjo mais compactado e ausência de espaços vazios, decorrentes das menores dimensões das partículas, facilitaram a translocação das enzimas pelo material.

Conforme os dados da Tabela 15, verificou-se que as chapas manufaturadas com partículas tratadas em água quente foram as mais degradadas, pois, tiveram maiores perdas de massa para ambos os fungos testados. Numericamente, observou-se que o fungo *T. versicolor* (fungo causador de podridão branca) causou a maior perda de massa nas amostras dos painéis (Tabela 15). Segundo Zabel e Morrell (1992) esses fungos se alimentam de todos os componentes macromoleculares de materiais lignocelulósicos, enquanto os fungos de podridão parda possuem maior afinidade por polissacarídeos. Segundo Oliveira et al. (2005), a água quente é capaz de extrair substâncias como gomas, taninos, açúcares, corantes e amido do bagaço de cana. Sendo assim, supõe-se que o tratamento por imersão em água quente pode ter extraído alguns grupos desses compostos do bagaço de cana, relacionados com a sua resistência natural.

Presume-se que o menor percentual de perda de massa, obtido para os painéis constituídos com partículas controle, decorreu da presença de extrativos que inibiram o ataque dos fungos e que não foram removidos com o tratamento por imersão em água quente. Sendo assim, esses extrativos que funcionam como barreira protetora podem ter características lipídicas que evitam a penetração de líquidos e enzimas, o que dificultou a penetração das hifas da cultura fúngica nas amostras dos painéis controle.

Teixeira et al. (1997) avaliaram a resistência de chapas constituídas com bagaço de cana e adesivo UF, em relação ao ataque dos fungos *G. trabeum* (podridão parda) e *P. sanguineus* (podridão branca) e seguiram os procedimentos da ASTM D 2017 (1981). Os painéis foram classificados como “moderadamente resistentes” e a perda de massa variou entre 42,3 e 43,00%, respectivamente. Bellini et al. (2014) conduziram um experimento com painéis manufaturados constituídos de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar e dois teores de adesivo a base de UF (13 e 16%). As chapas foram submetidas ao ataque do fungo *Pleurotus ostreatus* (podridão branca) e seguiram os procedimentos da AFNOR ENV 12038 (2003). A perda de massa dos tratamentos variou entre 32,2 e 41,6% e os painéis foram classificados como “não resistentes” ou “pouco resistentes”.

5.2 Experimento II: Painéis aglomerados constituídos de partículas de bambu

5.2.1 Granulometria das partículas de bambu

Os valores médios de retenção granulométrica do bambu foram influenciados pela malha utilizada no moinho durante a transformação dos cavacos em partículas. Utilizou-se uma malha de 4,00 mm e por isso não houve retenção de partículas nas peneiras com aberturas de 5,66 e 4,0 mm. Os resultados da classificação das partículas de bambu encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Distribuição granulométrica das partículas de bambu

Aberturas (mm)	Malhas (<i>mesh</i>)	Proporções (%)
2,0	10	0,54 (0,12)
0,85	20	35,84 (0,73)
0,50	35	26,35 (0,35)
< 0,50	Coletor	37,34 (0,43)

Percentuais relativos à classificação de 1000 g de partículas de bambu. Valores percentuais médios seguidos do desvio padrão

Conforme os dados da Tabela 16, verifica-se que a menor proporção de partículas (0,54%) ficou retida na peneira com aberturas de 2,0 mm. A maior proporção granulométrica (37,34%) foi obtida para a fração de partículas classificadas como “finos”, ou seja, partículas que passaram pela abertura de 0,50 mm e ficaram retidas no coletor do sistema vibratório. Nesta fração granulométrica concentra-se o material que possui maior área superficial específica. Arruda (2009) destaca que o processamento do bambu deve ser realizado com cautela, pois há a formação de partículas pequenas que se perdem facilmente e não são aproveitadas para fabricar painéis. Tais partículas são oriundas da quantidade de parênquima existente nas células do bambu.

A fração granulométrica que passou pela peneira de 2,00 mm corresponde a 35,84% e a fração que passou pela abertura de 0,85 mm foi equivalente a 26,35%, totalizando uma fração percentual de 62,19%, a qual foi utilizada para manufatura dos painéis. Sabe-se que quanto maior a dimensão das partículas, menor será a área superficial específica que necessita ser recoberta por adesivo. Em contrapartida, partículas de menor granulometria apresentam maior área superficial específica e se o teor de adesivo não for suficiente para recobri-las pode prejudicar o processo de adesão e influenciar na qualidade dos painéis.

5.2.2 Análise química das partículas de bambu

Os valores médios obtidos a partir das análises químicas das partículas de bambu, referentes aos teores de extrativos em ciclo/hexano e etanol, água quente, lignina solúvel, insolúvel, cinzas e holocelulose estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Valores médios dos teores de extrativos solúveis em ciclo/hexano e etanol (CHE), água quente, totais, lignina solúvel, insolúvel, cinzas e holocelulose das partículas de bambu

Tratamentos (Partículas)	Extrativos (%)			Ligninas (%)			Cinzas	Holocelulose
	CHE	Água quente	Totais	Solúvel	Insolúvel	Total	(%)	(%)
T1	2,11(0,57)	7,95(2,87)	10,06(1,13)	0,61(0,04)	22,21(2,40)	25,28(2,36)	2,30(0,39)	68,83(4,33)
T2	1,20(0,78)	6,72(1,17)	7,92(0,18)	0,71(0,09)	23,04(2,54)	24,72(2,61)	1,45(0,47)	66,88(2,77)
T3	5,31(0,33)	5,72(0,88)	11,03(4,54)	0,57(0,09)	26,19(1,78)	26,75(1,74)	2,33(0,02)	59,87(2,80)

T1 – Partículas controle; T2 – Partículas tratadas em água quente; T3 – Partículas tratadas termicamente

Valores do desvio padrão entre parênteses

Sabe-se que a natureza e a quantidade dos teores de extrativos estão associados com as substâncias químicas que os compõem e variam entre espécies, além da solução extratora utilizada. Numericamente, verifica-se que o menor teor de extrativos em ciclo/hexano e etanol foi obtido para as partículas tratadas em água quente e o maior teor foi obtido para as partículas termorretificadas. As partículas controle obtiveram valor médio de 10,06% (Tabela 17) de extrativos totais, sendo este superior aos valores relatados na literatura. Brito (2013) avaliou a composição química do bambu *Dendrocalamus giganteus* em cinco níveis de temperatura, sendo 100 (Controle), 140, 160, 180 e 200°C. Para as amostras controle, a autora obteve teor de 6,30% de extrativos totais.

Marinho et al. (2013) avaliaram a composição química da espécie *Dendrocalamus giganteus* com 2 e 6 anos de idade. Considerando que o bambu adquire características de idade adulta a partir dos três anos, os teores de extrativos obtidos pelos autores em água quente variaram de 7,06 a 10,02% e foram superiores ao resultado obtido no presente estudo, porém os teores de extrativos totais variaram entre 7,87 e 10,27%, sendo intermediários aos obtidos nesse trabalho. Para as partículas termorretificadas, o valor médio foi 5,31%, resultado que está na faixa dos obtidos por Brito (2013), que termorretificou o bambu a 200 °C e encontrou teores entre 4,93 e 8,83%.

Conforme comentado anteriormente (*vide* item 5.1.2), a variação que ocorreu no teor de extrativos das partículas termorretificadas pode ser explicada pelas modificações na estrutura do bambu após o tratamento térmico. Segundo Brito (2013), a degradação das hemiceluloses e as modificações decorrentes do tratamento térmico resultam na formação de produtos tais como fenóis, furfural e aldeído, que passam a ser contabilizados como extrativos.

Em relação aos extrativos em água quente (Tabela 17), observou-se que os maiores teores foram verificados para as partículas controle e tratadas por imersão. Supõe-se que após a termorretificação das partículas foram geradas menores quantidades de produtos solúveis em água quente. Conforme comentado anteriormente, pode ser que tenha ocorrido volatilização de alguns tipos de extrativos e assim foi obtido menor percentual para estas partículas. Segundo Guimarães Júnior et al. (2013), elevados teores desses compostos secundários reduzem as propriedades mecânicas de compósitos, prejudicam a aderência entre fibras e matrizes, interferem no processo de cura e podem causar estouros durante o processo de prensagem dos painéis.

Em relação aos teores das ligninas (Tabela 17), verificou-se uma tendência de redução para lignina solúvel nas partículas tratadas termicamente, apresentando assim menor valor médio. Em contrapartida, os teores de lignina insolúvel e lignina total evidenciaram maiores médias para as partículas termorretificadas. Conforme comentado (*vide* item 5.1.2), supõe-se que foram formados novos componentes resultantes dos subprodutos degradados. Marinho et al. (2012) obtiveram para o bambu *Dendrocalamus giganteus* em idade adulta 24,11% de teor de lignina total. Brito (2013) observou um ganho no teor de lignina total com aplicação do tratamento térmico e obteve média de 31,45% para temperatura de 180 °C. Segundo Maloney (1993) a lignina pode assumir função adesiva nas chapas, em razão disso é desejável que a matéria-prima apresente maior percentual desse componente, quando esta for destinada a confecção de painéis de partículas.

Em relação ao teor de cinzas (Tabela 17), verificou-se que o menor valor foi obtido para as partículas tratadas em água quente, que evidenciou uma redução equivalente a 38,3% em relação às partículas controle. Este valor (2,30%, para as partículas controle), foi maior que o teor 0,64% obtido por Marinho et al. (2012). Segundo os autores a variação no teor de cinzas pode ser decorrente das posições de amostragem, espessura do colmo, posição da amostra na touceira, manejo, clima e quantidade de nutrientes disponíveis para o desenvolvimento do material.

Numericamente o teor de holocelulose foi menor nas partículas tratadas termicamente (Tabela 17). Brito (2013) observou um decréscimo desse componente com o aumento da temperatura de tratamento das partículas. A autora obteve 68,11% para as partículas controle e 60,23% para as amostras termorretificadas a 180°C e associou esses valores com as reações de perda de água e degradação das hemiceluloses, que provavelmente influenciaram na densidade do material. Essa observação é confirmada por Ferreira (2014), ao citar que durante

o processo de tratamento térmico ocorre redução na massa dos carboidratos em função da sua maior sensibilidade a degradação térmica, contribuindo com a perda de massa dos materiais.

5.2.3 Massa específica básica e razão de compactação

A densidade básica dos cavacos de bambu foi de $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$. Esse valor encontra-se na faixa entre $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,90 \text{ g.cm}^{-3}$, informada por Liese (1998). Em razão disto, a razão de compactação nominal obtida foi 1,23 ($0,65 / 0,53 = 1,23$) e a de compactação efetiva foi de 1,13 ($0,60 / 0,53 = 1,13$).

Pesquisadores como Moslemi (1974), Kelly (1977), Tsoumis (1991) e Maloney (1993) estabeleceram que a razão de compactação para painéis de madeira deve atender a uma faixa de valores entre 1,3 e 1,6. Os autores ressaltam que o valor da razão de compactação não deve ser inferior a 1,3, pois isso resultaria em um contato insuficiente entre as partículas e influenciaria negativamente nas propriedades finais das chapas, devido a uma densificação inadequada do material.

5.2.4 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis

Os valores médios de massa específica aparente e do teor de umidade dos painéis aglomerados de bambu, encontram-se na Tabela 18.

De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica aparente (ANEXO J, Tabela 83), não foram observadas diferenças significativas para os fatores avaliados (granulometria e condição das partículas). Segundo a mesma análise, não houve interação entre os fatores testados.

Tabela 18- Valores médios de Massa Específica Aparente (MEA) e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	MEA (g.cm^{-3})	Teor de Umidade (%)
T5	0,59 a	9,14
T6	0,58 a	9,45
T7	0,59 a	9,30
T8	0,58 a	9,32
Média Geral	0,58	9,30
CV (%)	1,28	3,05

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com os dados da Tabela 18, verifica-se que os painéis evidenciaram valores médios inferiores ao estabelecido para a massa específica nominal no plano experimental ($0,65 \text{ g.cm}^{-3}$). Esse fato pode ser justificado pelas perdas que ocorrem durante as etapas do processo de manufatura dos painéis em laboratório (IWAKIRI et al., 2012). Para todos os tratamentos foram obtidos painéis de média densidade, que se referem àqueles com massa específica entre $0,55$ e $0,75 \text{ g.cm}^{-3}$, conforme estipulava a NBR 14810 (ABNT, 2006).

A média geral para o teor de umidade dos painéis foi 9,30% (Tabela 18). Segundo a NBR 14810 (ABNT, 2006) o teor médio de umidade dos painéis de chapas aglomeradas poderia variar entre 5% e 11%. Sendo assim, verifica-se que os painéis de todos os tratamentos analisados resultaram em valores nesse intervalo.

5.2.5 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão

Os valores médios de absorção de água dos painéis após 2 horas (AA2h) de imersão em água e após 24 horas (AA24h) estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Valores médios de AA2h e AA24h dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	AA2h (%)	AA24h(%)
T5	76,52	92,79
T6	64,78	89,58
T7	62,22	79,24
T8	63,34	84,41
Média Geral	66,72	86,50
CV (%)	4,77	4,07

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

De acordo com a análise de variância efetuada para a propriedade AA2h (ANEXO K, Tabela 84), observou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores analisados (granulometria e condição das partículas). Segundo a mesma análise, houve interação significativa entre os mesmos fatores. A análise de variância do desdobramento da interação dos fatores dentro de cada nível encontra-se no ANEXO K, Tabelas 85 e 86, respectivamente.

Os resultados dos testes de médias de Tukey, realizados para a variável AA2h da interação entre os fatores granulometria e condição das partículas encontram-se na Tabela 20.

Tabela 20 - Teste de médias para a variável AA2h da interação entre os fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	Condição das partículas	
	Controle	Tratadas
0,50 mm	76,52 bB	64,78 aA
0,85 mm	62,22 aA	63,34 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas colunas, referem-se aos valores da granulometria e as letras maiúsculas, nas linhas, referem-se ao fator condição das partículas

Ao analisar o fator granulometria (Tabela 20), verifica-se que houve diferença significativa de AA2h entre os painéis manufaturados com partículas controle (0,50 e 0,85 mm), sendo que os painéis constituídos com granulometria 0,50 mm apresentaram maior taxa de absorção de água. Os painéis produzidos com partículas de ambas as granulometrias, tratadas em água quente, não diferiram estatisticamente entre si.

Considerando o fator condição das partículas, observa-se que houve diferença significativa de AA2h entre os painéis constituídos com partículas controle e tratadas em água quente. Somente os painéis de partículas com granulometria 0,50 mm mostraram maior valor médio, sendo estes constituídos com partículas controle.

Considerando os resultados da interação dos fatores granulometria e condição das partículas (Tabela 20) e analisando os quatro tratamentos em conjunto, destaca-se que os painéis produzidos com partículas controle de granulometria 0,85 mm, evidenciaram melhor desempenho, pois, absorveram menos água em comparação com os demais. Em parte, isso pode ser explicado em função da maior disponibilidade de adesivo para uma menor área superficial de partículas, quando comparadas com a granulometria de 0,50 mm, fato que resulta em maior recobrimento das superfícies, reduzindo espaços vazios e dificultando a entrada da água.

De acordo com a análise de variância efetuada para a propriedade AA24h (ANEXO K, Tabela 87), verificou-se que houve diferença significativa para o fator granulometria, porém, não houve significância para o fator condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância não houve interação entre os fatores dos tratamentos. O resultado do teste de médias de Tukey, realizado para a variável AA24h do fator granulometria encontra-se na Tabela 21.

Tabela 21 - Teste de médias para a variável AA24h em função do fator granulometria

Granulometria	AA24h (%)
0,50 mm	91,19 a (4,47)
0,85 mm	81,82 b (3,31)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)
Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com a Tabela 21, observou-se que os painéis confeccionados com partículas de granulometria 0,50 mm absorveram mais água do que os painéis produzidos com a granulometria 0,85 mm. O comportamento da propriedade AA24h foi semelhante ao da AA2h e a redução na taxa de absorção para os painéis manufaturados com partículas de 0,85 mm pode ser explicada em função da maior disponibilidade relativa de adesivo distribuído para a mesma massa de partículas, devido a menor área superficial específica, fato que pode ter dificultado o processo de absorção de água.

Para algumas propriedades físicas e mecânicas os valores obtidos nesse Experimento, serão comparados com resultados da literatura, porém, a metodologia adotada nestes trabalhos não foi a mesma aqui empregada e, em razão disso, os resultados serão apresentados a título de referência.

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram superiores aos relatados na literatura. Visnardi et al. (2010) trabalharam com painéis aglomerados de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e 4 teores de adesivo a base de UF (6, 8, 10 e 12%) em relação ao peso de material seco e massa específica nominal de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$. Nessas condições foram obtidos valores entre 15,57 e 47,90%, para AA2h e AA24h, considerando o teor de 10% de adesivo. Valarelli et al. (2013) trabalharam com painéis de partículas de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) utilizando dois tipos de resina (uréia formaldeído e poliuretana bi-componente a base de mamona) e quatro teores de adesivo (6, 8, 10 e 12%). Para os painéis fabricados com adesivo a base de UF e teor de 10% em relação a massa seca das partículas, os autores obtiveram para AA2h e AA24h valores médios de 15,70 e 48,23%.

A NBR 14810 (ABNT, 2006), que se encontrava vigente até 2013, não estipulava valores para essa propriedade.

5.2.6 Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura após duas (IE2h) e vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h) e da taxa de não retorno em espessura (TNRE) dos painéis aglomerados de bambu estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e taxa de não-retorno em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	IE2h (%)	IE24h (%)	TNRE (%)
T5	9,03	10,65	5,16
T6	15,49	19,49	12,45
T7	11,88	14,15	7,23
T8	16,05	18,60	13,23
Média Geral	12,77	15,72	9,52
CV (%)	13,11	11,10	8,11

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Conforme a análise de variância efetuada para o IE2h (ANEXO L, Tabela 88), observou-se que houve diferença estatística significativa apenas para o fator condição das partículas. Segundo a mesma análise, não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos. O resultado do teste de médias de Tukey, realizado para a variável IE2h do fator condição das partículas encontra-se na Tabela 23.

Tabela 23 - Teste de médias para a variável IE2h em função do fator condição das partículas

Condição das partículas	IE2h (%)
Controle	10,45 a (1,70)
Tratadas	15,77 b (2,03)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)
Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com a Tabela 23, observa-se que os painéis constituídos com partículas controle revelaram menor valor médio de inchamento, quando comparados com painéis fabricados com partículas tratadas em água quente. Esse resultado pode ser explicado em função do maior volume de partículas tratadas que foram necessárias para formar o colchão, dessa forma, aumentou-se a quantidade de material lenhoso (parede celular) para difusão das moléculas de água. Os resultados encontrados ainda estão de acordo com Tsoumis (1991) e Trianoski et al. (2012), quando estes afirmam que os extrativos podem influenciar na estabilidade dimensional. Se estes forem removidos do espaço que ocupam na parede celular, a contração e o inchamento aumentam. Os painéis produzidos com partículas controle apresentaram melhor desempenho, com menor índice de inchamento em espessura após 2 horas de imersão.

Conforme a análise de variância efetuada para o IE24h (ANEXO L, Tabela 89), observou-se que houve diferença estatística significativa para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise não houve interação significativa entre os

fatores dos tratamentos. Os resultados do teste de médias de Tukey, realizado para a variável IE24h dos fatores granulometria e condição das partículas encontram-se na Tabela 24.

Conforme comentado anteriormente, para as propriedades de AA2h e AA24h serão citados os valores obtidos por outros pesquisadores apenas como referência e de forma cautelosa, pois a confecção dos painéis pode ter sido realizada com parâmetros diferentes dos que foram adotados na presente pesquisa. O IE2h apresentou média geral de 12,77% que é superior aos resultados obtidos por Visnardi et al. (2010), o qual obteve 3,01% e Valarelli et al. (2013) que obteve 3,0%. A diferença entre os resultados pode ser explicada por alguns fatores tais como geometria das partículas, aditivos utilizados e concentrações, além das condições de prensagem do colchão.

Tabela 24 - Teste de médias para a variável IE24h em função dos fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	IE24h (%)
0,50 mm	15,07 a (5,22)
0,85 mm	16,37 b (2,64)
Condição das partículas	IE24h(%)
Controle	12,40 a (2,13)
Tratadas	19,04 b (2,07)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)
Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

Os dados da Tabela 24, demonstram que a granulometria 0,85 mm evidenciou acréscimo significativo do IE24h nos painéis. Supõe-se que os painéis constituídos com granulometria 0,50 mm foram mais compactados durante a prensagem, o que dificultou a translocação da água pelas paredes celulares e assim apresentaram menor inchamento.

De forma análoga ao que foi comentado para o IE2h, nota-se o mesmo comportamento para o IE24h (Tabela 24) em relação ao fator condição, pois os painéis constituídos com partículas tratadas evidenciaram um acréscimo significativo em relação aos painéis fabricados com partículas controle e pode ser adotada a mesma justificativa abordada para o IE2h.

A NBR 14810 (ABNT, 2006) estabelecia um índice mínimo de 8% para o inchamento em espessura no período de imersão de duas horas para os painéis aglomerados. Sendo assim, os resultados encontrados nos tratamentos avaliados foram superiores a esse valor e não atenderam a norma.

Conforme a análise de variância efetuada para a taxa de não-retorno em espessura (ANEXO L, Tabela 90), observou-se que houve diferença significativa para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise, não houve interação

significativa entre os fatores dos tratamentos. Os resultados do teste de médias de Tukey, realizado para a variável TNRE dos fatores testados encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Teste de médias para a variável TNRE em função dos fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	TNRE (%)
0,50 mm	8,80 a (4,03)
0,85 mm	10,23 b (3,38)
Condição das partículas	TNRE (%)
Controle	6,19 a (1,29)
Tratadas	12,84 b (0,88)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com os dados da Tabela 25, verifica-se que os painéis constituídos com partículas de granulometria 0,50 mm evidenciaram uma redução da TNRE em relação aos painéis fabricados com partículas de granulometria 0,85 mm, que evidenciaram maior inchamento residual. Esse resultado é contrário ao esperado, uma vez que os colchões manufaturados com partículas de maior granulometria, no caso 0,85 mm, possuem menor área superficial específica, o que tende a reduzir a altura do colchão em relação as partículas de 0,50 mm. Em função disso há uma redução na razão de compactação, a qual implica na redução da magnitude da liberação das tensões de compressão. Uma suposição para o resultado obtido, é que isso ocorreu como consequência da acomodação das partículas de menor granulometria na caixa formadora do colchão, visto que a maior área superficial específica permite menores quantidades de espaços vazios, o que pode ter gerado um colchão mais baixo e resultado em menor razão de compactação e, consequentemente, menor TNRE.

Os painéis constituídos com partículas controle obtiveram média de 6,19%, enquanto as chapas fabricadas com partículas tratadas em água quente atingiram 12,84% de valor médio (Tabela 25). Houve um acréscimo percentual na média que equivale a um ganho superior ao dobro do valor obtido para os painéis constituídos com partículas controle. Provavelmente, o maior volume de partículas tratadas com menor massa específica, devido à remoção de alguns extrativos em água quente, foi maior. Esse fato resultou no aumento da altura do colchão e da razão de compactação, liberando maiores tensões de compressão e aumentando a TNRE.

5.2.7 Flexão estática

Os valores médios para o módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) dos painéis aglomerados de bambu estão apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores médios do módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) a flexão estática dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	MoR (MPa)	MoE (MPa)
T5	6,38 a	588,64 a
T6	7,41 a	556,25 a
T7	7,21 a	630,40 a
T8	7,54 a	553,77 a
Média Geral	7,14	582,26
CV (%)	7,77	11,04

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MoR e MoE dos painéis aglomerados (ANEXO M, Tabelas 91 e 92, respectivamente), verificou-se que não houve diferença significativa para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância não houve interação significativa para os fatores analisados.

Os resultados obtidos para o MoR e MoE (Tabela 26) podem ser explicados pela razão de compactação, que foi relativamente baixa, causada pela massa específica do bambu. A área de contato entre partículas sendo relativamente baixa pode aumentar a disponibilidade relativa de adesivo, porém, em contrapartida ocasiona um menor número de ligações adesivas entre partículas.

Os valores encontrados neste trabalho diferem dos resultados da literatura que serão citados apenas como referência, uma vez que a metodologia utilizada não foi a mesma. Moraes et al. (2005) conduziram um experimento com painéis aglomerados confeccionados com diferentes proporções de *Bambusa tuldoidea* e *Pinus taeda*, com teor de 8% de adesivo a base de uréia-formaldeído e densidade nominal de $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$. Os autores obtiveram valores de 5 MPa para o MoR e 748 MPa para o MoE, nos painéis constituídos com 100% de bambu, enquanto Valarelli et al. (2013) encontraram 7,48 MPa e 1.515 MPa para painéis aglomerados confeccionados com partículas de *Dendrocalamus giganteus*.

De acordo com a Tabela 26, observa-se que o valor médio obtido para o MoR dos painéis aglomerados de partículas de bambu foi 7,14 MPa. Esse resultado é inferior ao estipulado pela NBR 14810 (2006), que estabelecia 16,0 MPa como requisito mínimo para essa propriedade. Em relação ao MoE, a média geral foi 582,26 MPa. A antiga NBR 14810 (ABNT, 2006) não estabelecia valores para essa propriedade, porém, a norma vigente NBR 14810 (ABNT, 2013) estipula como valor mínimo 1600 MPa. Em relação a esse índice, verifica-se que o resultado obtido encontra-se abaixo do valor padrão.

5.2.8 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso da superfície e topo dos painéis aglomerados de bambu estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores médios de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície (APS) e de topo (APT) dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	APS (N)	APT (N)
T5	441,27	451,12
T6	445,54	519,77
T7	356,28	439,68
T8	505,01	531,21
Média Geral	436,77	485,45
CV (%)	13,00	9,78

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Nota-se que os valores médios obtidos para o APS e o APT (Tabela 27) foram muito próximos e isto se explica analisando o perfil de densidade vertical dos painéis de bambu (*vide* item 5.2.10), o qual não foi tão pronunciado quanto ao verificado para os painéis de bagaço de cana. O perfil foi pouco pronunciado, o que indica que a massa específica das faces não é muito maior do que a do miolo e isso pode ser a razão dos valores de APS e APT terem sido próximos. O perfil de densidade dos painéis de bambu pouco pronunciado é devido a baixa altura do colchão desta matéria-prima. Essa situação é pouco comum, uma vez que a resistência na face tende a ser maior, em função da alta compactação das camadas externas. Essa tendência foi observada por Trianoski (2010), cuja autora, citada por Surdi (2015), justificou o fato como uma possível desuniformidade na deposição das partículas durante o processo de formação do colchão.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as propriedades de arrancamento de parafuso de superfície e de topo (ANEXO N, Tabelas 93 e 94, respectivamente), observou-se que não houve diferença significativa para o fator granulometria, porém houve significância para o fator condição das partículas. Segundo as mesmas análises não foi observada interação significativa entre os fatores. Os resultados dos testes de médias de Tukey, realizados para ambas as variáveis, encontram-se na Tabela 28.

Tabela 28 - Teste de médias para as variáveis APS e APT em função do fator condição das partículas

Condição das partículas	APS (Mpa)	APT (Mpa)
Controle	398,77 b (66,26)	445,40 b (41,31)
Tratadas	475,27 a (63,51)	525,49 a (44,45)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com a Tabela 28, observa-se que as chapas constituídas por partículas tratadas em água quente apresentaram as maiores médias para as variáveis APS e APT. Conforme comentado anteriormente esses valores podem ter sido influenciados pela remoção dos extrativos, uma vez que altos teores dos mesmos resultam em dificuldades de colagem gerando baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas. Possivelmente, para esses painéis houve uma melhor polimerização e cura do adesivo. Segundo Azzini e Salgado (1992), quando o bambu é submetido a temperaturas maiores que 65 °C em banho quente com água ocorre à dissolução do amido, sendo assim, os grânulos de açúcar podem ser decompostos termicamente e eliminados.

Ressalta-se que o maior volume de partículas tratadas, por consequência maior razão de compactação destas em relação às não tratadas, pode ter contribuído para os resultados obtidos no presente estudo.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 27, observa-se que a média geral do APS foi 436,77 N e do APT foi 485,45 N. A NBR 14810 (ABNT, 2006) estabelecia como valor mínimo 1.020 N para o APS e 800 N para APT, sendo assim nenhum dos tratamentos apresentaram resultados compatíveis com a norma citada.

5.2.9 Ligação interna

Os valores médios de resistência da ligação interna dos painéis aglomerados constituídos com partículas de bambu estão apresentados na Tabela 29. De acordo com a análise de variância efetuada para a variável LI (ANEXO O, Tabela 95), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator granulometria, porém, houve significância para o fator condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância, não foi observada interação significativa entre os fatores.

Tabela 29 - Valores médios de resistência da ligação interna (LI) dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	LI (MPa)
T5	0,62
T6	0,75
T7	0,58
T8	0,64
Média Geral	0,65
CV (%)	10,63

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Os resultados dos testes de médias de Tukey, realizados para a variável LI encontram-se na Tabela 30.

Tabela 30 - Teste de médias para a variável LI em função do fator condição das partículas

Condição das partículas	LI (MPa)
Controle	0,60 a (0,04)
Tratadas	0,70 b (0,09)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com os dados da Tabela 30, verifica-se que os painéis constituídos com partículas tratadas em água quente apresentaram maior valor médio de LI, indicando uma qualidade superior da colagem. Conforme o resultado da análise química (*vide* item 5.2.2), observou-se que o teor de extrativos nas partículas controle foi maior e, esse fato, pode confirmar que a remoção destes extrativos contribuiu de forma positiva na qualidade de colagem das partículas, pois melhorou a ligação interna, conferindo melhor resultado quando comparado com as chapas constituídas de partículas controle. Segundo Moslemi (1974), o elevado teor de extrativos pode afetar negativamente a resistência dessa propriedade.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 29, verifica-se que os painéis de todos os tratamentos atendem ao valor mínimo exigido pela NBR 14810 (ABNT, 2006), que estipulava 0,35 MPa.

5.2.10 Perfil de densidade

Os valores médios da massa específica das camadas dos painéis do Experimento II, obtidos pela densitometria de raio X, estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Valores médios de massa específica da camada externa e da camada central dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	Camada externa (kg.m⁻³)	Camada central (kg.m⁻³)
T5	481,81	549,73
T6	596,61	608,30
T7	489,23	558,39
T8	546,79	582,98
Média Geral	528,61	574,85
CV (%)	4,62	4,12

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica aparente da camada externa (ANEXO P, Tabela 96), verifica-se que houve diferença significativa para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância, não foi observada interação significativa entre os fatores. Os resultados do teste de médias de Tukey, realizado para a variável encontram-se na Tabela 32.

Tabela 32 - Teste de médias para a variável massa específica aparente da camada externa em função dos fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	Camada externa (kg.m⁻³)
0,50 mm	539,21 a (66,41)
0,85 mm	518,01 b (38,62)
Condição das partículas	Camada externa (kg.m⁻³)
Controle	485,52 a (22,37)
Tratadas	571,70 b (34,85)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com os dados da Tabela 32, verifica-se que os painéis constituídos com partículas de granulometria 0,50 mm apresentaram maior massa específica. Presume-se que as partículas de maior área superficial específica formaram um arranjo compactado, com ausência de espaços vazios e melhor densificação da camada externa. Em relação ao fator condição, verifica-se que os painéis constituídos com partículas tratadas apresentaram acréscimo estatístico em relação às chapas confeccionadas com partículas controle. Nesse caso, supõe-se que a quantidade de partículas tratadas foi maior para constituir o colchão, em função dos extrativos que foram removidos e, dessa forma, houve uma maior compactação destas partículas, que resultou em aumento da massa específica aparente da camada externa.

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica aparente da camada central (ANEXO P, Tabela 97), observou-se que houve diferença significativa apenas para o fator condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância, não foi

observada interação significativa entre os fatores. O resultado do teste de médias de Tukey, realizado para essa variável encontra-se na Tabela 33.

Tabela 33 - Teste de médias para a variável massa específica aparente da camada central em função do fator condição das partículas

Condição das partículas	Camada central (kg.m^{-3})
Controle	554,06 a (66,41)
Tratadas	595,64 b (38,62)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)
Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

Ainda de acordo com os dados da Tabela 33, observa-se que os painéis constituídos com partículas tratadas apresentaram um acréscimo estatístico na massa específica aparente da camada central. Conforme comentado anteriormente, supõe-se que o maior volume de partículas tratadas em água quente utilizado na manufatura do colchão foi mais compactado e isso pode ter resultado no acréscimo da massa específica aparente da camada central.

A Figura 22 apresenta os perfis de densidade dos painéis aglomerados de bambu, obtidos por atenuação de raio X, representados pelo comportamento das curvas nos gráficos de dispersão, para cada tratamento.

Figura 22 - Perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados do Experimento II: (A) Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); (B) Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); (C) Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); (D) Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Nota-se que os painéis constituídos com partículas de granulometria 0,85 mm evidenciaram perfis mais homogêneos (Figura 22C e 22D), em relação aos picos observados na camada externa. Supõe-se que a pequena diferença entre os mesmos e a tendência de estabilização na camada central sejam provenientes da menor taxa de compactação das partículas de bambu, em função da densidade, resultando num colchão menos espesso, quando comparado ao colchão de bagaço de cana e, conseqüentemente, liberando menor tensão de compressão. Conforme verificado na Tabela 31 e analisando a Figura 22, observa-se que os painéis constituídos com partículas de granulometria 0,50 mm e tratadas em água quente, apresentaram o maior pico de massa específica aparente na camada externa. Os valores mais elevados da massa específica aparente na camada central dos painéis aglomerados foram condizentes com os resultados obtidos para o APT, que foram superiores aos encontrados para o APS (*vide* Tabela 27). Além disso, cabe ressaltar que a maior resistência da camada central pode ter influenciado na qualidade de colagem dos painéis, melhorando a adesão entre as partículas.

5.2.11 Ângulo de contato

Os valores médios dos ângulos de contato dos painéis obtidos com água e etilenoglicol encontram-se na Tabela 34.

Tabela 34 - Valores médios dos ângulos de contato dos solventes (água e etilenoglicol) nos tempos iniciais e finais para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	α° (inicial H ₂ O)	α° (final H ₂ O)	α° (inicial EG)	α° (final EG)
T5	116,52	47,96	103,92 a	67,42 a
T6	126,19	51,87	94,99 a	57,35 a
T7	114,53	79,18	100,91 a	60,53 a
T8	109,63	92,77	110,20 a	70,97 a
Média Geral	116,72	67,95	102,50	64,07
CV (%)	2,57	5,92	8,02	22,16

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Com base na classificação de Myers (1999), verificou-se que os ângulos iniciais obtidos com água e etilenoglicol (Tabela 34) foram superiores a 90°, o que caracteriza os painéis como material de significativa repelência superficial a estes solventes, sendo incluídos na categoria “não molhante”. Para os ângulos finais, obtidos com os mesmos solventes, a superfície pode

ser classificada como “parcialmente molhante”, pois os valores dos ângulos obtidos foram entre 30 e 89°, com exceção do tratamento T8.

De acordo com a análise de variância efetuada para o ângulo de contato inicial utilizando água (ANEXO Q, Tabela 98), observou-se que houve diferença significativa apenas para o fator granulometria. Segundo a mesma análise de variância, houve interação significativa entre os fatores granulometria e condição das partículas. As análises de variância do desdobramento da interação dos fatores encontram-se no ANEXO Q, Tabelas 99 e 100, respectivamente. Os resultados do teste de médias de Tukey, realizado para o ângulo de contato inicial obtido com água, encontram-se na Tabela 35.

Tabela 35 - Teste de médias para a variável ângulo de contato inicial obtido com água, da interação entre os fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	Condição das partículas	
	Controle	Tratadas
0,50 mm	116,52 aA	126,19 bB
0,85 mm	114,53 aA	109,63 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas colunas, referem-se aos valores da granulometria e as letras maiúsculas, nas linhas, referem-se ao fator condição das partículas

Considerando o fator granulometria (Tabela 35), verifica-se que não houve diferença significativa entre as granulometrias de partículas controle, mas houve diferença entre as granulometrias das partículas que foram tratadas, evidenciando maior valor médio para granulometria de 0,50 mm. Supõe-se que a maior área superficial das partículas permitiu melhor compactação dos painéis, deixando menos espaços vazios nas chapas. Quando a gotícula foi depositada sobre a superfície ocorreu maior equilíbrio da gota com menor absorção da mesma, propiciando assim maior ângulo de contato.

Ao analisar o fator condição de partículas (Tabela 35), verifica-se que houve diferença significativa dos valores dos ângulos de contato para os painéis constituídos com granulometria 0,50 mm. As chapas confeccionadas com partículas tratadas em água quente evidenciaram maior valor médio. Presume-se que o tratamento por imersão em água quente removeu maiores quantidades de extrativos dos lumes, por isso a quantidade de partículas tratadas foi maior para formar o colchão, conferindo-lhes maior área superficial específica. Esses fatores permitiram maior compactação do colchão e podem ter contribuído para o equilíbrio da gota na superfície, formando maior ângulo de contato.

De acordo com a análise dessas interações (Tabela 35), destaca-se que a combinação de partículas tratadas com granulometria de 0,85 mm para fabricação dos painéis evidenciou

melhor resultado, uma vez que propiciou menor ângulo de contato, indicando assim melhor interação superfície-solvente.

De acordo com a análise de variância efetuada para o ângulo de contato final testando água (ANEXO Q, Tabela 101), observou-se que houve diferença significativa para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância, não houve interação significativa entre os mesmos. Os resultados do teste de médias de Tukey, realizado para o ângulo de contato final da água, em função dos fatores testados, encontram-se na Tabela 36.

Tabela 36 - Teste de médias para a variável ângulo de contato final utilizando água, em função dos fatores granulometria e condição das partículas

Granulometria	Ângulo de contato final (°)
0,50 mm	49,91 a (4,24)
0,85 mm	85,97 b (8,24)
Condição das partículas	Ângulo de contato final (°)
Controle	63,57 a (17,19)
Tratadas	72,32 b (22,90)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)
Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

Os dados da Tabela 36 indicam que os painéis constituídos com partículas de granulometria 0,50 mm evidenciaram um decréscimo significativo do ângulo de contato final obtido com água. Esse resultado pode ter sido influenciado por alguns fatores, que atuaram em conjunto ao longo do tempo tais como massa específica superficial, capilaridade e adsorção de água. Cabe ressaltar que os painéis confeccionados com partículas de granulometria 0,50 mm possuem maior área superficial específica e conseqüentemente maiores quantidades de sítios de sorção, portanto, apresentam mais afinidade com a água. Esse fato pode ter propiciando o menor ângulo formado e conferido maior molhabilidade na superfície dos painéis.

Ao analisar o fator condição das partículas (Tabela 36), observa-se que os painéis constituídos com partículas controle evidenciaram menor valor médio para o ângulo de contato final. Conforme já comentado, pode ter ocorrido uma maior consolidação das chapas constituídas com partículas tratadas, o que resultou em maior equilíbrio da gota, aumentando o ângulo de contato e reduzindo o grau de molhabilidade.

De acordo com as análises de variância efetuadas para os ângulos de contato, obtidos com etilenoglicol (ANEXO Q, Tabelas 102 e 103), não houve diferença significativa para os fatores granulometria e condição das partículas. Segundo a mesma análise de variância, não foi

observada interação significativa entre os fatores. Nas Figuras 23 e 24 estão representadas as variações angulares em função do tempo nas superfícies das amostras dos painéis.

Figura 23 - Evolução dos ângulos obtidos com água em função do tempo: (A) Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); (B) Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); (C) Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); (D) Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Figura 24 - Evolução dos ângulos obtidos com etilenoglicol em função do tempo: (A) Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); (B) Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); (C) Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); (D) Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Com base na Figura 23, nota-se que as curvas representativas dos ângulos obtidos com água apresentaram similaridade de comportamento, com exceção do tratamento T8 (Figura 23 D), que evidenciou maior estabilidade dos ângulos de contato obtidos ao longo do tempo. O decréscimo nas curvas observadas nos gráficos é resultado da superfície porosa dos painéis de bambu, o que facilitou a absorção do solvente.

A Figura 24 apresenta comportamento semelhante ao da Figura 23 com relação à queda acentuada nos valores dos ângulos de contato com o decorrer do tempo. Portanto, considerando os dois solventes utilizados notou-se uma redução dos valores dos ângulos de contato, que indicaram aumento na molhabilidade da superfície dos painéis.

5.2.12 Resistência natural

Na Tabela 37 estão descritos os valores médios de perda de massa para os três fungos testados e a respectiva classe de resistência para os painéis de cada tratamento.

Tabela 37 - Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados expostos aos fungos *P. placenta*, *G. trabeum* e *T. versicolor* e respectivas classes de resistência para cada tratamento do Experimento II

Tratamentos	Fungos Xilófagos					
	<i>P. placenta</i> (Podridão parda)		<i>G. trabeum</i> (Podridão parda)		<i>T. versicolor</i> (Podridão branca)	
	¹ PM (%)	² CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR
T5	2,48 a	³ MR	8,29	MR	25,66	⁵ RM
T6	2,76 a	MR	18,25	⁴ R	19,25	R
T7	2,76 a	MR	8,60	MR	26,67	RM
T8	2,79 a	MR	19,63	R	20,35	R
Média geral	2,69		13,69		22,98	
CV (%)	9,37		14,63		10,76	

T5 - Partículas com granulometria 0,50 mm (controle); T6 - Partículas com granulometria 0,50 mm (tratadas em água quente); T7 - Partículas com granulometria 0,85 mm (controle); T8 - Partículas com granulometria 0,85 mm (tratadas em água quente)

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

¹ Perda de massa; ²Classe de resistência; ³MR: Muito Resistente; ⁴Resistente; ⁵Resistência Moderada

De acordo com os dados da Tabela 37, verifica-se que painéis aglomerados de bambu, submetidos ao ataque do fungo *P. placenta*, podem ser classificados como “muito resistentes”, visto que a perda de massa ocorreu na faixa entre 0 e 10%, conforme preconizado pela ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Os painéis submetidos ao ataque do *G. trabeum* (podridão parda) dos tratamentos T5 e T7 também podem ser classificados como “muito resistentes” e dos tratamentos T6 e T8 como “resistentes”. Ao analisar os painéis submetidos ao ataque do *T. versicolor* (podridão branca), observou-se que os tratamentos T5 e T7 possuem “resistência

moderada”, conforme a norma citada, enquanto os tratamentos T6 e T8 foram classificados como “resistentes”. Verifica-se que o comportamento do *T. versicolor* foi contrário ao *G. trabeum*, visto que os painéis constituídos com partículas controle tiveram maiores percentuais de perda de massa.

De acordo com a análise de variância efetuada para o fungo *P. Placenta* (ANEXO R, Tabela 104) não houve diferença significativa entre os fatores testados. Segundo a mesma análise de variância, não foi observada interação significativa entre os mesmos. Nas análises de variância realizadas para os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* foram constatadas diferenças significativas apenas para o fator condição das partículas (ANEXO R, Tabela 105 e 106, respectivamente). Não houve interação significativa entre os fatores testados. Os resultados do teste de médias de Tukey, realizado para a perda de massa para os fungos citados em função do fator condição das partículas, encontram-se na Tabela 38.

Tabela 38 - Teste de médias para a perda de massa causada pelos fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* em função do fator condição das partículas

Condição das partículas	<i>G. Trabeum</i> - Perda de massa (%)
Controle	8,44 a (1,50)
Tratadas	18,94 b (2,18)
Condição das partículas	<i>T. Versicolor</i> - Perda de massa (%)
Controle	26,16 a (1,81)
Tratadas	19,80 b (2,68)

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)
Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com os dados da Tabela 38, verifica-se que o *G. trabeum* causou menor deterioração nas amostras de painéis constituídas com partículas controle, evidenciando decréscimo estatístico nas médias da perda de massa em relação as amostras fabricadas com painéis de partículas tratadas em água quente.

Segundo Eaton e Hale (1993), os extrativos podem exercer influência na durabilidade natural dos painéis. Os mesmos podem aumentar ou reduzir a degradação dos polissacarídeos e da lignina. Presume-se que os extrativos presentes nas chapas aglomeradas de bambu, constituídas com partículas controle, potencializaram a translocação enzimática do *T. versicolor*, porém reduziram a eficiência de ataque do fungo *G. trabeum*.

Os resultados obtidos para perda de massa foram inferiores aos valores relatados na literatura. Melo et al. (2015b) avaliou a resistência natural de painéis de partículas de bambu (*Bambusa vulgaris*), madeira (*Eucalyptus grandis*) e casca de arroz (*Oryza sativa*) produzidos com teor de 8% de adesivo a base de UF, 1% de parafina, densidade nominal de 0,65 g.cm⁻³, testando *G. trabeum* e *T. versicolor*. O experimento foi conduzido de acordo com os

procedimentos da ASTM D 2017 (2005). Para as chapas constituídas com 100% de partículas de bambu foram obtidos índices de perda de massa correspondentes a 44,0% para o *T. versicolor* e as chapas foram classificadas como “moderadamente resistentes” e para o *G. trabeum* a perda de massa foi 20,5% e os painéis foram classificados como “resistentes”. A diferença pode estar relacionada com a quantidade de adesivo utilizada, além da idade do bambu não mencionada no experimento.

5.3 Experimento III: painéis aglomerados constituídos com mistura de partículas

5.3.1 Índice de esbeltez das partículas de bagaço de cana e bambu

O índice de esbeltez é um parâmetro importante que influencia as características das chapas, como por exemplo, a área de contato entre partículas, consumo de resina e propriedades mecânicas, além de refletir na qualidade de acabamento e usinabilidade (IWAKIRI, 2005). Os valores médios dos índices de esbeltez calculados para as partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu encontram-se na Tabela 39.

Tabela 39 - Valores médios do comprimento (mm), espessura (mm) e coeficiente de esbeltez das partículas de bambu e bagaço de cana-de-açúcar

Tratamentos	Comprimento (mm)	Espessura (mm)	Índice de esbeltez
0,85 mm bagaço	18,78 (3,90)	0,27 (0,07)	69,55 (14,58)
0,50 mm bagaço	9,20 (1,88)	0,22 (0,06)	41,95 (10,28)
0,85 mm bambu	7,81 (2,13)	0,49 (0,20)	15,82 (7,81)
0,50 mm bambu	4,47 (1,03)	0,34 (0,11)	13,04 (5,73)

Valores entre parênteses correspondem ao desvio-padrão

As maiores médias do coeficiente de esbeltez foram obtidas para as partículas de bagaço de cana-de-açúcar com granulometria 0,85 mm em função do maior comprimento. A diferença entre os índices obtidos para ambos os materiais, além das suas características próprias, pode ser explicada pelo processo de obtenção de partículas, pois, enquanto o bagaço de cana-de-açúcar foi coletado no pátio da usina após moenda e depois classificado em peneiras sem passar em moinho *Willey*, os cavacos de bambu foram processados em moinho *Willey* utilizando malha de 4,0 mm e depois classificados.

De acordo com Moslemi (1974) e Vital et al. (1992), as propriedades de flexão estática e estabilidade dimensional podem ser melhoradas quando se utilizam partículas longas e finas na constituição das chapas. Por outro lado, partículas curtas e espessas podem influenciar de forma positiva na ligação interna dos painéis. Surdi (2015) afirma que o tamanho das partículas

adotadas na constituição dos painéis deve ser definido com base no tipo e na qualidade desejada da chapa.

Arruda et al. (2011) mensuraram partículas de bambu da espécie *Guadua magna* e obtiveram índice de esbeltez de 32,29. Moraes (2011) mensurou partículas de bambu da espécie *Bambusa tuldoidea* e encontrou valor médio de 28,18. A diferença entre os valores pode ser explicada com base no tamanho da granulometria das partículas utilizadas para confecção dos painéis.

5.3.2 Razão de compactação

Os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis aglomerados estão descritos na Tabela 40.

Tabela 40 - Valores da razão de compactação dos painéis do Experimento III

Tratamentos	Razão de compactação nominal	Razão de compactação efetiva
T9	1,23	1,15
T10	1,55	1,43
T11	2,10	1,94
T12	3,25	2,95
T13	7,22	6,56

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

De acordo com os dados da Tabela 40, verifica-se que a razão de compactação efetiva das chapas variou entre 1,15 e 6,56. Os valores da razão de compactação aumentaram com a adição de partículas de bagaço de cana. De acordo com Hillig (2000), razões de compactação muito baixas não permitem contato suficiente entre as partículas, prejudicando o processo de colagem e resistência da chapa, além de influenciar na absorção d'água por permitir maiores espaços para a penetração.

Conforme citado anteriormente, a faixa estipulada como ideal para razão de compactação de painéis de madeira encontra-se entre 1,3 e 1,6 (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; TSOUMIS, 1991; MALONEY, 1993). Valores dentro desta faixa, tal como o obtido no tratamento T10, seriam adequados para se obter boa densificação e qualidade dos painéis. Valores mais elevados da razão de compactação promovem melhorias na resistência a flexão e tração perpendicular, em função do melhor contato entre as partículas. A desvantagem seria

uma influência negativa sobre as propriedades físicas de absorção e inchamento, conforme verificado no Experimento I.

5.3.3 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis

Os valores médios da massa específica aparente e do teor de umidade dos painéis aglomerados estão descritos na Tabela 41. Conforme relatado nos experimentos anteriores, observou-se uma redução dos valores da massa específica aparente dos painéis em relação à densidade nominal calculada em todos os tratamentos analisados. Conforme mencionado anteriormente, isso pode ser atribuído às perdas das partículas e aditivos que ocorrem durante o manuseio no processo de formação das chapas aglomeradas (IWAKIRI et al., 2012).

Tabela 41 - Valores médios de massa específica aparente (MEA) e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	MEA (g.cm ⁻³)	Teor de Umidade (%)
T9	0,61 a (0,03)	7,88 (0,07)
T10	0,60 a (0,01)	7,72 (0,07)
T11	0,60 a (0,05)	7,56 (0,09)
T12	0,59 a (0,01)	7,61 (0,11)
T13	0,59 a (0,04)	7,52 (0,11)
Média Geral	0,60	7,70
CV (%)	1,49	1,23

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Conforme a análise de variância efetuada para a MEA (ANEXO S, Tabela 107), verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. As médias variaram entre 0,59 e 0,61 g.cm⁻³. Os painéis de todos os tratamentos podem ser considerados de média densidade, uma vez que a NBR 14810 (ABNT, 2013) classifica dessa forma as chapas com valores entre 0,55 e 0,75 g.cm⁻³. Os valores médios dos teores de umidade (Tabela 41) foram descritos apenas como referência para MEA. Segundo a NBR 14810 (ABNT, 2013), os valores devem se situar entre 5 e 11% e, dessa forma, todos os tratamentos contemplaram a norma.

5.3.4 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão

Os valores médios de absorção de água dos painéis aglomerados, após 2 horas (AA2h) e 24 horas (AA24h) de imersão estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Valores médios da absorção de água após 2 e 24 horas dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	AA2h	AA24h
T9	50,71 a (3,97)	77,27 a (2,68)
T10	69,45 bc (5,40)	94,28 b (0,42)
T11	71,69 c (8,04)	112,63 c (1,82)
T12	55,66 ab (3,08)	119,44 c (4,64)
T13	50,00 a (4,22)	140,50 d (2,90)
Média Geral	59,50	108,82
CV (%)	8,79	2,62

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h dos painéis aglomerados (ANEXO T, Tabelas 108 e 109, respectivamente), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados, evidenciando influências das proporções de misturas de partículas sobre ambas as variáveis analisadas.

De acordo com a Tabela 42, verifica-se para AA2h que os painéis dos tratamentos T9, T12 e T13 não diferiram estatisticamente entre si. Os painéis dos tratamentos T10 e T11 evidenciaram maiores níveis de absorção de água.

Comportamento semelhante também foi observado por Scatolino et al. (2013), que trabalharam com painéis de partículas de sabugo de milho e madeira de *Pinus oocarpa*. Os pesquisadores adotaram cinco proporções de misturas (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). Os painéis foram confeccionados com 8% de UF e 1% de parafina. A taxa de compressão foi 3,92 MPa, temperatura de 160 °C, durante 8 minutos. Os autores observaram que quanto maior a porcentagem de sabugo de milho (material de baixa densidade) menor era a taxa de absorção de água após duas horas de imersão e atribuíram esse fato à adição de partículas de sabugo de milho, que promoveram uma barreira inicial à entrada da água, causada pela redução dos espaços vazios nas chapas em painéis com maior razão de compactação.

Em relação a AA24h (Tabela 42), os painéis dos tratamentos T9 e T13 apresentaram valores extremos e estatisticamente distintos para essa variável. As chapas constituídas com partículas de bambu e baixa razão de compactação evidenciaram o menor valor de absorção (77,27%). Bianche (2009) trabalhou com três tipos de madeira (eucalipto, paricá e vassoura) em diferentes proporções para fabricação de painéis aglomerados e nas chapas constituídas com o material mais denso (0,56 g.cm⁻³) observou o mesmo comportamento obtido neste trabalho.

O tratamento T13, que possui alta razão de compactação, evidenciou o maior valor médio de absorção (Tabela 42).

Considerando as misturas (Tabela 42), verifica-se que o tratamento T10, composto por painéis constituídos com 75% de partículas de bambu e 25% de bagaço de cana, evidenciou o melhor resultado, com taxa média de absorção de 94,28%. Esse resultado mostra que quanto menor a adição de partículas de bagaço de cana, maior é a resistência dos painéis em relação à absorção de água. Os tratamentos T11 e T12 não diferiram estatisticamente entre si e evidenciaram as maiores taxas de absorção de água. Esse resultado está de acordo com Iwakiri et al. (2014) ao afirmarem que as chapas que possuem maior razão de compactação resultam em maiores valores de absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas de imersão e isso interfere de forma negativa na estabilidade dimensional dos painéis.

5.3.5 Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura

Os valores médios para o IE2h, IE24h e TNRE dos painéis estão descritos na Tabela 43.

Tabela 43 - Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e taxa de não-retorno em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	IE2h	IE24h	TNRE
T9	8,15 a (0,50)	10,63 a (0,57)	4,71 a (0,37)
T10	13,85 bc (0,75)	17,39 b (0,62)	9,55 b (0,37)
T11	16,28 c (2,51)	26,17 c (0,47)	16,98 c (0,77)
T12	11,02 ab (1,35)	29,47 c (1,26)	17,92 c (0,87)
T13	14,41 bc (3,01)	44,75 d (3,51)	26,40 d (0,37)
Média Geral	12,74	25,68	14,90
CV (%)	14,91	6,72	8,35

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis IE2h, IE24h e TNRE (ANEXO U, Tabelas 110, 111 e 112, respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, evidenciando influências das proporções de partículas na constituição das chapas. Para o IE2h (Tabela 43), observou-se que o tratamento T9 foi estatisticamente equivalente ao tratamento T12, os quais evidenciaram as menores médias. Ressalta-se que também foi observada uma menor taxa de absorção para o tratamento T12 da propriedade de AA2h (*vide* item 5.3.4), o que consequentemente resulta em um baixo valor de

inchamento em espessura. Os tratamentos T10, T11 e T13 não diferiram estatisticamente entre si e evidenciaram as maiores médias de inchamento em duas horas.

De forma geral, verifica-se que o aumento na razão de compactação, em função da adição de partículas de bagaço de cana, causa o maior inchamento dos painéis. Segundo Iwakiri (2005), isso ocorre em função da maior quantidade de partículas sob compressão e quando são expostas à umidade liberam tensões, que resultam em maiores alterações dimensionais. Outra causa seria o aumento dos sítios de sorção em função da maior quantidade de partículas utilizadas na manufatura dos painéis (IWAKIRI, 2005; KELLY, 1977).

Ainda de acordo com a Tabela 43, nota-se que há um aumento diretamente proporcional do IE24h com a adição de partículas de bagaço de cana nos painéis. Em relação às misturas de partículas, nota-se que o tratamento T10 atingiu o melhor desempenho (17,39%), sendo estatisticamente inferior ao tratamento T13 e superior ao tratamento T1. Os tratamentos T11 e T12 evidenciaram as maiores médias e não diferiram entre si.

Bianche (2009) ressalta que os valores médios de IE2h e IE24h podem ser influenciados pelo formato da geometria das partículas. Ressalta-se que as partículas de bagaço de cana-de-açúcar eram mais longas que as partículas de bambu. Na medida em que são acrescentadas partículas de bagaço na composição dos painéis aumenta-se o inchamento em relação ao tratamento T1.

Ainda de acordo com a Tabela 43, verificou-se que os painéis constituídos apenas com partículas de bambu apresentaram o menor valor médio para a taxa de não-retorno em espessura, equivalente a 4,71% e os painéis constituídos com partículas de bagaço de cana apresentaram o maior valor médio, correspondente a 26,40%. Apenas os tratamentos T11 e T12 não diferiram entre si. Durante o processo de manufatura dos painéis, observou-se que os colchões de partículas de bambu foram pouco espessos em relação aos colchões de partículas de bagaço de cana, que foram mais volumosos. Segundo Mendes (2010b), quanto maior a altura do colchão de partículas a ser comprimido para uma mesma espessura final, maiores serão as tensões de compressão, as quais o painel estará sujeito durante a prensagem.

Em relação à mistura de partículas (Tabela 43), observou-se a mesma tendência para a TNRE do IE24h, pois os valores aumentaram conforme o aumento da razão de compactação. As chapas do tratamento T10, confeccionadas com 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana, evidenciaram valor médio de 9,55%. As partículas de bambu possuem densidade mais elevada que as partículas de bagaço de cana, portanto é necessário um volume menor das mesmas para formar o colchão. Dessa forma, tendem a acumular uma pequena quantidade de tensão de compressão quando comparado aos colchões produzidos com

50 e 75% de bagaço de cana, que liberam maiores tensões e ocasionam maiores valores para a TNRE.

5.3.6 Flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis aglomerados de partículas de bagaço de cana e bambu estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 - Valores médios do módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) a flexão estática dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	MoR (MPa)	MoE (MPa)
T9	7,40 a (0,44)	980,61 a (88,25)
T10	7,41 a (0,19)	996,70 a (51,38)
T11	8,77 b (0,09)	1028,13 a (26,03)
T12	10,55 c (0,34)	1054,15 a (16,56)
T13	11,77 d (0,74)	1096,57 a (26,34)
Média	9,21	1031,29
CV(%)	4,64	4,56

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis MoR e MoE (ANEXO V, Tabelas 113 e 114, respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para o MoR, evidenciando que o aumento da proporção de partículas de bagaço de cana exerceu influência nessa variável.

Em relação ao MoR (Tabela 44), nota-se que os painéis do tratamento T9 obtiveram menor valor médio e foi estatisticamente igual ao tratamento T10. As partículas de bambu possuem menor razão de esbeltez. Segundo Moslemi (1974) há uma relação entre este índice e algumas propriedades dos painéis, como o módulo de ruptura. Essa propriedade é reduzida quando o coeficiente de esbeltez é menor e torna o material menos resistente.

Os tratamentos T11 e T12 evidenciaram as melhores médias e o melhor resultado para as composições foi obtido para o tratamento T12 (Tabela 44), com 75% de partículas de bagaço de cana e 25% de partículas de bambu. Iwakiri (2005) afirma que o maior comprimento da partícula resulta no acréscimo de propriedades de resistência a flexão estática. Além disso, o aumento da resistência desses painéis pode estar relacionado com a maior razão de compactação adquirida com a junção dos materiais. Provavelmente o aumento na razão de compactação proporcionou melhor área de contato entre as partículas e redução dos espaços vazios nos

painéis, deixando-os mais homogêneos e resistentes em relação a distribuição das solicitações (esforços) nas chapas, além da maior porcentagem de partículas de bagaço, que possuem maior índice de esbeltez.

Embora o módulo de elasticidade não tenha apresentado diferença estatística significativa entre os tratamentos, observou-se a mesma tendência verificada para o módulo de ruptura, pois na medida em que foram acrescentadas partículas de bagaço de cana, houve aumento dos valores médios dos painéis. Situação semelhante foi observada por Bianche (2009), que trabalhou com painéis fabricados com partículas de eucalipto e paricá (material de alta e baixa densidade). A autora observou que aumentando a porcentagem de partículas de eucalipto, diminuía o módulo de elasticidade dos painéis. Por outro lado, notou que as chapas constituídas apenas com partículas de paricá, apresentavam as melhores médias para o MoE. A justificativa apresentada foi que a massa específica mais baixa do paricá resultou em uma maior taxa de compactação.

Os perfis de densidade dos painéis de bambu foram menos pronunciados devido a menor altura do colchão (*vide* item 5.3.9). À medida em que se acrescentou partículas de bagaço de cana na mistura, os perfis tornaram-se mais pronunciados, ou seja, com picos mais elevados de massa específica nas faces, o que pode ter contribuído com o aumento dos valores de MoR e MoE.

A NBR 14810 (ABNT, 2013) estipula como valores mínimos para as propriedades de MoR e MoE, 11 MPa e 1.600 MPa, respectivamente. Com base na Tabela 44, nota-se que o valor mínimo exigido pela norma para o módulo de ruptura foi atingido apenas no tratamento T13, ou seja, os painéis constituídos apenas com partículas de bagaço de cana foram significativamente mais resistentes que os painéis dos demais tratamentos. Em relação ao módulo de elasticidade, verifica-se que nenhum dos tratamentos atendeu ao valor mínimo estipulado pela norma citada.

5.3.7 Arrancamento de parafuso

Os valores médios para arrancamento de parafuso de superfície e topo dos painéis aglomerados estão apresentados na Tabela 45.

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis APS e APT (ANEXO W, Tabela 115 e 116, respectivamente), verificou-se que houve diferença significativa apenas para o arrancamento de parafuso de topo.

Tabela 45 - Valores médios de arrancamento de parafuso de superfície (APS) e de topo (APT) dos painéis aglomerados para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	APS (N)	APT (N)
T9	792, 54 a (45,15)	676,33 a (42,88)
T10	711,39 a (37,24)	561,18 ab (72,85)
T11	739,34 a (19,24)	544,76 ab (64,15)
T12	794,20 a (79,96)	490,82 b (53,89)
T13	820,73 a (17,50)	483,22 b (17,94)
Média	771,64	551,26
CV(%)	5,94	9,76

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha=0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

De acordo com os valores apresentados na Tabela 45, observa-se que há uma tendência de acréscimo nos valores de resistência do APS na medida em que se aumenta a proporção de partículas de bagaço de cana-de-açúcar nos painéis.

Observou-se que o APT foi reduzido significativamente na medida em que foram acrescentadas as partículas de bagaço de cana (Tabela 45). Verificou-se que os painéis dos tratamentos T9, T10 e T11 foram estatisticamente equivalentes entre si. Os valores obtidos podem ter sido influenciados pela menor massa específica das partículas de bagaço de cana e baixa disponibilidade de adesivo por partícula em função da área superficial específica.

Os valores do APS foram mais elevados que os valores do APT em função do perfil de densidade vertical mais pronunciado nas faces dos painéis. As maiores porcentagens de partículas de bagaço de cana contribuíram para redução da massa específica na camada central das chapas, resultando em valores mais baixos de APT (*vide* item 5.3.9).

A NBR 14810 (ABNT, 2013) não estipula valor padrão para essas variáveis, porém considerando como referência os requisitos da antiga NBR 14810 (2006), que estipulava valores mínimos de resistência ao arranque de parafusos de 1.020 N (face) e de 800 N (topo), verifica-se que nenhum dos tratamentos avaliados atenderia essa exigência.

5.3.8 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna, para cada tratamento estão apresentados na Tabela 46.

Tabela 46 - Valores médios de resistência à ligação interna dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	Ligação interna (MPa)
T9	0,77 a (0,05)
T10	0,36 b (0,02)
T11	0,24 c (0,01)
T12	0,25 c (0,03)
T13	0,15 d (0,01)
Média	0,35
CV(%)	9,13

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

A análise de variância realizada para a ligação interna (ANEXO X, Tabela 117), demonstrou que houve diferença significativa entre os tratamentos, portanto a mistura de partículas influenciou essa propriedade.

Os painéis manufaturados com 100% de partículas de bambu (Tabela 46) evidenciaram o maior valor médio, correspondente a 0,77 MPa. Nota-se que a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar causou uma redução dos valores desta propriedade, indicando baixa qualidade de colagem para os colchões de maior razão de compactação. Os painéis compostos com proporções de 50 e 75% de partículas de bagaço de cana foram estatisticamente iguais (tratamentos T11 e T12). As chapas aglomeradas, constituídas apenas com partículas de bagaço de cana, apresentaram valor médio de 0,15 MPa. Esse fato pode ser explicado pela geometria das partículas de bambu, que são mais curtas e espessas, por isso receberam maiores quantidades de adesivo e apresentaram melhor qualidade de colagem. Tal observação é compatível com a colocação de Vital et al. (1992), que afirmam que partículas mais espessas melhoram a adesão interna.

Iwakiri (1989) avaliou as propriedades de painéis manufaturados com diferentes espécies de madeira e verificou que na maioria das situações, as chapas que possuíam baixa razão de compactação tiveram maior resistência na ligação interna. Esse fato foi justificado em função da redução na distribuição do adesivo nas chapas constituídas com maior razão de compactação e, portanto, maior quantidade de partículas.

Conforme mencionado no item anterior, os perfis de densidade vertical mais pronunciados nas faces dos painéis manufaturados com maiores quantidades de partículas de bagaço de cana possuem menor massa específica no miolo, o que contribui para valores mais baixos de ligação interna (*vide* item 5.3.9).

Arruda (2009) e Morais et al. (2015) conduziram experimentos com painéis aglomerados de bambu e Pinus e observaram que as chapas que possuíam menor inchamento em espessura possuíam um contato mais próximo entre as partículas, resultando em melhor qualidade de colagem. Essa tendência também foi observada no presente trabalho, pois os painéis constituídos exclusivamente com partículas de bambu também evidenciaram menor inchamento e melhor adesão entre as partículas.

Ainda de acordo com a Tabela 46, verifica-se que os painéis manufaturados com 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço obtiveram valor médio de 0,36 MPa, resultado considerado satisfatório, pois atende a exigência da NBR 14810 (ABNT, 2013), que estipula 0,35 MPa como valor mínimo para ligação interna.

5.3.9 Perfil de Densidade

Os valores da massa específica aparente das camadas externa e central dos painéis aglomerados do Experimento III determinados pela metodologia de densitometria de raio X estão apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 - Valores médios da massa específica da camada externa e da camada central dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	Camada externa (kg.m ⁻³)	Camada central (kg.m ⁻³)
T9	658,92 a (9,07)	639,84 b (13,10)
T10	679,43 ab (3,73)	643,05 b (1,40)
T11	678,07 ab (16,97)	626,83 b (15,42)
T12	706,44 b (17,51)	602,80 ab (6,99)
T13	682,22 ab (28,58)	567,61 a (26,18)
Média	681,00	616,03
CV(%)	2,55	2,46

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Conforme as análises de variância efetuadas para as massas específicas do perfil de densidade (ANEXO Y, Tabelas 118 e 119), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos.

De acordo com os dados descritos na Tabela 47, verifica-se que a massa específica da camada externa dos painéis dos tratamentos T10, T11, T12 e T13 foram estatisticamente iguais entre si. Nota-se que na medida em que se acrescentou partículas de bagaço na composição dos painéis houve uma tendência de aumento de valores para estes tratamentos. Supõe-se que o

maior volume de partículas de bagaço de cana, que foi utilizado para formar o colchão, foi mais compactado, preenchendo espaços vazios e resultando em boa densificação da camada externa, além do índice de esbeltez mais elevado dessas partículas.

Em relação a massa específica da camada central (Tabela 47), observou-se que os tratamentos T9, T10, T11 e T12 foram estatisticamente equivalentes. Houve igualdade estatística para os tratamentos T12 e T13, demonstrando que a maior quantidade de partículas de bagaço de cana, reduz a massa específica da camada central do painel, tornando os picos do perfil de densidade da camada externa mais acentuados.

Belini (2012) trabalhou com painéis de fibras de eucalipto e bagaço de cana utilizando 5 proporções de partículas (0, 25, 50, 75 e 100%) e 14% de resina a base de UF. O autor observou uma tendência de redução nos valores de massa específica aparente máxima, média e mínima, na medida em que foram acrescentadas partículas de bagaço de cana.

Os perfis de densidade aparente dos painéis obtidos pelo método de densitometria de raio X para cada tratamento encontram-se na Figura 25.

Segundo Roffi et al. (2013), painéis fabricados com materiais de densidade básica mais elevada podem evidenciar uma pequena diferença entre os valores da massa específica das faces e do miolo quando comparados ao material de menor massa específica. Essa situação pode ser verificada nos painéis constituídos com partículas de bambu, que evidenciaram pequena diferença entre os valores da face e do miolo (Figura 25A), enquanto os painéis constituídos com bagaço de cana formaram picos mais acentuados nas faces, quando comparadas com a região central dos painéis (Figura 25E).

A massa específica mais elevada na face da chapa garante maior resistência à flexão estática, ignição e propagação de chamas, além de conferir melhorias na estabilidade dimensional dos painéis (KOLLMANN et al., 1975). As chapas constituídas com mistura de partículas (Figuras 25B, 25C e 25D) evidenciaram picos mais acentuados na camada externa, indicativos de regiões de maior resistência no painel. Esse fato está relacionado com o aumento significativo observado para o módulo de ruptura e tendência de aumento dos valores do módulo de elasticidade (*vide* item 5.3.6), além do arrancamento de parafuso de superfície (*vide* item 5.3.7). O decréscimo dos valores observados para a camada central dos painéis com o aumento na razão de compactação explica os resultados obtidos para as propriedades de APT (*vide* item 5.3.7) e LI (*vide* item 5.3.8).

Figura 25 - Perfis de massa específica aparente ao longo da espessura dos painéis aglomerados: (A) 100% de partículas de bambu; (B) 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; (C) 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; (D) 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; (E) 100% de partículas de bagaço de cana

5.3.10 Ângulo de contato

Os valores dos ângulos de contato dos painéis de cada tratamento do Experimento III utilizando água e etilenoglicol estão apresentados na Tabela 48. De acordo com os dados descritos na Tabela, nota-se que os ângulos obtidos com água foram maiores que os obtidos com etilenoglicol.

Tabela 48 - Valores médios dos ângulos de contato obtidos com solventes (água e etilenoglicol) nos tempos iniciais e finais para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	α° (inicial água)	α° (final água)	α° (inicial EG)	α° (final EG)
T9	105,26 a (2,65)	64,98 a (13,28)	101,79 a (2,44)	67,61 a (5,45)
T10	108,80 ab (0,58)	83,59 ab (4,32)	105,42 ab (4,09)	81,69 ab (16,59)
T11	116,73 b (1,60)	89,21 bc (11,40)	121,68 b (4,41)	95,62 b (7,25)
T12	116,75 b (6,47)	112,84 c (7,73)	116,44 ab (1,04)	96,65 b (7,08)
T13	119,92 b (6,07)	104,86 bc (2,73)	113,65 ab (12,08)	102,26 b (4,81)
Média Geral	113,49	91,10	111,80	88,77
CV (%)	3,71	9,72	5,50	10,46

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parênteses representam o desvio padrão

De acordo com a classificação de Myers (1999), os valores médios dos ângulos iniciais obtidos com água e etilenoglicol (Tabela 48) permitem classificar a superfície das chapas de todos os tratamentos avaliados como “não molhante”, pois foram superiores a 90° . Os valores obtidos para os ângulos finais dos tratamentos T9 e T10 caracterizam a superfície como “parcialmente molhante”, pois os valores foram obtidos entre 30 e 89° . Os painéis dos tratamentos T11, T12 e T13, constituídos com maiores porcentagens de partículas de bagaço de cana evidenciaram maiores valores dos ângulos de contato e podem ser inclusos na categoria “não molhante”.

Em relação aos ângulos iniciais obtidos com etilenoglicol (Tabela 48), os painéis de todos os tratamentos podem ser inclusos na categoria “não molhante”. Em relação aos ângulos finais a superfície dos painéis dos tratamentos T9 e T10 pode ser classificada como “parcialmente molhante” e dos painéis dos tratamentos T11, T12 e T13 pode ser classificada como “não molhante”.

De acordo com as análises de variância efetuadas para os ângulos de contato (inicial/final) obtidos com água e etilenoglicol (ANEXO Z, Tabelas 120, 121, 122 e 123), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação aos ângulos iniciais obtidos com água (Tabela 48), verifica-se que os tratamentos T10, T11, T12 e T13 dos painéis contendo partículas de bagaço de cana na sua composição apresentaram maiores valores de ângulos de contato e foram estatisticamente iguais. Verificou-se que o aumento da razão de compactação dos painéis proporcionou o aumento dos valores dos ângulos de contato, dificultando a molhabilidade das chapas. Em relação aos ângulos finais obtidos com água (Tabela 48), verificou-se o mesmo comportamento de redução da molhabilidade dos painéis com o aumento da razão de compactação. Ressalta-se

que o aumento da massa específica na superfície dos painéis, com a adição das partículas de bagaço de cana pode ter influenciado nos resultados. Os painéis dos tratamentos com maiores quantidades de partículas de bagaço de cana (T11, T12 e T13) foram estatisticamente iguais.

Observou-se que os ângulos iniciais e finais obtidos com etilenoglicol (Tabela 48) aumentaram com o acréscimo dos valores na razão de compactação. Nas duas situações os tratamentos T10, T11, T12 e T13 foram estatisticamente iguais entre si.

Os menores valores dos ângulos de contato observados nos painéis de menor razão de compactação podem ter sido influenciados pela maior rugosidade na superfície das chapas, em função da trituração dos cavacos em moinho. Isso resultou em aspereza da superfície devido ao arrefiamento das partículas, além de maiores quantidades de espaços vazios no colchão e ausência da casca dos colmos do bambu, que contribuiu com a impermeabilidade do painel.

Em contrapartida, na medida em que se acrescentou partículas de bagaço de cana houve aumento dos valores dos ângulos de contato, indicando que a adição destas partículas forneceu condições para o equilíbrio da gota, tornando a superfície mais impermeável. Ressalta-se que o perfil de densidade dos painéis (*vide* item 5.3.9) constituídos com maiores porcentagens de bagaço de cana evidenciaram picos mais acentuados nas faces indicando maior adensamento das chapas em função da maior quantidade de partículas de bagaço de cana, proporcionando menor grau de molhabilidade.

Nas Figuras 26 e 27 estão representadas as variações angulares em função do tempo nas superfícies das amostras dos painéis. De acordo com as Figuras 26A e 26B, verifica-se que os painéis constituídos com 100 e 75% de partículas de bambu evidenciaram curvas de decréscimo, que indicam um aumento na molhabilidade da superfície dos painéis ao longo do tempo. Com o aumento da razão de compactação, observou-se uma redução nas curvas de decréscimo referentes aos ângulos de contato nos demais tratamentos (Figuras 26C, 26D e 26E) evidenciando uma superfície mais impermeável. Situação semelhante foi observada para as amostras testadas com etilenoglicol (Figura 27).

Figura 26 – Evolução dos ângulos obtidos com água, em função tempo: (A) 100% de partículas de bambu; (B) 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; (C) 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; (D) 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; (E) 100% de partículas de bagaço de cana

Figura 27 – Evolução dos ângulos obtidos com etilenoglicol, em função do tempo: (A) 100% de partículas de bambu; (B) 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; (C) 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; (D) 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; (E) 100% de partículas de bagaço de cana

5.3.11 Resistência natural

Os valores médios da perda de massa e as respectivas classes de resistência dos painéis aglomerados de bagaço de cana e bambu submetidos ao ataque dos fungos *P. placenta*, *T. versicolor* e *G. trabeum* estão descritos na Tabela 49.

Tabela 49 - Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados expostos aos fungos *P. placenta*, *G. trabeum* e *T. versicolor* e respectivas classes de resistência para cada tratamento do Experimento III

Tratamentos	Fungos Xilófagos					
	<i>P. placenta</i> (Podridão parda)		<i>G. trabeum</i> (Podridão parda)		<i>T. versicolor</i> (Podridão branca)	
	¹ PM (%)	² CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR
T9	1,16 a (0,28)	³ MR	9,55 a (1,54)	MR	26,22 a (2,96)	RM
T10	4,43 a (1,10)	MR	22,34 b(3,27)	R	31,34 a (1,04)	RM
T11	21,81 b (3,32)	⁴ R	26,81bc (6,16)	⁵ RM	31,41 a (3,64)	RM
T12	24,00 b (2,87)	R	32,29 c (1,24)	RM	25,00 a (1,21)	RM
T13	23,67 b (6,64)	R	32,08 c (3,33)	RM	24,00 a (6,92)	R
Média geral	15,01	-	24,61	-	27,59	
CV (%)	12,34		8,04		8,01	

T9 - 100% de partículas de bambu; T10 - 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana; T11 - 50% de partículas de bambu e 50% de partículas de bagaço de cana; T12 - 25% de partículas de bambu e 75% de partículas de bagaço de cana; T13 - 100% de partículas de bagaço de cana

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

¹Perda de massa; ²Classe de resistência; ³MR: Muito Resistente; ⁴Resistente; ⁵Resistência Moderada

Verificou-se que o fungo *P. placenta* causou menores perdas de massa nos painéis aglomerados, enquanto o *T. versicolor* foi responsável pelas maiores perdas (Tabela 49). Os painéis referentes aos tratamentos T9 e T10, submetidos ao ataque do *P. placenta* podem ser inclusos na categoria “muito resistente”, pois a perda de massa ocorreu na faixa entre 0 e 10% conforme estabelecido pela ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Os painéis dos tratamentos T11, T12 e T13 foram classificados como “resistentes”, pois os percentuais de perda de massa situaram-se na faixa entre 11 e 24%.

Ainda de acordo com a Tabela 49, verificou-se que os painéis constituídos apenas com partículas de bambu submetidos ao ataque do fungo *G. Trabeum* foram classificados como “muito resistentes”, pois tiveram percentuais de perda de massa abaixo de 10%. Os painéis do tratamento T10 foram classificados como “resistentes” e os demais tratamentos, T11, T12 e T13, podem ser inclusos na classe “resistência moderada”. Em relação ao *T. versicolor*, os painéis dos tratamentos T9, T10, T11 e T12 foram inclusos na classe “resistência moderada” e os painéis do tratamento T13 foram classificados como “resistentes”.

Os painéis manufaturados com 100 e 75% de partículas de bambu apresentaram os menores percentuais de perda de massa para os fungos de podridão parda (*P. placenta* e *G. trabeum*). Segundo Richter e Burger (1978), a presença de algumas substâncias especiais nas células (sílica, alcalóides e taninos) aumentam a resistência natural em função da ação tóxica que normalmente possuem em relação aos organismos xilófagos. A quantidade de sílica presente no bambu varia em quantidades de 0,4 a 5,0% nos colmos (LIESE, 1985). De acordo com Souza et al. (2009) a dureza que os silicatos possuem confere propriedades à madeira que

diminuem o ataque dos fungos. Esses compostos podem causar a dessecação das hifas, pois a sílica adsorve água.

De acordo com as análises de variância efetuadas para a resistência natural (ANEXO AA, Tabela 124, 125 e 126), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fungos *P. placenta* e *G. trabeum*, mas não houve para o *T. versicolor*.

Ao analisar o fungo *P. placenta* (Tabela 49), observou-se que os painéis dos tratamentos T9 e T10 são estatisticamente equivalentes e os tratamentos T11, T12 e T13 não diferiram estatisticamente entre si. Verificou-se para o fungo *G. Trabeum* que o tratamento T9, constituído por painéis fabricados exclusivamente com partículas de bambu e com menor razão de compactação, diferiu dos demais e evidenciou menor média de perda de massa. Os tratamentos T10 e T11 foram estatisticamente iguais entre si e os tratamentos com maiores proporções de bagaço de cana (T11, T12 e T13) não diferiram entre si e evidenciaram as maiores médias de perda de massa.

Para os fungos de podridão parda verificou-se que na medida em que foi aumentada a razão de compactação com a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, a degradação dos painéis foi maior. Esse fato pode ser explicado em função da redução dos espaços vazios nas chapas, que facilitou a translocação das enzimas pelo painel, propiciando mais caminhos contínuos para difusão das enzimas. Houve mudança na classe de resistência. Para o *P. placenta* os painéis dos tratamentos T9 e T10, classificados como “muito resistentes”, foram incluídos na categoria “resistente” com o aumento na razão de compactação das chapas (tratamentos T11, T12 e T13). Os painéis com menor razão de compactação, submetidos ao ataque do *G. trabeum*, foram incluídos na classe “muito resistente”. Com o acréscimo de 25% de partículas de bagaço de cana-de-açúcar na composição dos painéis a perda de massa aumentou e estes foram classificados como “resistentes”. Com o aumento na razão de compactação (T11, T12 e T13) os painéis foram incluídos na categoria “resistência moderada”.

Os tratamentos submetidos ao ataque do *T. versicolor* (Tabela 49) não apresentaram diferença estatística entre si, ou seja, não foram influenciados pela mistura de partículas. Os altos índices de perda de massa observados para o *T. versicolor* podem ser explicados em função do ataque indistinto a todos os constituintes do material lignocelulósico. Em contrapartida, houve mudança na classe de resistência dos painéis, de modo que os mesmos passaram da categoria de “resistência moderada” nos tratamentos T9, T10, T11 e T12 para “resistente” no tratamento T13.

5.4 Experimento IV: painéis de partículas termorretificadas e diferentes teores de adesivo

5.4.1 Umidade de equilíbrio e alteração na cor das partículas

Os valores médios do teor de umidade das partículas controle e termorretificadas estão descritos na Tabela 50.

Tabela 50 - Valores médios do teor de umidade de equilíbrio das partículas de bagaço de cana e bambu

Partículas	Umidade de equilíbrio (%)
Bagaço de cana controle	10,82 c (0,40)
Bagaço de cana termorretificado	6,94 a (0,38)
Bambu controle	10,18 c (0,34)
Bambu termorretificado	8,92 b (0,28)
Média Geral	9,21
CV (%)	5,17

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio-padrão

De acordo com a análise de variância efetuada para o teor de umidade de equilíbrio higroscópico (Anexo AB, Tabela 127), foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos, demonstrando que a termorretificação reduziu a higroscopicidade das partículas.

De acordo com os dados da Tabela 50, verificou-se que os valores médios do teor de umidade de equilíbrio higroscópico das partículas controle foram maiores em relação às partículas termorretificadas. Notou-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos, em relação ao material controle, mas houve diferença significativa para as partículas (bagaço de cana e bambu) submetidas ao tratamento térmico. Após o tratamento térmico, as partículas de bagaço de cana tiveram uma redução equivalente a 35,86% na umidade de equilíbrio e o bambu evidenciou uma taxa de redução equivalente a 12,38%.

Mendes (2010) avaliou o teor de umidade de partículas “strand” submetidas a duas temperaturas de tratamento (200 e 240 °C). Verificou que as partículas tratadas a 200°C apresentaram uma redução significativa equivalente a 25,6% e para temperatura de 240°C a redução foi equivalente a 49,1% em relação as partículas controle. Andrade (2013) termorretificou partículas utilizando três temperaturas (180, 200 e 220°C) e obteve reduções significativas correspondentes a 49,58, 56,87 e 67,87% em relação as partículas controle.

Quando o material é submetido ao tratamento térmico, ocorre redução na sua higroscopicidade (ARAÚJO et al., 2012). As partículas de bagaço de cana-de-açúcar possuem maior área superficial específica que o bambu e, portanto, possuem maiores quantidades de

sítios de sorção (grupamentos hidroxílicos) disponíveis para fazer ligações com as moléculas de água. A degradação química das partículas, provavelmente influenciou na massa específica do material. O bagaço de cana possui massa específica de $0,090 \text{ g.cm}^{-3}$ e o bambu $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$. Esse fato pode indicar que ocorre maior degradabilidade para as partículas de bagaço de cana e com maiores perdas de massa, e consequentemente menor umidade de equilíbrio.

De acordo com Surini et al. (2012), o tratamento térmico provoca alterações na estrutura do material, que reduz o teor de umidade de equilíbrio pela degradação dos componentes químicos e formação de ligação cruzada da lignina que afeta a adsorção de água. Andrade (2013) afirma que a diminuição na umidade de equilíbrio das partículas proporciona a fabricação de chapas com estabilidade dimensional mais elevada. Porém, a degradação dos grupamentos OH (hidrofílicos) pode dificultar a ação do adesivo na consolidação da chapa, pois a adesão química resulta do contato entre os grupos hidroxílicos do material lignocelulósico e as moléculas da resina.

Após o tratamento térmico verificou-se que as partículas adquiriram uma coloração mais escura, em função das possíveis modificações ocorridas na estrutura dos materiais avaliados (Figura 28). Segundo Ahajji et al. (2009) a mudança de coloração resulta da modificação química dos grupos cromóforos, responsáveis pela caracterização da cor do material.

Figura 28 - Coloração das partículas antes e após o tratamento térmico

5.4.2 Massa específica aparente e teor de umidade dos painéis

Os valores médios da massa específica aparente e do teor de umidade dos painéis aglomerados constituídos com partículas controle (encoladas com 10% de adesivo) e

termorretificadas (encoladas com 10, 12 e 14% de adesivo), misturadas nas proporções de 25% de bagaço de cana-de-açúcar e de 75% de bambu, estão descritos na Tabela 51.

Tabela 51 - Valores médios de massa específica aparente (MEA) e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	MEA (g.cm⁻³)	Teor de Umidade (%)
T10	0,59 a (0,01)	7,71 (1,91)
T14	0,58 a (0,01)	7,73 (1,91)
T15	0,60 a (0,01)	7,50 (1,86)
T16	0,60 a (0,01)	7,57 (1,88)
Média Geral	0,59	7,63
CV (%)	1,89	1,56

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica dos painéis (ANEXO AC, Tabela 128), verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, indicando que o tratamento térmico e os teores de adesivo não influenciaram a MEA.

De acordo com os dados da Tabela 51, verificou-se a mesma tendência de redução da massa específica observada nos experimentos anteriores em relação à densidade nominal calculada (0,65 g.cm⁻³). Valem para esse caso as mesmas justificativas já expostas anteriormente. Outros pesquisadores que trabalharam com o acréscimo do teor de adesivo em chapas também não observaram incremento na massa específica tais como Bianche (2009), Santos et al. (2009), Colli et al. (2010) e Surdi (2015). Os painéis podem ser incluídos na categoria de “média densidade” (NBR 14810; ABNT, 2013).

As médias referentes aos teores de umidade estão de acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2013), que preconiza um teor de umidade entre 5 e 11% para comercialização dos painéis aglomerados.

5.4.3 Absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão

Os valores médios de absorção de água dos painéis após 2 horas (AA2h) e 24 horas (AA24h) de imersão em água encontram-se na Tabela 52. De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h do presente estudo (ANEXO AD, Tabelas

129 e 130, respectivamente), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 52 - Valores médios de absorção de água em 2 h e 24 horas de imersão dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	AA2h (%)	AA24 h (%)
T10	69,45 c (5,40)	94,28 c (0,42)
T14	20,79 b (3,04)	75,18 b (1,33)
T15	10,97 a (1,30)	45,32 a (0,89)
T16	11,29 a (1,19)	43,76 a (3,39)
Média Geral	28,12	63,79
CV (%)	11,45	2,02

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Observou-se que os painéis constituídos com partículas controle obtiveram maiores médias, diferindo estatisticamente dos demais para ambas as variáveis (Tabela 52). Os tratamentos T10 e T14 foram constituídos com partículas coladas com o mesmo teor de adesivo, porém os painéis do tratamento T10 foram constituídos com partículas controle e os painéis do tratamento T14 foram manufaturados com partículas termorretificadas. Neste caso, a redução de AA2h foi de 70,06% e de AA24h de 20,26%, ambas devidas exclusivamente ao tratamento térmico.

Mendes (2010) avaliou o efeito do tratamento térmico das partículas “strand” utilizando temperaturas de 200 e 240°C. O autor verificou que a temperatura de 240°C proporcionava uma redução significativa na taxa de absorção de água. O autor observou reduções equivalentes a 25% para AA2h e 36% para AA24h, comprovando a influência positiva do tratamento térmico das partículas.

Em relação a AA2h (Tabela 52), verificou-se que os painéis constituídos com partículas termorretificadas e coladas com 10% de adesivo evidenciaram maior taxa de absorção de água em relação aos painéis confeccionados com teores de 12 e 14% de adesivo. O aumento nos teores de adesivo proporcionou uma redução média de 46,70% na taxa de absorção de água, em relação aos painéis constituídos com teor 10% de adesivo. Os painéis dos tratamentos T15 e T16 apresentaram as menores taxas de absorção e não diferiram entre si. Isso pode ser explicado em função da maior quantidade de adesivo aplicada sobre as partículas que proporciona melhor impermeabilização das superfícies, reduzindo a taxa de absorção de água.

Em relação a AA24h (Tabela 52), observou-se que os painéis dos tratamentos T15 e T16 foram estatisticamente iguais. O aumento nos teores de adesivo proporcionou uma redução média de 41,00% na taxa de absorção de água, em relação aos painéis constituídos com teor de 10% de adesivo. Para essa variável, observou-se praticamente a mesma tendência da AA2h, pois o aumento no teor de adesivo influenciou de forma positiva e reduziu as taxas de absorção de água.

Dacosta (2004) avaliou a qualidade de chapas aglomeradas fabricadas com resíduos de *Pinus elliottii* adotando duas densidades e três teores de adesivo UF (4, 8 e 12 %). A autora verificou que a maior redução na taxa de absorção de água foi atingida para o teor de 12%. Mendes et al. (2012) avaliaram o efeito da associação de bagaço de cana, tipo e teor de adesivo nas propriedades de painéis aglomerados com madeira de *Pinus* spp. Foram testados três teores de adesivo (6, 9 e 12%) e os autores observaram que o aumento dos teores favoreceu a redução da absorção de água.

Pedrazzi et al. (2006) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados fabricados com resíduos de *Eucalyptus saligna* utilizando três densidades e três proporções de adesivo à base de UF (4, 8 e 12%). Os autores observaram que quanto maior o teor de adesivo, menor a absorção de água.

Surdi (2015) avaliou painéis aglomerados constituídos com resíduos, gerados pelo processamento mecânico de madeiras amazônicas, testando dois teores de adesivo (8 e 11%). A autora concluiu que o teor de 11% conferiu menores taxas de absorção em ambos os tempos de imersão (2 e 24 horas) dos painéis aglomerados.

Santos et al. (2009) conduziram um experimento com chapas aglomeradas e observaram de modo geral, que os painéis constituídos com 12% de adesivo evidenciaram menores taxas de absorção de água em relação aos painéis fabricados com menor teor de adesivo (8%) para ambos os tempos de imersão. Segundo os pesquisadores houve uma maior impermeabilização das superfícies, reduzindo a taxa de absorção de água.

A diminuição da absorção com o aumento do teor da resina é explicada pelo recobrimento das partículas, que passam a ter melhor qualidade de colagem e dificulta o acesso da água aos sítios de sorção reduzindo a ligação com as moléculas de água (MENDES et al., 2012).

5.4.4. Inchamento em espessura e taxa de não-retorno em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis após duas horas (IE2h) e vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h), bem como taxa de não-retorno em espessura (TNRE) para cada tratamento estão descritos na Tabela 53.

Tabela 53 - Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água e taxa de não-retorno em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	IE2h (%)	IE24h (%)	TNRE (%)
T10	13,85 c (0,75)	17,39 c (0,62)	9,55 c (0,37)
T14	4,14 b (0,38)	14,16 b (0,76)	9,28 c (0,69)
T15	2,60 a (0,10)	5,32 a (0,74)	5,19 b (0,17)
T16	2,19 a (0,11)	4,53 a (0,84)	3,46 a (0,20)
Média Geral	5,69	10,35	6,87
CV (%)	7,56	5,94	6,01

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis IE2h, IE24H e TNRE (ANEXO AE, Tabelas 131, 132 e 133 respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos em todos os casos analisados.

Em relação ao IE2h (Tabela 53), observou-se que os painéis constituídos com partículas controle obtiveram média de 13,85%, porém os que foram fabricados com partículas termorretificadas e mesmo teor de adesivo evidenciaram 4,14% como valor médio, ou seja, o tratamento térmico proporcionou uma redução no inchamento equivalente a 70,11%. Para o IE24h, verificou-se que os painéis constituídos com partículas controle evidenciaram valor médio de inchamento de 17,39%. Após o tratamento térmico observou-se uma redução no inchamento equivalente a 8,57%.

Mendes (2010) observou reduções no IE2h e IE24h oriundas do tratamento térmico. Os painéis constituídos com partículas “strand” tratados a 240°C evidenciaram redução no IE2h correspondente a 58,9% e para o IE24h a redução foi de 50,0% em relação aos painéis controle.

Segundo Andrade (2013) partículas submetidas à termorretificação apresentam menor inchamento, em função da diminuição dos grupamentos de OH disponíveis para adsorção da água nos constituintes da parede celular.

Ainda de acordo com a Tabela 53, observou-se para o IE2h que o aumento dos teores de adesivo (12 e 14%) nos painéis dos tratamentos T15 e T16 causou uma redução maior dessa

propriedade, correspondente a 42%, em relação ao tratamento T14. Esses tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, mas, diferiram dos demais, e evidenciaram os melhores resultados. Observou-se o mesmo comportamento para o IE24h. Os painéis dos tratamentos T15 e T16 com teores de 12 e 14% de adesivo não diferiram entre si, mas diferiram significativamente dos demais e evidenciaram as menores médias de inchamento.

Albuquerque (2002) trabalhou com dois teores de adesivo à base de UF (8 e 12%) e observou que o aumento do teor de resina diminuiu o inchamento dos painéis. O autor afirmou que a saturação dos painéis pode não ter sido atingida, o que evidenciaria o efeito da resina em dificultar o contato da água com as partículas, retardando e reduzindo os índices de inchamento em espessura. Outros pesquisadores como Dacosta (2004), Pedrazzi et al. (2006), Mendes et al. (2012), Colli et al. (2010) e Surdi (2015) observaram a mesma tendência de redução do inchamento com o aumento no teor de adesivo.

A NBR 14810 (ABNT, 2013) não estipula valores para o IE2h, apenas para o IE24h e permite uma porcentagem máxima de 18%. Dessa forma, todos os painéis avaliados se enquadram nessa norma e são aptos para utilização em locais de uso interno em condições secas (tipo 2).

Verificou-se que a TNRE variou entre 3,46 e 9,55%, respectivamente (Tabela 52). Os painéis constituídos com partículas controle apresentaram média de 9,55% não diferindo estatisticamente dos painéis constituídos com partículas termorretificadas encoladas com 10% de adesivo. Como não foi observada diferença significativa, isso permite afirmar que o tratamento térmico das partículas não exerceu influência na TNRE dos painéis, considerando o mesmo teor de adesivo.

Os tratamentos T15 e T16 evidenciaram as melhores médias decorrentes dos maiores teores de adesivo utilizados na composição das chapas com reduções equivalentes a 44,07 e 62,72%, comparados ao tratamento T14. Presume-se que o maior teor de adesivo resultou em melhor adesão das partículas evitando a liberação de maiores tensões de compressão impostas no processo de prensagem.

De acordo com Mendes et al. (2003), o aumento da disponibilidade de adesivo por área superficial das partículas promove melhor ligação entre as mesmas e consequentemente melhora propriedades como IE24h e TNRE.

5.4.5 Flexão estática

Os valores médios para o módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) a flexão estática para cada tratamento estão apresentados na Tabela 54.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MoR e MoE dos painéis aglomerados (ANEXO AF, Tabelas 134 e 135, respectivamente), verificou-se que para ambas as propriedades houve diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando que tanto o tratamento térmico como o aumento no teor de adesivo influenciaram nos resultados.

Tabela 54 - Valores médios do módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) a flexão estática dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	MoR (MPa)	MoE (MPa)
T10	7,54 c (0,21)	994,75 b (51,37)
T14	2,47 a (0,60)	416,72 a (59,41)
T15	4,27 b (0,41)	752,26 b (45,83)
T16	5,95 b (0,71)	924,28 b (23,83)
Média Geral	5,06	772,00
CV (%)	10,23	16,25

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

De acordo com a Tabela 54, observa-se que os painéis constituídos com partículas controle tiveram como valor médio 7,54 MPa. Com o tratamento térmico das partículas, observou-se uma redução significativa, correspondente a 67,24%. Em relação ao módulo de elasticidade, observou-se que os painéis constituídos com partículas controle apresentaram um valor médio de 994,75 MPa, com o tratamento térmico (tratamento T14) houve uma redução significativa equivalente a 58,00%. Provavelmente essa redução decorrente do tratamento térmico causou a degradação de alguns constituintes químicos das partículas (perda de massa) e consequentemente baixa resistência mecânica das chapas.

Mendes (2010) avaliou o efeito do tratamento térmico nas temperaturas de 200 e 240°C e observou que os painéis evidenciaram uma redução significativa para o MoR perpendicular, correspondente a 48,8 e 37,2%, em relação aos painéis controle. Para o MoE paralelo a redução significativa correspondeu a 30,9 e 26,4%, em relação aos painéis controle.

Em relação ao aumento nos teores de adesivo, observou-se para o MoR (Tabela 54) que os tratamentos T15 e T16 não diferiram estatisticamente entre si, porém quando comparados com o tratamento T14 observou-se um incremento nas médias. Em relação ao módulo de

elasticidade, verifica-se que na medida em que os teores de adesivo foram aumentados para 12% e 14% houve um acréscimo significativo nas médias, em relação ao tratamento T14, porém não diferiram estatisticamente dos painéis do tratamento T10. Observou-se que a utilização de maiores teores de adesivo conferiu maiores valores de resistência aos painéis.

Essa tendência também foi observada por outros pesquisadores. Iwakiri et al. (2000) conduziram um experimento com painéis aglomerados de eucalipto testando dois teores de adesivo a base de UF (8 e 12%) e encontraram diferenças significativas para o módulo de ruptura, sendo que os melhores resultados foram obtidos para o maior teor de adesivo. Não foram observadas diferenças significativas para o módulo de elasticidade. Colli et al. (2010) notaram que o aumento no teor de adesivo proporcionou melhorias nas propriedades de resistência dos painéis.

Ayilimis et al. (2012) conduziram um experimento com painéis aglomerados constituídos com casca de arroz e madeira testando três teores de adesivo (8, 10 e 12%) e obtiveram resultados mais satisfatórios para o módulo de ruptura nas chapas confeccionadas com 12% de adesivo, entretanto não foi observada diferença para o MoE. Iwakiri et al. (2004) avaliaram o comportamento de chapas fabricadas com madeira de *Grevílea robusta* testando dois teores de adesivo a base de UF (6 e 8%) e observaram tendências de aumento para ambas as propriedades.

A NBR 14810 (ABNT, 2013) estipula valores mínimos para o MoR e MoE, 11 MPa e 1.600 MPa, respectivamente. Com base nos dados da Tabela 54, verifica-se que nenhum dos tratamentos avaliados estão em conformidade com os valores mínimos requeridos pela norma citada.

5.4.6 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de arrancamento de parafuso de superfície (APS) e de topo (APT) estão apresentados na Tabela 55.

De acordo com as análises de variância realizadas para as variáveis APS e APT dos painéis aglomerados (ANEXO AG, Tabelas 136 e 137, respectivamente), verificou-se que para ambas propriedades houve diferença significativa entre os tratamentos.

De acordo com os dados da Tabela 55, verifica-se que os resultados do APS e do APT foram influenciados pelo tratamento térmico realizado nas partículas, o que reduziu a resistência das chapas comparando-os com painéis dos tratamentos T10 e T14. Em relação ao

APS houve uma redução correspondente a 52,66% e para o APT essa redução foi de 38,82%, ambas oriundas do tratamento térmico das partículas. Conforme citado anteriormente, a redução ocasionada pela termorretificação degradou alguns constituintes químicos das partículas, resultando em perda de massa e, conseqüentemente, baixa resistência mecânica em relação ao arranque de parafusos.

Tabela 55 - Valores médios de arrancamento de parafuso de superfície e de topo dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	APS (N)	APT (N)
T10	711,39 a (37,24)	561,18 a (72,85)
T14	336,79 c (45,93)	343,33 b (57,17)
T15	487,90 b (36,07)	514,05 a (44,96)
T16	612,59 a (61,14)	609,01 a (39,63)
Média Geral	537,17	506,89
CV (%)	8,60	10,88

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Contudo, quando o teor de adesivo dos painéis constituídos com partículas termorretificadas é aumentado a resistência também aumenta, de modo que estes painéis tornam-se estatisticamente equivalentes com os painéis controle (Tabela 55). Em relação ao APS, verificou-se que os tratamentos T15 e T16 diferiram estatisticamente entre si, sendo que o tratamento T16 evidenciou um acréscimo significativo na média com o aumento do teor de adesivo e mostrou-se estatisticamente igual ao tratamento T10. Para o APT, verificou-se que o acréscimo nos teores de adesivo (12 e 14%) contribuiu com um aumento na resistência, igualando estatisticamente os tratamentos T15, T16 e T10, ou seja, o aumento nos teores de adesivo compensou a redução na resistência causada pelo tratamento térmico.

Alguns pesquisadores notaram um acréscimo significativo na resistência ao arrancamento de parafuso com o aumento no teor de adesivo, tais como Colli et al. (2010), Dacosta (2004) e Pedrazzi et al. (2006).

Nos padrões da antiga NBR 14810 (ABNT, 2006), que se encontrava vigente até dezembro de 2013, os valores mínimos estipulados para resistência ao arranque de parafuso de superfície eram 1.020 N e de topo, 800 N. Apenas como valores de referência, nota-se através dos dados da Tabela 55, que os painéis de todos os tratamentos desse experimento não atenderiam aos valores mínimos desta norma, considerando ambas as propriedades avaliadas.

5.4.7 Ligação interna

Os valores de ligação interna dos painéis de cada tratamento estão apresentados na Tabela 56.

Tabela 56 - Valores médios de Ligação interna dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	Ligação Interna (MPa)
T10	0,36 b (0,02)
T14	0,17 a (0,04)
T15	0,27 ab (0,05)
T16	0,33 b (0,03)
Média Geral	0,23
CV (%)	15,48

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

A análise de variância realizada para a variável ligação interna dos painéis (ANEXO AH, Tabela 138) constatou que houve diferença significativa entre os tratamentos.

De acordo com os dados da Tabela 56, verificou-se que o tratamento térmico aplicado nas partículas constituintes dos painéis do tratamento T14 causou uma redução equivalente a 52,78% na ligação interna das chapas, quando comparado com os painéis do tratamento T10.

Mendes (2010) quando avaliou painéis com partículas “strand” tratadas com temperaturas de 200 e 240°C verificou reduções equivalentes a 61,7 e 50,0%, comparando com os painéis controle. Segundo Sernek et al. (2004), essa propriedade pode ser reduzida se as chapas forem constituídas com partículas tratadas em altas temperaturas, em função da movimentação dos extrativos para a superfície e inativação parcial da mesma.

Em relação ao aumento no teor de adesivo (Tabela 56), observou-se que os painéis do tratamento T10 evidenciaram o maior valor médio e foi estatisticamente equivalente aos tratamentos T15 e T16. Dentre os painéis confeccionados com partículas termorretificadas, os que foram constituídos com 12 e 14% apresentaram o melhor desempenho. O aumento no teor de adesivo promoveu melhorias no processo de adesão das partículas, pois houve maior distribuição da resina pela área superficial específica das partículas.

Verifica-se que o aumento no teor de adesivo também melhorou a qualidade de adesão das partículas nos painéis. Situação semelhante foi observada por outros pesquisadores, como Dacosta (2004) e Pedrazzi et al. (2006) que utilizaram três teores de adesivo, sendo 4, 8 e 12%.

Os pesquisadores observaram que os maiores valores de ligação interna foram atingidos para as chapas produzidas com 12% de adesivo. Surdi (2015) avaliou a ligação interna de painéis aglomerados, utilizando dois teores de adesivo 8 e 11% e notou que a melhor média foi obtida para as chapas constituídas com teor de 11%.

O acréscimo nos teores de adesivo promove maior resistência de ligação interna, pois o aumento da disponibilidade de resina pela área superficial específica das partículas ocasiona maior adesão e, conseqüentemente, melhora a qualidade da colagem (ALBUQUERQUE, 2002; MENDES et al., 2003).

A NBR 14810 (ABNT, 2013) estipula o valor mínimo de 0,35 MPa para ligação interna, dessa forma, apenas as chapas confeccionadas com partículas controle atenderam essa exigência.

5.4.8 Perfil de densidade

Os valores médios de massa específica aparente das camadas externa e interna dos painéis aglomerados, determinados pela metodologia de densitometria de raio X, encontram-se na Tabela 57.

Tabela 57 - Valores médios da camada externa e da camada central dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	Camada externa (kg.m ⁻³)	Camada central (kg.m ⁻³)
T10	679,43 c (3,73)	643,05 b (1,41)
T14	559,50 a (16,86)	596,94 a (15,79)
T15	626,86 b (25,00)	630,02 b (11,55)
T16	657,64 bc (5,71)	619,90 ab (9,53)
Média Geral	630,85	622,48
CV (%)	2,45	1,75

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo.

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

De acordo com as análises de variância efetuadas para as massas específicas das camadas externa e interna dos painéis do presente estudo (ANEXO AI, Tabelas 139 e 140, respectivamente) verificou-se que para ambas houve diferença significativa entre os tratamentos.

De acordo com os dados da Tabela 57, verifica-se que os painéis do tratamento T14, evidenciaram um decréscimo significativo correspondente a 17,65% na massa específica

aparente da camada externa, em relação ao tratamento T10. Para a camada central a redução foi correspondente a 7,17%, após o tratamento térmico das partículas. Esse fato demonstra influências do processo de termorretificação que reduziu a massa específica aparente.

Ainda de acordo com a Tabela 57, foi verificado um acréscimo de massa específica da camada externa dos painéis dos tratamentos T15 e T16 em relação ao tratamento T14, ocasionado pelo aumento no teor de adesivo. Nota-se que o aumento para 14% no teor de adesivo conferiu um acréscimo significativo na massa específica da camada externa dos painéis que se equivaleram estatisticamente aos painéis controle. Para a camada central houve igualdade estatística entre os tratamentos T10, T15 e T16.

Os perfis de densidade dos painéis de partículas obtidos por atenuação de raio X para cada tratamento encontram-se na Figura 29.

Figura 29 - Perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados constituídos de partículas termorretificadas: (A) Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; (B) Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; (C) Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; (D) Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Observa-se que os painéis constituídos com partículas controle evidenciaram picos mais acentuados de massa específica aparente, quando comparados com painéis constituídos com partículas termorretificadas considerando o mesmo teor de adesivo. As chapas constituídas com partículas tratadas e encoladas com 10% de adesivo (Figura 29B), exibiram picos menos

acentuados em relação aos painéis constituídos com 12 e 14% de adesivo (Figura 29C e 29D). Em relação a camada central, verifica-se que os painéis constituídos com partículas termorretificadas e encoladas com 10% de adesivo (Figura 29B) evidenciaram uma região menos densa da massa específica, diferindo dos demais painéis avaliados.

Conforme comentado anteriormente, os painéis constituídos com partículas termorretificadas e encoladas com 10% de adesivo (Figura 29B) não apresentaram picos pronunciados na camada externa, o que pode ter influenciado nos baixos valores encontrados para as propriedades de resistência do MoR e MoE (*vide* item 5.4.5) e APS (*vide* item 5.4.6). Contudo, com o acréscimo no teor de adesivo os picos da camada externa se tornaram mais pronunciados e os valores dessas propriedades aumentaram. Situação semelhante foi observada para a camada central que evidenciou um pequeno aumento, que provavelmente contribuiu para melhorar o desempenho dos painéis em relação às propriedades de APT (*vide* item 5.4.6) e LI (*vide* item 5.4.7).

5.4.9 Ângulo de contato

Os valores dos ângulos de contato dos painéis de cada tratamento, obtidos com água e etilenoglicol, estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58 - Valores médios dos ângulos de contato obtidos com solventes (água e etilenoglicol) nos tempos iniciais e finais para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	α° (inicial água)	α° (final água)	α° (inicial EG)	α° (final EG)
T10	108,80 a (0,58)	83,59 a (4,32)	105,42 a (4,09)	81,69 a (16,60)
T14	123,42 a (10,94)	106,20 ab (16,09)	111,44 a (16,80)	93,51 a (12,49)
T15	132,07 a (18,53)	116,67 b (10,13)	116,04 a (7,92)	100,28 a (8,42)
T16	123,99 a (10,32)	116,28 b (5,40)	97,53 a (9,60)	85,70 a (11,94)
Média Geral	122,07	105,68	107,61	90,29
CV (%)	9,78	9,57	9,90	14,06

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

Com base na classificação de Myers (1999) e de acordo com valores dos ângulos iniciais obtidos com água e etilenoglicol (Tabela 58), a superfície dos painéis pode ser classificada como “não molhante”, pois os resultados encontrados estão acima de 89° em todos os tratamentos avaliados. Os ângulos finais, obtidos com água, permitem classificar o tratamento T10 como “parcialmente molhante”, pois o valor médio foi menor que 89° e os demais

tratamentos podem ser incluídos na categoria “não molhante”. Conforme os ângulos finais obtidos para o etilenoglicol a superfície dos painéis dos tratamentos T10 e T16 é classificada como “parcialmente molhante” e os demais tratamentos como “não molhante”.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis dos ângulos de contato (iniciais/finais) obtidos com água e etilenoglicol (ANEXO AJ, Tabelas 141, 142, 143 e 144), verificou-se que houve diferença significativa apenas para o ângulo final, obtido com água.

Observou-se uma tendência de aumento dos valores (Tabela 58) para o ângulo inicial obtido com água, indicando que as chapas constituídas com partículas termorretificadas apresentaram características hidrofóbicas e consequentemente redução de molhabilidade do material. Em relação ao ângulo final, observou-se que as chapas constituídas com partículas controle evidenciaram menor ângulo de contato, quando comparadas com os painéis constituídos com partículas termorretificadas utilizando o mesmo teor de adesivo. Os tratamentos T14, T15 e T16 foram estatisticamente iguais e evidenciaram superfícies mais hidrofóbicas.

Segundo Hakkou et al. (2005), o tratamento térmico confere aumento do ângulo de contato e a molhabilidade é reduzida, em função da diminuição dos grupamentos hidroxílicos nas partículas tratadas, o que resulta na inativação parcial da superfície. Destaca-se ainda que este tratamento pode modificar a estrutura dos componentes da parede celular, principalmente das hemiceluloses, que são mais sensíveis ocasionando redução na molhabilidade dos painéis.

Alguns produtos gerados durante o tratamento térmico, como por exemplo extrativos, podem ter migrado para a superfície das partículas e contribuído com o aumento dos valores dos ângulos de contato.

Os ângulos de contato (inicial e final) obtidos com etilenoglicol em todos os tratamentos não difeririam estatisticamente entre si. Nas Figuras 30 e 31, estão representadas as variações angulares em função do tempo nas superfícies das amostras dos painéis.

Figura 30 - Evolução dos ângulos obtidos com água, na superfície dos painéis aglomerados em função do tempo: (A) Painéis de partículas controle e encoladas com teor de 10% de adesivo; (B) Painéis de partículas termorretificadas e encoladas com teor de 10% de adesivo; (C) Painéis de partículas termorretificadas e encoladas com teor de 12% de adesivo; (D) Painéis de partículas termorretificadas e encoladas com teor de 14% de adesivo

Figura 31 - Evolução dos ângulos obtidos com etilenoglicol, em função do tempo: (A) Painéis de partículas controle e encoladas com teor de 10% de adesivo; (B) Painéis de partículas termorretificadas e encoladas com teor de 10% de adesivo; (C) Painéis de partículas termorretificadas e encoladas com teor de 12% de adesivo; (D) Painéis de partículas termorretificadas e encoladas com teor de 14% de adesivo

De acordo com as Figuras 30 e 31, verifica-se que houve uma redução nos valores dos ângulos de contato para o tratamento T10, o que indica aumento na molhabilidade da superfície dos painéis. Nos demais tratamentos observou-se uma baixa variação dos valores ao longo do tempo. Esse fato é explicado pelo tratamento térmico das partículas utilizadas na fabricação dos painéis, que aumentou a impermeabilidade do material e conferiu menor molhabilidade da superfície.

5.4.10 Resistência natural

Os valores médios da perda de massa e as respectivas classes de resistência dos painéis aglomerados constituídos com partículas controle e termorretificadas, submetidos ao ataque dos fungos apodrecedores, estão descritos na Tabela 59.

Tabela 59 - Valores médios de perda de massa dos painéis aglomerados expostos aos fungos *P. placenta*, *G. trabeum* e *T. versicolor* e respectivas classes de resistência para cada tratamento do Experimento IV

Tratamentos	Fungos Xilófagos					
	<i>P. placenta</i> (Podridão parda)		<i>G. trabeum</i> (Podridão parda)		<i>T. versicolor</i> (Podridão branca)	
	¹ PM (%)	² CR	PM (%)	CR	PM (%)	CR
T10	4,43b (1,11)	³ MR	22,34 c (3,27)	⁴ R	31,33 c (1,04)	⁵ RM
T14	1,25 a (0,43)	MR	16,32b (1,61)	R	24,57b (1,61)	R
T15	1,28 a (0,51)	MR	8,34 a (2,41)	MR	21,11 a (0,69)	R
T16	1,38 a (0,17)	MR	8,73 a (0,14)	MR	20,69 a (0,70)	R
Média geral	2,08	-	13,93	-	24,42	
CV (%)	14,39	-	8,28	-	8,31	

T10 - Painéis de partículas controle (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T14 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 10% de adesivo; T15 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 12% de adesivo; T16 - Painéis de partículas termorretificadas (25% cana, 75% bambu) encoladas com teor de 14% de adesivo

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Valores entre parênteses representam o desvio padrão

¹ Perda de massa; ²Classe de resistência; ³Muito Resistente; ⁴Resistente; ⁵Resistência Moderada

Conforme os dados da Tabela 59, verificou-se que os painéis foram “muito resistentes” (MR) ao ataque do fungo *P. placenta*, em função da perda de massa ter sido inferior a 10%, com base na ASTM D 2017 (ASTM, 2005). Os painéis confeccionados com 10% de adesivo submetidos ao *G. trabeum* foram classificados como “resistentes” e os painéis dos tratamentos T15 e T16 podem ser incluídos na categoria “muito resistente”, em função da baixa degradação das amostras. Os painéis do tratamento T10 podem ser inclusos na categoria de “resistência moderada” em relação ao ataque do fungo *T. versicolor* e todas as chapas constituídas com partículas termorretificadas foram consideradas “resistentes”.

De acordo com as análises de variância efetuadas para os fungos testados (ANEXO AK, Tabelas 145, 146 e 147) verifica-se que houve diferença significativa para os tratamentos avaliados.

De acordo com os dados da Tabela 59, verificou-se para o fungo *P. placenta*, que as chapas constituídas com partículas termorretificadas e encoladas com 10% de adesivo tiveram um decréscimo significativo na perda de massa, equivalente a 71,78%, quando comparadas aos painéis controle, conferindo-lhes maior resistência ao ataque. Contudo, essa diferença na perda de massa dos painéis não implicou em mudança de classe de resistência estabelecida pela norma adotada. Os painéis dos tratamentos T14, T15 e T16 evidenciaram redução significativa na perda de massa em relação aos painéis do tratamento controle, porém, os mesmos não diferiram estatisticamente entre si e, dessa forma, o aumento no teor de adesivo não teve influência sobre essa variável. Nestes casos, também, não houve mudança de classe de resistência, de modo que os painéis de todos esses tratamentos, inclusive os do controle, foram incluídos na classe MR da norma adotada.

Os resultados obtidos em relação a perda de massa causada para o fungo *G. trabeum* (Tabela 59) comprovaram que o tratamento térmico das partículas melhorou significativamente a resistência natural dos painéis. As chapas do tratamento T14 evidenciaram uma redução significativa na perda de massa das amostras, equivalente à 26,95%, em relação aos painéis controle. Houve ganhos na resistência natural das chapas constituídas com teores de 12% (T15) e 14% de adesivo (T16), ambos equivalentes a praticamente 50% em relação as chapas constituídas por partículas termorretificadas e encoladas com 10% de adesivo. Contudo, ambos os tratamentos (T15 e T16) não diferiram entre si. Houve mudança de classe de resistência dos painéis. As chapas fabricadas com 10% de adesivo passaram da categoria “resistente” para “muito resistente” com o acréscimo no teor de adesivo.

Em relação ao *T. versicolor* (Tabela 59) observou-se que os painéis do tratamento T14 tiveram ganho na resistência natural, equivalente a 21,58%, quando comparados aos painéis controle, resultando em alteração da classe de “resistência moderada” (T10) para “resistente” (T14). Os painéis dos tratamentos T15 e T16 diferiram significativamente dos painéis controle, mas, não difeririam entre si, e o aumento no teor de adesivo proporcionou melhoria significativa na durabilidade dos painéis, comprovada pelos menores percentuais de perda de massa e pela inclusão destes na classe “resistente”.

De forma geral, observou-se que os painéis constituídos com partículas termorretificadas tiveram um acréscimo na resistência natural em relação aos constituídos com partículas controle. De acordo com Weiland e Guyonnet (2003) esse incremento pode ter sido

decorrente da remoção de açúcares, que são reconhecidos pelos fungos como fonte de nutrição, formação de compostos orgânicos (furfural) e reticulação destes com as cadeias de lignina remanescentes. Esses fatores dificultam o reconhecimento dos componentes químicos pelo sistema enzimático dos fungos, além de formar alguns tipos de produtos tóxicos que podem funcionar como fungicidas.

Mendes et al. (2013) avaliaram a resistência natural de painéis constituídos com partículas termorretificadas e testaram dois fungos, *G. trabeum* e *T. versicolor*. Os pesquisadores observaram que os painéis fabricados com 8% de adesivo tiveram um ganho na resistência das chapas em relação aos painéis constituídos com 6%. Os autores concluíram que o aumento do teor de adesivo reduziu a porcentagem de perda de massa causada pelos fungos. Outros pesquisadores como Okino (2007), Okino et al. (2009) e Belini et al. (2014b), também observaram melhorias na resistência natural de painéis oriundas do aumento no teor de adesivo.

As chapas avaliadas tiveram maior resistência em relação ao ataque do *P. placenta* e *G. trabeum*. Em contrapartida, verificou-se menor resistência ao ataque de *T. versicolor*, pois, este é capaz de degradar todos os componentes macromoleculares do material lignocelulósico. Para todos os fungos testados verificou-se uma redução da perda de massa com o tratamento térmico adotado e os painéis submetidos aos fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* apresentaram melhorias com o aumento no teor de adesivo.

5.5 Resumo das propriedades dos painéis aglomerados

Os valores médios de todas as propriedades avaliadas para os painéis aglomerados do presente estudo, considerando todos os tratamentos adotados, bem como os valores requeridos pelas normas NBR 14810 (ABNT, 2006 e 2013), encontram-se resumidamente apresentados na Tabela 60. Os Experimentos I e II foram confrontados com os requisitos da NBR 14810 (ABNT, 2006) e os Experimentos III e IV, foram comparados com os valores estipulados pela NBR 14810 (ABNT, 2013).

Tabela 60 - Resumo dos valores médios das propriedades dos painéis de todos os tratamentos adotados no presente estudo e requisitos normativos

Tratamentos	MEA (g.cm ³)	AA2h (%)	AA24h (%)	IE2h (%)	IE24h (%)	TNRE (%)	MoR (MPa)	MoE (MPa)	APS (N)	APT (N)
T1	0,60	68,50	138,20	25,48	41,84	33,93	13,50	692,58	619,47	366,13
T2	0,59	103,52	135,77	31,06	40,91	31,63	12,87	798,64	642,36	336,71
T3	0,59	66,80	133,55	32,22	46,83	37,71	15,51	718,07	601,50	406,99
T4	0,60	97,75	139,86	35,30	47,87	37,33	13,66	849,14	513,23	333,44
T5	0,59	76,52	92,79	9,03	10,65	5,16	6,38	588,64	441,27	451,12
T6	0,58	64,78	89,58	15,49	19,49	12,45	7,41	556,25	445,54	519,77
T7	0,59	62,22	79,24	11,88	14,15	7,23	7,21	630,40	356,28	439,68
T8	0,58	63,34	84,41	16,05	18,60	13,23	7,54	553,77	505,01	531,21
T9	0,61	50,71	77,27	8,15	10,63	4,71	7,40	980,61	729,54	673,33
T10	0,60	69,45	94,28	13,85	17,39	9,55	7,41	996,70	711,39	561,18
T11	0,60	71,69	112,63	16,28	26,17	16,98	8,77	1028,13	739,34	544,76
T12	0,59	55,66	119,44	11,02	29,47	17,92	10,55	1054,15	794,20	490,82
T13	0,59	50,00	140,50	14,41	44,75	26,40	11,77	1096,57	820,73	483,22
T14	0,58	20,79	75,18	4,14	14,16	9,28	2,47	416,72	336,79	343,33
T15	0,60	10,97	45,32	2,60	5,32	5,19	4,27	752,26	487,90	514,05
T16	0,60	11,29	43,76	2,19	4,53	3,46	5,95	924,28	612,59	609,01
NBR 14810/2006	-----	-----	-----	8%	-----	-----	16	-----	1,200	800
NBR 14810/2013	-----	-----	-----	-----	18%	-----	11	1,600	-----	-----
Tratamentos	LI (MPa)	CE (Kg.m ³)	CC (Kg.m ³)	α°IA (°)	α°FA (°)	α°IE (°)	α°FE (°)	PP (%)	GT (%)	TV (%)
T1	0,23	591,76	582,43	114,12	109,73	89,63	85,70	30,09	32,97	31,18
T2	0,22	663,75	578,29	118,64	106,50	87,73	83,65	33,71	36,38	42,72
T3	0,20	599,48	590,04	117,10	108,84	88,08	82,25	33,46	27,38	29,30
T4	0,16	618,23	605,14	109,36	101,51	88,89	81,67	32,89	34,21	34,36
T5	0,62	481,81	549,73	116,52	47,96	103,92	67,42	2,48	8,29	25,66
T6	0,75	596,61	608,30	126,19	51,87	94,99	57,35	2,76	18,25	19,25
T7	0,58	489,23	558,39	114,53	79,18	100,91	60,53	2,76	8,60	26,67
T8	0,64	546,79	582,98	109,63	92,77	110,20	70,97	2,79	19,63	20,35
T9	0,77	658,92	639,84	105,26	64,98	101,79	67,61	1,16	9,55	26,22
T10	0,36	679,43	643,05	108,80	83,59	105,42	81,69	4,43	22,34	31,34
T11	0,24	678,07	626,83	116,73	89,21	121,68	95,62	21,81	26,81	31,41
T12	0,25	706,44	602,80	116,75	112,84	116,44	96,65	24,38	32,29	24,82
T13	0,15	682,22	567,61	119,92	104,86	113,65	102,26	23,67	32,08	24,09
T14	0,17	559,50	596,94	123,42	106,20	111,44	93,51	1,25	16,32	24,57
T15	0,27	626,86	630,02	132,07	116,67	116,04	100,28	1,28	8,34	21,11
T16	0,33	657,64	619,90	123,99	116,28	97,53	85,70	1,38	8,73	20,69
NBR 14810/2006	0,35	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
NBR 14810/2013	0,35	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

MEA (Massa Específica Aparente), AA2h (Absorção de Água após 2 horas), AA24h (Absorção de Água após 24 horas), IE2h (Inchamento em espessura após 2 horas), IE24h (Inchamento em espessura após 24 horas), TNRE (Taxa de Não-Retorno em Espessura), MoR (Módulo de Ruptura), MoE (Módulo de Elasticidade), APS (Arrancamento de Parafuso de Superfície), APT (Arrancamento de Parafuso de Topo), LI (Ligação Interna), CE (Camada Externa), CC (Camada Central), α°IA (Ângulo de Contato inicial obtido com água), α°FA (Ângulo de Contato final obtido com água), α°IE (Ângulo de Contato inicial obtido com etilenoglicol), α°FA (Ângulo de Contato final obtido com etilenoglicol), PP (*Postia Placenta*), GT (*Gloeophyllum trabeum*), TV (*Trametes versicolor*)

(-) A linha tracejada indica que a norma citada não dispõe requisito para a propriedade considerada

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos em cada Experimento realizado, conclui-se o seguinte:

Experimento I: Os painéis constituídos com partículas de bagaço de cana não foram influenciados pelos fatores (granulometria e condição das partículas) em relação as variáveis IE2h, IE24h, AA24h e TNRE. A propriedade de AA2h foi influenciada pelo fator condição e resultou em um aumento significativo da taxa de absorção de água dos painéis constituídos com partículas tratadas em água quente. Os fatores testados não influenciaram significativamente o MoR e o MoE dos painéis aglomerados, porém houve uma tendência de melhorias no MoE dos painéis constituídos com partículas tratadas. As propriedades de APS, APT e LI apresentaram baixo potencial de resistência, apesar da alta razão de compactação e não sofreram influências dos fatores testados. As propriedades mecânicas não atenderam os valores mínimos exigidos pela NBR 14810 (ABNT, 2006).

O perfil de densidade da camada externa dos painéis foi influenciado de forma interativa pelos fatores, sendo que a granulometria de 0,50 mm e as partículas tratadas por imersão em água quente resultaram em um perfil com picos mais acentuados nas faces dos painéis. Para os ângulos de contato que foram obtidos com água e etilenoglicol não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos e as superfícies dos painéis foram classificadas como “não molhante” e “parcialmente molhante”. Os painéis manufaturados com partículas de granulometria 0,85 mm e partículas controle evidenciaram melhorias significativas na resistência natural considerando os fungos, *G. trabeum* e *T. versicolor*. Todos os painéis testados foram classificados como “moderadamente resistentes” ao ataque dos fungos apodrecedores, conforme a ASTM D 2017 (ASTM, 2005).

Experimento II: A variável AA2h foi influenciada de forma interativa pelos fatores testados. Os painéis manufaturados com partículas controle de granulometria de 0,85 mm apresentaram menor taxa de absorção de água. Para AA24h os painéis constituídos com partículas de granulometria 0,85 mm evidenciaram melhorias significativas na redução da taxa de absorção de água. O tratamento das partículas em água quente resultou em aumento significativo dos valores de IE2h, IE24h e TNRE e a granulometria 0,50 mm proporcionou melhorias significativas com redução de valores do IE24h e TNRE. Os valores do inchamento não atenderam aos requisitos mínimos estipulados pela NBR 14810 (ABNT, 2006).

Não houve influência dos fatores testados no MoR e MoE dos painéis. Os valores não atenderam aos requisitos mínimos indicados pela NBR 14810 (ABNT, 2006). O APS, APT e

LI apresentaram melhorias significativas para os painéis manufaturados com partículas tratadas em água quente, porém o APS e APT não atingiram os valores mínimos estipulados pela NBR 14810 (ABNT, 2006). As chapas produzidas com partículas tratadas evidenciaram boa qualidade de colagem em todos os tratamentos, atendendo ao requisito mínimo exigido pela norma citada.

As partículas de granulometria 0,50 mm tratadas em água quente resultaram em tendência de aumento dos valores da massa específica aparente da camada externa dos painéis. O fator condição influenciou a massa específica aparente da camada central e as partículas tratadas em água quente resultaram em tendência de aumento dos valores dessa variável. Em relação ao ângulo de contato, houve interação significativa entre os fatores testados para o ângulo inicial obtido com água. As partículas de granulometria 0,50 mm tratadas em água quente resultaram em tendências de aumento dos valores. Para o ângulo de contato final obtido com água houve influência de ambos fatores. As partículas de granulometria 0,85 mm tratadas em água quente evidenciaram uma tendência de aumento no valor do ângulo. Os fatores não exerceram influências nos ângulos de contato que foram obtidos com etilenoglicol. As superfícies foram classificadas como “não molhante” e “parcialmente molhante”.

Para os ensaios de resistência natural verificou-se uma tendência significativa de maior perda de massa dos painéis constituídos com partículas tratadas em água quente, para o fungo *G. trabeum*, enquanto o *T. versicolor* causou maiores perdas nos painéis constituídos com partículas controle. Os painéis aglomerados de partículas de bambu foram “muito resistentes” ao ataque do fungo *P. placenta*, “muito resistentes” e “resistentes” ao fungo *G. trabeum* e foram inclusos na classe “resistência moderada” e “resistente” ao fungo *T. versicolor*.

Experimento III: A mistura de partículas com maiores proporções de partículas de bagaço de cana resultou no aumento dos valores de AA24h, IE2h, IE24h e TNRE, apenas a AAA2h evidenciou redução significativa. Em relação ao IE24h, verificou-se que os painéis produzidos com 75% de partículas de bambu e 25% de partículas de bagaço de cana apresentaram potencial de utilização, pois atenderam ao valor mínimo exigido pela NBR 14810 (ABNT, 2013).

O acréscimo nos valores da razão de compactação dos painéis resultou em aumento significativo dos valores do MoR, mas apenas os painéis constituídos exclusivamente de partículas de bagaço de cana atenderam as especificações da NBR 14810 (ABNT, 2013). O aumento na razão de compactação evidenciou uma tendência de aumento dos valores do MoE e do APS das chapas aglomeradas. Em contrapartida, contribuiu para redução significativa das propriedades de APT e LI, que foram prejudicadas com o acréscimo de partículas de bagaço de cana. Os painéis constituídos com 100% de partículas de bambu e 75% de partículas de bambu

e 25% de partículas de bagaço de cana evidenciaram valor médio adequado para ligação interna em relação ao limite mínimo exigido pela norma.

A maior razão de compactação propiciou a formação de perfis densitométricos com picos mais acentuados de massa específica nas faces e regiões menos densas na camada central dos painéis. Tal variável contribuiu ainda para redução significativa da molhabilidade dos painéis, aumentando a impermeabilidade da superfície das chapas. Os painéis foram classificados como “não molhante” e “parcialmente molhante”. O aumento na razão de compactação resultou em aumento significativo da perda de massa, causada pelos fungos *P. placenta* e *G. trabeum*. A mistura de partículas não influenciou significativamente no ataque do fungo *T. versicolor*. Os painéis foram classificados como “muito resistentes” e “resistentes” ao fungo *P. placenta*. Em relação ao *G. trabeum* os painéis foram incluídos na categoria “muito resistente”, “resistente” e “resistência moderada” e para o fungo *T. versicolor* as chapas foram incluídas nas classes de “resistência moderada” e “resistente”.

Experimento IV: O tratamento térmico promoveu melhorias significativas em relação ao tratamento controle nas propriedades de AA2h, AA24h, IE2h e IE24h, assim como o aumento no teor de adesivo. O tratamento térmico não exerceu influências significativas na TNRE, porém o aumento no teor de adesivo contribuiu para uma melhoria significativa dessa propriedade. Os valores médios de IE24h de todos os painéis avaliados contemplaram a exigência mínima estipulada pela NBR 14810 (ABNT, 2013).

O tratamento térmico das partículas ocasionou a redução da resistência mecânica das chapas para as propriedades de MoR, MoE, APS, APT e LI, porém com o aumento no teor de adesivo, as mesmas foram melhoradas. As propriedades de MoE, APS e APT equivaleram-se estatisticamente ao tratamento controle com o aumento no teor de adesivo. Nenhum dos painéis constituídos com partículas termorretificadas atenderam as especificações mínimas exigidas pela NBR 14810 (ABNT, 2013).

Os perfis densitométricos foram influenciados pelo tratamento térmico das partículas, que resultou na redução da massa específica, no entanto tal variável foi melhorada pelo aumento no teor de adesivo, que resultou em perfis mais homogêneos considerando os painéis constituídos com 12 e 14% em relação aos perfis dos painéis fabricados com partículas controle. Em relação a molhabilidade não houve diferença significativa considerando o tratamento térmico aplicado nas partículas encoladas a 10% e o aumento no teor de adesivo, embora os valores dos ângulos tenham aumentado de forma geral, principalmente para os que foram obtidos com água. As superfícies dos painéis foram classificadas como “não molhante” e “parcialmente molhante” em relação aos solventes testados.

Os painéis apresentaram melhorias na resistência biológica com o tratamento térmico das partículas para os três fungos testados. O aumento no teor de adesivo não promoveu melhorias significativas na resistência natural dos painéis em relação ao fungo *P. placenta*. Para os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* foram constatadas melhorias significativas, porém entre os teores de 12 e 14% não houve diferença significativa. Os painéis foram classificados como “muito resistentes” em relação ao fungo *P. placenta*, “resistentes” e “muito resistentes” em relação ao *G. trabeum* e foram inclusos na categoria “resistência moderada” e “resistente” em relação ao fungo *T. versicolor*.

Numa análise global dos resultados ressalta-se que o bagaço de cana e o bambu evidenciaram potencialidades para serem utilizados como novas fontes de matérias-primas para fabricação de painéis aglomerados. Houve variação das propriedades físico-mecânicas e algumas delas atenderam as exigências da NBR 14810 (2006, 2013) utilizada como critério para movelarias, mesmo sendo chapas constituídas com bagaço de cana e bambu. Em relação a molhabilidade todos os painéis foram classificados como “não molhante” e “parcialmente molhante”. Em relação a resistência natural todos os painéis apresentaram resultados satisfatórios, pois foram classificados como “moderadamente resistentes”, “resistentes” e “muito resistentes”.

Os painéis manufaturados com bagaço de cana e bambu podem ser utilizados para embalagens, forros, pequenos objetos, painéis para isolamento térmico e acústico, revestimentos, painéis decorativos, componentes para construção civil, substrato para piso entre outras finalidades.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de aumentar o desempenho das chapas que possuem maior razão de compactação, recomenda-se aumentar o teor de adesivo ou testar partículas de maior espessura e mesmo comprimento com o objetivo de diminuir a área superficial específica e promover melhor distribuição do adesivo.

Com a finalidade de melhorar o desempenho dos painéis de baixa razão de compactação recomenda-se aumentar a densidade e consequentemente a massa de partículas dos painéis.

Recomenda-se fabricar painéis com partículas mais finas com objetivo de melhorar as características de superfície.

Em relação a termorretificação seria interessante avaliar períodos menores e temperaturas mais baixas para o tratamento das partículas.

Realizar a caracterização anatômica do material antes e após o tratamento térmico.

REFERÊNCIAS

AHAJJI A.; DIOUF, P. N.; ALOUI, F.; ELBAKALI, I.; PERRIN, D.; MERLIN, A.; GEORGE, B. Influence of heat treatment on antioxidant properties and colour stability of beech and spruce wood and their extractives. **Wood Science and Technology**, New Brunswick, v. 43, p. 69-83, 2009.

ALBUQUERQUE, C. A. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 175 p. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALBUQUERQUE, C. A. C.; LATORRACA, J. V. F. Colagem varia de acordo com propriedades da madeira. **Revista da madeira**, Rio Grande do Sul, n. 88, 2005. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=700&subject=Adesivos&title=Colagem%20varia%20de%20acordo%20com%20propriedades%20da%20madeira>. Acesso em: jun. 2017.

ALCARDE, A. R. **Agência Embrapa de informação tecnológica – AGEITEC**, 2014. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html >. Acesso em: 05 ago 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 2017**: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Philadelphia, 2005. 5 p.

ANDRADE, P. I. L. **Painéis de partículas termorretificadas produzidos com resíduos de madeira de pinus proveniente de embalagens**. 2013. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

ARAÚJO, I. I. **Caracterização físico-mecânica de painéis de partículas de bambu com adição de casca de café**. 2015. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Bauru, 2015.

ARRUDA, L.M. **Propriedades de painéis aglomerados com resinas sintéticas a partir da mistura do bambu *Guadua magna* Londoño & Filg. e da madeira de *Pinus taeda* L.** 2009. 27 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ARRUDA, L.M.; DEL MENEZZI, C.H.S.; TEIXEIRA, D.E.; ARAÚJO, P.C. Lignocellulosic composites from Brazilian giant bamboo (*Guadua magna*) Part 1: Properties of resin bonded particleboards. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Concepción, v.13, n.1, p. 49-58, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada – métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2006. 51 p.

_____. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada – métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2013. 51 p.

ARAÚJO, S. O.; VITAL, B. R.; MENDOZA, Z. M. S. H. VIEIRA, T. A. CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de madeiras termorretificadas de *Eucalytus grandis* e sp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p.327-336, 2012.

AYRILMIS, N.; KWON, J.H.; HAN, T.H. Effect of resintype and content on properties of composite particleboard made of a mixture of woodand rice husk. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Oxford, v.38, p.79-83, 2012.

AZZINI, K.; SALGADO, A. L. B. Possibilidades del bambu como matéria prima industrial. In: CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA, 1.,1992, Pereira. **Anais...** Pereira: ILAOA, 1992, p. 139-144.

BARRERO, N. M. G. **Estudo da durabilidade de painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana a base de óleo de mamona para aplicação na construção civil**. 2015. 230 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2015.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

BELINI, U.L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. 2007. 90p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BELINI, U. L.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOUZADA, J. L. P. C.; RODRIGUES, J. C. Aspectos anatômicos e tecnológicos de painéis confeccionados com fibras de eucalipto e cana-de-açúcar. **Cerne**, Lavras, v.16, p. 48-52, 2010.

BELINI, U. L. **Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, *Saccharum* sp.** 2012. 168 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

BELINI, U. L.; SAVASTANO JÚNIOR, BARRERO, N. G.; SARTORI, D.; LEITE, M. K.; FIORELLI, J. FILHO, M. T. Paineis multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 421 - 427, 2014a.

_____; LEITE, M. K.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAIX, G.; BAUDASSE, C.; LEMENAGER, N.; THEVENON, M. F. Bioensaios em painéis confeccionados com eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.2, p.361-368, 2014b.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A. **Bambu: características e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2004. 180p.

BIANCHE, J. J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicus*) e Vassoura (*Sida ssp.*)**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BICA, T. M. S. **Comportamento térmico e dinâmico de gotas incidentes em superfícies micro-estruturadas**. 2011. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

BOONSTRA, M. J.; A.; OHLMEYER, M.; PAUL, W. The effects of a two stage heat treatment process on the properties of particleboard. *European Journal of Wood and Wood Products*. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlim, v.64, n.2, p.157-164, 2006.

BORGES, M. B.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

BORELLA, D. R.; PEREIRA, C.A.L.; BRESSAN, J.; RISSI, N. T.; LIBERA, L. D.; MELO, R.R. Efeito do tratamento térmico na estabilidade dimensional de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21, Cuiabá, 2014. **Anais...**Cuiabá: CBECIMAT-MT, 2014.

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.

BRITO, F. M. S. **Efeito da termorreificação nas propriedades tecnológicas do bambu**. 2013. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

BUFALINO, L. **Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre propriedades físicas e de colagem em painéis aglomerados**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

CADEMARTORI, P H G.; SOUZA JUNIOR, L. R.; MUNIZ, G. I. B.; MAGALHÃES, W. L. E. Utilização de plasma frio no aumento da molhabilidade de produtos à base de madeira. Colombo: **EMBRAPA**, 2016. 5p.

CALEGARI, L.; PEDRAZZI, C.; HILLIG, E. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 193-204, 2004.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; HACK, C.; GATTO, D.A.; BARROS, M.V; SANTINI, E. J. Monitoramento da temperatura no interior de chapas aglomeradas durante o processo de prensagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 157-166, 2005.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; SCARAVELLI, T. L.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* SCHR.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Ureia-formaldeído. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 29 - 40, 2004.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V.C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de Resíduos Sólidos para Aplicação na Arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CARVALHO, A. G.; MENDES, R.F.; OLIVEIRA, S. L.; MENDES, L. M. Effect of Post-production Heat Treatment on Particleboard from Sugarcane Bagasse. **Materials Research**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 78 - 84, 2015.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2004.

CHEN, S.; XIAOHONG, L.; FANG, L.; WEELWOOD, R. **Digital X- Ray analysis of density distribution characteristics of wood based panels**. Wood Science and Technology, New York, v.44, n.1, p. 85-93, 2010.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA – CTC, 2013. Disponível em: < <http://www.ctcanavieira.com.br/> >. Acesso em: 05 de maio, 2015.

CÉSAR, A. A. S. **Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (Oriented Strand Board)**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. Bambu como matéria-prima para papel. V – Estudos sobre o emprego de quatro espécies de *Dendrocalamus*, na produção de celulose sulfato. **Bragantia**, Campinas, v. 30, n. 24, p. 1 -16, 1971.

CLOUTIER, A. Oriented Strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fibre and particle materials In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1, Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Belo Horizonte:SIF, 1998. p.173-185.

COLLA, W. A. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu *Denrocalamus giganteus* (Munro)**. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

COLLI, A.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A.C.O.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* huber ex. ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* l.). **Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.333-338, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABSTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana de açúcar**, v.1, Brasília. 2013. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_boletim_cana_p_ortugues_-_3o_leve_-_2014-15.pdf > Acesso em: 14 set de 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABSTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana de açúcar**, Brasília, v.2, n.4, p. 1-76, 2016. Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_19_09_02_49_boletim_cana_p_ortugues_-_3o_lev_-_2014-15.pdf > Acesso em: 14 set de 2015.

CRUZ, M. P.; BARBOSA, L. C. A.; MALTHA, C. R. A.; GOMIDE, J. L.; MILANEZ, A.F. Caracterização química do "pitch" em indústria de celulose e papel de *Eucalyptus*. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 459-466, 2006.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 226 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. Londres: Chapman & Hall, 1993. 546p.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2000.

ESPELHO, J. C. C.; BERALDO, A. L. Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande.v.12, n.6, p.645-652, 2008.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, Raleigh, v. 4, n. 1, p. 307- 404, 2009.

FERREIRA, L. M. V. **Revestimentos hidrofóbicos**. 2013. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

FERREIRA, L. M. C. **Design de móveis e bambu laminado colado: consideração ao tratamento térmico e às características físicas e mecânicas com vistas ao projeto de produtos**. 2014. 180 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Brasília, 2014.

IORELLI, J.; LAHR, F.A.R.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO JUNIOR, H.; ROSSIGNOLO. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FREITA, C. M.; FREITA, L. A.; ROVIERO, J. P.; TENÓRIO, E. M. F.; RABELO, S. C.; MUTTON, M. R. J. Caracterização de cinzas, lignina, celulose e hemicelulose em bagaço de sorgo e cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA AGROPECUÁRIA, AGRÍCOLA E AMBIENTAL, 1, 2016, Jaboticabal. **Anais...Jaboticabal: CBMAAA**, 2016, 5p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO).

Datos Y cifras globales de productos forestales 2015. 2017. Disponível em: < <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/es/>> Acesso em: 01 jul. 2017.

FOREST PRODUCTS LABORATORY - FPL. **Wood Handbook** – Wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MENDES, L.M.; MENDES, R. F; GUIMARÃES, B. M. R.; MELO, R. R. Efeito do teor da parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Pinus oocarpa*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 72-82, 2013.

HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDINI, P. Investigation of Wood Wettability Changes During Heat Treatment on the Basis of Chemical Analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v.89, n.1, p.1-5, 2005.

HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J; BERGER, R.; ELEOTÉRIO, J. R.; SCHEREEN, L. Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no rio grande do sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p. 195-200, 2001.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, É.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeiras de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto, acácia negra, puras ou misturadas coladas com tanino-formaldeído.** 2000. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HILLIG, E.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E. J.; Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59 -70 2002.

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

INARI, G. N.; PETRISSANS, M.; LAMBERT, J.; EHRHARDT, J.J.; GÉRARDIN, P. XPS characterization of wood chemical composition after heat-treatment. **Surface and interface analysis**, Berlin, v. 38, p. 1336 -1342, 2006.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Ibá 2016.** 2017. Disponível em: < http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf >. Acesso em: 01 jun. 2017.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.** 1989. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R.; OLANDO, S. K. I. BRAND, M. A. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 251 - 256, 2000.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHINGHER, C. A.; VENSON, I. L. C. Particleboard manufacturing from *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 883-887, 2004.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. FUPEF. Paraná - Curitiba, 2005, 247 p.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S, LEONHADT, G. Produção de chapas de madeira aglomerada. **Revista da madeira**, Rio Grande do Sul, n. 99, 2006. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=967&subject=Pain>. Acesso em: 05 jul 2017.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; M. M. SOUZA.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta amazônica**. Manaus v. 40, n. 2, p. 303 - 308, 2010.

IWAKIRI, S.; SILVA, L. S.; TRIANOSKI, R.; BONDUELLE, G. M.; ROCHA, V. Y. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 303-308, 2012.

JOSÉ, F. J.; BERALDO, A. L. Tableros de partículas de bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad) y resina poliuretana a base de aceite de rícino (*Ricinus communis* L.). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 259-266, 2010.

KELLY, M. W. **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. USDA Forest Service FPL General Technical Report, Madison, n. 10, 1977, p.1 - 65.

KOLLMANN, F. F. P; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology. II, Wood based materials**. Berlin: Springer Verlag, 1975.

LAHR, A.F.R.; CHRISTOFORO, A.L. **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. EESC/USP. São Carlos, 2013, 331p.

LEPAGE, E. S. **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo: IPT, 1986. v. 1. 342 p.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. 18. ed. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan - INBAR, 1998. 204 p.

LIESE, W. **Bamboos - biology, silvics, properties, utilization**. Eschborn: GTZ, 1985. 132p.

MACIEL, A. S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato.** 2001, 131 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing.** San Francisco: Miller Freeman, 1977, 672 p.

_____. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing.** 2nd ed. Sao Francisco: Miller Freeman Publication, 1993, 689 p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454p.

MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; MUÑIZ, G.I.B. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* wall. ex munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 417-422, 2012.

MARINHO, N.P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKIC, S.; VALARELLI, I. D. Some Physical and Mechanical Properties of Medium-Density Fiberboard Made from Giant Bamboo. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 6, p. 1387-1392, 2013.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Produtos florestais. Painéis de madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008.

MELO R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, J. R.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz, **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.

MELO, R. R., DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da Massa Específica nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados. **Silva Lusitana**, Oeiras, v. 18, n. 1, p. 59 - 73, 2010.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SOUSA, A. P; CADEMARTORI, P. H. G; SCHNEID, E. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.1, p.35-42, 2015a.

_____; R. R.; STANGERLIN, D. M.; SANTANA, R. R. C.; PEDROSA, T. D. Decay and termite resistance of particleboard manufactured from wood, bamboo and rice husk. **Maderas, Ciencia y tecnología**, Concepción, n.1, v.17, p. 55-62, 2015b.

MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR.; S.; SALDANHA, L. K. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. **Floresta e Ambiente**, Seropédica v. 10, n. 1, p. 01 - 17, 2003.

MENDES, L. M.; SILVA, G. A.; TRUGILHO, P. F.; SALDANHA, L. K.; MORI, F. A.; PÁDUA, F. A. Influência do teor de resina, temperatura e tempo de prensagem na umidade

de equilíbrio de painéis de partículas de madeira. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 329 - 335, 2006.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**, Piracicaba. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010a.

_____; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C.; GUIMARAES JUNIOR, J.B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, 2010b.

MENDES, R.F.; MENDES, L. M.; GUIMARAES JUNIOR, J.B.; R.A.S.; SANTOS CÉSAR, A. A. S. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

MENDES, R. F., BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARLET, A.; ALMEIDA, N.F.; SURDI, P.G. Resistência ao ataque de fungos apodrecedores em painéis OSB termicamente tratados. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 551-557, 2013.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; OLIVEIRA, S. L.; FREIRE, T. P. Use of sugarcane bagasse for particleboard production. **Key Engineering Materials**, Zurique, v. 634, p.163 - 171, 2014.

MYERS, D. **Surface, interfaces, and colloids**. New York: VCH Publishers, 1999, 519 p.

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

MORAIS, W. W. C.; HASELEIN, C. R; SUSIN, F.; VIVIAN, M. A.; MORAIS, J. B. F. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldoidea* e *Pinus taeda*. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1015-1026, 2015.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, v.1, 244 p. 1974.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de design em Bauru, São Paulo**. 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado em Desenho industrial: Planejamento de Produto) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MICHELON, A. L. S. **Estudo comparativo de dois tipos de painéis de MDP: com adição de papel impregnado e lâminas de bambu**. 2011, 119 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Itapeva, 2011.

NOCE, R.; OLIVEIRA, J. M.; CARVALHO, R.M.M. A.; SILVA, M.L.; REZENDE, J. L.R.; MENDES, L. M.; BARBOSA, T.R.C.G. Análise de tendência do mercado internacional de aglomerado. **Árvore**, Viçosa, v.32, n.2, p.245-250, 2008.

NOVO, L. P. **Determinação da relação dos parâmetros de solubilidade de Hansen de solventes orgânicos com a deslignificação organossolve de bagaço de cana-de-açúcar.** 2012. 139 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; LUCIA, R. M. D.; SOUZA JÚNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, S. L. **Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar:** caracterização visando ao uso na indústria moveleira. 2013. 141 p. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

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**, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, 1997.

OKINO, E. Y. A. Biodegradação de chapas de partículas orientadas de pinus, eucalipto e cipreste expostas a quatro fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 67-74, 2007.

OKINO, E. Y. A.; ALVES, M. V. S.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; DEL MENEZZI, C. H. S. Ensaio acelerado de laboratório de chapas OSB de seringueira submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 333-341, 2009.

ORTUÑO, T. G.; RODRÍGUEZ, J. A.; GARCÍA, M. T. F.; VILLENA, M. F.; GARCÍA, C. E. F. Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from giant reed (*Arundo donax* L.). **Bioresources**, Raleigh, v. 6, n.1, p.477-486, 2011.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, Los Angeles, v.7, 69-80, 2000.

PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H.; BOONSTRA, M.J.; PIZZI, A. Optimising the properties of OSB by a one-step pre-treatment process **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 62, p. 36-39, 2006.

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**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.

PEDRESCHI, R. **Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados.** Lavras. 2009. 49 f. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PITARELO, A. P. **Produção de etanol celulósico a partir do bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor.** 2013. 162 p. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REZENDE, C. C. PIMENTA, M. T. B. **Fracionamento por peneiras do bagaço de cana-de-açúcar para obtenção das frações fibra e medula**. Campinas: CNPEM, CTBE, 2015. 7p. (Memorando Técnico).

RIBEIRO, V. C. N. **Caracterização anatômica da matéria-prima e avaliação das propriedades tecnológicas de painéis MDF de madeira de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke e de resíduos de espécies da Amazônia**. 2015. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

RICHTER, H. B.; BURGER, L. M. **Anatomia da madeira**. 2. Ed. Curitiba: Universidade do Paraná, UFPR, 1978, 78 p.

RODRIGUES, T. O.; ROUSETT, P. L. A. Effects of torrefaction on energy properties of *Eucalyptus grandis* wood. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 446 - 452, 2009a.

_____. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009b.

RODRIGUES, R.C. E PEIXOTO, R. R. Avaliação nutricional do bagaço de cana-de-açúcar de micro destilaria de álcool para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.22, n.2, p. 212 - 221, 1993.

ROFII, M. N.; YUMIGETA, S.; KOJIMA, Y.; SUZUKI, S. Effect of furnish type and high-density raw material from mil residues on properties of particleboard panels. **Journal of wood Science**, Tokyo, v.59, p. 402 - 409, 2013.

SALIM, R.; ASHAARI, Z.; SAMSI, H. W.; WAHAB, R.; ALAMJURI, R. H. Effect of Oil Heat Treatment on physical properties of semantan bamboo (*Gigantochloa scortechinii* Gamble). **Modern Applied Science**, Toronto, v. 4, n.2, p. 107 - 113, 2010.

SANTOS, V. T. O. **Composição e digestibilidade enzimática do bagaço de cana de açúcar pré-tratado com ácido sulfúrico diluído em reator estático**. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

SANTOS, R. C.; MENDES, L. M.; MORI, F.A.; MENDES, R. F. Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 437 - 446, 2009.

SCATOLINO, M. V.; SILVA, D. W.; Mendes, R. F.; Mendes, L. M. Use of maize cob for production of particleboard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 330 - 337, 2013.

SERNEK, M.; KAMKE, A. F.; GLASSER, W. G. Comparative analysis of inactivated wood surface. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, p. 22 - 31, 2004.

SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P.T; MORI, F.A.; SANTOS, I. F.; PÁDUA, F.A. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 51 - 60, 2006.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, M. R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de *Eucalypto citriodora* e *Pinus Taeda***. 2012. 223 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, A. A. **Aproveitamento de resíduos de madeira (maravalha) de pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado**. 2013. 73 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SILVA, A. A.; BERGAMASCO, R.; REZENDE, L. C. S. H; SILVA, C. A.; FREITAS, B. O. Aproveitamento de resíduos de madeira de pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBEQ, 2014, Pp.

SILVA, B. N. S. **Seleção de fungos apodrecedores de madeira e caracterização de basiodimicetos associados a podridão de árvores vivas**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SILVA, S. A. M. **Confecção e avaliação de painéis de partículas de madeira de média densidade com aproveitamento de resíduos industriais**. 2016. 92 p. Tese de Livre docência (Livre Docência em Produtos Engenheirados da Madeira - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 2004. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**; 2.ed. San Diego: Academic Press, 1993. 293 p.

STANGERLIN, D. S.; COSTA, A. F.; GARLET, A.; PASTORE, T. C. M. Resistência natural da madeira de três espécies amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 15 - 32, 2013.

SOARES, L. C. S. R. **Destoxificação biológica do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar para utilização em processos fermentativos**. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

SOARES, S. S.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; PROTÁSIO, T. P.; LISBOA, F. J. N. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.8, n. 2, p. 64-73, 2017.

SOUZA, O.; I. E. SANTOS. Aproveitamento do bagaço de cana de açúcar pelos ruminantes. **Comunicado Técnico**. Aracaju. 2002. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/download/CMT07.pdf>> Acesso em: 21 out. 2014.

SURDI, P. G. **Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação**. 2015. 200 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

SURINI, T.; CHARRIER, F.; MALVESTIO, J.; CHARRIER, B.; MOUBARIK, A.; CASTÉRA, P.; GRELIER, S. Physical properties and termite durability of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) heat-treated under vacuum pressure. **Wood Science and Technology**, Vancouver, v. 46, n. 1, p. 487 - 501, 2012.

SWEET, M. S.; WINANDY, J. E. Influence of Degree of Polymerization of Cellulose and Hemicellulose on Strength Loss in Fire-Retardant-Treated Southern Pine. **Holzforschung**, Berlim, v.53, n. 3, p. 311-317, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Test Methods T 204 cm-97**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta: Tappi Techonology Park, 1997. 4p.

_____ **Test Methods T 207 cm-99**: Water solubility of wood and pulp. Atlanta: Tappi Techonology Park, 1999. 3p.

_____ **Test Methods T 222 om-02**: acid insolub lignin in wood and pulp. Atlanta: Tappi Techonology Park, 2002. 5 p.

_____ **Test Methods T 211 om-02**: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta: TAPPI, Techonology Park, 2002. 5 p

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 Florestalis**, Piracicaba, n.52, p. 29-34, 1997.

THERMOWOOD® HANDBOOK. **Finnish Thermowood Association**. Helsinki: Snellmaninkatu, 2003. 66p.

TOMAZELLO FILHO, M.; BELINI, U. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; GONÇALVES, F. G. Avaliação tecnológica da madeira e de painéis MDF de eucalipto por densitometria de raios X. **Revista Madeira Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, n. 27, v. 11, p.45-58, 2010.

TOMBOLATO, A. F. C.; GRECO, T. M.; PINTO, M. M. Dez espécies de bambus exóticos mais comuns no paisagismo no Brasil. **Artigo Técnico**, v. 18, n.2, p. 105-114, 2012.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S. PRATA, J. G. Avaliação da Estabilidade Dimensional de Espécies de Pinus Tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.20, n.3, p.398-406, 2012.

TSOUMIS, G. **Science and technology of Wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991.

VASCONCELLOS, R. M. **Info bambu**: plantio e morfologia. 2015. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/>>. Acesso em: 16 ago. 2015.

VISNARDI, O. C.; VALARELLI, I. D.; CARVALHO, M. R. O.; TIBÚRCIO, U. F. O. Produção e avaliação física de chapas de partículas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. In: Encontro Brasileiro em madeira e estrutura de madeira, 12, Lavras, 2010. **Anais...** Lavras: EBRAMEM-MG, 2010. CD-ROM.

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). **Árvore**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

VALARELLI, I. D.; AZAMBUJA, M. A.; BASTISTELLI, R. A. G.; CAMPOS, C. I. – Artigo: **Avaliação do Desempenho de Painéis de Partículas Aglomeradas de Bambu da Espécie *Dendrocalamus Giganteus***. LAMEM 2013, Ed. EESC/USP-São Carlos/SP 2013.

WALINDER, M. E. P.; JOHANSSON, I. Measurement of wood wettability by the Wilhelmy method. **Holzforschung**, Berlim, v.55, p.21 - 32, 2001.

WANG, S. WINISTORFER, P.; MOSCHLER, W.; HELTON, C. Hot-pressing of oriented strand board by stepclosure. **Forest Products Journal**, Madison, v.50, n.3, p.28 - 34, 2000.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M.; YOUNG, T. M. Fundamental of vertical density profile formation in wood composites: part 3- MDF density formation during hot pressing. *Wood and Fiber Science*, Madison, n.36, p.17-25, 2004

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WEILAND, J. J.; GUYONNET, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT-spectroscopy. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 61, p. 216-220, 2003.

WONG, E. D.; ZHANG, M.; WANG, Q.; KAWAI, S. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. **Wood Science and Technology**, New York, v.33, n. 4, p. 327-340, 1999.

WOOD BASED PANELS INTERNATIONAL – **WBPI**, London, 2015, Dez; 2016 jan.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.31, n.2, p.187-191, 1999.

YOUNGQUIST, J. A. **Wood handbook -Wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999, 463 p.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. Academic Press, San Diego, USA, 1992, 476 p.

ANEXOS
ANEXO A

Tabela 61 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.000048	0.000048	1.291	0.2887 ^{NS}
Condição	1	0.000016	0.000016	0.439	0.5260 ^{NS}
Gran x Cond	1	0.000147	0.000147	3.955	0.0819 ^{NS}
Erro	8	0.000297	0.000037		
Total Corrigido	11	0.000509			
CV (%)	1.02				
Média Geral	0.60				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

ANEXO B

Tabela 62 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	41.850675	41.850675	0.579	0.4687 ^{NS}
Condição	1	3264.030675	3264.030675	45.127	0.0001*
Gran x Cond	1	12.423675	12.423675	0.172	0.6894 ^{NS}
Erro	8	578.638867	72.329858		
Total Corrigido	11	3896.943892			
CV (%)	10.11				
Média Geral	84.14			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 63 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.235200	0.235200	0.002	0.9639 ^{NS}
Condição	1	11.329633	11.329633	0.105	0.7539 ^{NS}
Granu x Cond	1	57.378133	57.378133	0.533	0.4861 ^{NS}
Erro	8	861.014133	107.626767		
Total COR	11	929.957100			
CV (%)	7.58				
Média Geral	136.84			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

ANEXO C

Tabela 64 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	90.310533	90.310533	5.054	0.0547 ^{NS}
Condição	1	56.160133	56.160133	3.143	0.1142 ^{NS}
Gran x Cond	1	4.712533	4.712533	0.264	0.6215 ^{NS}
Erro	8	142.956467	17.869558		
Total Corrigido	11	294.139667			
CV (%)	13.63				
Média Geral	31.02			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 65 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	106.982408	106.982408	3.487	0.0988 ^{NS}
Condição	1	0.008008	0.008008	0.000	0.9875 ^{NS}
Gran x Cond	1	2.930408	2.930408	0.096	0.7652 ^{NS}
Erro	8	245.457867	30.682233		
Total Corrigido	11				
CV (%)	12.49				
Média Geral	44.36			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 66 - Tabela 64 - Análise de variância dos tratamentos para a variável TNRE dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	67.355408	67.355408	2.217	0.1748 ^{NS}
Condição	1	5.373408	5.373408	0.177	0.6852 ^{NS}
Gran x Cond	1	2.736075	2.736075	0.090	0.7718 ^{NS}
Erro	8	243.069800	30.383725		
Total Corrigido	11	318.534692			
CV (%)	15.68				
Média Geral	35.15			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

ANEXO D

Tabela 67 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	5.936133	5.936133	2.727	0.1372 ^{NS}
Condição	1	4.612800	4.612800	2.119	0.1835 ^{NS}
Gran x Cond	1	1.116300	1.116300	0.513	0.4943 ^{NS}
Erro	8	17.411267	2.176408		
Total Corrigido	11	29.076500			
CV (%)	10.62				
Média Geral	13.88				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

Tabela 68 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	4331.240033	4331.240033	0.143	0.7151 ^{NS}
Condição	1	42174.163333	42174.163333	1.393	0.2718 ^{NS}
Gran x Cond	1	468.750000	468.750000	0.015	0.9040 ^{NS}
Erro	8	242186.831200	30273.353900		
Total Corrigido	11	289160.984567			
CV (%)	22.76				
Média Geral	764.61				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

ANEXO E

Tabela 69 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APS dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	16229.543008	16229.543008	1.713	0.2269 ^{NS}
Condição	1	3205.581408	3205.581408	0.338	0.5768 ^{NS}
Gran x Cond	1	9265.741875	9265.741875	0.978	0.3516 ^{NS}
Erro	8	75788.208400	9473.526050		
Total Corrigido	11				
CV (%)	16.38				
Média Geral	594.14			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 70 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APT dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	1059.756075	1059.756075	0.751	0.4113 ^{NS}
Condição	1	7952.115675	7952.115675	5.637	0.1449 ^{NS}
Gran x Cond	1	1460.592675	1460.592675	1.035	0.3387 ^{NS}
Erro	8	11284.934600	1410.616825		
Total Corrigido	11	21757.399025			
CV (%)	10.41				
Média Geral	360.82			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO F

Tabela 71 - Análise de variância dos tratamentos para a variável LI dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.007008	0.007008	5.923	0.1410 ^{NS}
Condição	1	0.001408	0.001408	1.190	0.3071 ^{NS}
Gran x Cond	1	0.000408	0.000408	0.345	0.5731 ^{NS}
Erro	8	0.009467	0.001183		
Total Corrigido	11				
CV (%)	16.85				
Média Geral	0.20			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

ANEXO G

Tabela 72 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada externa dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	47713.718533	47713.718533	166.756	0.0000*
Condição	1	22498.680000	22498.680000	78.631	0.0000*
Gran x Cond	1	57225.878533	57225.878533	200.001	0.0000*
Erro	8	2289.026000	286.128250		
Total Corrigido	11				
CV (%)	2.55				
Média Geral	662.34			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 73 - Análise de variância do desdobramento do fator granulometria dentro de cada nível do fator condição de partículas, para a variável massa específica aparente da camada externa, dos painéis aglomerados do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Gran/1	1	104723.597067	104723.597067	366.002	0.0000*
Gran/2	1	216.000000	216.000000	0.755	0.4102 ^{NS}
Erro	8	2289.026000	286.128250		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 74 - Análise de variância do desdobramento do fator condição de partículas, dentro de cada nível do fator granulometria, para a variável massa específica aparente da camada externa, dos painéis aglomerados do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Cond/1	1	3980.435267	3980.435267	13.911	0.0058*
Cond/2	1	75744.123267	75744.123267	264.721	0.0000*
Erro	8	2289.026000	286.128250		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 75 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada central dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	2.184533	2.184533	0.016	0.9029 ^{NS}
Condição	1	684.936300	684.936300	4.973	0.0563 ^{NS}
Gran x Cond	1	20.750700	20.750700	0.151	0.7080 ^{NS}
Erro	8	1101.764867	137.720608		
Total Corrigido	11				
CV (%)	3.31				
Média Geral	586.67				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

ANEXO H

Tabela 76 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com água dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	29.691948	29.691948	0.712	0.4233 ^{NS}
Condição	1	7.802081	7.802081	0.187	0.6768 ^{NS}
Gran x Cond	1	112.767483	112.767483	2.704	0.1387 ^{NS}
Erro	8	333.620307	41.702538		
Total Corrigido	11				
CV (%)	5.62				
Média Geral	114.8055000				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

Tabela 77 - Tabela 74 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com água dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	25.930800	25.930800	0.895	0.3719 ^{NS}
Condição	1	83.635200	83.635200	2.885	0.1278 ^{NS}
Gran x Cond	1	12.607500	12.607500	0.435	0.5281 ^{NS}
Erro	8	231.911200	28.988900		
Total Corrigido	11	354.084700			
CV (%)	5.05				
Média Geral	106.6450000				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

Tabela 78 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	6.322008	6.322008	0.276	0.6138 ^{NS}
Condição	1	3.641008	3.641008	0.159	0.7008 ^{NS}
Gran x Cond	1	27.030008	27.030008	1.178	0.3093 ^{NS}
Erro	8	183.510067	22.938758		
Total COR	11				
CV (%)	5.36				
Média Geral	89.4058333				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

Tabela 79 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com água dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	22.059408	22.059408	0.481	0.5077 ^{NS}
Condição	1	5.161408	5.161408	0.112	0.7459 ^{NS}
Gran x Cond	1	1.591408	1.591408	0.035	0.8569 ^{NS}
Erro	8	367.034667	45.879333		
Total Corrigido	11				
CV (%)	8.13				
Média Geral	83.3208333				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

ANEXO I

Tabela 80 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Postia Placenta* dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	4.851408	4.851408	0.335	0.5786 ^{NS}
Condição	1	6.976875	6.976875	0.482	0.5072 ^{NS}
Gran x Cond	1	13.125208	13.125208	0.907	0.4456 ^{NS}
Erro	8	115.831733	14.478967		
Total Corrigido	11				
CV (%)	11.69				
Média Geral	32.54			Número de observações: 12	

^{NS} Não SignificativoTabela 81 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa causada, pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	45.124408	45.124408	7.583	0.0249*
Condição	1	78.796875	78.796875	13.242	0.0066*
Gran x Cond	1	8.823675	8.823675	1.483	0.2580 ^{NS}
Erro	8	47.603133	5.950392		
Total Corrigido	11	0.014825			
CV (%)	7.45				
Média Geral	32.73			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 82 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada pelo fungo *Trametes versicolor* dos painéis do Experimento I

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	78.745633	78.745633	5.879	0.0415*
Condição	1	206.670000	206.670000	15.430	0.0044*
Gran x Cond	1	31.428033	31.428033	2.346	0.1641 ^{NS}
Erro	8	107.151533	13.393942		
Total Corrigido	11	423.995200			
CV (%)	10.64				
Média Geral	34.39				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO J

Tabela 83 - Análise de variância dos tratamentos para a variável Massa específica aparente dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.000005	0.000005	0.095	0.7657 ^{NS}
Condição	1	0.000085	0.000085	1.522	0.2524 ^{NS}
Gran x Cond	1	0.000056	0.000056	1.004	0.3456 ^{NS}
Erro	8	0.000449			
Total Corrigido	11	0.000596			
CV (%)	1.28				
Média Geral	0.58				Número de observações: 12

^{NS} Não Significativo

ANEXO K

Tabela 84 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	185.732008	185.732008	18.313	0.0027*
Condição	1	84.641408	84.641408	8.346	0.0202*
Gran x Cond	1	124.099008	124.099008	12.236	0.0081*
Erro	8	81.135800	10.141975		
Total Corrigido	11	475.608225			
CV (%)	4.77				
Média Geral	66.72				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 85 - Análise de variância do desdobramento do fator granulometria dentro de cada nível de condição de partículas, para a variável AA2h horas dos painéis aglomerados, para cada tratamento do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria/1	1	306.735000	306.735000	30.244	0.0006*
Granulometria/2	1	3.096017	3.096017	0.305	0.5957 ^{NS}
Erro	8	81.135800	10.141975		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 86 - Análise de variância do desdobramento do fator condição de partículas dentro de cada nível de granulometria, para a variável AA2h dos painéis aglomerados, para cada tratamento do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Condição/1	1	206.858817	206.858817	20.396	0.0020*
Condição/2	1	1.881600	1.881600	0.186	0.6780 ^{NS}
Erro	8	81.135800	10.141975		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 87 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	262.735208	262.735208	21.196	0.0017*
Condição	1	2.871408	2.871408	0.232	0.6432 ^{NS}
Gran x Cond	1	52.710208	52.710208	4.252	0.0731 ^{NS}
Erro	8	99.163667	12.395458		
Total Corrigido	11	417.480492			
CV (%)	4.07				
Média Geral	86.5041667				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO L

Tabela 88 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	8.704033	8.704033	3.106	0.1160 ^{NS}
Condição	1	84.588300	84.588300	30.180	0.0006*
Gran x Cond	1	3.921633	3.921633	1.399	0.2708 ^{NS}
Erro	8	22.422200	2.802775		
Total Corrigido	11	119.636167			
CV (%)	12.77				
Média Geral	13.11			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 89 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	5.148300	5.148300	1.690	0.0298*
Condição	1	132.534533	132.534533	43.500	0.0002*
Gran x Cond	1	14.476033	14.476033	4.751	0.0609 ^{NS}
Erro	8	24.374400	3.046800		
Total Corrigido	11				
CV (%)	11.10				
Média Geral	15.72			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 90 - Análise de variância dos tratamentos para a variável TNRE dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	6.149008	6.149008	10.324	0.0124*
Condição	1	132.468075	132.468075	222.417	0.0000*
Gran x Cond	1	1.248075	1.248075	2.096	0.1858 ^{NS}
Erro	8	4.764667	0.595583		
Total Corrigido	11				
CV (%)	8.11				
Média Geral	9.52			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO M

Tabela 91 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.672133	0.672133	2.185	0.1776 ^{NS}
Condição	1	1.373633	1.373633	4.465	0.0676 ^{NS}
Gran x Cond	1	0.367500	0.367500	1.195	0.3062 ^{NS}
Erro	8	2.461200	0.307650		
Total Corrigido	11				
CV (%)	7.77				
Média Geral	7.14			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 92 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	1157.385208	1157.385208	0.280	0.6109 ^{NS}
Condição	1	8912.385075	8912.385075	2.159	0.1800 ^{NS}
Granu x Cond	1	1468.104408	1468.104408	0.356	0.5675 ^{NS}
Erro	8	33029.670800	4128.708850		
Total COR	11	44567.545492			
CV (%)	11.04				
Média Geral	582.26			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

ANEXO N

Tabela 93 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APS dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	450.800208	450.800208	0.140	0.7182 ^{NS}
Condição	1	17327.240008	17327.240008	5.372	0.0491*
Gran x Cond	1	15868.231408	15868.231408	4.920	0.0574 ^{NS}
Erro	8	25802.004867	25802.004867		
Total Corrigido	11				
CV (%)	13				
Média Geral	436,77			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 94 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APT dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.000008	0.000008	0.000	0.9976 ^{NS}
Condição	1	19244.025208	19244.025208	8.545	0.0192*
Gran x Cond	1	392.735208	392.735208	0.174	0.6872 ^{NS}
Erro	8	18016.622800	2252.077850		
Total Corrigido	11				
CV (%)	9.78				
Média Geral	485.45			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO O

Tabela 95 - Análise de variância dos tratamentos para a variável LI dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.019200	0.019200	4.063	0.0786 ^{NS}
Condição	1	0.032033	0.032033	6.780	0.0314*
Gran x Cond	1	0.004033	0.004033	0.854	0.3826 ^{NS}
Erro	8	0.037800	0.004725		
Total Corrigido	11	0.093067			
CV (%)	10.63				
Média Geral	0.65			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO P

Tabela 96 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada externa dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	1348.532008	1348.532008	2.262	0.0110*
Condição	1	22281.839008	22281.839008	37.374	0.0003*
Gran x Cond	1	2457.599408	2457.599408	4.122	0.0768 ^{NS}
Erro	8	4769.484067	596.185508		
Total Corrigido	11	30857.454492			
CV (%)	4.62				
Média Geral	528.6108333			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 97 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada central dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	208.250008	208.250008	0.371	0.5593 ^{NS}
Condição	1	5187.936675	5187.936675	9.244	0.0161*
Gran x Cond	1	865.131008	865.131008	1.542	0.2495 ^{NS}
Erro	8	4489.557600	561.194700		
Total Corrigido	11	10750.875292			
CV (%)	4.12				
Média Geral	574.8508333			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO Q

Tabela 98 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com água dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	258.095425	258.095425	28.729	0.0007*
Condição	1	17.07898	17.078988	1.901	0.2053 ^{NS}
Gran x Cond	1	159.344832	159.344832	17.737	0.0029*
Erro	8	71.870609	8.983826		
Total Corrigido	11	1079.669402			
CV (%)	2.57				
Média Geral	116.718				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 99 - Análise de variância do desdobramento do fator granulometria dentro de cada nível de condição de partículas, para a variável ângulo de contato inicial obtido com água, dos painéis aglomerados para cada tratamento do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Gran/1	1	5.924241	5.924241	0.659	0.4403 ^{NS}
Gran/2	1	411.516017	411.516017	45.806	0.0001*
Erro	8	71.870609	8.983826		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 100 - Análise de variância do desdobramento do fator condição de partículas dentro de cada nível de granulometria, para a variável ângulo de contato inicial obtido com água, dos painéis aglomerados para cada tratamento do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Cond/1	1	140.379414	140.379414	15.626	0.0042*
Cond/2	1	36.044406	36.044406	4.012	0.0801 ^{NS}
Erro	8	71.870609	8.983826		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 101 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com água dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	3901.331408	3901.331408	241.317	0.0000*
Condição	1	229.775008	229.775008	14.213	0.0055*
Gran x Cond	1	70.325208	70.325208	4.350	0.0705 ^{NS}
Erro	8	129.334467	16.166808		
Total Corrigido	11	4330.766092			
CV (%)	5.92				
Média Geral	67.9458333			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 102 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	111.672704	111.672704	1.653	0.2345 ^{NS}
Condição	1	0.100284	0.100284	0.001	0.9702 ^{NS}
Gran x Cond	1	248.967190	248.967190	3.686	0.0911 ^{NS}
Erro	8	540.404974	67.550622		
Total Corrigido	11	1962.281080			
CV (%)	8.02				
Média Geral	102.505			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 103 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	34.006700	34.006700	0.169	0.6920 ^{NS}
Condição	1	0.101752	0.101752	0.001	0.9826 ^{NS}
Gran x Cond	1	315.669434	315.669434	1.566	0.2461 ^{NS}
Erro	8	1612.503194	201.562899		
Total Corrigido	11	1962.281080			
CV (%)	22.16				
Média Geral	64.068			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

ANEXO R

Tabela 104 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Postia Placenta* dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	0.075208	0.075208	1.178	0.3093 ^{NS}
Condição	1	0.069008	0.069008	1.081	0.3289 ^{NS}
Gran x Cond	1	0.049408	0.049408	0.774	0.4046 ^{NS}
Erro	8	0.510667	0.063833		
Total Corrigido	11	0.704292			
CV (%)	9.37				
Média Geral	2.69			Número de observações: 12	

^{NS} Não SignificativoTabela 105 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Gloeophyllum trabeum* dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	2.167500	2.167500	0.540	0.4835 ^{NS}
Condição	1	330.330133	330.330133	82.255	0.0000*
Gran x Cond	1	0.864033	0.864033	0.215	0.6551 ^{NS}
Erro	8	32.127600	4.015950		
Total Corrigido	11	365.489267			
CV (%)	14.63				
Média Geral	13.69			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

Tabela 106 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Trametes versicolor* dos painéis do Experimento II

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Granulometria	1	3.367621	3.367621	0.551	0.4791 ^{NS}
Condição	1	121.533310	121.533310	19.884	0.0021*
Gran x Cond	1	0.006211	0.006211	0.001	0.9754 ^{NS}
Erro	8	48.896435			
Total Corrigido	11	173.803576			
CV (%)	10.76				
Média Geral	22.98				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não Significativo

ANEXO S

Tabela 107 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	0.000582	0.000145	1.833	0.1992 ^{NS}
Erro	10	0.000793	0.000079		
Total corrigido	14	0.001375			
CV(%)	1.49				
Média geral	0.60				Número de observações: 15

^{NS} Não Significativo

ANEXO T

Tabela 108 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	1289.101693	322.275423	11.769	0.0008*
Erro	10	273.826867	27.382687		
Total corrigido	14	1562.928560			
CV(%)	8.79				
Média geral	59.50		Número de observações: 15		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 109 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	7013.428093	1753.357023	216.019	0.0000*
Erro	10	81.166867	8.116687		
Total corrigido	14	7094.594960			
CV(%)	2.62				
Média geral	108.82		Número de observações: 15		

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO U

Tabela 110 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	122.356227	30.589057	8.482	0.0030*
Erro	10	36.062333	3.606233		
Total corrigido	14	158.418560			
CV(%)	14.91				
Média geral	12.74			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 111 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	2019.738773	504.934693	169.407	0.0000*
Erro	10	29.806067	2.980607		
Total corrigido	14	2049.544840			
CV(%)	6.72				
Média geral	25.68			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 112 - Análise de variância dos tratamentos para a variável TNRE dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	825.251827	206.312957	827.613	0.0000*
Erro	10	2.492867	0.249287		
Total corrigido	14	827.744693			
CV(%)	3.35				
Média geral	14.90			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO V

Tabela 113 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	825.251827	206.312957	827.613	0.0000*
Erro	10	2.492867	0.249287		
Total corrigido	14	827.744693			
CV(%)	3.35				
Média geral	14.90			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 114 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	52136.941960	13034.235490	5.398	0.1140 ^{NS}
Erro	10	24144.364933	2414.436493		
Total corrigido	14	76281.306893			
CV(%)	4.56				
Média geral	1078.2873333			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO W

Tabela 115 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APS dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	24088.265640	6022.066410	2.869	0.0804 ^{NS}
Erro	10	20992.654933	2099.265493		
Total corrigido	14	45080.920573			
CV(%)	5.94				
Média geral	771.64			Número de observações: 15	

^{NS} Não Significativo

Tabela 116 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APT dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	72197.049627	18049.262407	6.230	0.0088*
Erro	10	28973.135533	2897.313553		
Total corrigido	14	101170.185160			
CV(%)	9.76				
Média geral	551.26			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO X

Tabela 117 - Análise de variância dos tratamentos para a variável LI dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	0.717533	0.179383	172.484	0.0000*
Erro	10	0.010400	0.001040		
Total corrigido	14	0.727933			
CV(%)	9.13				
Média geral	0.35			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO Y

Tabela 118 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada externa dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	4034.374307	1008.593577	12.276	0.0007*
Erro	10	821.603467	82.160347		
Total corrigido	14	4855.977773			
CV(%)	1.32				
Média geral	684.78			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 119 - Análise de variância dos tratamentos para a variável específica aparente da camada central dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	11388.295933	2847.073983	9.677	0.0018*
Erro	10	2942.074800	294.207480		
Total corrigido	14	14330.370733			
CV(%)	2.88				
Média geral	595.33			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO Z

Tabela 120 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com água dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	456.923085	114.230771	6.428	0.0079*
Erro	10	177.717590	17.771759		
Total corrigido	14	634.640675			
CV(%)	3.71				
Média geral	113.49			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 121 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com água dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	4213.146538	1053.286634	13.421	0.0005*
Erro	10	784.812184	78.481218		
Total corrigido	14	4997.958722			
CV(%)	9.72				
Média geral	91.10			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 122 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	790.210697	197.552674	5.221	0.0156*
Erro	10	378.351706	37.835171		
Total corrigido	14	1168.562403			
CV(%)	5.50				
Média geral	111.80			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 123 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	2367.121309	591.780327	6.862	0.0063*
Erro	10	862.364349	86.236435		
Total corrigido	14	3229.485658			
CV(%)	10.46				
Média geral	88.7656000			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AA

Tabela 124 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Postia Placenta* dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	0.440968	0.110242	54.340	0.0000*
Erro	10	0.020287	0.002029		
Total corrigido	14	0.461255			
CV(%)	12.34				
Média geral	15.09			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 125 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Gloeophyllum trabeum* dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	0.171745	0.042936	25.431	0.0000*
Erro	10	0.016883	0.001688		
Total corrigido	14	0.188628			
CV(%)	8.04				
Média geral	33.03			Número de observações: 15	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 126 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Trametes versicolor* dos painéis do Experimento III

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	4	0.019424	0.004856	2.486	0.1107 ^{NS}
Erro	10	0.019537	0.001954		
Total corrigido	14	0.038962			
CV(%)	8.01				
Média geral	25.58			Número de observações: 15	

^{NS} Não Significativo

ANEXO AB

Tabela 127 - Análise de variância do teor de umidade de equilíbrio higroscópico das partículas controle e termorretificadas de bagaço de cana e bambu

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	26.303825	8.767942	38.651	0.0000*
Erro	8	1.814800	0.226850		
Total corrigido	11	28.118625			
CV(%)	5.17				
Média geral	9.21				Número de observações: 12

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AC

Tabela 128 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	0.000967	0.000322	2.578	0.1264 ^{NS}
Erro	8	0.001000	0.000125		
Total corrigido	11	0.001967			
CV(%)	1.89				
Média geral	0.59			Número de observações:	12

^{NS} Não Significativo

ANEXO AD

Tabela 129- Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	7018.970567	2339.656856	225.501	0.0000*
Erro	8	83.003133	10.375392		
Total corrigido	11	7101.973700			
CV(%)	11.45				
Média geral	28.1250000				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 130 - Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	5395.419267	1798.473089	504.056	0.0000*
Erro	8	28.544000	3.568000		
Total corrigido	11	5423.963267			
CV(%)	2.92				
Média geral	64.64				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AE

Tabela 131 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	272.257133	90.752378	490.178	0.0000*
Erro	8	1.481133	0.185142		
Total corrigido	11	273.738267			
CV(%)	7.56				
Média geral	5.69				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 132 - Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	369.753000	123.251000	325.609	0.0000*
Erro	8	3.028200	0.378525		
Total corrigido	11	372.781200			
CV(%)	5.94				
Média geral	10.35				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 133 - Análise de variância dos tratamentos para a variável TNRE dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	82.419500	27.473167	161.433	0.0000*
Erro	8	1.361467	0.170183		
Total corrigido	11	83.780967			
CV(%)	6.01				
Média geral	6.87				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AF

Tabela 134 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	42.826158	14.275386	52.960	0.0000*
Erro	8	2.142333	0.267792		
Total corrigido	11	44.968492			
CV(%)	10.23				
Média geral	5.06				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 135 - Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	598257.480292	199419.160097	12.672	0.0021*
Erro	8	125892.995933	15736.624492		
Total corrigido	11	724150.476225			
CV(%)	16.25				
Média geral	772.00				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AG

Tabela 136 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APS dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	235867.887667	78622.62922	36.844	0.0000*
Erro	8	17071.326600	2133.915825		
Total corrigido	11	252939.214267			
CV(%)	8.60				
Média geral	537.166			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 137 - Análise de variância dos tratamentos para a variável APT dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	120543.369358	40181.123119	13.211	0.0018*
Erro	8	24332.754067	3041.594258		
Total corrigido	11	144876.123425			
CV(%)	10.88				
Média geral	506.89			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AH

Tabela 138 - Análise de variância dos tratamentos para a variável LI dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	0.059492	0.019831	14.250	0.0014*
Erro	8	0.011133	0.001392		
Total corrigido	11	0.070625			
CV(%)	13.21				
Média geral	0.28				Número de observações: 12

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AI

Tabela 139 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada externa dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	24553.308700	8184.436233	34.245	0.0001*
Erro	8	1911.988600	238.998575		
Total corrigido	11				
CV(%)	2.45				
Média geral	630.86			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 140 - Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica aparente da camada central dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	25271.993861	8423.997954	36.389	0.0000*
Erro	8	1851.988753	231.498594		
Total corrigido	11	27123.982614			
CV(%)	2.72				
Média geral	558.46			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

ANEXO AJ

Tabela 141 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com água dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	844.593096	281.531032	1.975	0.1964 ^{NS}
Erro	8	1140.302451	142.537806		
Total corrigido	11	1984.895547			
CV(%)	9.78				
Média geral	122.07			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 142 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com água dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	2163.285128	721.095043	7.045	0.0123*
Erro	8	818.816470	102.352059		
Total corrigido	11	2982.101598			
CV(%)	9.57				
Média geral	105.68			Número de observações: 12	

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 143 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato inicial obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	576.802178	192.267393	1.695	0.2447 ^{NS}
Erro	8	907.471074	113.433884		
Total corrigido	11	1484.273252			
CV(%)	9.90				
Média geral	107.61			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

Tabela 144 - Análise de variância dos tratamentos para a variável ângulo de contato final obtido com etilenoglicol dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	615.852319	205.284106	1.273	0.3475 ^{NS}
Erro	8	1290.202398	161.275300		
Total corrigido	11	1906.054717			
CV(%)	14.06				
Média geral	90.29			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo

ANEXO AK

Tabela 145 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Postia Placenta* dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	0.030700	0.010233	25.061	0.0002*
Erro	8	0.003267	0.000408		
Total corrigido	11	0.033967			
CV(%)	15.75				
Média geral	2.08			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 146 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Gloeophyllum trabeum* dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	0.083754	0.027918	29.061	0.0001*
Erro	8	0.007685	0.000961		
Total corrigido	11	0.091439			
CV(%)	8.28				
Média geral	13.93			Número de observações: 12	

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 147 - Análise de variância dos tratamentos para a variável resistência natural, com relação a perda de massa, causada do fungo *Trametes versicolor* dos painéis do Experimento IV

FV	GL	SQ	QM	FC	PR>FC
Tratamento	3	0.031567	0.010522	5.196	0.0278*
Erro	8	0.016200	0.002025		
Total corrigido	11	0.047767			
CV(%)	8.31				
Média geral	26.79			Número de observações: 12	

^{NS} Não Significativo