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

**Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de
madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de
alta densificação**

Paula Gabriella Surdi

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

**Piracicaba
2015**

**Paula Gabriella Surdi
Engenheira Florestal**

**Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras
amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação**

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
2015**

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

Surdi, Paula Gabriella

Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação / Paula Gabriella Surdi. - - Piracicaba, 2015.

200 p. : il.

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

1. Madeiras tropicais 2. Painéis de madeira 3. Classificação de partículas 4. Teor de adesivo 5. Proporção de mistura I. Título

CDD 674.835
S961a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico este trabalho à minha amada vó Aurora Surdi, por estar sempre ao meu lado.

À minha mãe Carmem do Prado, por me permitir trilhar novos caminhos.

Ao Vinicius, amor da minha vida, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

À minha afilhada Bá, por deixar tudo mais alegre e leve.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela luz, força e proteção.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”– ESALQ/USP pela oportunidade oferecida para a realização desta pesquisa.

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

Ao meu orientador Professor Geraldo Bortoletto Júnior, pelo apoio, compreensão e confiança no meu trabalho.

À Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira (ANPM), em especial ao Ariel de Andrade, por todo o auxílio e confiança e à Natalie Ferreira de Almeida, ao Eraldo Bonfatti Júnior e Antonio Radaeli Neto pela colaboração.

À International Tropical Timber Organization (ITTO), em especial ao Ramon Carrillo, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Grupo Orsa Florestal, por ter cedido as madeiras amazônicas e à Laminadora Lano da Amazônia LTDA, pelos resíduos de lâminas de paricá.

Ao SI Group Crios Resinas S.A., em especial aos funcionários João Marcelo Cresta, Clélio Correa e Rogério Piccolo, pelo fornecimento do adesivo.

À Eucatex, em especial à Danila Estevam Alvez da Cruz, pela doação da parafina.

Ao Professor Mario Tommasiello Filho, por todo apoio, amizade e colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Francides Gomes da Silva Júnior pela disponibilização dos equipamentos para o processamento do material e análises químicas.

Aos Professores Ugo Leandro Belini e Ivaldo Pontes Jankowsky pelas contribuições no exame de qualificação.

Ao Professor Francisco Antonio Rocco Lahr pelo incentivo e pelas doses de alegria compartilhadas.

À Professora Ana Márcia Ladeira Carvalho pelo auxílio com as análises químicas.

Aos Professores Rafael Mendes e Lourival Mendes pelo carinho, amizade e auxílio.

Ao Professor Alexsandro Bayestorff da Cunha pela amizade e ensinamentos.

Agradeço imensamente à Giovana Oliveira, pela paciência, amizade, atenção e solicitude.

Agradeço, com muito carinho, ao Alex Canale, Aparecido Siqueira, Maria Bermudez e Luis Facco, pelo apoio nas etapas experimentais, amizade e incentivo.

Agradeço, especialmente, às minhas grandes amigas Saly Takeshita e Laura Trebbi pela força, incentivo, conversas, conselhos e pela oportunidade de convívio.

Aos amigos de laboratório e da pós-graduação, Alejandro Venegas, Alisson Rangel, Camila Sarto, Claudio Anholetto, Flávia Brito, Ivanka Rosada, Juliana Brito, Karina Modes, Luciana Jankowsky, Magnos Vivian, Marco Arizapana, Mariana Franco, Marta Leite, Matheus Chagas, Pedro Mansilla, Priscila Geroto, Tassio Trevizor, Tiago Segura, Victor Moutinho e Victor Ribeiro, pelos bons momentos.

À Tofs (Iara Rigo), Rola (Mayco Rigo), Aline Bertin, Vitor Pavinato, Leila Peters, Marília Ribeiro, Bruno Yamaguti, Laís Roani, Renata Surdi, Renata Carlon, Simone Guimarães, Adriano Correa, Marina Bavoso e Poxéti (Tânia Dutra), pela amizade e por todos os ótimos momentos.

À minha mãe, minha vó e Glaico, pelo auxílio e compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu companheiro Vinícius, por todo cuidado, respeito, amor e, principalmente, paciência.

Ao José de Castro e Virgínia por todo o carinho e receptividade.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Resíduos	19
3.2 Painéis de partículas de madeira aglomerada	23
3.2.1 Parâmetros que influenciam nas propriedades de painéis de partículas de madeira aglomerada	24
3.2.1.1 Fatores inerentes à madeira.....	25
3.2.1.2 Fatores inerentes ao processo	26
3.2.1.2.1 Massa específica e razão de compactação dos painéis.....	26
3.2.1.2.2 Dimensões e forma das partículas	27
3.2.1.2.3 Teor de adesivo.....	27
3.2.1.2.4 Ciclo de prensagem.....	28
3.2.2 Propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas	30
3.2.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura	30
3.2.2.2 Módulo de elasticidade (MoE) e módulo de ruptura (MoR) à flexão estática	30
3.2.2.3 Tração perpendicular (Ligação interna)	31
3.2.2.4 Arrancamento de parafuso	31
3.2.2.5 Dureza Janka	31
3.2.2.6 Perfil de densidade.....	32
3.3 Características gerais das madeiras estudadas	33
3.3.1 <i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	33
3.3.2 <i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	34
3.3.3 <i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. Ex Mez	34
3.3.4 <i>Erisma uncinatum</i> Warm.	35
3.3.5 <i>Tachigali myrmecophyla</i> Ducke.....	36
3.3.6 <i>Qualea paraensis</i> Ducke	36
3.3.7 <i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	37
4 MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1 Coleta e preparo do material	39

4.1.1 Resíduos das espécies do projeto Piso de Madeira Sustentável – PIMADS...	39
4.1.2 Resíduos de lâminas de Paricá	41
4.2 Análises das madeiras.....	42
4.2.1 Determinação da densidade básica.....	42
4.2.2 Determinação da composição química	42
4.2.3 Classificação das partículas	43
4.3 Produção dos painéis	44
4.3.1 Delineamento experimental	44
4.3.2 Aplicação do adesivo e emulsão de parafina sobre as partículas	46
4.3.3 Formação do colchão de partículas e prensagem dos painéis	47
4.4 Obtenção dos corpos-de-prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis	47
4.4.1 Ensaio físicos e mecânicos	48
4.4.2 Determinação da razão de compactação dos painéis	50
4.4.3 Caracterização dos perfis densitométricos por atenuação de raios X	50
4.5 Análise dos resultados.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1 Análises das madeiras.....	53
5.1.1 Densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras	53
5.1.2 Composição química das partículas das madeiras	55
5.1.3 Classificação das partículas	58
5.2 Experimento I: painéis aglomerados sem classificação de partículas	59
5.2.1 Razão de compactação dos painéis	59
5.2.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis	60
5.2.3 Absorção de água.....	63
5.2.4 Inchamento em espessura.....	64
5.2.5 Flexão estática.....	67
5.2.6 Ligação interna	69
5.2.7 Arrancamento de parafuso	70
5.2.8 Dureza Janka.....	72
5.2.9 Perfil de densidade	73
5.3 Experimento II: painéis aglomerados com classificação de partículas	78
5.3.1 Razão de compactação dos painéis	78
5.3.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis	79

5.3.3 Absorção de água	81
5.3.4 Inchamento em espessura	84
5.3.5 Flexão estática	86
5.3.6 Ligação interna.....	89
5.3.7 Arrancamento de parafuso	91
5.3.8 Dureza Janka	93
5.3.9 Perfil de densidade.....	95
5.4 Experimento III: painéis aglomerados com diferentes teores de adesivo	99
5.4.1 Razão de compactação.....	99
5.4.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis	99
5.4.3 Absorção de água	103
5.4.4 Inchamento em espessura	105
5.4.5 Flexão estática	108
5.4.6 Ligação interna.....	111
5.4.7 Arrancamento de parafuso	113
5.4.8 Dureza Janka	115
5.4.9 Perfil de densidade.....	116
5.5 Experimento IV: painéis aglomerados com proporção de mistura	120
5.5.1 Razão de compactação dos painéis.....	120
5.5.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis	120
5.5.3 Absorção de água	123
5.5.4 Inchamento em espessura	125
5.5.5 Flexão estática	128
5.5.6 Ligação interna.....	131
5.5.7 Arrancamento de parafuso	133
5.5.8 Dureza Janka	135
5.5.9 Perfil de densidade.....	136
5.6 Resumo das propriedades dos painéis aglomerados.....	140
6 CONCLUSÃO.....	143
REFERÊNCIAS	145
ANEXOS	161

RESUMO

Aproveitamento de resíduos do processamento mecânico de madeiras amazônicas para a produção de painéis aglomerados de alta densificação

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a utilização dos resíduos gerados pelo processamento mecânico das madeiras amazônicas *Caryocar villosum*, *Hymenolobium excelsum*, *Mezilaurus itauba*, *Erismia uncinatum*, *Tachigali myrmecophyla* e *Qualea paraensis* na produção de painéis aglomerados de alta densificação. Os painéis foram produzidos com massa específica nominal de 850 kg.m⁻³, espessura nominal de 15,7 mm e adesivo fenol-formaldeído. Foram adotados 16 tratamentos, analisados por meio de quatro experimentos consecutivos, os quais avaliaram as propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos a partir de cada espécie e de uma mistura entre todas elas em partes iguais, o efeito da remoção dos finos no processo de produção, a influência da alteração do teor de adesivo de 8% para 11% sobre as propriedades dos painéis e a utilização da proporção de 50% de mistura com resíduos de lâminas de *Schizolobium amazonicum*. A partir dos painéis produzidos, foram confeccionados corpos-de-prova para a realização de ensaios físicos (massa específica, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática – MoR e MoE, ligação interna, arrancamento de parafuso e dureza Janka), conduzidos conforme a norma ABNT NBR 14810-3 (2006b). Foi realizada, também, a avaliação do perfil de densidade dos painéis pela metodologia de atenuação de raios X. Observou-se que os painéis aglomerados manufaturados com os resíduos das madeiras *Caryocar villosum*, *Hymenolobium excelsum* e *Tachigali myrmecophyla* apresentaram, de maneira geral, propriedades tecnológicas superiores às demais espécies, atendendo um ou mais requisitos mínimos indicados pela norma ANSI A208.1 (2009) para painéis de alta densidade (classificação H-1) e painéis destinados a produção de pisos (classificação PBU). A remoção dos finos na produção dos painéis resultou em tendência de aumento dos valores de MoR, MoE, ligação interna e dureza Janka e contribuiu para reduzir a AA2h, AA24h e IE2h, além de formar perfis de densidade mais homogêneos. O aumento do teor de adesivo de 8% para 11% resultou em tendência de redução dos valores de AA2h, AA24h, IE2h e IE24h e aumento dos valores de dureza Janka, bem como interações significativas para o MoE e ligação interna, além de formar perfis com picos mais elevados de massa específica nas faces e aumento dos valores de massa específica no miolo. A utilização da proporção de 50% de mistura com partículas de *Schizolobium amazonicum* resultou em tendência de aumento dos valores de MoE e AP topo e redução dos valores de dureza Janka. Houve interação significativa entre os fatores para as propriedades AA24h, IE2h, IE24h, MoR e ligação interna, resultando em tendência de aumento dos valores obtidos. A mistura de 50% originou perfis com picos mais elevados de massa específica nas faces. Os painéis aglomerados manufaturados com resíduos de madeiras amazônicas apresentaram potencial de utilização e se revelaram uma alternativa viável do ponto de vista tecnológico para o aproveitamento de resíduos.

Palavras-chave: Madeiras tropicais; Painéis de madeira; Classificação de partículas; Teor de adesivo; Proporção de mistura

ABSTRACT

Use of Amazonian wood residues from the mechanical processing in the high density particleboard production

The purpose of this research was to evaluate the potential use of Amazonian wood residues from the mechanical processing of *Caryocar villosum*, *Hymenolobium excelsum*, *Mezilaurus lindaviana*, *Erismia uncinatum*, *Tachigali myrmecophyla* and *Qualea paraensis* in the high density particleboard production. The panels were produced with nominal density of 850 kg.m^{-3} , nominal thickness of 15.7 mm and phenol formaldehyde adhesive. Sixteen treatments were analyzed by four consecutive experiments, which evaluated the physical and mechanical properties of the boards produced from the six species and an equal mix of all six, the effect of removing the fines in the production process, the influence of the change of 8% adhesive content to 11% on the properties of the panels and the use of the mixture proportion of 50% with veneers residues of *Schizolobium amazonicum*. Their performance was evaluated with respect to their physical (apparent density, moisture content, water absorption and thickness swelling) and mechanical (static bending – modulus of elasticity and modulus of rupture, internal bond, direct screw withdrawal and Janka hardness) properties, conducted according to ABNT NBR 14810-3 (2006b). The evaluation of the density profile of the panels was also performed by X-ray attenuation methodology. It was observed that the particleboard manufactured with wood residues from *Caryocar villosum*, *Hymenolobium excelsum* and *Tachigali myrmecophyla* presented, in general, technological properties superior to other species, according one or more minimum requirements specified by ANSI A208.1 (2009) for high density panels (H-1 grade) and panels for the production of floors (PBU grade). The removal of the fine in the production of panels resulted in a tendency to increase the values of MoR, MoE, internal bond and Janka hardness and contributed to reduce the WA2h, WA24h and TS2h, besides formed more homogeneous density profiles. The increase from 8% adhesive content to 11% resulted in a tendency to reduce the values of WA2h, WA24h, TS2h and TS24h and increased Janka hardness values, as well as presented significant interactions for the MoE and internal bond, besides formed profiles with higher peak density in the faces and lowest density values in the core. The utilization of 50% mixture proportion with *Schizolobium amazonicum* particles resulted in a tendency to increase the values of MoE and direct screw withdrawal from the edge and reduced the values of Janka hardness. There were significant interactions between the factors for WA24h, TS2h, TS24h, MoR and internal bond properties, resulting in a tendency to increase the values. The mixture of 50% originated profiles with higher peak density in the faces. The particleboard manufactured with Amazonian wood residues showed potential use and viable alternative from a technological point of view for residues recovery.

Keywords: Tropical wood; Wood panels; Particles classification; Adhesive content; Mixture proportion

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2011, o Brasil produziu 16,1 milhões de m³ de madeira tropical serrada, grande parte concentrada nos estados do Pará, Amazonas e Mato Grosso, colocando o país em posição de destaque mundial de produção (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION – ITTO, 2012). Por outro lado, essa posição de destaque divide atenção com os desafios relacionados à ocupação indevida e à exploração ilegal de madeira na região amazônica. Paralelamente, ainda existem outros problemas que requerem cautela, como a grande geração de resíduos produzidos pela indústria do processamento mecânico de madeira. Os processos de transformação utilizados, o nível de capacitação da mão de obra, o nível de automação dos processos, as variações em função da qualidade da madeira adquirida, as espécies processadas, entre outros fatores, são responsáveis por grande parte das perdas (MELO et al., 2012; NOLASCO; ULIANA, 2014).

Conforme Hummel et al. (2010) o volume de madeira não aproveitado diretamente pela indústria madeireira na Amazônia em 2009 foi de 8,4 milhões de m³. Desse total, 19% foram convertidos em carvão vegetal, 18% foi destinado para olarias (fabricação de tijolos e telhas de barro), 14% foi utilizado para cogeração de energia no processamento de madeira ou para uso em estufas de secagem, 24% dos resíduos foram aproveitados de formas diversas (usados em aterros, como adubo, lenha, entre outros), 16% dos resíduos não aproveitados foram queimados ou abandonados como entulho e os resíduos queimados a céu aberto representaram 9% do total.

Tendo em vista a ausência de aproveitamento, bem como o descarte inadequado, tais resíduos, dentro de uma perspectiva de viabilidade técnica, poderiam ser utilizados como alternativas no desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, na manufatura, por exemplo, de painéis de madeira aglomerada.

De acordo com Iwakiri et al. (2012), o aproveitamento de resíduos de processamento da madeira provenientes de serrarias e laminadoras na região amazônica pode ser uma alternativa interessante para as indústrias de painéis aglomerados, uma vez que a disponibilidade deste produto poderia no futuro abrir perspectivas de instalação de polos moveleiros na região. Além disso, os painéis aglomerados poderiam ser aplicados na produção de pisos engenheirados, ampliando as alternativas de destinação para esses produtos. Segundo Iwakiri et al.

(2005), para esse tipo de aplicação, alguns fatores devem ser considerados, tais como: alta massa específica do painel, partículas com dimensões menores visando melhor acabamento superficial e uso de adesivo resistente à umidade.

Além dos fatores inerentes ao processamento, diversos fatores inerentes à madeira influenciam na qualidade final dos painéis, tais como espécie, extrativos e densidade básica. Segundo Marra (1992), as propriedades da madeira possuem forte influência na formação da ligação adesiva e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades para colagem. A densidade básica das madeiras também é um fator limitante, uma vez que a indústria, normalmente, utiliza madeiras com densidades inferiores a 550 kg.m^{-3} (MALONEY, 1993). Contudo, tecnicamente, a mistura de espécies poderia ser uma resposta à adequação das propriedades requeridas na produção de painéis de madeira aglomerada, proporcionando, ao mesmo tempo, um aumento da utilização de espécies tropicais.

Apesar das dificuldades relacionadas à trabalhabilidade das madeiras amazônicas e das escassas referências na literatura sobre a qualidade das mesmas e do seu potencial de aplicação tecnológico para geração de produtos madeireiros específicos, alguns estudos vêm sendo conduzidos em nível laboratorial ao longo dos anos, podendo-se citar os desenvolvidos por Nakamura e Sobral Filho (1991), Lima (2006, 2011), Iwakiri et al. (2010, 2012) e Trianoski (2015), os quais avaliaram a utilização dessas madeiras na produção de painéis laminados e aglomerados.

Considerando a necessidade crescente de suprimento de matéria-prima para a indústria e com a finalidade de dar um aproveitamento aos resíduos de espécies amazônicas, o presente estudo pretende avaliar a utilização dos resíduos gerados pelo processamento mecânico das madeiras tropicais *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (pequiá), *Hymenolobium excelsum* Ducke (angelim-da-mata), *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. Ex Mez (itaúba-amarela), *Erismia uncinatum* Warm. (cedrinho), *Tachigali myrmecophyla* Ducke (tachi-preto) e *Qualea paraensis* Ducke (mandioqueira-escamosa) na produção de painéis aglomerados de alta densificação, visando aplicação semiestrutural, tal como em pisos engenheirados.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a utilização dos resíduos gerados pelo processamento mecânico das madeiras amazônicas *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (pequiá), *Hymenolobium excelsum* Ducke (angelim-da-mata), *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. Ex Mez (itaúba-amarela), *Erismia uncinatum* Warm. (cedrinho), *Tachigali myrmecophyla* Ducke (tachi-preto) e *Qualea paraensis* Ducke (mandioqueira-escamosa) na produção de painéis aglomerados de alta densificação, visando aplicação semiestrutural, tal como em pisos engenheirados.

O desenvolvimento do trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

I) Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos a partir dos resíduos das madeiras amazônicas e identificar as espécies cujos painéis apresentaram o melhor desempenho;

II) Avaliar o efeito da remoção dos finos sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos a partir dos resíduos das madeiras amazônicas;

III) Avaliar o efeito da alteração do teor de adesivo sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos a partir dos resíduos das madeiras amazônicas;

IV) Avaliar o efeito da utilização de uma proporção de mistura entre os resíduos das madeiras amazônicas e resíduos de lâminas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados;

V) Comparar os valores médios das propriedades dos painéis aglomerados produzidos com os valores mínimos estabelecidos pela norma *American National Standards Institute* – ANSI A208.1 (COMPOSITE PANEL ASSOCIATION – CPA, 2009).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos

A Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, considera como resíduo sólido todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

De acordo com a lei citada, o resíduo de madeira é classificado como resíduo agrossilvopastoril e é definido por Nolasco (2000) como todo e qualquer material proveniente da colheita ou processamento da madeira e de outros produtos florestais que permanece sem utilização definida durante o processo, por limitações tecnológicas ou de mercados, sendo descartado durante a produção.

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012), a geração de resíduo de madeira processada mecanicamente no Brasil em 2009 foi equivalente a 50.778.566,33 m³, valor correspondente a 45% de perda no processamento das toras. A região Sul do país apresentou a maior geração de resíduo, sendo responsável por 41,7% das perdas, seguida do Sudeste (32%) e do Norte (15,3%).

As indústrias de base florestal têm baixo rendimento e geram grande quantidade de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária (BRAND et al., 2002). Nas serrarias, além da serragem e costaneiras, as peças são aparadas para padronizar a largura, o comprimento e a espessura, produzindo aparas, cavacos e/ou maravalhas. Nas laminadoras, o maior resíduo é formado pelas lâminas iniciais com tamanhos irregulares e defeitos decorrentes do formato das toras (BIASI e ROCHA, 2007).

O rendimento do desdobro de toras em tábuas, pranchas, vigas ou produtos acabados sofre variações com o tipo e tamanho da indústria madeireira, com a eficiência das máquinas empregadas pela indústria, com as espécies utilizadas e com as características dos produtos beneficiados (INSTITUTO BRASILEIRO DE

DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF, 1998; PEIXOTO; IWAKIRI, 1984; BRAND et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2003).

A Figura 1 apresenta as etapas da industrialização da madeira seguidas dos resíduos gerados na cadeia produtiva.

Figura 1 – Etapas da industrialização e resíduos de madeira

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al. (1989)

Fontes (1994), em função do tamanho e do tipo de processamento, classifica os resíduos de madeira em três tipos distintos:

i) Serragem – resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria à exceção das laminadoras, podendo chegar a 12% do volume total de matéria-prima;

ii) Cepilho – conhecido também por maravalha, é um resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serrarias e beneficiadoras (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros etc.), que podem chegar a 20% do volume total de matéria-prima;

iii) Lenha ou cavacos – resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas, que pode chegar a 50% do volume total de matéria-prima nas serrarias e laminadoras.

Com relação ao grau de periculosidade, de acordo com a norma brasileira NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004), os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- i) Classe I – resíduos perigosos;
- ii) Classe II A – resíduos não inertes;
- iii) Classe II B – resíduos inertes.

Os resíduos do processamento mecânico, em sua maioria, são considerados não inertes, pois apresentam propriedades como biodegradabilidade e combustibilidade.

Apesar da lenta mudança na concepção quanto à destinação do resíduo, ainda há, em muitos lugares, o descarte inadequado, deixando-se de aproveitá-los economicamente. Muitos destes resíduos são queimados a céu aberto, nos pátios de empresas, ou depositados em locais inadequados, sendo comum encontrá-los em margens de rios e lagos, lixões ou aterros clandestinos, juntamente com outros materiais oriundos, por exemplo, da construção civil (IPEA, 2012).

Tais formas de destinação, conforme o artigo 47 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), estão expressamente proibidas. Nesse sentido, seria necessário que houvesse a valorização dos resíduos como ação de desenvolvimento do processo tecnológico, podendo ocorrer de diversas maneiras, a partir da reciclagem, reutilização e regeneração.

No entanto, a plena utilização do potencial dos resíduos de madeira no Brasil depende da quebra de uma série de barreiras que permitam sua valorização como um subproduto. Independentemente do tipo de resíduo de madeira, as fontes geradoras são inúmeras e quase sempre dispersas. Isso requer uma logística bastante complexa para o aproveitamento dos resíduos de madeira, o que acarreta em maiores custos de coleta, manuseio, transporte e armazenamento (TUOTO, 2009).

Dessa forma, Nolasco e Uliana (2014) relatam que a gestão de resíduos é um dos componentes mais importantes na gestão ambiental corporativa e consiste na atividade de elaborar políticas e planos integrados com o objetivo de prevenir a geração, obter o máximo aproveitamento e reciclagem de materiais, reduzir ao máximo o volume e/ou periculosidade dos resíduos gerados e definir as melhores soluções para tratamento e disposição.

Além de utilizados para a geração de energia de diversas formas a partir da queima direta, Souza (1997) sugere que os resíduos sejam aproveitados na produção de briquetes de madeira, carvão, briquetes de carvão e *pellets*; poderiam também ser utilizados na fabricação de pequenos objetos e utensílios tais como brinquedos, artigos de cozinha, cabos de ferramentas, artigos desportivos, decorativos e de recreação; produção de painéis de partículas de diferentes composições; produção de fibras para diversos fins tais como painéis, isolamento termo-acústico, papel, papelão; entre outras.

Em se tratando de painéis de madeira, o apelo pelo melhor aproveitamento dos resíduos gerados pelas indústrias, fez a indústria de painéis reconstituídos aumentar os investimentos em qualidade de produção, equipamentos e processos (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES, 2010). De acordo com Tuoto (2009), a substituição dos *pallets* de madeira sólida por *pallets* de aglomerado, produzido a partir de resíduos de madeira, tem se mostrado como alternativa viável e vem sendo amplamente utilizada na Europa.

Em paralelo, diversos estudos têm sido realizados para desenvolver painéis de partículas incluindo resíduos florestais, resíduos do processamento mecânico da madeira e, muitas vezes, resíduos agrícolas na produção. Os materiais utilizados abrangem desde resíduos do fruto de coco (BRITO et al., 2004), fibras de babaçu (LIMA et al., 2006), pinhas de coníferas (BUYUKSARI et al., 2009; AYRILMIS et al., 2009), bambu (JANUARIO; BERALDO, 2010), bagaço de cana (MENDES et al., 2010), até resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* (DACOSTA et al., 2005a).

Iwakiri et al. (2000), avaliando resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto, concluíram, com base nas propriedades mecânicas, que *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus grandis* foram as espécies que apresentaram o melhor comportamento para produção de painéis de madeira aglomerada.

Santos et al. (2009) analisaram, por meio das propriedades físico-mecânicas, a influência das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia associado às madeiras de eucalipto e pinus sobre painéis de partículas aglomeradas e constataram que tal resíduo mostrou-se viável na confecção das chapas em todas as propriedades, exceto para flexão estática.

Weber (2011) verificou o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados e concluiu que os mesmos possuem potencial técnico para produção de tais painéis, com vantagens econômicas e ambientais.

Iwakiri et al. (2012), avaliando as propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia, indicaram que há viabilidade técnica de utilização de tais espécies, com destaque para *Ecclinusa guianensis* Eyma (caucho) que, de uma forma geral, apresentou melhores resultados para as propriedades físico-mecânicas.

Silva et al. (2013), utilizando resíduos de *Tabebuia serratifolia* (ipê) e *Terminalia catappa* (chapéu-de-sol) na produção de painéis de partículas, avaliaram as propriedades físicas e mecânicas e concluíram que os painéis constituídos pelos resíduos de ipê apresentaram melhores resultados, demonstrando potencial de uso.

Rofii et al. (2013) coletaram resíduos de madeira de *Pometia pinnata*, *Pseudotsuga menziesii* e *Cryptomeria japonica* em indústrias de móveis no Japão, produziram painéis de partículas e concluíram que todos esses resíduos possuem potencial de utilização.

3.2 Painéis de partículas de madeira aglomerada

O painel aglomerado é produzido a partir da redução mecânica da matéria-prima madeira em partículas, incorporação de adesivo e a consolidação de um colchão de partículas com temperatura e pressão (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005; STARK et al., 2010).

De acordo com Pierre et al. (2014) na produção de painéis de partículas são empregados resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade inferior e madeiras provenientes de florestas plantadas. A prática de utilização de resíduos industriais madeireiros na indústria de painéis reconstituídos é bastante comum no exterior, sobretudo nos países da Europa, no entanto, no Brasil, a madeira de florestas plantadas, em especial de eucalipto e de pinus, constitui a principal fonte de matéria-prima (BNDES, 2010).

Segundo a ABRAF (2013), nos últimos anos, a produção e o consumo da indústria de painéis de madeira industrializada apresentaram o maior crescimento médio anual dentre os produtos florestais do Brasil. Dados da ABIPA (2015) indicam

que a produção anual de painéis de partículas cresceu de 2,0 milhões de m³ em 2005 para 3,3 milhões de m³ em 2012. Da mesma forma, o consumo anual de painéis de madeira cresceu de 2,1 milhões de m³ para 3,3 milhões de m³. Esse aumento foi devido ao incremento do consumo doméstico e aos investimentos significativos realizados pelas indústrias do setor, as quais dobraram a capacidade nominal instalada na última década, passando de 2,0 mil/m³ em 2000 para 4,7 mil/m³ em 2014 (ABIPA, 2015).

As elevadas taxas de crescimento da produção destes painéis são também justificadas pela ampla variedade de produtos possíveis de serem fabricados a partir dos mesmos. O aglomerado é bastante utilizado na produção de móveis, sendo oferecido no mercado sem revestimento, com revestimento em ambas às faces ou numa só. Tais revestimentos apresentam inúmeros padrões e cores, podendo conferir aos painéis maior resistência superficial à abrasão, impactos, riscos e manchas. Os painéis podem ser utilizados, ainda, em divisórias, em pisos e na construção civil, como por exemplo, em casas pré-fabricadas.

O adesivo uréia-formaldeído é o mais utilizado na produção do aglomerado, contudo, o fenol-formaldeído e a melamina-formaldeído são os mais indicados em situações de exposição à umidade, tais como em usos estruturais (IWAKIRI et al., 2005). Segundo Stark et al. (2010), o tipo e a quantidade de adesivo utilizado para consolidação de tais painéis depende do tipo e aplicação do produto desejado.

De acordo com Iwakiri (2005), outros materiais podem ser adicionados para melhorar algumas propriedades dos painéis para aplicações específicas, podendo-se citar a emulsão de parafina, retardantes de fogo e produtos preservantes contra fungos e insetos.

3.2.1 Parâmetros que influenciam nas propriedades de painéis de partículas de madeira aglomerada

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis particulados de madeira são dependentes de parâmetros que podem afetar a sua resistência e estabilidade dimensional e, conseqüentemente, influenciar significativamente na qualidade final dos mesmos. Diversos fatores influenciam na adequação das propriedades requeridas, merecendo destaque os fatores inerentes à madeira, tais como espécie, densidade básica e extrativos; e os inerentes ao processamento, tais como massa

específica, razão de compactação, geometria das partículas, teor de adesivo e ciclo de prensagem.

3.2.1.1 Fatores inerentes à madeira

A espécie de madeira é uma importante variável a ser considerada no processo de produção de painéis aglomerados e, de acordo com Iwakiri (2005), a densidade básica, acidez e os extrativos são os parâmetros mais importantes relacionados a ela, uma vez que interagem com outras variáveis do processo, determinando a massa específica do painel e influenciando na formulação do adesivo utilizado.

A densidade básica da madeira afeta a relação entre pressão de prensagem e resistência do colchão de partículas durante a prensagem a quente e, como consequência disso, provoca mudanças na distribuição da densidade vertical, resultando num considerável impacto no processo de manufatura do painel e nas suas propriedades físico-mecânicas (WANG et al., 2000). Nesse mesmo sentido, algumas espécies requerem um maior controle da umidade das partículas, em decorrência da possibilidade de ocorrência de estouro durante a prensagem final do painel (MENDES et al., 2002).

Segundo Marra (1992), as propriedades da madeira possuem forte influência na formação da ligação adesiva e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as de coníferas.

Na indústria de painéis de partículas de madeira aglomerada, uma grande variedade de espécies de madeira poderia ser aproveitada como matéria-prima. No entanto, conforme Nirdosha et al. (2009), resíduos do processamento mecânico de espécies de folhosas não são tradicionalmente utilizados na indústria de painéis de partículas devido à alta densidade básica da madeira e teor de extrativos.

Tecnicamente, a mistura de espécies poderia ser uma resposta à adequação das propriedades requeridas na produção de painéis de madeira aglomerada, proporcionando, ao mesmo tempo, um aumento da utilização de espécies tropicais. Essa prática, geralmente, restringe-se a trabalhos acadêmicos realizados em escala laboratorial, merecendo destaque os trabalhos realizados por Vital et al. (1974), Xu e Suchsland (1999), Naumann et al. (2008), Nirdosha et al. (2009), Wong (2012), Trianoski et al. (2015).

3.2.1.2 Fatores inerentes ao processo

3.2.1.2.1 Massa específica e razão de compactação dos painéis

A massa específica dos painéis de madeira está relacionada à quantidade de partículas para uma determinada dimensão do painel e influencia significativamente as suas propriedades físico-mecânicas (MALONEY, 1993; MENDES, 2010). A relação entre a massa específica do painel e a densidade básica da madeira utilizada é denominada de razão de compactação e, da mesma forma, exerce influência acentuada sobre tais propriedades (MOSLEMI, 1974).

De acordo com Kelly (1977), painéis de mesma massa específica nominal, produzidos com madeira de alta densidade básica, apresentam menor razão de compactação do colchão de partículas e consequente diminuição nas propriedades mecânicas dos painéis. Contudo, painéis de alta massa específica, produzidos a partir de madeiras de altas densidades básicas, são geralmente mais resistentes (VITAL et al., 1974; CARLL, 1994). Portanto, há uma interdependência entre os parâmetros de processamento nas propriedades da chapa produzida.

Segundo Maloney (1993), na produção de painéis de partículas, prefere-se o uso de espécies de baixa densidade devido ao fato de que a madeira pouco densa permite sua compressão em um painel de média densidade, com a garantia de se formar um suficiente contato entre as partículas, permitindo uma boa ligação. Portanto, conforme Albuquerque (2000), espécies mais densas não podem ser usadas na produção de painéis de média densidade por não atingirem uma boa ligação, mas podem ser empregadas na produção de painéis de densidade mais elevada.

Iwakiri et al. (2008) relatam que há relações lineares entre a massa específica e as propriedades mecânicas, uma vez que, em seu estudo, o aumento na massa específica do painel na faixa de 700 para 800 kg.m⁻³ resultou em incrementos proporcionalmente superiores nos valores médios de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática.

Na pesquisa realizada por Albuquerque (2002), com o aumento na massa específica do painel de 700 para 900 kg.m⁻³, foram verificados aumentos significativos das propriedades de ligação interna, do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em flexão estática.

3.2.1.2.2 Dimensões e forma das partículas

A geometria das partículas, incluindo a forma e o tamanho, é um dos principais parâmetros que afetam as propriedades dos painéis de madeira aglomerada (MOSLEMI, 1974; FRYBORT et al., 2008). Conforme Juliana et al. (2012), tal parâmetro pode afetar substancialmente a qualidade da adesão entre as partículas e, conseqüentemente, influenciar na resistência e rigidez dos painéis.

A razão de esbeltez, relação entre o comprimento e espessura das partículas, é um parâmetro importante, pois dela dependem a área de contato entre as partículas no painel e o consumo relativo de adesivo (IWAKIRI, 1989). Uma vez que se altera a geometria ou a granulometria de partículas, há a necessidade também de se averiguar a melhor proporção de adesivos a serem empregados, entre outras variáveis do processo (PEIXOTO; BRITO, 2000).

Segundo Moslemi (1974) partículas mais longas e finas produzem chapas com maior resistência a flexão estática e estabilidade dimensional, enquanto que partículas mais curtas e mais espessas produzem chapas com maior ligação interna e menor estabilidade dimensional. Além disso, conforme o autor, partículas com dimensões menores requerem maior consumo relativo de resina, considerando a maior área superficial específica das partículas a ser recoberta. Com a aplicação de mesma quantidade de resina, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área (MALONEY, 1993). Portanto, os elementos dimensionais das partículas devem ser definidos de acordo com o tipo de painel e da qualidade requerida.

Diversas pesquisas apresentam a influência da geometria das partículas sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis ao longo dos anos, podendo-se citar as desenvolvidos por Rackwitz (1963), Ong (1981), Vital et al. (1992), Brito (1995), Juliana et al. (2012), Rofii et al. (2013), Torrell et al. (2013) e Lias et al. (2014).

3.2.1.2.3 Teor de adesivo

Diversos fatores precisam ser considerados na seleção do adesivo e de sua quantidade para uma determinada aplicação. Frihart e Hunt (2010) descrevem que o

adesivo deve ser aplicado, molhar a superfície, penetrar na madeira, curar, e manter-se resistente quando o material for exposto a diferentes cargas e condições.

Na produção de painéis de partículas de madeira, o adesivo é o componente de maior custo de produção, portanto, a quantidade a ser aplicada deve ser otimizada em função das propriedades requeridas para a finalidade de uso a que se destina o painel (IWAKIRI, 2005).

Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmam que a quantidade de resina está diretamente associada à área superficial específica das partículas. Para painéis com maior massa específica, Marra (1992) recomenda o uso de maior quantidade de adesivo, tendo em vista a maior área superficial das partículas. Além disso, de acordo com Dunky e Niemz (2002), a fim de maximizar a probabilidade de cobrir toda a área, as gotas de adesivo devem ser pequenas e uniformemente distribuídas.

Albuquerque (2002) ressalta que o teor de adesivo baseado no peso da madeira seca é muito dependente da geometria das partículas; entretanto, na prática, as dificuldades inerentes na determinação da área superficial por unidade de peso da madeira, limita a difusão no uso de cálculos por unidade de área superficial de partículas. De qualquer forma, para cada configuração de partícula há um teor ótimo de resina, o qual depende, principalmente, do tipo de painel (KELLY, 1977).

Yang et al. (2007), caracterizando painéis de partículas produzidos a partir de resíduos impregnados com adesivo fenol-formaldeído nas concentrações de 4,5%, 6,5% e 10%, concluíram que o módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática e a ligação interna dos painéis aumentaram linearmente com o aumento do teor de adesivo.

Nemli et al. (2007), em seu experimento, verificaram os efeitos do teor de adesivo sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados e destacaram que o aumento da quantidade de adesivo de 8-10% (miolo-face) para 10-12% (miolo-face), melhorou o inchamento em espessura e as propriedades mecânicas dos painéis de forma significativa.

3.2.1.2.4 Ciclo de prensagem

A operação de prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de painéis de madeira. É nesta operação que muitas das propriedades físicas são definidas, especialmente aquelas influenciadas pelo gradiente vertical de densidade

do painel. As condições de prensagem mais importantes que afetam as propriedades dos painéis de madeira são o teor de umidade do colchão de partículas, a velocidade de fechamento da prensa, o tempo e a temperatura de prensagem (KELLY, 1977).

Conforme Matos (1988), o teor de umidade do material no ciclo da prensa exerce influência sobre a resistência da madeira à compressão e pode ser considerado como um dos mais importantes fatores na produção de painéis de partículas. Segundo o autor, outra variável importante é a velocidade de fechamento da prensa, a qual equivale ao tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material, até atingir a espessura desejada. Um tempo muito longo de fechamento faz com que o adesivo nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e ocasionando a pré-cura nas camadas superficiais, o que reduz as propriedades de resistência das chapas (KELLY, 1977).

Considerando a temperatura de prensagem, Matos (1988) afirma que a sua principal função, na produção de painéis de partículas, é a aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira. Iwakiri (1989) menciona que quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática.

Com relação à pressão de prensagem, além de determinar a espessura e a densidade final, a mesma ainda auxilia na transferência do calor responsável pela cura do adesivo, proporcionando a consolidação do painel (CALEGARI et al., 2005). García et al. (1999) comentam que o calor plasticiza a madeira e polimeriza o adesivo, enquanto a pressão exercida pelos pratos da prensa é responsável pela aderência das partículas.

3.2.2 Propriedades físicas e mecânicas de painéis de partículas

3.2.2.1 Absorção de água e inchamento em espessura

Absorção de água é a expressão percentual da quantidade de água absorvida a qual ocorre quando uma amostra acondicionada a 20°C e 65% de umidade relativa (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 2 e 24 horas (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM, 2006).

O inchamento em espessura, por sua vez, é definido como a variação percentual de aumento em espessura que uma amostra de um painel de madeira aglomerada apresenta após ficar imerso pelo tempo de 2 e 24 horas em água (ABNT, 2006a).

Segundo Brito (1995), o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis. O inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, geometria das partículas, massa específica dos painéis, teor de adesivo, teor de parafina, eficiência da aplicação da cola e condições de prensagem (HALLIGAN, 1970).

3.2.2.2 Módulo de elasticidade (MoE) e módulo de ruptura (MoR) à flexão estática

Segundo Cai e Ross (2010), a elasticidade implica que as deformações produzidas abaixo do limite proporcional são completamente recuperáveis após a remoção da carga e quando esse limite é ultrapassado ocorre a deformação plástica. Normalmente, conforme os autores, a curva tensão-deformação para os compósitos à base de madeira é linear abaixo do limite proporcional. Nesse sentido, o módulo de elasticidade (MoE) pode ser definido como uma constante elástica que expressa a rigidez do painel quando submetido à aplicação de força durante o regime elástico (ABNT, 2006a).

Já o módulo de ruptura (MoR) é definido por Matos (1997) como a medida da resistência oferecida pela madeira aos esforços de flexão e os valores obtidos são utilizados para obtenção de tensões admissíveis para diversas formas de utilização da madeira. O MoR é uma propriedade muito importante e determina a aplicabilidade das chapas de partículas para uso estrutural (IWAKIRI, 1989).

Segundo Kelly (1977), o MoR e o MoE são afetados de forma similar pelas diversas variáveis de processamento. O aumento da massa específica dos painéis, orientação das partículas e conteúdo de adesivo geralmente afetam ambas as propriedades simultaneamente.

3.2.2.3 Tração perpendicular (Ligação interna)

A resistência à tração perpendicular (ligação interna) indica a tensão máxima suportada pela amostra do painel de partículas, quando esta é submetida a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície, até a ruptura (ABNT, 2006a; CAI; ROSS, 2010).

A resistência da ligação interna é uma propriedade amplamente estudada nas pesquisas sobre painéis de partículas. Quando uma amostra é testada em tração perpendicular normalmente ocorre a ruptura na porção média da sua espessura, que corresponde a região de menor densidade e ligação entre partículas (IWAKIRI, 1989).

Para Matos (1988), a ligação interna serve como parâmetro para avaliação da agregação interna das partículas e da eficiência da colagem dos painéis.

3.2.2.4 Arrancamento de parafuso

A propriedade que avalia a resistência máxima que uma amostra de painel de madeira aglomerada oferece ao se retirar um parafuso, colocado na superfície ou topo, quando submetido a uma força de tração é denominada de arrancamento de parafuso (ABNT, 2006a; CAI; ROSS, 2010).

Conforme Maloney (1993), tal propriedade mecânica pode ser afetada pela geometria das partículas.

3.2.2.5 Dureza Janka

A dureza Janka é uma medida de resistência à penetração de metade de uma esfera de 11,3 mm de diâmetro introduzida na amostra do painel de madeira aglomerada (ABNT, 2006a; CAI; ROSS, 2010).

De acordo com Lewis (1968), a dureza pode ser considerada como um importante índice, porque os painéis reconstituídos de madeira passaram a ser utilizados na construção civil da mesma maneira que a madeira sólida e tal propriedade proporciona a necessária comparação dos valores obtidos com a madeira. Segundo Milagres (2004), o teste de dureza Janka é um excelente parâmetro para medir a qualidade do painel para pisos.

3.2.2.6 Perfil de densidade

A massa específica dos painéis de partículas produzidos por prensagem a quente não se mostra uniforme na direção da sua espessura. Tal variação consiste no chamado perfil de densidade vertical ou gradiente de densidade vertical e pode afetar quase todas as propriedades físicas e mecânicas do produto (JIN et al., 2009).

O perfil de densidade vertical de painéis de partículas é determinado por diversos fatores tais como a geometria das partículas, a distribuição da umidade no colchão de partículas, o tempo de fechamento da prensa, a temperatura da prensa, a reatividade do adesivo e a resistência das partículas de madeira à compressão (KELLY, 1977; BELINI et al., 2009; CHEN et al., 2010).

Diversas pesquisas investigaram os efeitos da temperatura, umidade e a configuração das partículas de madeira sobre a formação do perfil de densidade (KELLY, 1977; SUO; BOWYER, 1994; DAI et al., 2000; WANG et al., 2000) e o efeito das formas de tal perfil sobre as propriedades dos painéis de partículas (KELLY, 1977; XU, 1999; WONG et al., 1999; SURDI et al., 2014; BELINI et al., 2014).

O perfil de densidade de painéis de partículas pode ser obtido a partir da metodologia de densitometria de raios X. Os raios X consistem de uma radiação eletromagnética penetrante e invisível a olho nu, e quando atravessam a madeira, há uma interação, na qual parte dos fótons de raios X é removida do feixe incidente numa quantidade proporcional à massa específica da madeira, da espessura da amostra e do número de fótons incidentes (SIQUEIRA, 2004). A técnica de densitometria de raios X para determinação da massa específica e do perfil de densidade dos painéis de madeira tem se destacado devido à precisão, ao detalhamento e a praticidade da análise, demonstrando alta resolução espacial (CHEN et al., 2010).

3.3 Características gerais das madeiras estudadas

Embora as espécies florestais da Amazônia sejam foco de diversos estudos há anos, pouco se sabe sobre as propriedades e possíveis aplicações da maioria delas. Considerando a exploração florestal inserida em um regime de plano de manejo florestal sustentável, é possível ampliar o número de espécies de árvores comerciais e proporcionar um melhor aproveitamento à madeira, inclusive com a utilização dos resíduos.

3.3.1 *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers.

A família Caryocaraceae, exclusivamente neotropical, é constituída de 25 espécies em 2 gêneros, *Caryocar* e *Anthodiscus*, distribuídas desde a Costa Rica até o Paraguai e Paraná, sendo mais abundante nas Guianas e na Bacia Amazônica (RIBEIRO et al., 1999). *Caryocar villosum*, conhecida popularmente como pequiá, espécie comum da Amazônia Central, é uma árvore de dossel que pode atingir entre 40 e 50 metros de altura e 2,5 metros de diâmetro (SHANLEY; MEDINA, 2005). O cerne é esbranquiçado, levemente rosado, passando geralmente a amarelado-claro ou também pardo-claro-amarelado (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT, 1989a). A madeira é considerada pesada e demonstra ter alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (LORENZI, 2002).

De acordo com Shanley e Medina (2005), a madeira, por apresentar alta resistência e fornecer peças de grandes dimensões, é utilizada na indústria civil e naval, sendo de grande importância para armação do fundo interno das embarcações. Além disso, apresenta boas características para dormentes ferroviários, cruzetas, postes, mourões, vigas, caibros, embalagens (IPT, 1989a).

Esta espécie possui grande valor econômico e praticamente todas as partes da planta podem ser utilizadas. Segundo Araújo (1995), o óleo retirado das amêndoas e da polpa é utilizado na manufatura de sabão doméstico e na indústria de cosméticos, já as folhas, casca da árvore e polpa do fruto são ricas fontes de taninos.

3.3.2 *Hymenolobium excelsum* Ducke

A família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, é constituída de, aproximadamente, 500 gêneros e mais de 10 mil espécies divididas em 31 tribos e distribui-se amplamente nas zonas tropicais, subtropicais, estendendo-se às regiões temperadas, porém sua maior diversidade encontra-se nos trópicos americanos e africanos (RIBEIRO et al., 1999). Na Amazônia a subfamília é bastante conhecida pelo valor econômico, por meio de suas plantas nutritivas. *Hymenolobium excelsum* Ducke, conhecida popularmente como angelim-da-mata, é uma espécie ocasional e rara encontrada na Amazônia Central e Oriental, além de ser árvore de dossel, apresenta tronco grosso e casca acinzentada.

A madeira é considerada pesada, de difícil trabalhabilidade, mas recebe bom acabamento; possui superfície lisa ao tato, ausência de brilho e cheiro indistinto (MELO; GOMES, 1979; SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA – SUDAM, 1979). Segundo Andrade (2015), apresenta cerne e alburno distintos pela cor, sendo o cerne rosado ou amarronzado, sem alteração de cor por foto-oxidação; possui grã entrecruzada ou reversa e textura grossa.

A madeira de espécies de *Hymenolobium*, de forma geral, é utilizada na construção civil, marcenaria, carpintaria e até mesmo na fabricação de instrumentos musicais (RIBEIRO et al., 1999).

3.3.3 *Mezilaurus itauba* (Meisn.) Taub. Ex Mez

A família Lauraceae, frequente em florestas tropicais montanas, é constituída de, aproximadamente, 2500 espécies inclusas em 52 gêneros, sendo a de maior diversidade nas terras baixas da Amazônia e América Central (RIBEIRO et al., 1999). A espécie *Mezilaurus itauba*, conhecida por itaúba-amarela, é muito comum na região de Óbidos no Pará e no Rio Tapajós, dispersando-se até as Guianas e o Estado de Mato Grosso. É encontrada sempre em solos pobres, silicosos ou argilossilicosos (GARCIA et al., 2012).

A árvore apresenta tronco reto e cilíndrico, cerne marrom avermelhado claro e alburno branco acinzentado, textura média a fina e alta densidade (LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF, 2014). A madeira não apresenta brilho nas

superfícies longitudinais, o cheiro é perceptível e agradável e a grã pode ser entrecruzada ou revessa (ANDRADE, 2015).

De acordo com Garcia et al. (2012), a espécie possui alta resistência mecânica, baixa retratibilidade e elevada resistência natural ao apodrecimento e ataque de insetos. É moderadamente difícil de ser trabalhada, tanto com ferramentas manuais como com máquinas, devido à presença de sílica; porém permite bom acabamento (JANKOWSKY, 1990).

A madeira de Lauraceae é amplamente explorada em diversas regiões. Na Amazônia, a madeira de itaúba é empregada na construção de embarcações devido a sua alta durabilidade e resistência (RIBEIRO et al., 1999). Além disso, vem sendo largamente usada em construções externas, como postes, moirões, dormentes, cruzetas e estacas; em partes internas, pode ser utilizada como vigas, caibros, marcos ou batentes de portas e janelas, esquadrias e tacos. Tem uso também em carrocerias e cabos para ferramenta (IPT, 2015).

3.3.4 *Erisma uncinatum* Warm.

A espécie *Erisma uncinatum* Warm (cedrinho), pertencente à família Vochysiaceae, ocorre na região Amazônica, na floresta pluvial de terra firme, sendo frequente no Estado do Amazonas (LORENZI, 1998).

O tronco das árvores é reto e cilíndrico, o cerne é avermelhado a marrom apurpurado e o alburno marrom acinzentado claro, possui textura média a grossa (LPPF, 2014). A madeira apresenta baixa densidade básica e demonstra ter baixa durabilidade ao ataque de organismos xilófagos (IPT, 1989a). De acordo com Andrade (2015) a madeira não apresenta brilho nas superfícies longitudinais, o cheiro é imperceptível, possui grã direta e pode ser considerada moderadamente dura ao corte transversal manual.

Segundo Lorenzi (1998), a madeira pode ser empregada internamente em construção civil, para tabuado em geral, caixotaria, compensados, estruturas de móveis, cabo de ferramentas, para confecção de brinquedos, esquadrias e para lenha e carvão.

3.3.5 *Tachigali myrmecophyla* Ducke

A espécie *Tachigali myrmecophyla* Ducke (tachi-preto), pertencente à família Leguminosae, sub-família Ceasalpinoideae, ocorre na Amazônia Central e Oriental (RIBEIRO et al., 1999).

Segundo Zerbini (2008), a madeira apresenta cerne amarelado a castanho-amarelado-claro distinto do alburno, textura média e densidade básica considerada média. Além disso, é considerada moderadamente resistente ao ataque de fungos e apresenta baixa permeabilidade às soluções preservativas quando submetida à impregnação sob pressão (IPT, 1989b).

A madeira apresenta brilho nas superfícies longitudinais, cheiro imperceptível, grã entrecruzada ou revessa e pode ser considerada moderadamente dura ao corte transversal manual (ANDRADE, 2015).

Ainda conforme IPT (1989b), a madeira pode ser utilizada na construção civil leve interna em forma de ripas, cordões, forros, guarnições e molduras, partes internas de móveis, embalagens, compensados, lâminas de utilidade geral, embarcações, artigos de esporte e brinquedos.

3.3.6 *Qualea paraensis* Ducke

A família Vochysiaceae, de distribuição principalmente neotropical, é constituída de 200 espécies em sete gêneros. A espécie *Qualea paraensis* Ducke, conhecida popularmente como mandioqueira-escamosa, espécie comum da floresta pluvial de terra firme na região Amazônica, é uma árvore de dossel e apresenta sapopemas (RIBEIRO et al., 1999).

O cerne é rosado ou amarronzado, sendo distinto do alburno. A madeira não apresenta brilho nas superfícies longitudinais, o cheiro é imperceptível e possui grã entrecruzada ou revessa (ANDRADE, 2015).

A madeira é considerada pesada e apresenta textura grosseira e média resistência mecânica, além disso, demonstra baixa durabilidade ao ataque de organismos xilófagos (LORENZI, 1998). Segundo o mesmo autor, a madeira pode ser empregada para compensados, caixotaria, para uso interno em construção civil, como caibros, vigas, assoalhos, etc., para confecção de remos, canoas, esquadrias, cabos de ferramentas e instrumentos agrícolas, bem como para lenha e carvão.

3.3.7 *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke

Schizolobium amazonicum Huber ex Ducke (paricá), espécie pertencente à família Leguminosae e sub-família Caesalpinioideae, ocorre de forma natural no Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia (CARVALHO, 2007). Pelo fato de apresentar grande potencial econômico, o paricá vem sendo plantado comercialmente em áreas de terra firme e, de acordo com dados da ABRAF (2013), estima-se que a área de plantios seja superior a 87 mil ha.

De acordo com Terezo (2010), merece destaque entre as espécies nativas plantadas devido ao seu rápido desenvolvimento e alta produtividade de volume de madeira por hectare (30 a 35 m³/ha/ano).

Vidaurre (2010) destaca que a espécie possui rápido crescimento, com ciclos de corte aos 7 anos de idade, e por apresentar fuste reto, há um maior rendimento de lâminas de boa qualidade na indústria de compensados. Outro fator que a torna vantajosa na produção de lâminas é o fato de não necessitar de cozimento para a laminação, em função de sua baixa densidade, reduzindo os custos finais.

O alburno creme-amarelado é diferenciado do cerne marrom-claro, com uma zona de transição gradual. A grã é entrecruzada e possui textura média a grossa. A madeira é de boa trabalhabilidade, recebe bom acabamento, mas possui baixa durabilidade natural, sendo susceptível ao ataque de fungos, cupins e insetos xilófagos (CARVALHO, 2007).

Segundo Bianche et al. (2012) a madeira de paricá vem sendo utilizada no Norte do Brasil, principalmente, para a fabricação de compensados, apresentando potencial para a produção de painéis aglomerados.

Iwakiri et al. (2010) avaliou o potencial de utilização de madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá) e *Cecropia hololeuca* (embaúba) para produção de painéis aglomerados e os resultados indicaram que as madeiras são tecnicamente viáveis para produção de tais painéis.

Naumann et al. (2008), avaliando as propriedades de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus urophylla* fabricados em proporções de mistura com partículas de *Schizolobium amazonicum* (paricá), verificaram que a utilização de um percentual maior de partículas de paricá melhorou a estabilidade dimensional dos painéis e resultou em maior resistência mecânica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta e preparo do material

4.1.1 Resíduos das espécies do projeto Piso de Madeira Sustentável – PIMADS

O desenvolvimento da pesquisa teve início por meio de uma parceria com o Projeto PIMADS (Piso de Madeira Sustentável – “Modelo Sustentável para a Cadeia Produtiva Brasileira de Pisos de Madeira”), o qual foi executado pela ANPM (Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira), com recursos fornecidos pela ITTO (International Tropical Timber Organization) e com o objetivo de contribuir para a utilização sustentável e adequada dos recursos da floresta amazônica brasileira.

Para o Projeto PIMADS foram selecionadas, previamente, 14 espécies que não são comumente utilizadas na indústria de pisos de madeira. Esta seleção foi realizada conforme as propriedades tecnológicas das madeiras, frequência na floresta e interesse comercial. Ao todo foram cortadas 42 árvores, sendo três de cada espécie, na UPA-06 (Unidade de Produção Anual - 06), inserida em uma área de manejo florestal sustentável, certificada pelo FSC, pertencente ao Grupo Orsa Florestal, localizada no Vale do Jari, distrito de Monte Dourado, município de Almeirim – PA (Figura 2).

Figura 2 – Localização do município de Almeirim, Pará

Após o corte das árvores, de cada uma delas foi retirada uma tora com 2,5 m de comprimento da primeira parte do fuste (basal) ou imediatamente após a

sapopema. Ainda na floresta, com o auxílio da motosserra, cada tora foi desdobrada em quatro blocos de madeira com dimensões de 17 cm x 17 cm x 250 cm (largura, espessura e comprimento, respectivamente). Feito isso, dois dos blocos obtidos foram coletados e transportados para o Departamento de Ciências Florestais – LCF da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba – SP, local onde foram processados. Os blocos restantes foram encaminhados para outras instituições de pesquisa participantes do Projeto PIMADS.

Considerando a disponibilidade de material que foi gerado na forma de resíduos, proveniente das operações de desdobro dos blocos em tábuas e vigas, refilo e destopo de tábuas, refugos gerados na produção de corpos-de-prova para ensaios físico-mecânicos do Projeto PIMADS conduzidos no LCF, bem como analisando a densidade básica das madeiras, optou-se por utilizar o material resultante do processamento mecânico das madeiras de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (pequiá), *Hymenolobium excelsum* Ducke (angelim-da-mata), *Mezilaurus itauba* (itaúba-amarela), *Erismia uncinatum* Warm. (cedrinho), *Tachigali myrmecophyla* Ducke (tachi-preto) e *Qualea paraensis* Ducke (mandioqueira-escamosa).

Inicialmente, os resíduos gerados a partir do processamento mecânico de tais espécies foram transformados em cavacos por meio de um picador florestal acionado pela tomada de potência de um trator pertencente ao Laboratório de Química, Celulose e Energia – LQCE do LCF (Figura 3A).

As partículas de madeira (Figura 3D), por sua vez, foram geradas a partir do processamento dos cavacos (Figura 3B) num moinho de facas Willey (Figura 3C), utilizando-se peneira de 4 mm de abertura, localizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Madeira e Derivados – LEMMAD do LCF.

Posteriormente, no Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira – LLAPAM do LCF, foi realizada a secagem das partículas em estufa laboratorial (Figura 3 E), dotada de renovação e circulação forçada de ar, a temperatura de 90°C. A secagem foi finalizada quando as partículas apresentaram teor de umidade entre 3 e 5%, determinado através de uma balança de precisão.

Figura 3 – Obtenção das partículas. A) Picador acoplado ao trator; B) Amostras dos cavacos obtidos no picador; C) Moinho de facas; D) Partículas geradas a partir dos cavacos; E) Estufa de secagem

4.1.2 Resíduos de lâminas de Paricá

O paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), cuja espécie vem sendo implantada em programas de reflorestamento e é bastante utilizado para produção de lâminas e manufatura de compensados na região norte do Brasil, foi cedido pela empresa Laminadora Lano da Amazônia LTDA, localizada no município de Rolim de Moura – RO (Figura 4). Os resíduos coletados compreenderam pedaços de lâminas descartados na operação de guilhotinagem realizada após o processo de secagem, através da qual as dimensões das lâminas são uniformizadas. Posteriormente, todo o material coletado foi transportado para o LCF e transformado em pequenos cavacos, utilizando-se uma serra de fita.

Da mesma maneira descrita anteriormente para as demais espécies, os cavacos foram transformados em partículas, as quais, posteriormente, foram secas em estufa até apresentaram teor de umidade entre 3 e 5%.

Figura 4 – Localização do município de Rolim de Moura, Rondônia

4.2 Análises das madeiras

4.2.1 Determinação da densidade básica

A densidade básica das madeiras foi determinada pelo método da imersão tomando-se 10 amostras de 100g de cavacos, conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003). A densidade básica foi determinada pela Equação 1.

$$D_b = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)} \quad (1)$$

Onde:

D_b é a densidade básica da madeira (kg.m^{-3});

m_3 é a massa da amostra seca em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$;

m_2 é a massa da pesagem do conjunto imerso (cesto e cavacos);

m_1 é a massa do cesto imerso.

A densidade básica da mistura das madeiras foi obtida a partir da Equação 2.

$$D_{bm} = \frac{(P_{ma} \times D_{b_{ma}}) + \dots + (P_{ma} \times D_{b_{ma}})}{100} \quad (2)$$

Onde:

D_{bm} é a densidade básica da mistura das madeiras (kg.m^{-3});

P_{ma} é a porcentagem de madeira;

$D_{b_{ma}}$ é a densidade básica da madeira (kg.m^{-3}), determinada conforme a Equação 1, anteriormente descrita.

4.2.2 Determinação da composição química

Para a análise da composição química dos resíduos das madeiras amazônicas, as amostras foram transformadas em cavacos com posterior redução dos mesmos em serragem em moinho tipo *Willey* e classificação em malha de 40 a

60 mesh no LQCE do LCF. Foram determinados o teor de extrativos (TAPPI Methods T 204 cm-97), teor de lignina (TAPPI Methods T 222 om-02) e teor de holocelulose (celulose e hemicelulose), este último com base na Equação 3. Os procedimentos utilizados para a determinação das porcentagens de extrativos totais e de lignina foram realizados conforme metodologia proposta por Segura (2012).

$$TH = 100 - (ET + LT) \quad (3)$$

Onde:

TH é o teor de holocelulose (%);

ET é o teor de extrativos totais (%);

LT é o teor de lignina total (%).

A determinação da composição química foi realizada com a finalidade de gerar subsídios para discussão dos resultados das propriedades dos painéis.

4.2.3 Classificação das partículas

Foi realizada a classificação granulométrica das partículas com a utilização de uma máquina vibratória, dotada de peneiras de dimensões 50 x 50 x 10 cm, empregando as malhas 4,00 mm, 2,00 mm, 0,85 mm, 0,50 mm e coletor (Figura 5). As partículas que passaram na peneira de 0,50 mm foram classificadas como finos.

Para efetuar a classificação, foram retiradas três amostras de 1000 g de partículas de madeira de cada espécie. Cada uma das amostras foi submetida individualmente à máquina vibratória pelo tempo de 10 minutos, permitindo que o material atravessasse as peneiras em ordem decrescente de abertura. Posteriormente, as amostras retidas nas peneiras foram pesadas em balança com precisão de um décimo de grama. Os valores obtidos foram utilizados para expressar o percentual de material retido em cada uma das frações, em relação à massa original da amostra.

Figura 5 – Máquina vibratória utilizada para classificação das partículas

4.3 Produção dos painéis

4.3.1 Delineamento experimental

Os painéis foram produzidos no LLAPAM do LCF, com massa específica nominal de 850 kg.m^{-3} e espessura nominal de 15,7 mm.

Na produção dos painéis foram adotados 16 tratamentos, conforme descrito nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. Para cada tratamento foram produzidas 03 repetições, totalizando 48 painéis.

Tabela 1 – Tratamentos adotados na avaliação das espécies na produção dos painéis aglomerados

Tratamento	Espécie	Proporção de Mistura	Adesivo
		%	
T1	Pequiá	100	8
T2	Angelim-da-mata	100	8
T3	Itaúba-amarela	100	8
T4	Cedrinho	100	8
T5	Tachi-preto	100	8
T6	Mandioqueira-escamosa	100	8
T7	Mistura espécies T1 a T6	16,7	8

Tabela 2 – Tratamentos adotados para a avaliação do efeito da retirada dos finos na produção dos painéis aglomerados

Tratamento	Espécie	Classificação	Teor de Adesivo (%)
T1	Pequiá	Com finos	8
T8		Sem finos	
T5	Tachi-preto	Com finos	8
T9		Sem finos	
T2	Angelim-da-mata	Com finos	8
T10		Sem finos	

Tabela 3 – Tratamentos adotados para a avaliação do efeito do teor de adesivo na produção dos aglomerados

Tratamento	Espécie	Classificação	Teor de adesivo (%)
T8	Pequiá	Sem finos	8
T11			11
T9	Tachi-preto	Sem finos	8
T12			11
T10	Angelim-da-mata	Sem finos	8
T13			11

Tabela 4 – Tratamentos adotados para a avaliação do efeito da proporção de mistura das partículas de madeira na produção dos aglomerados

Tratamento	Proporção de partículas de Pequiá	Proporção de partículas de Tachi-preto	Proporção de partículas de Angelim-da-mata	Proporção de partículas de Paricá	Teor de adesivo
	%				
T11	100	-	-	0	11
T14	50	-	-	50	
T12	-	100	-	0	11
T15	-	50	-	50	
T13	-	-	100	0	11
T16	-	-	50	50	

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

Experimento I – composto pelos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Para a produção dos painéis do Experimento I, o material foi utilizado em sua totalidade, inclusive com os “finos” (partículas de menores dimensões que passaram pela peneira de 0,50 mm e ficaram retidas no coletor da máquina vibratória). A partir da análise deste experimento, foram selecionadas as três espécies cujos painéis produzidos apresentaram os melhores desempenhos das propriedades físicas e mecânicas para compor o próximo experimento.

Experimento II - composto pelos tratamentos T1, T2, T5, T8, T9 e T10. O delineamento experimental também foi o inteiramente casualizado, no entanto, com arranjo fatorial do tipo 3 x 2 para os tratamentos, cujos fatores foram a espécie de madeira na qual os resultados apresentaram melhor desempenho no Experimento I (Pequiá, Tachi-preto e Angelim-da-mata) e classificação das partículas (com a utilização dos finos – partículas retidas no coletor da máquina vibratória e sem a utilização dos finos – empregando as partículas classificadas entre as malhas de

2,00 mm, 0,85 mm e 0,5 mm), respectivamente. Por meio deste experimento foi indicada a classificação adequada para compor o experimento seguinte.

Experimento III – composto pelos tratamentos T8, T9, T10, T11, T12 e T13. O delineamento experimental e a análise estatística tiveram o mesmo formato descrito no experimento anterior (II), porém, neste caso, os fatores avaliados foram a espécie de madeira utilizada (Pequiá, Tachi-preto e Angelim-da-mata) e teor de adesivo (8% e 11%). A partir dos resultados obtidos para as propriedades dos painéis, foi indicado o teor de adesivo mais eficiente na sua produção.

Experimento IV – composto pelos tratamentos T11, T12, T13, T14, T15 e T16. O delineamento experimental e a análise estatística tiveram o mesmo formato descrito nos experimentos anteriores (II e III), contudo, os fatores avaliados foram a espécie de madeira utilizada (Pequiá, Tachi-preto e Angelim-da-mata) e a proporção de mistura com os resíduos de lâminas de Paricá (100% e 50%). A proporção de mistura foi aplicada com a finalidade de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

4.3.2 Aplicação do adesivo e emulsão de parafina sobre as partículas

O adesivo aplicado sobre as partículas foi o fenol-formaldeído (FF) líquido, com teor de sólidos de 52,32%, gel time a 121°C de 8,19 minutos e viscosidade a 25°C de 640 cP, nas quantidades de 8% e 11% de sólidos resinosos, conforme o tratamento adotado, calculadas sobre a massa seca das partículas. Parafina líquida, também, foi aplicada sobre as partículas de todos os tratamentos na quantidade de 1% de sólidos, calculada sobre a mesma base citada para o adesivo.

A aplicação do adesivo e da emulsão de parafina foi realizada separadamente, nessa mesma ordem, em uma encoladeira do tipo tambor rotativo (Figura 6A), regulada para girar a 12 RPM, no interior da qual estava acoplada uma pistola a ar comprimido, dotada de caneco superior, utilizada para aspersão dos líquidos sobre as partículas.

4.3.3 Formação do colchão de partículas e prensagem dos painéis

As partículas já impregnadas com adesivo e parafina foram lançadas manualmente sobre uma caixa de madeira, formadora do colchão, com dimensões de 400 mm de aresta interna e 200 mm de altura (Figura 6B).

Depois de formado, o colchão de partículas foi levado inicialmente para uma prensa hidráulica manual (Figura 6C) para efetuar a sua pré-prensagem a frio, com a finalidade de proporcionar-lhe melhor conformação e facilitar o carregamento da prensa quente. Posteriormente, o colchão de partículas foi colocado numa prensa hidráulica motorizada, com controle automático de temperatura, pressão e tempos de abertura e fechamento dos pratos, para consolidação do painel (Figura 6D). A pressão máxima utilizada durante a prensagem dos painéis foi de 35 kgf/cm², a temperatura de 180°C e o tempo total igual a 10 minutos, sendo utilizados separadores com espessura de 15,7 mm.

Figura 6 – Produção dos painéis de partículas. A) Encoladeira; B) Caixa formadora do colchão; C) Prensa hidráulica manual; D) Prensa hidráulica motorizada

4.4 Obtenção dos corpos-de-prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Depois de resfriados, os painéis (Figura 7A, 7B, 7C e 7D) foram acondicionados na sala de climatização do LEMMAD do LCF, com temperatura e umidade relativa controlada, respectivamente, $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$, permanecendo assim até atingirem massa constante, indicativo de que alcançaram a umidade de equilíbrio com esse ambiente. Posteriormente, com auxílio de uma serra circular

esquadrejadeira, foram confeccionados os corpos-de-prova para realização dos ensaios, conforme esquema ilustrado na Figura 8.

Figura 7 – Painéis produzidos em cada experimento. A) Experimento I; B) Experimento II; C) Experimento III; D) Experimento IV

Figura 8 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova dos painéis. AA = absorção de água; IE = inchamento em espessura; LI = ligação interna; PD = perfil de densidade; AP_s = arrancamento de parafuso – superfície; AP_t = arrancamento de parafuso – topo; TU = teor de umidade; FE = flexão estática; DJ = Dureza Janka

4.4.1 Ensaios físicos e mecânicos

A partir dos ensaios físico-mecânicos realizados no LEMMAD (Figuras 9A, 9B, 9C, 9D, 9E e 9F), foram avaliadas as seguintes propriedades dos painéis: massa específica, teor de umidade, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) à flexão estática, resistência ao arrancamento de

parafusos (superfície e topo), resistência à tração perpendicular (ligação interna) e dureza Janka. As dimensões dos corpos-de-prova, a condução dos ensaios e o cálculo dos valores das propriedades estão em conformidade com as prescrições da norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006b).

A massa específica de cada painel produzido foi determinada a partir da medição direta de todos os corpos-de-prova ilustrados na Figura 8, obtendo-se as suas massas (kg) por meio de balança de precisão e suas dimensões (largura, comprimento e espessura) com paquímetro e micrômetro. Por meio da multiplicação das dimensões dos corpos-de-prova, foram obtidos os seus volumes (m^3). Finalmente, a massa específica ($kg.m^{-3}$) de cada corpo-de-prova foi obtida pela divisão da sua massa pelo volume correspondente. Para representar a massa específica de cada painel, utilizou-se a média das massas específicas dos corpos-de-prova retirados do painel.

Para a realização dos ensaios mecânicos foi utilizada uma máquina universal de ensaios com capacidade para aplicação de força de até 30 toneladas, dirigida por um sistema eletromecânico controlado por computador, instrumentada com células de carga cambiáveis e sensores do tipo LVDT (*linear variable differential transformer*) conectados a um programa específico para aquisição de dados.

Para a realização dos ensaios físicos de absorção de água e inchamento em espessura, foi utilizado um recipiente com água destilada e o dispositivo sugerido pela norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006b) para manter o corpo-de-prova submerso no recipiente.

Figura 9 – Ensaio físicos e mecânicos realizados para avaliação das propriedades dos painéis. A) Flexão estática; B) Arrancamento de parafuso – topo; C) Arrancamento de parafuso – superfície; D) Ligação interna; E) Dureza Janka; F) Absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão

4.4.2 Determinação da razão de compactação dos painéis

A razão de compactação dos painéis foi determinada por meio da Equação 4.

$$R_C = \frac{ME_P}{D_B} \quad (4)$$

Onde:

R_C = Razão de compactação;

ME_P = Massa específica nominal (850 kg.m^{-3}) ou massa específica efetiva do painel (kg.m^{-3}), obtida para cada tratamento;

D_B = densidade básica da madeira ou da mistura, em kg.m^{-3} .

4.4.3 Caracterização dos perfis densitométricos por atenuação de raios X

Para a obtenção dos perfis densitométricos dos painéis aglomerados, foram selecionados e cortados em serra circular esquadrejadeira quatro corpos-de-prova por painel, totalizando 12 por tratamento, com espessura correspondente à espessura original dos painéis, comprimento de 50 mm e largura de 50 mm.

Os perfis densitométricos dos painéis foram obtidos em densitômetro, ilustrado na Figura 10A, pertencente ao Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras – LAIM do LCF. Os corpos-de-prova foram encaixados em suporte

metálico e transferidos para um compartimento blindado interno ao equipamento (Figura 10B). Em seguida deu-se a calibração automática do equipamento e a varredura contínua ao longo da espessura dos corpos-de-prova. Os feixes de raios X que atravessaram as amostras foram transformados em valores pontuais de massa específica, obtidos a cada 20 μm , pelo programa QMS (Figura 10C). A partir dos valores de massa específica, foi originado um arquivo no formato DAT que continha o relatório da análise. Como dados quantitativos dos perfis, foram obtidos os valores de: (i) massa específica média do perfil; (ii) massa específica média da face inferior (face do painel em contato com o prato inferior da prensa) ; (iii) massa específica média do miolo (região central do painel); e (iv) massa específica média da face superior (face do painel em contato com o prato superior da prensa); conforme demonstra a Figura 11.

Figura 10 – Obtenção dos perfis densitométricos dos painéis de partículas por atenuação de raios X: A) Equipamento de raios X QDP-01X; B) Encaixe do suporte metálico com porta-amostras no compartimento de leitura; C) Perfil de densidade

Figura 11 – Definição do perfil de densidade ao longo da espessura do painel aglomerado. ME_P = Massa específica média do perfil; ME_{Fi} = Massa específica média da face inferior; ME_M = Massa específica média do miolo; ME_{Fs} = Massa específica média da face superior. Fonte: Adaptado de Wong et al. (1998)

4.5 Análise dos resultados

Para verificar o efeito dos tratamentos sobre as propriedades dos painéis produzidos, foram realizadas análises de variância e, posteriormente, aplicados os testes de médias de *Tukey*, conduzidos ao nível de 5% de probabilidade de erro, para identificar as médias que diferiram entre si, com a utilização do programa SISVAR.

Os valores médios de cada propriedade avaliada, por tratamento, foram obtidos e então confrontados com os valores mínimos especificados pela norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) para painéis de alta densidade (classificação H-1) e painéis destinados a produção de pisos (classificação PBU).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises das madeiras

5.1.1 Densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras

A Tabela 5 apresenta a densidade básica das madeiras de pequiá, angelim-da-mata, itaúba-amarela, cedrinho, tachi-preto, mandioqueira-escamosa, paricá e das misturas das madeiras.

Tabela 5 – Valores médios de densidade básica das madeiras e das misturas das madeiras

Madeira	Mistura	Densidade básica (kg.m ⁻³)
Pequiá	-	659,73
Angelim-da-mata	-	576,12
Itaúba-amarela	-	680,71
Cedrinho	-	503,75
Tachi-preto	-	556,94
Mandioqueira-escamosa	-	759,53
-	16,7% madeiras	624,05
Paricá	-	281,67
-	50% paricá + 50% pequiá	470,70
-	50% paricá + 50% tachi-preto	419,30
-	50% paricá + 50% angelim-da-mata	428,89

O valor médio de densidade básica determinado para a madeira de pequiá (Tabela 5) foi de 659,73 kg.m⁻³. De acordo com o LPF (2015), o valor médio de densidade básica encontrado para a espécie foi de 630 kg.m⁻³. Silva et al. (2014), avaliando as propriedades de resíduos de madeiras tropicais, encontraram o valor médio de 645 kg.m⁻³. Observa-se que o valor médio de densidade básica da madeira de pequiá estudada foi compatível aos encontrados nestes dados de literatura.

Para a madeira de angelim-da-mata, o valor médio de densidade básica obtido foi de 576,12 kg.m⁻³ (Tabela 5). O Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA (1991) caracterizou a madeira de angelim-da-mata e encontrou para a densidade básica o valor médio de 660 kg.m⁻³. Esse mesmo valor foi encontrado por Nascimento et al. (2012), estudando tecnologias para o aproveitamento de recursos naturais no Alto Rio Negro. Pode-se observar que o

valor médio de densidade básica obtido para a espécie no presente estudo foi inferior ao valor encontrado por estes autores.

A madeira de itaúba-amarela apresentou densidade básica de 680,71 kg.m⁻³ (Tabela 5), valor obtido também por LPF (2015). Já a madeira de itaúba-amarela caracterizada tecnologicamente pelo IPT (1989a) apresentou valor de 800 kg.m⁻³, superior ao encontrado no presente estudo.

Em relação à madeira de cedrinho, foi encontrado o valor médio de densidade básica de 503,75 kg.m⁻³ (Tabela 5). Hara et al. (2014) e LPF (2015), obtiveram para tal espécie valores de 363,50 kg.m⁻³ e 480 kg.m⁻³, respectivamente, sendo este último valor o mais compatível com o obtido no presente estudo.

O valor médio de densidade básica determinado para a madeira de tachi-preto (Tabela 5) foi de 556,94 kg.m⁻³. De acordo com IBAMA (1997), o valor médio de densidade básica encontrado para a espécie foi de 570 kg.m⁻³. Zerbini (2008), avaliando as propriedades tecnológicas de madeiras tropicais com potencial comercial da região do Rio Xingu, encontrou o valor médio de 540 kg.m⁻³. Observa-se que o valor médio de densidade básica da madeira de pequiá estudada foi próximo aos encontrados nestes dados de literatura.

Para a madeira de mandioqueira-escamosa, o valor médio de densidade básica obtido foi de 759,53 kg.m⁻³ (Tabela 5). Gillis et al. (2001), desenvolvendo fatores de correção para a medição do teor de umidade de quatro espécies de madeiras brasileiras, encontraram para a densidade básica de mandioqueira-escamosa o valor médio de 670 kg.m⁻³. Segundo Lorenzi (1998), o valor médio de densidade básica encontrado para a espécie foi de 780 kg.m⁻³. Sendo este último valor o mais compatível com o obtido no presente estudo.

De acordo com a Tabela 5, observa-se que os resíduos de lâminas da madeira de paricá apresentaram densidade básica média de 281,67 kg.m⁻³. Ribeiro (2015) encontrou valor médio de 290 kg.m⁻³ para a densidade básica de lâminas de madeira de paricá. Almeida (2009), avaliando as propriedades de lâminas da madeira de paricá, obteve valor médio de 280 kg.m⁻³ para a densidade básica. Os valores obtidos por tais autores foram semelhantes aos encontrados no presente estudo.

Considerando a classificação das madeiras em leve, média e pesada baseada nos limites de intervalo de ≤ 500 kg.m⁻³, $500 - 720$ kg.m⁻³ e ≥ 720 kg.m⁻³, respectivamente, proposta por Melo et al. (1992) para madeiras da Amazônia

Brasileira, observa-se que a madeira de paricá e as misturas com essa madeira podem ser classificadas como madeiras leves, enquanto as demais podem ser classificadas como de média densidade, com exceção da madeira de mandioqueira-escamosa classificada como pesada.

A densidade básica da madeira é considerada uma das variáveis mais importantes no processo de produção de painéis de partículas, por ser um dos componentes da razão de compactação (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MALONEY, 1993; SALDANHA, 2004). Maloney (1993) afirma que as espécies com densidade básica de até 550 kg.m^{-3} são as mais adequadas para a produção de painéis de partículas de média massa específica por atingirem uma razão de compactação acima de 1,3. Iwakiri (1989) descreve que um determinado peso de partículas de uma espécie de baixa densidade ocupa um volume superior do que o mesmo peso de partículas de uma espécie de maior densidade e, quando estes colchões de partículas de madeira são comprimidos para as dimensões finais do painel, ocorre um contato relativo maior para partículas de madeira de baixa densidade, devido a maior taxa de compressão, resultando em melhor adesão entre as partículas. De acordo com este autor, em painéis de partículas de média massa específica, o maior contato relativo entre as partículas de madeira de menor densidade básica é o fator controlador das propriedades de resistência, no entanto, para painéis de partículas de alta massa específica, a quantidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas passa a ser o fator controlador da resistência do painel. Nesse sentido, conforme Moslemi (1974), para se obter um dado valor de resistência com madeira de maior densidade, a massa específica do painel deve ser aumentada.

5.1.2 Composição química das partículas das madeiras

A composição química das partículas das madeiras, expressa pelo teor de extrativos totais, lignina residual e solúvel, bem como o teor de holocelulose (celulose e hemicelulose), encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição química das madeiras

Espécie	Extrativos	Lignina			Holocelulose
		Residual	Solúvel	Total	
		%			
Pequiá	7,12 b (0,73)	31,10 bc (1,87)	1,30 bc (0,24)	32,40 b (1,99)	60,48 b (2,50)
Angelim-da-mata	5,68 b (0,10)	30,89 b (0,46)	1,53 bc (0,35)	32,42 b (0,77)	61,90 b (0,69)
Itaúba-amarela	12,50 d (1,12)	31,25 bc (0,36)	0,54 a (0,11)	31,80 b (0,27)	55,71 a (1,32)
Cedrinho	1,84 a (0,42)	34,32 d (1,13)	1,70 c (0,11)	36,02 c (1,03)	62,14 b (1,36)
Tachi-preto	1,93 a (0,14)	33,67 cd (0,90)	0,54 a (0,07)	34,22 bc (0,85)	63,86 b (0,72)
Mandioqueira-escamosa	11,93 d (0,59)	33,62 bcd (0,89)	0,47 a (0,01)	34,09 bc (0,89)	53,98 a (1,27)
Paricá	10,19 c (0,23)	26,40 a (0,39)	1,14 b (0,03)	27,53 a (0,42)	62,28 b (0,34)

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 partir da análise de variância efetuada para o teor de extrativos totais; lignina residual, solúvel e total; e teor de holocelulose (ANEXO A, Tabelas 97, 98, 99, 100 e 101, respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre as madeiras para todos os componentes químicos analisados. De acordo com a Tabela 6, as madeiras de itaúba-amarela e mandioqueira-escamosa diferiram das demais, apresentando os maiores teores de extrativos. Tais espécies apresentaram também as maiores densidades básicas (Tabela 5) em relação às outras. Conforme Frihart e Hunt (2010) é comum que espécies de alta densidade básica possuam maior concentração de extrativos, além disso, as paredes celulares são mais espessas e os lumens possuem pequenos diâmetros, dificultando a penetração do adesivo na madeira.

De acordo com Kollmann e Coté (1968) e Klock et al. (2005), os materiais extrativos podem estar contidos tanto na parede celular como no lume da célula e são responsáveis por determinadas características da madeira como: cor, cheiro, gosto, resistência natural ao apodrecimento e propriedades abrasivas. Para painéis de partículas de madeira, o teor de extrativos pode ser considerado a propriedade química mais importante, uma vez que em elevada concentração pode, em determinados casos, bloquear o contato do adesivo com a madeira (BUFALINO et al., 2012b).

A influência dos extrativos na polimerização e cura do adesivo na produção de painéis de partículas é relatada por vários pesquisadores. Marra (1992) afirma que madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas.

Mendes (2001) relata que os efeitos predominantes dos extrativos estão relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira. Adicionalmente podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, bem como problemas relacionados com o estouro de painéis durante a prensagem (MALONEY, 1993).

Com relação ao teor de holocelulose, observa-se, de acordo com a Tabela 6, que as madeiras de itaúba-amarela e mandioqueira-escamosa diferiram das demais, apresentando os menores valores médios. Conforme Melo et al. (2015), tal componente, devido ao maior grau de polimerização e cristalinidade, pode interferir diretamente no aumento das propriedades mecânicas.

Ainda segundo a Tabela 6, com relação aos valores médios de lignina total, observa-se que a madeira de cedrinho apresentou equivalência com as madeiras de tachi-preto e mandioqueira-escamosa, diferindo-se das demais. Segundo Bufalino et al. (2012b), maiores teores de lignina são desejáveis para a produção de painéis de madeira reconstituída. Esse componente apresenta estrutura muito condensada e aspecto irregular que propicia ao material alta rigidez, uma vez que atua como amortecedor das microfibrilas de celulose, limitando o movimento paralelo à grã e aumentando a resistência mecânica a forças externas (SWEET; WINANDY, 1999).

Por se tratar de um adesivo natural, a lignina ainda pode contribuir para melhorar a adesão entre partículas dos painéis, resultando em melhor colagem e estabilidade dimensional (JOSELEAU et al., 2004; KHEDARI et al., 2004). Okuda et al. (2006), estudando a influência da reação de condensação de lignina em painéis de fibras de cânhamo, concluíram que a aceleração desse processo pode desempenhar um importante papel no mecanismo de colagem, podendo ser efetivo na melhoria das propriedades dos painéis.

Além disso, cabe mencionar que a lignina, pelo fato de ser constituída de polifenóis, possui composição química semelhante ao adesivo fenol-formaldeído e é esta similaridade e reatividade que a faz atrativa na formulação de adesivos (VAN LANGENBERG et al., 2010). A sua utilização em formulações de adesivo para aplicações em painéis de madeira pode ser encontrada na literatura de maneira relevante nos últimos anos (WU, 2001; CETIN, 2002a, 2002b; LEE, 2002; ALONSO, 2005; WANG, 2006; LORA, 2007; DONMEZ CAVDAR, 2008; HASHIN et al., 2011).

5.1.3 Classificação das partículas

Os valores médios obtidos na análise granulométrica das partículas das diferentes espécies encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição das partículas das madeiras

Espécie	4,00 mm	2,00 mm	0,85 mm	0,50 mm	< 0,50 mm
	%				
Pequiá	1,42 ab (0,07)	37,80 cd (1,79)	47,73 ab (3,18)	5,83 a (0,63)	7,21 a (1,90)
Angelim-da-mata	1,19 a (0,02)	26,63 a (2,57)	53,29 b (0,55)	9,95 b (1,07)	8,95 ab (1,43)
Itaúba-amarela	1,40 ab (0,17)	33,02 bc (1,59)	47,60 ab (2,50)	9,75 b (1,38)	8,23 a (0,78)
Cedrinho	1,08 a (0,07)	27,84 ab (2,76)	49,37 ab (3,11)	9,75 b (0,46)	11,96 b (0,57)
Tachi-preto	1,82 b (0,46)	38,60 cd (1,48)	47,22 ab (1,12)	5,42 a (0,20)	6,95 a (0,92)
Mandioqueira-escamosa	1,26 ab (0,11)	33,67 c (0,88)	47,65 ab (2,01)	9,53 b (2,02)	7,88 a (0,87)
Paricá	1,28 ab (0,22)	40,47 d (2,69)	45,15 a (2,13)	6,00 a (0,51)	7,10 a (0,85)

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

Analisando os resultados apresentados na Tabela 7, verifica-se a predominância de partículas retidas entre as malhas de 2,00 e 0,85 mm. Informação da Bonet, fabricante de painéis de partículas no Brasil, indica que a granulometria das partículas utilizadas na produção desses painéis encontra-se na faixa de 0,25 a 3,35 mm (BONET, 2012). Faixa compatível à utilizada na produção dos painéis do do presente estudo.

Embora tenha sido utilizada peneira de 4 mm no moinho de facas durante o processo de produção das partículas, verifica-se, de acordo com a Tabela 7, que uma pequena quantidade de partículas ficou retida na peneira de 4,00 mm da máquina vibratória, devido, possivelmente, ao manuseio do material no processamento dos cavacos e aos resíduos aderidos à malha da peneira. De qualquer forma, esta fração do material foi descartada no processo de produção dos painéis.

As análises de variância efetuadas para a variável distribuição de partículas nas malhas 4,00, 2,00, 0,85, 0,50 e < 0,50 mm (ANEXO B, Tabelas 102, 103, 104, 105 e 106, respectivamente), demonstra que houve diferença significativa entre as madeiras. Verifica-se que o paricá apresentou a maior quantidade de partículas retidas na peneira de 2,00 mm e mostrou equivalência estatística com as madeiras de pequiá e tachi-preto, diferenciando-se das madeiras de cedrinho e angelim-da-

mata, as quais, por sua vez se destacaram em relação às partículas de menores dimensões retidas no coletor ($< 0,50$ mm – finos), apresentando maior quantidade (Tabela 7). Trianoski (2010), em seu estudo, atribuiu a maior presença de finos à elevada quantidade de parênquima radial que a espécie pode apresentar em sua estrutura anatômica. Albuquerque e Latorraca (2000) relatam que mudanças abruptas na densidade e alta porosidade da madeira podem gerar maior quantidade de finos ao final do processo de produção das partículas. No entanto, no presente estudo não foi realizada a caracterização anatômica das espécies, sendo necessários estudos complementares.

Uma possível explicação para a maior quantidade de finos pode estar associada ao teor de umidade das madeiras durante o processamento dos cavacos para obtenção das partículas. Madeiras com elevado teor de umidade, normalmente, possuem um melhor rendimento em partículas úteis, pois, nessa condição, a quebra de fibras se reduz durante a produção das partículas, reduzindo a quantidade de finos (MALONEY, 1993).

De acordo com Moslemi (1974) partículas com dimensões menores, em função de uma área superficial específica relativamente maior a ser recoberta, consomem e requerem maior quantidade de adesivo a ser aplicado para o encolamento adequado das partículas. Com base nesta consideração, pode-se esperar que as madeiras de angelim-da-mata e cedrinho apresentem um menor desempenho de colagem, tendo em vista a maior porcentagem de finos para uma mesma quantidade de adesivo, prejudicando a ligação interna dos painéis.

5.2 Experimento I: painéis aglomerados sem classificação de partículas

5.2.1 Razão de compactação dos painéis

A Tabela 8 apresenta os valores das razões de compactação, nominal e efetiva, obtidas para os painéis aglomerados.

Tabela 8 – Valores das razões de compactação dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	Razão de compactação	
		Nominal	Efetiva
T1	Pequiá	1,3	1,3
T2	Angelim-da-mata	1,5	1,4
T3	Itaúba-amarela	1,2	1,2
T4	Cedrinho	1,7	1,6
T5	Tachi-preto	1,5	1,5
T6	Mandioqueira-escamosa	1,1	1,1
T7	Mistura	1,4	1,6

Conforme pode ser observado na Tabela 8, o valor da razão de compactação nominal e efetiva dos painéis produzidos variou de 1,1 a 1,7. Considerando a razão de compactação efetiva dos painéis observa-se que, com exceção das madeiras de itaúba-amarela e mandioqueira-escamosa, as quais apresentaram as maiores densidades básicas (Tabela 5), todas as demais apresentaram valores superiores a 1,3. Este valor é considerado, por autores tais como Maloney (1977) e Iwakiri (2005), o mínimo para que ocorra a compactação necessária do colchão de partículas, ou seja, condição mínima na qual é possível assegurar que haverá suficiente área de contato entre partículas durante a operação de prensagem a fim de obter-se uma boa colagem.

Kelly (1977) afirma que painéis de mesma massa específica, produzidos com madeira de menor densidade, terão propriedades mecânicas superiores, entretanto, a estabilidade dimensional será inferior em comparação aos painéis produzidos com madeira de maior densidade. Segundo o autor, nos painéis com maior razão de compactação, há maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, ocorre um aumento dos sítios higroscópicos, resultando em maior inchamento do painel e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

5.2.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis

Os valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis aglomerados de cada tratamento encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	Massa específica	Espessura	Teor de Umidade
		(kg.m ⁻³)	(mm)	(%)
T1	Pequiá	832,13 a (20,44)	15,85 ab (0,18)	9,5 bcd (0,15)
T2	Angelim-da-mata	819,01 a (9,47)	15,99 b (0,05)	8,5 a (0,29)
T3	Itaúba-amarela	824,98 a (6,93)	15,68 a (0,04)	8,7 ab (0,31)
T4	Cedrinho	821,81 a (8,84)	15,98 b (0,19)	10,2 d (0,19)
T5	Tachi-preto	828,16 a (6,59)	15,92 ab (0,03)	9,6 cd (0,36)
T6	Mandioqueira-escamosa	834,10 a (11,22)	15,93 ab (0,02)	10,0 cd (0,47)
T7	Mistura	822,09 a (8,13)	15,87 ab (0,04)	9,3 abc (0,13)

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 variável massa específica dos painéis (ANEXO C, Tabela 107), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando ter sido bem conduzida a etapa de produção.

Os valores médios de massa específica dos painéis variaram de 819,01 a 834,10 kg.m⁻³ (Tabela 9), o que os caracteriza como de alta densidade, uma vez que apresentaram valores acima de 800 kg.m⁻³ conforme estabelece a norma ANSI A208.1 (CPA, 2009). Essa norma cita ainda que a massa específica efetiva dos painéis não pode apresentar diferença maior que 10% da massa específica nominal planejada para a manufatura dos painéis. Apesar dos tratamentos apresentarem valores médios de massa específica efetiva inferiores à massa específica nominal (850 kg.m⁻³) planejada para os painéis, todos os valores médios encontrados atenderam essa exigência. Da mesma forma, Iwakiri et al. (2012), avaliando as propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia, obtiveram valores inferiores de massa específica dos painéis em relação ao valor nominal calculado. Os autores atribuíram essa redução às perdas de materiais durante o manuseio no processo de formação dos painéis em nível laboratorial, uma vez que sem a automação e controle de precisão do processo industrial, podem ocorrer perdas de material durante o processo de manufatura dos painéis.

A análise de variância efetuada para a espessura dos painéis (ANEXO C, Tabela 108), demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos. Os valores médios da espessura dos painéis (Tabela 9) variaram de 15,68 a 15,99 mm.

Considerando que os separadores utilizados na etapa de prensagem dos colchões de partículas possuíam 15,7 mm de espessura, denota-se que todos os painéis resultaram em espessura próxima à espessura do limitador.

De acordo com os dados de espessura (Tabela 9), verificou-se que o painéis produzidos com a madeira de itaúba-amarela (T3) diferiram significativamente dos painéis constituídos por angelim-da-mata (T2) e cedrinho (T4). Tais painéis (T3) apresentaram, também, baixo valor de razão de compactação (Tabela 8). Madeiras de densidades básicas maiores, quando comparadas com as de menor densidade, utilizadas em painéis de mesma massa específica, resultam em painéis de menor razão de compactação e, por tal motivo, as tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem, também, são de magnitude relativamente menor. Logo após saírem da prensa, esses painéis liberam parte das tensões de compressão de forma menos acentuada, mantendo a sua espessura em um valor mais próximo ao nominal planejado.

A análise de variância realizada para o teor de umidade dos painéis de partículas (ANEXO C, Tabela 109), demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos. Conforme os dados da Tabela 9, os painéis produzidos com as madeiras de angelim-da-mata (T2), itaúba-amarela (T3) e a mistura de todas as espécies (T7), equivaleram-se estatisticamente e apresentaram os menores valores médios para esta variável.

Os teores de umidade médios dos painéis (Tabela 9) correspondem à umidade de equilíbrio que os mesmos alcançaram quando foram colocados em ambiente climatizado com temperatura e umidade relativa controlados, respectivamente, $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65 \pm 5\%$. Nestas mesmas condições de climatização, a madeira sólida tende à umidade de equilíbrio próxima a 12%, porém, os painéis de todos os tratamentos apresentaram valores inferiores a esse. Wu (1999) afirma que a transformação da madeira em partículas e as condições de pressão e temperatura utilizadas durante a prensagem dos colchões de partículas, fazem com que a higroscopicidade do painel resultante seja reduzida e, por consequência disso, o seu teor de umidade de equilíbrio seja inferior ao da madeira sólida que lhe deu origem.

Os teores de umidade médios dos painéis (Tabela 9) variaram de 8,5 a 10,2%. A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estabelece o valor máximo de 10% para o teor de umidade. Nesse sentido, com exceção dos painéis produzidos com a madeira de cedrinho, os demais atenderam a norma em referência.

5.2.3 Absorção de água

Os valores médios da absorção de água dos painéis aglomerados após duas e vinte e quatro horas de imersão (AA2h e AA24h), estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores médios de absorção de água dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	AA2h	AA24h
		%	
T1	Pequiá	16,51 b (0,58)	36,87 c (1,76)
T2	Angelim-da-mata	34,31 c (4,56)	50,27 d (1,15)
T3	Itaúba-amarela	15,83 ab (0,85)	32,18 bc (1,75)
T4	Cedrinho	11,59 ab (2,77)	26,84 b (3,90)
T5	Tachi-preto	37,80 c (4,37)	53,79 d (1,31)
T6	Mandioqueira-escamosa	8,24 a (1,08)	20,26 a (0,97)
T7	Mistura	14,12 ab (3,14)	32,74 c (2,00)

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

Segundo a análise de variância realizada para a absorção de água após duas e vinte e quatro horas de imersão dos painéis aglomerados (ANEXO D, Tabelas 110 e 111, respectivamente), constata-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. De acordo com a Tabela 10, os valores médios de AA2h e AA24h variaram, respectivamente, nas faixas de 8,24% a 37,80% e 20,26% a 53,79%. Os painéis constituídos por angelim-da-mata (T2) e tachi-preto (T5) equivaleram-se estatisticamente apresentando os maiores valores para ambas as propriedades, diferindo-se dos demais.

De acordo com Del Menezzi (2004) a absorção de água é um fenômeno muito mais físico do que químico e está relacionado à porosidade (espaços vazios) dos painéis e da madeira propriamente dita. Quando o painel está submerso, a água líquida ocupa os espaços vazios existentes entre as partículas e o interior das células da madeira (lume), onde permanece pela ação de forças capilares. Considerando que as madeiras de angelim-da-mata e tachi-preto apresentaram menores densidades básicas (Tabela 5), quando comparadas com as demais, exceto o cedrinho, bem como o volume de partículas utilizadas na manufatura dos painéis aumentou com a utilização dessas madeiras, pode-se inferir que os espaços vazios disponíveis (lumens) para serem ocupados pela água também aumentaram relativamente.

Tal afirmação não pode ser aplicada para a madeira de cedrinho, a qual possui a menor densidade básica e maior razão de compactação dentre as madeiras estudadas, uma vez que demonstrou bom desempenho para AA2h e AA24h (T4). Supõe-se que o valor dessas propriedades foram relativamente menores devido à densidade relativamente baixa da madeira de cedrinho e à alta densificação do painel, que provocou o esmagamento das células, e, por consequência, redução do volume dos lumens. Tendência semelhante foi encontrada por Bufalino et al. (2012a), os quais estudando as propriedades físicas de painéis aglomerados de *Toona ciliata* var. *australis*, madeira de baixa densidade, observaram que o aumento da razão de compactação melhorou o desempenho dos painéis para a absorção de água.

Iwakiri et al. (2005), avaliando a produção de aglomerados de *Pinus* spp. de alta densificação (854 kg.m^{-3}) e adesivo melamina-uréia-formaldeído (8%), obtiveram valores de 61,39% e 65,84% para AA2h e AA24h, respectivamente. Observa-se que o valor médio de massa específica dos painéis e o teor de adesivo foram variáveis semelhantes às utilizadas no presente estudo, no entanto, a espécie, o tipo de adesivo e, provavelmente, a geometria das partículas de madeira foram diferentes, indicando um melhor desempenho dos painéis produzidos a partir dos resíduos das espécies amazônicas estudadas quando comparados com os resultados obtidos por estes autores.

5.2.4 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis de partículas após duas (IE2h) e vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores médios de inchamento em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	IE2h		IE24h	
		%			
T1	Pequiá	4,84	a (0,27)	10,80	a (0,17)
T2	Angelim-da-mata	8,00	b (1,13)	12,94	ab (0,41)
T3	Itaúba-amarela	4,45	a (0,61)	9,32	a (1,27)
T4	Cedrinho	5,32	ab (1,95)	13,48	ab (4,11)
T5	Tachi-preto	11,54	c (1,05)	15,78	b (0,41)
T6	Mandioqueira-escamosa	4,84	a (0,37)	9,99	a (0,57)
T7	Mistura	5,24	ab (0,38)	11,76	ab (0,49)

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

Por meio da análise de variância realizada para o inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão dos painéis (ANEXO E, Tabelas 112 e 113, respectivamente), constata-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. De acordo com a Tabela 11, os painéis compostos por tachi-preto (T5) diferiram estatisticamente dos demais tratamentos para o IE2h, apresentando o maior valor para tal variável. Para o IE24h, os painéis compostos por tachi-preto (T5) apresentaram o maior valor médio e equivaleram-se estatisticamente aos painéis produzidos a partir dos resíduos de angelim-da-mata (T2), cedrinho (T4) e mistura (T7), diferindo-se dos demais.

Quando o painel é submerso em água, ocorre a absorção da água líquida e subsequentemente o inchamento em espessura, cuja variável apresenta duas componentes: o inchamento intrínseco à madeira e o inchamento devido à liberação das tensões de compressão impostas ao painel durante a prensagem.

De acordo com Del Menezzi (2004), tensões de compressão se desenvolvem durante o processo de produção do painel, na etapa de prensagem, por consequência da compactação do colchão de partículas, e depois permanecem retidas no painel consolidado pela ação da ligação adesiva entre as partículas. Os painéis constituídos pelas madeiras de tachi-preto, angelim-da-mata, cedrinho e mistura, de maiores razões de compactação efetivas, foram os que mais incharam, provavelmente, devido à liberação das tensões de compressão, as quais são de maior magnitude neste caso.

Supõe-se também que o aumento em inchamento em espessura seja em parte intrínseco à madeira e deva-se à adsorção de água junto aos grupos hidroxílicos, presentes nos componentes químicos da parede celulósica. Segundo

Moreschi (2014) o material mais hidrófilo existente na madeira é a hemicelulose, uma vez que possui alto número de grupos hidroxílicos (-OH) de estrutura amorfa, responsáveis por grande parte dos fenômenos de adsorção e inchamento da madeira, os quais possuem influência sobre os painéis de madeira. De acordo com o autor, a celulose em si tem acessibilidade à água somente nas regiões com falhas na cristalinidade das fibrilas elementares e a lignina é uma substância altamente hidrofóbica, que pouco contribui no processo de adsorção de água pela madeira. Além das baixas razões de compactação, as madeiras de itaúba-amarela e mandioqueira-escamosa, quando comparadas com as demais, apresentaram baixos valores de holocelulose, 55,71% e 53,98%, respectivamente (Tabela 6), fato que pode ter refletido na redução do inchamento em espessura dos painéis produzidos a partir dos resíduos dessas madeiras (Tratamentos T3 e T6, respectivamente).

Yang et al. (2007), produzindo painéis aglomerados a partir de resíduos *Quercus* spp. e *Shorea* spp com massa específica de 800 kg.m^{-3} e adesivo fenol-formaldeído aplicado a um teor de 6,5%, obtiveram valores de aproximadamente 2 e 8% para IE2h e IE24h, respectivamente. Apesar da diferença entre as espécies utilizadas, as variáveis de produção foram semelhantes às utilizadas no presente experimento e, por sua vez, os resultados foram próximos aos encontrados para os painéis compostos pelas madeiras de itaúba-amarela (T3) e mandioqueira-escamosa (T6).

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valores para a propriedade de inchamento em espessura para as classificações H-1 e PBU, portanto, os valores encontrados foram comparados com a classificação D-2 (painéis utilizados em deques), a qual estipula o valor máximo de 8% de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água. Pode-se observar, pelos dados da Tabela 11, que os painéis de todos os tratamentos exibiram valores médios acima do estipulado pela norma em referência e desta forma não puderam atendê-la, no entanto, os painéis produzidos com itaúba-amarela e mandioqueira-escamosa (tratamentos T3 e T6, respectivamente) apresentaram valores próximos ao requerido.

5.2.5 Flexão estática

Os valores médios para módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) à flexão estática dos painéis aglomerados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores médios de Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade à flexão estática dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	MoR	MoE
		MPa	
T1	Pequiá	9,39 c (0,88)	1616,74 b (265,93)
T2	Angelim-da-mata	8,76 bc (1,55)	1223,65 ab (193,74)
T3	Itaúba-amarela	4,86 a (0,30)	1281,93 ab (188,18)
T4	Cedrinho	5,22 a (1,18)	966,15 a (116,27)
T5	Tachi-preto	10,04 c (0,59)	1290,17 ab (162,52)
T6	Mandioqueira-escamosa	4,59 a (0,18)	887,63 a (129,02)
T7	Mistura	6,33 ab (0,64)	1124,05 a (92,30)

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 realizada para o módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis (ANEXO F, Tabelas 114 e 115, respectivamente), verifica-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

A partir dos resultados obtidos para o MoR (Tabela 12), observa-se que os painéis compostos por pequiá, angelim-da-mata e tachi-preto (T1, T2 e T5, respectivamente) mostraram valores médios estatisticamente equivalentes entre si e superiores aos valores médios dos tratamentos T3, T4 e T6, nos quais foram utilizados os resíduos de itaúba-amarela, cedrinho e mandioqueira-escamosa, respectivamente.

Considerando o MoE (Tabela 12), verifica-se que o tratamento T1, produzido com resíduos de pequiá, equivaleu-se estatisticamente aos tratamentos T2, T3 e T5, cujos painéis foram produzidos a partir dos resíduos de angelim-da-mata, itaúba-amarela e tachi-preto, respectivamente, revelando valores médios superiores.

Conforme a Tabela 12, os painéis produzidos com os resíduos de mandioqueira-escamosa (T6) apresentaram os menores valores para ambas as propriedades (MoR e MoE), indicando que a razão de compactação pode ter exercido efeito significativo sobre as mesmas. Kelly (1977), Moslemi (1974) e Maloney (1993) relatam que painéis de mesma massa específica nominal quando

produzidos com material de maior densidade básica, apresentam, normalmente, menor resistência à flexão, especialmente porque possuem menor razão de compactação. Tal afirmação aplica-se também para os painéis produzidos a partir dos resíduos de itaúba-amarela (T3), entretanto não esclarece o comportamento dos painéis compostos por resíduos de cedrinho (T4) e mistura (T7), os quais apresentaram razão de compactação de 1,6 (Tabela 8) e, teoricamente, deveriam ter apresentado melhor desempenho para o MoR e MoE, indicando, portanto, que pode ter havido influência da utilização dos “finos” retidos no coletor, bem como do conteúdo de adesivo aplicado na produção dos painéis. Para painéis com maior massa específica, Marra (1992) recomenda o uso de maior quantidade de adesivo, tendo em vista a maior área superficial das partículas.

Iwakiri et al. (2008), avaliando a influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados, concluíram que tanto para o MoE quanto para o MoR o aumento na massa específica do painel resultou em aumento nos valores médios dessas propriedades, indicando a possibilidade de fabricação de painéis aglomerados com massa específica acima de 800 kg.m^{-3} para aplicações específicas que requeiram alta resistência mecânica. Para os painéis de alta densidade, os autores obtiveram valores médios de 2201 MPa e 18 MPa para o MoE e MoR, respectivamente, valores superiores aos encontrados nesta pesquisa.

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula para o MoR os valores mínimos de 14,9 e 11 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. Mediante o exposto, todos os resultados do módulo de ruptura em flexão estática (Tabela 12) ficaram abaixo do estipulado, sendo que os painéis produzidos com as madeiras de pequiá, angelim-da-mata e tachi-preto (Tratamentos T1, T2 e T5, respectivamente) apresentaram os valores mais próximos dos mínimos requeridos. Já para o MoE, a mesma norma estipula o valor mínimo de 2160 e 1725 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. A partir da análise dos dados da Tabela 12, observa-se que os painéis de todos os tratamentos não atenderam a norma em questão, sendo os painéis constituídos de pequiá (T1) os que apresentaram valor médio mais próximo dos mínimos estabelecidos.

5.2.6 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna dos painéis aglomerados, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores médios de ligação interna dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	Ligação interna (MPa)
T1	Pequiá	0,87 bc (0,13)
T2	Angelim-da-mata	1,41 d (0,21)
T3	Itaúba-amarela	0,45 a (0,04)
T4	Cedrinho	0,63 ab (0,16)
T5	Tachi-preto	1,18 cd (0,08)
T6	Mandioqueira-escamosa	0,57 ab (0,03)
T7	Mistura	0,71 ab (0,03)

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

A análise de variância para a ligação interna dos painéis (ANEXO G, Tabela 116) demonstra que existe diferença estatística significativa entre os tratamentos. De acordo com os resultados da Tabela 13, os painéis produzidos com os resíduos de angelim-da-mata (T2) e tachi-preto (T5), demonstraram melhor desempenho para a propriedade em questão, uma vez que os resultados obtidos foram equivalentes e superiores aos demais tratamentos. Ainda conforme a Tabela 13, os painéis constituídos pelos resíduos de itaúba-amarela (T3) equivaleram-se estatisticamente aos painéis constituídos por cedrinho (T4), mandioqueira-escamosa (T6) e mistura (T7), apresentando os menores valores de ligação interna.

As madeiras de itaúba-amarela e mandioqueira escamosa apresentaram os maiores teores de extrativos (12,50% e 11,93%, respectivamente) quando comparadas às demais (Tabela 6), fato que teria resultado em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas, indicando que pode ter havido influência desses extrativos na polimerização e cura do adesivo na produção dos painéis de partículas.

Em se tratando dos painéis produzidos com os resíduos de cedrinho (T4) e mistura (T7), presume-se que os baixos valores de ligação interna possam ter sido decorrentes do maior volume relativo de partículas para a mesma massa do colchão e, provavelmente, menor disponibilidade de adesivo por partícula, demonstrando que houve influência da razão de compactação sobre esta propriedade. Da mesma forma, Bufalino et al. (2012a) obtiveram baixos valores de ligação interna em painéis

com maiores razões de compactação e sugeriram que a melhoria desta propriedade poderia ser obtida com o aumento no teor de adesivo empregado na produção dos painéis.

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor mínimo para a propriedade de ligação interna, igual a 0,81 MPa, para a classificação H-1 e 0,40 para a classificação PBU. Com base nos dados da Tabela 13, é possível verificar que os painéis produzidos com as madeiras de pequiá (T1), angelim-da-mata (T2) e tachi-preto (T5) exibiram valores médios de ligação interna acima do mínimo requerido pela norma em referência para a classificação H-1. Para a classificação PBU todos os tratamentos ficaram acima do estipulado e, dessa forma, atenderam a norma.

5.2.7 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície (AP superfície) e no topo (AP topo) dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores médios de arrancamento de parafuso em superfície e topo dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	AP superfície		AP topo	
		N			
T1	Pequiá	1276,50	bc (116,28)	1617,01	cd (125,19)
T2	Angelim-da-mata	2027,21	d (381,53)	1791,35	d (289,64)
T3	Itaúba-amarela	730,59	a (46,77)	791,07	a (28,73)
T4	Cedrinho	959,42	ab (82,24)	965,96	ab (56,55)
T5	Tachi-preto	1624,63	cd (206,89)	1850,19	d (208,11)
T6	Mandioqueira-escamosa	1077,10	ab (147,53)	1080,36	ab (209,72)
T7	Mistura	1247,08	abc (142,90)	1278,13	bc (131,69)

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

Por meio da análise de variância realizada para o arrancamento de parafuso na superfície e no topo dos painéis (ANEXO H, Tabelas 117 e 118, respectivamente), constata-se que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

A partir dos resultados obtidos para o AP superfície (Tabela 14), observa-se que o tratamento T2 composto pelos resíduos de angelim-da-mata apresentou valor

médio equivalente ao tratamento T5 produzido com resíduos de tachi-preto, demonstrando valores médios superiores e diferença estatística quando comparados com os tratamentos T3, T4 e T6, manufaturados com os resíduos de itaúba-amarela, cedrinho e mandioqueira-escamosa, respectivamente.

Considerando o AP topo (Tabela 14), os tratamentos T1, T2 e T5, constituídos pelos resíduos de pequiá, angelim-da-mata e tachi-preto, respectivamente, demonstraram valores médios equivalentes e superiores, diferindo-se estatisticamente dos tratamentos T3, T4 e T6, manufaturados com os resíduos de itaúba-amarela, cedrinho e mandioqueira-escamosa, respectivamente.

Os tratamentos que apresentaram razão de compactação acima de 1,3 (Tabela 8) apresentaram valores satisfatórios de arrancamento de parafuso, com exceção do tratamento T4. Segundo Trianoski (2010), uma maior razão de compactação tende a reduzir os espaços vazios no painel e promover um maior contato entre as partículas, gerando assim uma maior resistência mecânica, porém, faz-se necessário incluir nesta abordagem a disponibilidade de resina, a qual pelo maior volume de partículas pode estabelecer ligações mais frágeis entre partículas.

O ensaio de arrancamento de parafuso na superfície, normalmente, tende a apresentar valores superiores de resistência em relação ao topo, devido, principalmente, ao fato do parafuso fixado no topo localizar-se exclusivamente na camada central do painel, onde geralmente ocorre a menor densificação. No entanto, esta relação foi evidenciada somente nos painéis produzidos com resíduos de angelim-da-mata (T2), indicando que quanto mais pronunciado for o perfil de densidade vertical, maiores serão as diferenças entre os resultados de AP superfície e AP topo. Tendência semelhante foi encontrada por Trianoski (2010), a qual foi justificada pela desuniformidade na deposição das partículas durante a formação manual do colchão.

Longo (2014), produzindo painéis de media densidade com resíduos de espécies tropicais e adesivo uréia-formaldeído, obteve valores de arrancamento de parafuso na superfície e no topo variando nas faixas de 512,38 a 874 N e 378,41 a 624,35 N, respectivamente, revelando valores inferiores aos obtidos no presente estudo. Tendo em vista que as variáveis utilizadas para a produção dos painéis de ambos os trabalhos foram diferentes, supõe-se que a massa específica dos painéis do presente estudo pode ter influenciado de modo positivo a resistência ao arrancamento de parafuso quando comparada à obtida pela autora citada, com

painéis de massa específica inferior. Apesar de Kelly (1977) relatar que não existe relação bem definida entre a massa específica dos painéis e a propriedade de arrancamento de parafuso, Wong et al. (1999), em sua pesquisa, encontrou alta correlação entre elas.

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valores de arrancamento de parafuso para a classificação PBU, no entanto, para a classificação H-1 estabelece para o arrancamento de parafuso na superfície o valor mínimo de 1600 N. Mediante o exposto, os painéis produzidos com a madeira de angelim-da-mata (T2) e tachi-preto (T5) atenderam o requisito da norma para o AP superfície (Tabela 14). Já para o arrancamento de parafuso no topo, a mesma norma estipula o valor mínimo de 1200 N para a classificação H-1. A partir da análise dos dados da Tabela 14, observa-se que os painéis dos tratamentos T1, T2, T5 e T7 (pequiá, angelim-da-mata, tachi-preto e mistura, respectivamente) atenderam a norma em questão.

5.2.8 Dureza Janka

Os valores médios de dureza Janka dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores médios de dureza Janka dos painéis para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Espécie	Dureza Janka (N)
T1	Pequiá	1346,78 a (204,08)
T2	Angelim-da-mata	2019,35 b (346,46)
T3	Itaúba-amarela	1230,73 a (191,84)
T4	Cedrinho	1563,34 ab (130,31)
T5	Tachi-preto	1958,05 b (280,69)
T6	Mandioqueira-escamosa	1794,61 ab (54,77)
T7	Mistura	1786,44 ab (81,55)

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 para a dureza Janka dos painéis aglomerados (ANEXO I, Tabela 119) demonstra que existe diferença estatística significativa entre os tratamentos. De acordo com os resultados da Tabela 15, os tratamentos T2 e T5, constituídos pelos resíduos de angelim-da-mata e tachi-preto, respectivamente, demonstraram valores médios equivalentes estatisticamente aos tratamentos T4, T6

e T7, manufacturados com os resíduos de cedrinho, mandioqueira-escamosa e mistura, respectivamente.

Yemele et al. (2008), estudando o efeito do teor de cascas e geometria das partículas sobre as propriedades de painéis aglomerados produzidos com as madeiras de abeto e álamo, obtiveram para a dureza Janka valores entre 1761 e 4159 N. Os autores atribuíram os melhores resultados obtidos à alta razão de compactação dos painéis produzidos, tendência verificada no presente estudo, exceto para os painéis constituídos por mandioqueira-escamosa (T6).

Cabral et al. (2007), produzindo painéis aglomerados com partículas provenientes de resíduos e de flocos processados de *Eucalyptus grandis*, obtiveram valores de dureza Janka de 4481 e 3961 N, respectivamente, atribuindo as diferenças encontradas à geometria das partículas. No presente estudo, foram encontrados valores abaixo dos obtidos pelos autores, indicando que a presença de finos pode ter influenciado o insatisfatório desempenho dos painéis.

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valor para a classificação H-1 para a dureza Janka, no entanto, para a classificação PBU estipula o valor mínimo de 2225 N. A partir da análise dos dados da Tabela 15, observa-se que os painéis de todos os tratamentos não atenderam a norma em questão, sendo os painéis produzidos com a madeira de angelim-da-mata (T2) os que apresentaram valor médio mais próximo do mínimo estabelecido.

5.2.9 Perfil de densidade

Os valores médios de massa específica dos painéis aglomerados, obtidos pelo método de atenuação de raios X, para o perfil, faces e miolo, de cada tratamento, encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores médios de massa específica do perfil, das faces e do miolo dos painéis, obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento do Experimento I

Tratamento	Massa específica (kg.m ⁻³)			
	Perfil	Face inferior	Miolo	Face superior
T1	783,67 b (23,19)	814,70 B (34,68)	757,32 A (20,03)	819,49 B (46,41)
T2	751,58 ab (6,56)	771,26 B (9,16)	725,09 A (7,88)	781,18 B (4,96)
T3	752,84 ab (6,82)	786,08 B (13,33)	714,44 A (10,21)	789,72 B (3,99)
T4	744,75 a (10,42)	748,20 AB (16,64)	729,15 A (12,31)	770,02 B (19,82)
T5	753,52 ab (15,84)	778,57 B (20,27)	722,87 A (16,22)	784,65 B (10,87)
T6	744,08 a (6,19)	756,39 AB (12,78)	723,38 A (2,53)	773,19 B (7,96)
T7	746,36 a (2,54)	767,37 B (10,35)	718,19 A (5,52)	776,45 B (6,61)

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na linha, 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 as massas específicas do perfil de densidade (ANEXO J, Tabela 120), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Conforme a Tabela 16, os painéis produzidos com os resíduos de pequiá (T1) apresentaram valor médio superior, diferindo-se significativamente dos painéis constituídos de cedrinho, mandioqueira-escamosa e mistura (T4, T6 e T7, respectivamente). Constata-se que o método de atenuação de raios X, aplicado na determinação da massa específica dos painéis, apresentou valores médios entre 744,08 e 783,67 kg.m⁻³ (Tabela 16), sendo inferiores aos obtidos pelo método gravimétrico, os quais variaram na faixa de 819,01 a 834,10 kg.m⁻³ (Tabela 9). Os menores valores encontrados por este método podem estar associados ao fato de que o feixe colimado permite uma atenuação micrométrica no sentido da espessura do painel, determinando, assim, a massa específica pontual em função da geometria da partícula, do teor de umidade e da reatividade da resina.

Em se tratando da análise de variância efetuada para as massas específicas das faces e miolo (ANEXO J, Tabela 121), observa-se que houve diferença significativa entre as posições do painel. De acordo com a Tabela 16, é possível analisar que as faces dos painéis apresentaram valores equivalentes e superiores de massa específica, diferenciando-se do miolo, com exceção dos tratamentos T4 e T6 (painéis compostos por cedrinho e mandioqueira-escamosa, respectivamente) para as faces inferiores. Tal comportamento indica que o contato inicial com os pratos da prensa exerceu influência sobre o painel. Kelly (1977) esclarece que um tempo muito longo de fechamento da prensa faz com que o adesivo nas partículas em contato com os pratos aquecidos polimerize antes que um contato suficiente

entre as partículas do colchão tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e ocasionando a pré-cura nas camadas superficiais, o que pode reduzir, por consequência, as propriedades de resistência das chapas.

Os perfis de densidade dos painéis de partículas obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento, encontram-se na Figura 12.

Figura 12 – Perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados do Experimento I. A) Tratamento 1 – Pequió; B) Tratamento 2 – Angelim-da-mata; C) Tratamento 3 – Itaúba-amarela; D) Tratamento 4 – Cedrinho; E) Tratamento 5 – Tachi-preto; F) Tratamento 6 – Mandioqueira escamosa; G) Tratamento 7 – Mistura

Os painéis de partículas formaram perfis em forma de letra “M”, apresentando maiores valores de massa específica nas faces e menores valores no miolo (Figura 12). Este formato dos perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis de partículas é característico para painéis de madeira e exerce influência sobre quase todas as propriedades físicas e mecânicas (SICOPLAN, 1996; SUZUKI; MIYAMOTO, 1998; ELEOTÉRIO, 2000; AYRILMIS, 2007).

De acordo com Kelly (1977), à medida que ocorrem os picos de massa específica nas faces, os painéis apresentam maior resistência à flexão, no entanto, o inverso é verdadeiro para a ligação interna e o arrancamento de parafuso, devido ao baixo valor de massa específica no miolo. Verifica-se, de acordo com a Figura 10, que os painéis produzidos a partir dos resíduos de cedrinho (T4) e mandioqueira-escamosa (T6) não apresentaram um perfil tão pronunciado, sem elevados picos de massa específica, justificando seu insatisfatório desempenho para o MoR e MoE à flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafuso.

Strickler (1959) e Suchsland e Woodson (1986) atribuem as diferenças de densidade entre faces e miolo aos seguintes aspectos: configuração das partículas; compressão; conteúdo e distribuição de umidade; temperatura e velocidade de fechamento da prensa, bem como à pressão e à duração do ciclo de prensagem a quente.

Wong et al. (1999), estudando a formação do perfil de densidade e seus efeitos sobre as propriedades de aglomerados, produziram colchões com diferentes distribuições do teor de umidade das partículas: uniforme através do colchão e variável a partir das partículas das faces para as do miolo. Os autores constataram que, durante a prensagem, a pressão de vapor formada nos colchões com variação do teor de umidade não foi suficientemente alta para permitir a completa penetração de calor em todo o miolo. Enquanto as faces, com maior teor de umidade, plasticizaram e densificaram, o miolo ainda se encontrava resistente à pressão. Quando o calor finalmente alcançou essa região, a maioria das partículas já havia sido comprimida, formando, como resultado, uma zona de baixa densidade. Tais painéis apresentaram perfis de densidade mais pronunciados, com maiores picos de densidade nas faces, quando comparados com aqueles de distribuição uniforme do teor de umidade das partículas.

Os painéis do presente trabalho foram produzidos com teores de umidade uniformes entre as partículas, uma vez que as mesmas foram secas em estufa e

homogeneizadas em sacos plásticos, portanto, o teor de umidade, isoladamente, não justifica as diferenças encontradas nos perfis. No entanto, a densidade básica das madeiras e os tamanhos das partículas utilizadas foram diferentes, fatores que podem ter afetado a compactação do colchão e a velocidade de transferência do calor durante a prensagem. Miyamoto et al. (2002) e Rofii et al. (2013) reportaram resultados similares, com influência da densidade básica e do tamanho das partículas sobre os perfis.

Rofii et al. (2013) ainda explica que painéis manufaturados com madeiras de densidade básica mais elevada poderão demonstrar uma pequena diferença entre a massa específica das faces e da região do miolo, quando comparados com painéis produzidos com madeiras de densidade básica menores. Fato que também pode explicar o comportamento dos painéis produzidos com a madeira de mandioqueira-escamosa (T6).

5.3 Experimento II: painéis aglomerados com classificação de partículas

5.3.1 Razão de compactação dos painéis

A Tabela 17 apresenta os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis para cada tratamento.

Tabela 17 – Valores de razão de compactação dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tabela 11 - Valores da razão de compactação dos pilares para cada tratamento do Experimento II			
Tratamento	Espécie	Razão de compactação	
		Nominal	Efetiva
Com finos			
T1	Pequiá	1,3	1,3
T5	Tachi-preto	1,5	1,5
T2	Angelim-da-mata	1,5	1,4
Sem finos			
T8	Pequiá	1,3	1,3
T9	Tachi-preto	1,5	1,5
T10	Angelim-da-mata	1,5	1,4

Conforme pode ser observado na Tabela 17, os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis produzidos variaram de 1,3 a 1,5. Considerando a razão de compactação efetiva, observa-se que os valores não demonstraram alterações com a remoção dos finos, uma vez que as densidades

básicas das madeiras utilizadas para os cálculos foram as mesmas e as massas específicas dos painéis produzidos no experimento II não diferiram significativamente das obtidas para os painéis do experimento I (*vide* item 5.3.2).

5.3.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis

Os valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis aglomerados de cada tratamento encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamento	Espécie	Massa específica	Espessura	Teor de umidade
		(kg.m ⁻³)	(mm)	(%)
Com finos				
T1	Pequiá	832,13	15,85	9,4
T5	Tachi-preto	828,16	15,92	9,6
T2	Angelim-da-mata	819,01	15,99	8,5
Sem finos				
T8	Pequiá	845,93	15,97	9,4
T9	Tachi-preto	834,82	16,40	9,8
T10	Angelim-da-mata	837,03	16,31	8,7

Os valores médios de massa específica dos painéis variaram de 819,01 a 845,93 kg.m⁻³ (Tabela 18), o que os caracteriza como de alta densidade, uma vez que apresentaram valores acima de 800 kg.m⁻³ conforme estabelece a norma ANSI A208.1 (CPA, 2009). De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica dos painéis (ANEXO K, Tabela 122), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando que da mesma forma observada para o experimento I, a etapa de produção foi bem conduzida. Mesmo não havendo diferença significativa entre os tratamentos, observa-se que com a remoção dos finos, os valores de massa específica dos tratamentos T8, T9 e T10 apresentaram tendência de aumento e ficaram muito próximos à massa específica nominal planejada para os painéis (850 kg.m⁻³).

Os valores médios da espessura dos painéis (Tabela 18) variaram de 15,85 a 16,40 mm. Considerando que os separadores utilizados na etapa de prensagem dos colchões de partículas possuíam 15,7 mm de espessura, nota-se que, com a remoção dos finos, os tratamentos T8, T9 e T10 apresentaram valores superiores à

espessura do limitador. De acordo com a análise de variância efetuada para a espessura dos painéis (ANEXO K, Tabela 123) verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores classificação e espécie. Segundo a mesma análise de variância, houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos (ANEXO K, Tabelas 125 e 126, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável espessura da interação entre os fatores classificação x espécie encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 – Teste de médias para a variável espessura da interação entre os fatores classificação x espécie

Espécie	Classificação	
	Com finos	Sem finos
	Espessura (mm)	
Pequiá	15,85 aA	15,97 aA
Tachi-preto	15,93 aA	16,40 bB
Angelim-da-mata	15,99 aA	16,31 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da classificação e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Considerando o fator classificação de partículas, observa-se na Tabela 19 que houve diferença significativa para os painéis produzidos com partículas de tachi-preto e angelim-da-mata. De acordo com a mesma Tabela, analisando o fator espécie, verifica-se que os painéis constituídos por pequiá sem finos diferiram significativamente dos demais, apresentando o menor valor médio para a espessura.

Conforme a análise da interação (Tabela 19) observa-se que, com exceção dos painéis produzidos com a madeira de pequiá, os demais diferiram significativamente, em cujos casos a remoção dos finos promoveu um aumento da espessura dos painéis. Embora esse aumento não tenha resultado em diferenças significativas na massa específica dos painéis, revela que os mesmos liberaram tensões de compressão pós-prensagem a quente em maior magnitude, resultando no aumento da espessura do painel após esse processo.

Os teores de umidade médios dos painéis (Tabela 18) variaram de 8,5% a 9,8%. A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estabelece o valor máximo de 10% para o teor de umidade. Nesse sentido, todos os painéis produzidos atenderam a norma em referência.

A análise de variância efetuada para a variável teor de umidade dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO K, Tabela 124), demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve diferença para o fator classificação, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável teor de umidade para o fator espécie, encontra-se na Tabela 20.

Tabela 20 – Teste de médias para a variável teor de umidade do fator espécie

Espécie	Teor de umidade
	%
Pequiá	9,4 b (0,21)
Tachi-preto	9,7 b (0,28)
Angelim-da-mata	8,6 a (0,25)

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

Verifica-se a partir dos resultados da tabela 20 que os painéis constituídos por angelim-da-mata diferiram significativamente dos demais, apresentando o menor valor médio para o teor de umidade.

5.3.3 Absorção de água

Os valores médios de absorção de água dos painéis aglomerados após duas horas (AA2h) e após vinte e quatro hora de imersão (AA24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Valores médios de absorção de água dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamento	Espécie	AA2h	AA24h
		%	
Com finos			
T1	Pequiá	16,51	36,87
T5	Tachi-preto	37,80	53,79
T2	Angelim-da-mata	34,31	50,27
Sem finos			
T8	Pequiá	10,55	27,64
T9	Tachi-preto	31,61	44,71
T10	Angelim-da-mata	19,29	36,47

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão dos painéis variaram de 10,55 a 37,80% e 27,64 a 53,79%, respectivamente (Tabela 21). A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valores para a propriedade física de absorção de água, contudo, pode-se inferir que os valores encontrados para os painéis foram compatíveis com dados de literatura. Iwakiri et al. (2000), avaliando resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto, encontraram valores de AA2h entre 13,94% e 41,74% e para a AA24h valores entre 37,37% e 58,80%. Trianoski et al. (2015) encontraram valores de AA2h entre 5,91% e 19,71% e para a AA24h valores entre 20,65% e 32,98% para painéis produzidos com espécies amazônicas.

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h (ANEXO L, Tabelas 127 e 128, respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores espécie e classificação. Segundo a mesma análise de variância, houve interação significativa entre esses dois fatores (ANEXO L, Tabelas 129, 130, 131 e 132, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável AA2h, da interação entre os fatores classificação x espécie encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 – Teste de médias para a variável AA2h da interação entre os fatores classificação x espécie

Espécie	Classificação	
	Com finos	Sem finos
	AA2h (%)	
Pequiá	16,51 bA	10,55 aA
Tachi-preto	37,80 bB	31,61 aC
Angelim-da-mata	34,31 bB	19,29 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da classificação e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

De acordo com os dados da Tabela 22, analisando o fator classificação, observa-se que os painéis produzidos sem finos apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos quando comparados com os painéis produzidos com finos, indicando que a classificação promoveu um efeito positivo sobre esta propriedade, uma vez que os valores médios reduziram para a AA2h. Analisando a espécie, verifica-se que os painéis produzidos com a madeira de pequiá apresentaram

diferença significativa dos demais em ambas as classificações, apresentando o menor valor de AA2h.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável AA24h, da interação entre os fatores classificação x espécie encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23 – Teste de médias para a variável AA24h da interação entre os fatores classificação x espécie

Espécie	Classificação	
	Com finos	Sem finos
	AA24h (%)	
Pequiá	36,87 bA	27,64 aA
Tachi-preto	53,79 bC	44,71 aC
Angelim-da-mata	50,27 bB	36,47 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da classificação e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

De acordo com os dados da Tabela 23, observa-se que os painéis apresentaram comportamento semelhante ao encontrado para AA2h para o fator classificação, onde os painéis produzidos sem finos apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos, indicando que a remoção dos mesmos fez com que os valores de AA24h reduzissem. Da mesma forma, analisando a espécie, verifica-se que os painéis produzidos com a madeira de pequiá apresentaram diferença significativa dos demais em ambas as classificações, apresentando melhor desempenho.

Por meio da análise das interações (Tabelas 22 e 23), nota-se que a remoção dos finos sobre as diferentes espécies na manufatura dos painéis aglomerados proporcionou um efeito estatisticamente significativo sobre as variáveis AA2h e AA24h, melhorando os resultados para essa propriedade. Peixoto e Brito (2000), avaliando a granulometria das partículas de madeira de *Pinus taeda* para a fabricação de painéis aglomerados, verificaram que partículas com granulometria maior tem uma menor superfície específica e, conseqüentemente, menor área para absorção de água.

5.3.4 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis aglomerados após duas horas (IE2h) e após vinte e quatro hora de imersão (IE24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Valores médios de inchamento em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Experimento II		%	
Tratamento	Espécie	IE2h	IE24h
Com finos			
T1	Pequiá	4,84	10,80
T5	Tachi-preto	11,54	15,78
T2	Angelim-da-mata	8,00	12,95
Sem finos			
T8	Pequiá	3,37	10,90
T9	Tachi-preto	11,86	17,62
T10	Angelim-da-mata	6,28	14,16

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor máximo de 8% de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água (classificação D-2 – painéis utilizados em deques). Pode-se observar por meio dos dados da Tabela 24 que os painéis de todos os tratamentos exibiram valores médios acima do estipulado pela norma em referência e desta forma não puderam atendê-la. Por outro lado pode-se dizer que os valores de IE2h e IE24h dos painéis produzidos são condizentes e/ou inferiores quando comparados com os dados de literatura.

Peixoto e Brito (2000), produzindo painéis aglomerados com adesivo fenol-formaldeído e partículas de maiores dimensões, obtiveram valores nas faixas de 6,04 a 15,20% e 9,56 a 16,95% para o IE2h e IE24h, respectivamente.

Brito e Silva (2002) produziram painéis de *Gmelina arborea* e *Samanea saman* com diferentes dimensões de partículas e obtiveram valores entre 6,88 a 17,86% para o IE2h e valores entre 17,41 e 24,92% para o IE24h. Os autores concluíram que os painéis produzidos com partículas de menores dimensões apresentaram menor inchamento em espessura.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis IE2h e IE24h dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO M, Tabelas 133 e 134,

respectivamente), verifica-se que para o IE2h houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores classificação e espécie, mas não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para o IE24h houve diferença significativa para os fatores e interação entre ambos (ANEXO M, Tabelas 135 e 136, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para o IE2h dos fatores classificação e espécie, encontram-se nas Tabelas 25 e 26, respectivamente.

Tabela 25 – Teste de médias para a variável IE2h do fator classificação

Classificação	IE2h
	%
Com finos	8,13 b (3,01)
Sem finos	7,17 a (3,77)

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

Considerando o fator classificação (Tabela 25), observa-se que houve diferença significativa entre os painéis, sendo que a remoção dos finos ocasionou um efeito positivo sobre a propriedade, reduzindo o valor do IE2h.

Tabela 26 – Teste de médias para a variável IE2h do fator espécie

Espécie	IE2h
	%
Pequiá	4,10 a (0,82)
Tachi-preto	11,70 c (0,81)
Angelim-da-mata	7,14 b (1,28)

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 26, os painéis constituídos por partículas de pequiá diferiram significativamente dos demais e foram os mais eficientes para a IE2h, porque apresentaram o menor valor médio para essa propriedade.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE24h da interação entre os fatores classificação x espécie encontram-se na Tabela 27.

Tabela 27 – Teste de médias para a variável IE24h da interação entre os fatores classificação x espécie

Espécie	Classificação	
	Com finos	Sem finos
	IE24h %	
Pequiá	10,80 aA	10,90 aA
Tachi-preto	15,78 aC	17,62 bC
Angelim-da-mata	12,95 aB	14,16 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da classificação e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Analisando o fator classificação (Tabela 27), observa-se, que com exceção dos painéis produzidos com pequiá, os demais apresentaram diferenças significativas em relação à remoção dos finos, apresentando maiores valores de IE24h. Analisando a espécie, verifica-se que houve diferenças significativas dos valores de IE24h entre as classificações, onde os tratamentos constituídos por pequiá apresentaram os menores valores de IE24h em cada classificação.

De acordo com a análise dessa interação (Tabela 27), destaca-se que a combinação da espécie com a remoção dos finos na manufatura dos painéis constituídos por tachi-preto e angelim-da-mata, proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo para a variável IE24h. A liberação das tensões de compressão, em ambos os casos, pós-prensagem a quente e pós-imersão em água por 24 horas, foram de maior magnitude. Além disso, conforme Albuquerque (2000), quando se utiliza partículas mais finas na composição dos painéis há, de modo geral, uma melhor estabilidade na espessura, uma vez que a menor massa de cada partícula em conjunto com o aumento do número de interfaces partícula-partícula, permite uma melhor dispersão do inchamento higroscópico nas lacunas interpartículas. Considerando o maior tempo de imersão, supõe-se que o aumento do inchamento seja em parte intrínseco à madeira e deva-se à adsorção de água junto aos grupos hidroxílicos, presentes nos componentes químicos da parede celulósica.

5.3.5 Flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) à flexão estática, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade dos painéis para cada tratamento do Experimento II

Tratamento	Espécie	MoR	MoE
		MPa	
Com finos			
T1	Pequiá	9,00	1616,74
T5	Tachi-preto	10,04	1290,17
T2	Angelim-da-mata	8,76	1223,65
Sem finos			
T8	Pequiá	11,66	1975,62
T9	Tachi-preto	16,50	1918,09
T10	Angelim-da-mata	13,23	1646,24

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula para o MoR os valores mínimos de 14,9 e 11 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. Mediante o exposto, todos os resultados do módulo de ruptura em flexão estática dos painéis produzidos sem os finos (tratamentos T8, T9 e T10) ficaram acima do estipulado pela norma para a classificação PBU (Tabela 28). Já para a classificação H-1 apenas os painéis produzidos com partículas de tachi-preto (T9) atenderam a norma em referência. Para o MoE, a mesma norma estipula o valor mínimo de 2160 e 1725 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. A partir da análise dos dados da Tabela 28, observa-se que os painéis dos tratamentos T8 e T9, constituídos por pequiá e tachi-preto, respectivamente, sem finos, atenderam a norma em questão para a classificação PBU.

Nemli et al. (2007) utilizaram partículas que passaram pela peneira de 0,25 mm em diferentes proporções de mistura na produção de painéis aglomerados e verificaram tendência de redução dos valores obtidos para o MoR e o MoE com o aumento da proporção das partículas finas.

Lias et al. (2014), avaliando a influência das dimensões das partículas sobre as propriedades de painéis aglomerados, observaram que, com o aumento do tamanho das partículas de 1,0 mm para 2,0 mm, os valores de MoR e MoE também aumentaram.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MoR e MoE dos painéis aglomerados (ANEXO N, Tabelas 137 e 138, respectivamente), verifica-se que tanto para o MoR quanto para o MoE houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores classificação e espécie, mas não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para o MoR dos fatores classificação e espécie, encontram-se nas Tabelas 29 e 30, respectivamente.

Tabela 29 – Teste de médias para a variável MoR do fator classificação

Classificação	MoR
	MPa
Com finos	9,27 a (1,19)
Sem finos	13,80 b (2,48)

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

Considerando o fator classificação (Tabela 29), observa-se que a remoção dos finos foi eficiente, uma vez que o valor médio dos painéis sem finos diferiu significativamente dos painéis com finos, apresentando melhor desempenho para o módulo de ruptura.

Tabela 30 – Teste de médias para a variável MoR do fator espécie

Espécie	MoR
	MPa
Pequiá	10,33 a (1,72)
Tachi-preto	13,27 b (3,58)
Angelim-da-mata	10,99 a (3,01)

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 30, o valor médio de módulo de ruptura para os painéis constituídos por tachi-preto foi superior e diferiu significativamente dos painéis cujas madeiras utilizadas na composição foram pequiá e angelim-da-mata, as quais, por sua vez, mostraram valores médios de MoR estatisticamente equivalentes.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para o MoE dos fatores classificação e espécie, encontram-se nas Tabelas 31 e 32, respectivamente.

Tabela 31 – Teste de médias para a variável MoE do fator classificação

Classificação	MoE
	MPa
Com finos	1376,85 a (258,58)
Sem finos	1846,65 b (183,24)

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

Da mesma forma que o MoR, a classificação promoveu um efeito positivo sobre o MoE, uma vez que os painéis sem finos diferiram significativamente dos painéis com finos e apresentaram melhor desempenho para esta propriedade, conforme pode ser observado na Tabela 31.

Tabela 32 – Teste de médias para a variável MoE do fator espécie

Espécie	MoE
	MPa
Pequiá	1796,18 a (258,87)
Tachi-preto	1604,13 ab (362,78)
Angelim-da-mata	1434,94 b (286,92)

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

Verifica-se, de acordo com os dados da Tabela 32, que os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis produzidos a partir de tachi-preto e diferiram-se dos painéis constituídos por angelim-da-mata, apresentando o maior valor para o módulo de elasticidade. Os painéis produzidos com a madeira de pequiá também apresentaram os maiores valores de massa específica, embora sem diferença estatisticamente significativa frente aos demais, indicando que pode ter havido influência dessa variável sobre o resultado.

O MoR e o MoE apresentaram comportamento semelhante com relação a remoção dos finos. Esse efeito é resultado da alteração da área superficial específica, do consumo relativo de adesivo e da área de contato entre as partículas. Considerando-se painéis com as mesmas dimensões, mesma massa específica e aplicação do mesmo conteúdo de adesivo, o uso de partículas maiores resultará na redução da sua área superficial específica e aumentará a disponibilidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas, podendo resultar em painéis com melhores propriedades (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

5.3.6 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Valores médios de ligação interna para cada tratamento do Experimento II

Tabela 65 – Valores médios de ligação interna para cada tratamento do Experimento II		
Tratamento	Espécie	Ligação interna
		Mpa
Com finos		
T1	Pequiá	0,87
T5	Tachi-preto	1,19
T2	Angelim-da-mata	1,41
Sem finos		
T8	Pequiá	1,23
T9	Tachi-preto	1,82
T10	Angelim-da-mata	1,77

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor mínimo para a propriedade de ligação interna, igual a 0,81 MPa, para a classificação H-1 e 0,40 para a classificação PBU. Com base nos dados da Tabela 33, é possível verificar que os painéis aglomerados de todos os tratamentos exibiram valores médios de ligação interna acima do mínimo requerido pela norma em referência para ambas as classificações.

Torrell et al. (2012), estudando a influência da adição de serragem sobre as propriedades tecnológicas de painéis de madeira, obtiveram valores de ligação interna variando entre 0,15 e 0,52 MPa e constataram que um aumento da proporção de serragem causou uma diminuição dos valores de ligação interna.

Vital et al. (1992) produziram painéis de partículas com duas espessuras (0,39 e 0,74 mm) e verificaram que a resistência a ligação interna foi maior nos painéis produzidos com partículas mais espessas.

De acordo com a análise de variância efetuada para a ligação interna dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO O, Tabela 139), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores classificação e espécie, mas não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a ligação interna dos fatores classificação e espécie, encontram-se nas Tabelas 34 e 35, respectivamente.

Tabela 34 – Teste de médias para a variável ligação interna do fator classificação

Classificação	Ligação interna
	MPa
Com finos	1,16 a (0,27)
Sem finos	1,61 b (0,32)

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

Considerando o fator classificação (Tabela 34), observa-se que houve diferença significativa entre os painéis, sendo que a remoção dos finos ocasionou um efeito positivo sobre a propriedade, aumentando o valor da ligação interna. Com a aplicação de mesma quantidade de adesivo, o painel produzido com partículas maiores, apresentará maior ligação interna, tendo em vista sua menor área superficial específica e, conseqüentemente, maior disponibilidade de resina por unidade de área (MALONEY, 1993). De acordo com Jagger (1992), um elevado percentual de finos aumenta o consumo de resina e prejudica a qualidade dos painéis, reduzindo a adesão interna.

Tabela 35 – Teste de médias para a variável ligação interna do fator espécie

Espécie	Ligação interna
	MPa
Pequiá	1,05 a (0,22)
Tachi-preto	1,50 b (0,36)
Angelim-da-mata	1,59 b (0,29)

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 35, os painéis constituídos por partículas de pequiá diferiram significativamente dos demais e foram os menos eficientes para a ligação interna, porque apresentaram o menor valor médio para essa propriedade.

5.3.7 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície (AP superfície) e no topo (AP topo) dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 36.

Tabela 36 – Valores médios de arrancamento de parafuso na superfície e no topo para cada tratamento do Experimento II

Tratamento	Espécie	AP superfície	AP topo
		N	
Com finos			
T1	Pequiá	1276,50	1617,01
T5	Tachi-preto	1624,63	1850,19
T2	Angelim-da-mata	2027,21	1791,35
Sem finos			
T8	Pequiá	1220,93	1325,53
T9	Tachi-preto	1832,21	1609,93
T10	Angelim-da-mata	1598,48	1804,42

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valores de arrancamento de parafuso para a classificação PBU, no entanto, para a classificação H-1 estabelece para o arrancamento de parafuso na superfície o valor mínimo de 1600 N. Mediante o exposto, os resultados de AP superfície (Tabela 36) dos painéis produzidos com partículas de tachi preto (T5) e angelim-da-mata (T2) com finos e tachi-preto sem finos (T9) atenderam a norma em referência. Já para o arrancamento de parafuso no topo, a mesma norma estipula o valor mínimo de 1200 N para a classificação H-1. A partir da análise dos dados da Tabela 36, observa-se que os painéis de todos os tratamentos atenderam o requisito mínimo da norma para o AP topo.

Haselein et al. (2002) obtiveram valores entre 1081 e 1527 N para o arrancamento de parafuso e observaram que tal propriedade foi influenciada significativamente pelos tratamentos, porém, sem qualquer tendência lógica com relação as diferentes geometrias das partículas.

Pedrazzi et al. (2006) encontraram valores entre 333 e 784 N para o arrancamento de parafuso e concluíram que o tipo de partícula (palito e serragem) utilizada não teve influência sobre esta propriedade.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AP superfície e AP topo dos painéis aglomerados (ANEXO P, Tabelas 140 e 141, respectivamente), verifica-se que para ambas houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve diferença significativa para o fator classificação nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para o AP superfície do fator espécie, encontram-se na Tabela 37.

Tabela 37 – Teste de médias para a variável AP superfície do fator espécie

Espécie	AP superfície
	N
Pequiá	1248,71 a (88,24)
Tachi-preto	1728,42 b (202,64)
Angelim-da-mata	1812,85 b (352,62)

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

De acordo com a Tabela 37, os painéis constituídos por partículas de pequiá diferiram significativamente dos demais e foram os menos eficientes para o AP superfície, porque apresentaram o menor valor médio para essa propriedade.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para o AP topo do fator espécie, encontram-se na Tabela 38.

Tabela 38 – Teste de médias para a variável AP topo do fator espécie

Espécie	AP topo
	N
Pequiá	1471,27 a (180,49)
Tachi-preto	1730,06 ab (219,03)
Angelim-da-mata	1797,88 b (196,27)

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 38, verifica-se que os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis produzidos a partir de tachi-preto e diferiram-se dos painéis constituídos por angelim-da-mata, apresentando o menor valor para o AP topo.

5.3.8 Dureza Janka

Os valores médios de dureza Janka dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 39.

Tabela 39 – Valores médios de dureza Janka para cada tratamento do Experimento II

Tabela 65 – Valores médios de dureza Janka para cada tratamento do Experimento II		
Tratamento	Espécie	Dureza Janka
		N
Com finos		
T1	Pequiá	1346,77
T5	Tachi-preto	1958,05
T2	Angelim-da-mata	2019,35
Sem finos		
T8	Pequiá	2513,76
T9	Tachi-preto	2660,86
T10	Angelim-da-mata	2690,28

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valor para a classificação H-1 para a dureza Janka, no entanto, para a classificação PBU estipula o valor mínimo de 2225 N. Pode-se observar, por meio dos dados da Tabela 39, que os painéis de todos os tratamentos produzidos sem finos (tratamentos T8, T9 e T10) exibiram valores médios acima do estipulado pela norma em referência e desta forma puderam atendê-la.

Haselein et al. (2002) obtiveram valores de dureza Janka variando entre 4920 e 6115 N para painéis aglomerados produzidos com partículas de diferentes dimensões e concluíram que a propriedade em questão não foi afetada pela geometria das partículas.

De acordo com a análise de variância efetuada para a dureza Janka dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO Q, Tabela 142), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator classificação, mas não houve diferença significativa para o fator espécie nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de média de *Tukey*, realizado para a dureza Janka do fator classificação, encontram-se na Tabela 40.

Tabela 40 – Teste de médias para a variável dureza Janka do fator classificação

Classificação	Dureza Janka
	N
Com finos	1774,72 a (404,77)
Sem finos	2621,63 b (409,66)

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

Considerando o fator classificação (Tabela 40), observa-se que a remoção dos finos foi eficiente, uma vez que o valor médio dos painéis sem finos diferiu significativamente dos painéis com finos, apresentando melhor desempenho para a dureza Janka.

5.3.9 Perfil de densidade

Os valores médios de massa específica dos painéis aglomerados, obtidos pelo método de atenuação de raios X, para o perfil de cada tratamento, encontram-se na Tabela 41.

Tabela 41 – Valores médios da massa específica do perfil para cada tratamento do Experimento II

Tratamento	Espécie	Massa específica - Perfil (kg.m ⁻³)
Com finos		
T1	Pequiá	783,67
T5	Tachi-preto	753,52
T2	Angelim-da-mata	751,58
Sem finos		
T8	Pequiá	823,26
T9	Tachi-preto	797,14
T10	Angelim-da-mata	803,27

Constata-se que o método de atenuação de raios X, aplicado na determinação da massa específica dos painéis com finos, apresentou valores médios entre 751,58 e 783,67 kg.m⁻³ (Tabela 41), sendo inferiores aos obtidos pelo método gravimétrico, os quais variaram na faixa de 819,01 a 832,13 kg.m⁻³ (Tabela 18). Já os painéis produzidos sem finos apresentaram valores variando entre 797,14 e 823,26 kg.m⁻³, os quais também podem ser considerados inferiores quando comparados com o método gravimétrico onde os valores variaram de 834,82 a 845,93 kg.m⁻³ (Tabela 18), porém mais próximos da massa específica nominal planejada para os painéis (850 kg.m⁻³).

De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica do perfil dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO R, Tabela 143), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores classificação e espécie, mas não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a massa específica do perfil dos fatores classificação e espécie, encontram-se nas Tabelas 42 e 43, respectivamente.

Tabela 42 – Teste de médias para a variável massa específica do perfil do fator classificação

Classificação	Massa específica – Perfil
	(kg.m ⁻³)
Com finos	762,92 a (21,23)
Sem finos	807,89 b (17,92)

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

Considerando o fator classificação (Tabela 42), observa-se que houve diferença significativa entre os painéis, sendo que a remoção dos finos ocasionou um efeito positivo sobre a massa específica do perfil, uma vez que os valores dos painéis sem finos ficaram mais próximos ao da massa específica nominal planejada.

Tabela 43 – Teste de médias para a variável massa específica do perfil do fator espécie

Espécie	Massa específica – Perfil
	(kg.m ⁻³)
Pequiá	803,46 b (27,78)
Tachi-preto	775,33 a (26,09)
Angelim-da-mata	777,42 ab (31,83)

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 43, verifica-se que os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis produzidos a partir de angelim-da-mata e diferiram-se dos painéis constituídos por tachi-preto, apresentando o maior valor para a massa específica do perfil.

Em se tratando da análise de variância efetuada para as massas específicas das faces e miolo (ANEXO R, Tabela 144), observa-se que houve diferença significativa entre as posições do painel dentro de cada tratamento. Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para massa específica das faces e do miolo, encontram-se na Tabela 44.

Tabela 44 – Teste de médias para a variável massa específica das faces e do miolo dos painéis, obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento do Experimento II

Tratamento	Espécie	Massa específica (kg.m ⁻³)		
		Face inferior	Miolo	Face superior
Com finos				
T1	Pequiá	814,70 B (34,68)	757,32 A (20,03)	819,49 B (46,41)
T5	Tachi-preto	778,57 B (19,90)	722,87 A (10,25)	784,65 B (17,12)
T2	Angelim-da-mata	771,26 B (20,27)	725,09 A (16,22)	781,18 B (10,87)
Sem finos				
T8	Pequiá	825,86 A (7,79)	812,88 A (4,87)	835,79 A (4,92)
T9	Tachi-preto	805,17 A (9,16)	785,40 A (7,88)	808,45 A (4,96)
T10	Angelim-da-mata	808,73 A (17,83)	795,95 A (24,17)	810,69 A (23,08)

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

De acordo com a Tabela 44, é possível analisar que as faces dos painéis com finos (tratamentos T1, T5 e T2) apresentaram valores equivalentes e superiores de massa específica, diferenciando-se do miolo. Com relação aos painéis sem finos (tratamentos T8, T9 e T10), verifica-se que não houve diferença significativa entre as faces e o miolo.

Marashdeh et al. (2011) verificaram que painéis aglomerados produzidos com partículas menores apresentaram perfis de densidade mais uniformes e atribuíram esse resultado à menor sobreposição das partículas e aos menores espaços vazios entre elas.

Os perfis de densidade dos painéis de partículas obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento, encontram-se na Figura 13.

Figura 13 – Perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados do Experimento II. A) Tratamento 1 – Pequiá com finos; B) Tratamento 8 – Pequiá sem finos; C) Tratamento 5 – Tachi-preto com finos; D) Tratamento 9 – Tachi-preto sem finos; E) Tratamento 2 – Angelim-da-mata com finos; F) Tratamento 10 – Angelim-da-mata sem finos

Observa-se, de acordo com a Figura 13, que os painéis aglomerados com classificação de partículas formaram perfis mais homogêneos, sem elevados picos de massa específica nas faces e com tendência de aumento dos valores de massa específica do miolo. Essa tendência de aumento pode estar relacionada ao melhor desempenho dos painéis sem finos para a ligação interna.

5.4 Experimento III: painéis aglomerados com diferentes teores de adesivo

5.4.1 Razão de compactação

A Tabela 45 apresenta os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis para cada tratamento.

Tabela 45 – Valores de razão de compactação dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamento	Espécie	Razão de compactação	
		Nominal	Efetiva
Teor de adesivo 8%			
T8	Pequiá	1,3	1,3
T9	Tachi-preto	1,5	1,5
T10	Angelim-da-mata	1,5	1,4
Teor de adesivo 11%			
T11	Pequiá	1,3	1,3
T12	Tachi-preto	1,5	1,5
T13	Angelim-da-mata	1,5	1,4

Conforme pode ser observado na Tabela 45, os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis produzidos variaram de 1,3 a 1,5. Considerando a razão de compactação efetiva, observa-se que os valores não demonstraram diferenças com a alteração do teor de adesivo, uma vez que as massas específicas dos painéis produzidos no experimento III não diferiram significativamente das obtidas para os painéis do experimento II (*vide* item 5.4.2).

5.4.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis

Os valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis aglomerados de cada tratamento encontram-se na Tabela 46.

Tabela 46 – Valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamento	Espécie	Massa específica	Espessura	Teor de umidade
		(kg.m ⁻³)	(mm)	(%)
Teor de adesivo 8%				
T8	Pequiá	845,93	15,97	9,4
T9	Tachi-preto	834,82	16,40	9,8
T10	Angelim-da-mata	837,03	16,31	8,7
Teor de adesivo 11%				
T11	Pequiá	837,04	15,99	9,8
T12	Tachi-preto	830,27	16,46	10,4
T13	Angelim-da-mata	832,20	15,91	9,2

Os valores médios de massa específica dos painéis variaram de 830,27 a 845,93 kg.m⁻³ (Tabela 46), o que os caracteriza como de alta densidade, uma vez que apresentaram valores acima de 800 kg.m⁻³ conforme estabelece a norma ANSI A208.1 (CPA, 2009). De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica dos painéis (ANEXO S, Tabela 145), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando que da mesma forma observada para os experimentos I e II, a etapa de produção foi bem conduzida.

A quantidade de adesivo utilizada na produção dos painéis não exerceu influência sobre a massa específica, tendência verificada na literatura. Bianche (2009), avaliando as propriedades de aglomerados fabricados com dois teores de adesivo à base de uréia-formaldeído (6% e 8%), não observou efeito significativo dos teores de adesivo sobre a massa específica dos painéis. Santos et al. (2009), utilizando dois teores de adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%), também não evidenciaram influência deste parâmetro sobre a massa específica dos painéis produzidos.

Os valores médios da espessura dos painéis (Tabela 46) variaram de 15,91 a 16,46 mm. Considerando que os separadores utilizados na etapa de prensagem dos colchões de partículas possuíam 15,7 mm de espessura, denota-se que todos os painéis resultaram em espessura próxima, com exceção dos tratamentos T9, T10 e T12, os quais apresentaram algo superior à espessura do limitador, com diferentes magnitudes. De acordo com a análise de variância efetuada para a espessura dos painéis (ANEXO S, Tabela 146), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores teor de adesivo e espécie. Segundo a mesma análise

de variância, houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos (ANEXO S, Tabelas 148 e 149, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável espessura da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie encontram-se na Tabela 47.

Tabela 47 – Teste de médias para a variável espessura da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie

Espécie	Teor de adesivo	
	8%	11%
	Espessura (mm)	
Pequiá	15,97 aA	15,99 aA
Tachi-preto	16,40 aB	16,46 aB
Angelim da mata	16,31 bB	15,91 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores do teor de adesivo e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Considerando o fator teor de adesivo, observa-se, conforme a Tabela 47, que houve diferença significativa para os painéis produzidos com partículas de angelim-da-mata. Ainda de acordo com a Tabela 47, analisando o fato espécie, verifica-se que dentro do teor de adesivo 8% os painéis constituídos por pequiá diferiram significativamente dos demais, apresentando o menor valor médio para a espessura, já para os painéis com teor de adesivo 11%, observa-se que aqueles compostos por tachi-preto diferiram significativamente dos demais e apresentaram o maior valor médio para propriedade em questão.

Conforme a análise da interação (Tabela 47) observa-se que apenas os painéis produzidos com madeira de angelim-da-mata diferiram significativamente, caso no qual o aumento do teor de adesivo interagiu com a espécie, proporcionou um nível de cura mais avançado e minimizou a liberação das tensões de compressão pós-prensagem a quente, resultando em redução da espessura.

Os teores de umidade médios dos painéis (Tabela 46) variaram de 8,7 a 10,4%. A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estabelece o valor máximo de 10% para o teor de umidade. Nesse sentido, com exceção dos painéis produzidos com a madeira de tachi-preto e adesivo 11%, os demais atenderam a norma em referência.

A análise de variância efetuada para a variável teor de umidade dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO S, Tabela 147), demonstra que houve

diferença significativa entre os tratamentos para os fatores teor de adesivo e espécie, mas não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizados para a variável teor de umidade para o fator teor de adesivo e espécie, encontram-se nas Tabelas 48 e 49, respectivamente.

Tabela 48 – Teste de médias para a variável teor de umidade do fator teor de adesivo

Teor de adesivo	Teor de umidade
	%
8%	9,34 a (0,46)
11%	9,84 b (0,49)

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

Analisando o fator teor de adesivo (Tabela 48), observa-se que os resultados de teor de umidade apresentaram diferença significativa e valor médio superior com a alteração do teor de adesivo para 11%. Presume-se que com o aumento do teor de adesivo, o qual foi aplicado na forma líquida, mais umidade teria sido adicionada ao colchão de partículas, interferindo no teor de umidade final dos painéis. Mendes et al. (2006) produziram painéis de madeira utilizando partículas de eucalipto e três teores de adesivo (3%, 4,5% e 6%) e, diferentemente do presente estudo, verificaram que a alteração da quantidade de adesivo não afetou o teor de umidade dos painéis.

Tabela 49 – Teste de médias para a variável teor de umidade do fator espécie

Espécie	Teor de umidade
	%
Pequiá	9,6 b (0,33)
Tachi-preto	10,2 c (0,36)
Angelim-da-mata	9,0 a (0,32)

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

Verifica-se a partir dos resultados da tabela 49 que os painéis constituídos por angelim-da-mata diferiram significativamente dos demais, apresentando o menor valor médio para o teor de umidade.

5.4.3 Absorção de água

Os valores médios de absorção de água dos painéis aglomerados após duas horas (AA2h) e após vinte e quatro hora de imersão (AA24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 50.

Tabela 50 – Valores médios de absorção de água dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Tratamento	Espécie	AA2h	AA24h
		%	
Teor de adesivo 8%			
T8	Pequiá	10,55	27,64
T9	Tachi-preto	31,61	44,71
T10	Angelim-da-mata	19,29	36,47
Teor de adesivo 11%			
T11	Pequiá	7,54	25,95
T12	Tachi-preto	24,48	40,29
T13	Angelim-da-mata	13,85	33,00

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão dos painéis variaram de 7,54 a 31,61% e 25,95 a 44,71%, respectivamente (Tabela 50). Pode-se inferir que com o aumento do teor de adesivo, os painéis mostraram tendência de redução dos valores de absorção de água.

Mendes et al. (2012), avaliando o efeito do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados de *Pinus* spp. e bagaço de cana, verificaram que tal parâmetro apresentou efeito significativo para a absorção de água, sendo que, o aumento do teor de 6% para 12% promoveu a redução dos valores desta propriedade.

Da mesma forma, Bianche et al. (2012) verificaram que o aumento do teor de adesivo de 6% para 8% contribuiu para a redução da absorção de água dos painéis.

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h (ANEXO T, Tabelas 150 e 151, respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores teor de adesivo e espécie. Segundo a mesma análise de variância, não houve interação significativa entre esses dois fatores.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável AA2h, para os fatores teor de adesivo e espécie encontram-se nas Tabelas 51 e 52, respectivamente.

Tabela 51 – Teste de médias para a variável AA2h do fator teor de adesivo

Teor de adesivo	AA2h
	%
8%	20,48 b (9,27)
11%	15,29 a (7,50)

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 51, analisando o fator teor de adesivo, observa-se que os painéis apresentaram diferença significativa, indicando que o aumento do teor de adesivo de 8% para 11% promoveu um efeito positivo sobre esta propriedade, uma vez que o valor médio reduziu para a AA2h.

Tabela 52 – Teste de médias para a variável AA2h do fator espécie

Espécie	AA2h
	%
Pequiá	9,04 a (1,85)
Tachi-preto	28,05 c (4,21)
Angelim-da-mata	16,57 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

Analisando a espécie (Tabela 52), verifica-se que os painéis produzidos com a madeira de pequiá apresentaram diferença significativa dos demais, apresentando o menor valor de AA2h.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável AA24h, para os fatores teor de adesivo e espécie encontram-se nas Tabelas 53 e 54, respectivamente.

Tabela 53 – Teste de médias para a variável AA24h do fator teor de adesivo

Teor de adesivo	AA24h
	%
8%	36,27 b (7,52)
11%	33,08 a (6,26)

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 53, nota-se que a alteração do teor de adesivo na manufatura dos painéis aglomerados proporcionou um efeito estatisticamente significativo sobre a AA24h, melhorando os resultados para essa propriedade.

Tabela 54 – Teste de médias para a variável AA24h do fator espécie

Espécie	AA24h
	%
Pequiá	26,79 a (1,46)
Tachi-preto	42,50 c (2,73)
Angelim-da-mata	34,73 b (2,19)

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

Analisando a espécie (Tabela 54) verifica-se que os painéis produzidos com a madeira de pequiá apresentaram diferença significativa dos demais, apresentando melhor desempenho para AA24h.

Verificou-se que o aumento da quantidade de adesivo na produção dos painéis exerceu influência tanto para a absorção de água em 2 horas quanto para 24 horas. Segundo Mendes et al. (2012), a diminuição da absorção de água conforme se aumenta o teor de adesivo está relacionada a um maior recobrimento das partículas, fazendo com que ocorra uma melhor ligação adesiva entre as mesmas, dificultando o acesso da água aos sítios de sorção.

Com relação à espécie, pode-se observar que os painéis produzidos com a madeira de pequiá apresentaram os menores valores médios para absorção de água em 2 e 24 horas de imersão. Considerando que tal madeira apresentou densidade básica mais elevada, bem como o volume de partículas utilizadas na manufatura do painel diminuiu com a sua utilização, pode-se deduzir que os espaços vazios disponíveis (lumens) para serem ocupados pela água também diminuiram.

5.4.4 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis aglomerados após duas horas (IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 55.

Tabela 55 – Valores médios de inchamento em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento III

Experimento III		%	
Tratamento	Espécie	IE2h	IE24h
Teor de adesivo 8%			
T8	Pequiá	3,37	10,90
T9	Tachi-preto	11,86	17,62
T10	Angelim-da-mata	6,28	14,16
Teor de adesivo 11%			
T11	Pequiá	2,28	7,52
T12	Tachi-preto	7,36	12,33
T13	Angelim-da-mata	3,33	9,74

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor máximo de 8% de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água (classificação D-2 – painéis utilizados em deque). Pode-se observar, por meio dos dados da Tabela 55, que os painéis produzidos com pequiá e teor de adesivo 11% (T11) apresentaram valor médio abaixo do estipulado pela norma em referência e desta forma puderam atendê-la.

Iwakiri et al. (2004) produziram painéis aglomerados com massa específica nominal de 800 kg.m^{-3} , utilizando partículas de *Grevillea robusta* e dois teores de adesivo (6% e 8%) e, em termos de médias absolutas, os painéis produzidos com maior conteúdo de resina apresentaram tendências para menor inchamento em espessura.

Lima et al. (2006) manufaturaram painéis aglomerados com massa específica nominal de 700 kg.m^{-3} , utilizando fibras de babaçu em combinação com partículas de *Pinus elliottii* e dois teores de adesivo (6% e 8%) e concluíram que o aumento do teor de adesivo de 6 para 8% foi fundamental para a melhoria da propriedade inchamento em espessura.

Ashori e Nourbakhsh (2008) estudaram o efeito do teor de adesivo sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis de aglomerados produzidos com massa específica nominal de 750 kg.m^{-3} , utilizando partículas de *Eucalyptus camaldulensis*, *Prosopis juliflora*, *Tamarix stricta* e *Phoenix dactylifera* e três teores de adesivo (9%, 10% e 11%) e obtiveram melhores resultados para o inchamento em espessura com o aumento do teor de adesivo para 11%.

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis IE2h e IE24h (ANEXO U, Tabelas 152 e 153, respectivamente), verifica-se que houve diferença

significativa entre os tratamentos para os fatores teor de adesivo e espécie. Segundo a mesma análise de variância, houve interação significativa entre esses dois fatores (ANEXO U, Tabelas 154, 155, 156 e 157, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE2h da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie encontram-se na Tabela 56.

Tabela 56 – Teste de médias para a variável IE2h da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie

Espécie	Teor de Adesivo	
	8%	11%
	IE2h (%)	
Pequiá	3,37 bA	2,28 aA
Tachi-preto	11,86 bC	7,36 aC
Angelim da mata	6,28 bB	3,33 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores do teor de adesivo e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Considerando o fator teor de adesivo (Tabela 56), observa-se que houve diferença significativa entre os painéis, sendo que o aumento para 11% ocasionou um efeito positivo sobre a propriedade, reduzindo o valor do IE2h. Analisando a espécie (Tabela 56), os painéis constituídos por partículas de pequiá diferiram significativamente dos demais em ambos os teores de adesivo e foram os mais eficientes para o IE2h, porque apresentaram o menor valor médio para essa propriedade.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE24h da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie encontram-se na Tabela 57.

Tabela 57 – Teste de médias para a variável IE24h da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie

Espécie	Teor de Adesivo	
	8%	11%
	IE24h (%)	
Pequiá	10,90 bA	7,52 aA
Tachi-preto	17,62 bC	12,33 aC
Angelim da mata	14,16 bB	9,74 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores do teor de adesivo e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Analisando o fator teor de adesivo (Tabela 57), observa-se que todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas em relação ao aumento do teor para 11%, apresentando menores valores de IE24h. Analisando a espécie (Tabela 57), verifica-se que os tratamentos cujos painéis foram produzidos com pequiá apresentaram os menores valores de IE24h em cada teor de adesivo. Tais painéis também apresentaram menor razão de compactação e, provavelmente, liberaram menores níveis de tensões de compressão.

De acordo com a análise dessas interações (Tabelas 56 e 57), destaca-se que a combinação da espécie com a alteração do teor de adesivo na manufatura dos painéis, proporcionou um efeito estatisticamente significativo para as variáveis IE2h e IE24h, melhorando a estabilidade dimensional dos painéis. O aumento no teor de adesivo melhora a estabilidade em espessura do painel, devido a melhora nas ligações interpartículas (KELLY, 1977; MOSLEMI 1974). Segundo Albuquerque (2002), o aumento no teor de adesivo tende a tornar a consolidação das partículas mais efetiva, uma vez que haverá um volume superior de resina por partícula, condição que, além de reduzir os espaços vazios, dificulta o contato da água com o material lenhoso.

5.4.5 Flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) à flexão estática, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58 – Valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade para cada tratamento do Experimento III

Experimento III			
Tratamento	Espécie	MoR	MoE
		MPa	
Teor de adesivo 8%			
T8	Pequiá	11,66	1975,62
T9	Tachi-preto	16,50	1918,09
T10	Angelim-da-mata	13,23	1646,24
Teor de adesivo 11%			
T11	Pequiá	11,48	1980,13
T12	Tachi-preto	15,60	1809,28
T13	Angelim-da-mata	12,66	2016,64

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula para o MoR os valores mínimos de 14,9 e 11 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. Mediante o

exposto, todos os resultados do módulo de ruptura em flexão estática (Tabela 58) ficaram acima do estipulado pela norma para a classificação PBU. Já para a classificação H-1 apenas os painéis produzidos com partículas de tachi-preto e teores de adesivo 8% e 11% (tratamentos T9 e T12, respectivamente) atenderam a norma em referência. Para o MoE, a mesma norma estipula o valor mínimo de 2160 e 1725 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. A partir da análise dos dados da Tabela 58, observa-se que os painéis de todos os tratamentos não atenderam a norma em questão para a classificação H-1, no entanto, com exceção dos painéis produzidos a partir de angelim-da-mata e teor de adesivo 8% (T10), os demais apresentaram resultados para o MoE acima do estipulado pela norma para a classificação PBU, e, dessa forma, puderam atendê-la.

Ayrlmis et al. (2012) estudaram o efeito do teor de adesivo sobre as propriedades de painéis aglomerados produzidos com massa específica nominal variando entre 820 e 850 kg.m⁻³, utilizando casca de arroz associadas às partículas de madeira e três teores de adesivo (8%, 10% e 12%) e encontraram melhores resultados para o módulo de elasticidade com o aumento do teor de adesivo para 12%, no entanto, não observaram diferença significativa para o módulo de ruptura.

Iwakiri et al. (2000), utilizando resíduos de serrarias e dois teores de adesivo (8% e 12%) na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto, encontraram valores estatisticamente superiores para o módulo de ruptura para todos os tratamentos ao ser utilizado maior teor de adesivo, contudo, não observaram diferença significativa para essa fonte de variação sobre o módulo de elasticidade.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MoR e MoE dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO V, Tabelas 158 e 159, respectivamente), verifica-se que para o MoR houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve diferença para o fator teor de adesivo, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para o MoE não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores teor de adesivo e espécie, mas houve interação entre os fatores (ANEXO V, Tabelas 160 e 161, respectivamente).

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para o MoR do fator espécie, encontram-se na Tabelas 59.

Tabela 59 – Teste de médias para a variável MoR do fator espécie

Espécie	MoR
	MPa
Pequiá	11,57 a (0,93)
Tachi-preto	16,05 b (0,66)
Angelim-da-mata	12,95 a (1,57)

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 59, o valor médio de módulo de ruptura para os painéis constituídos por tachi-preto foi superior e diferiu significativamente dos painéis cujas madeiras utilizadas na composição foram pequiá e angelim-da-mata. Esse resultado pode ser uma indicação de que houve influência da razão de compactação dos painéis sobre os resultados de MoR, ou seja, com o aumento da razão de compactação teve-se, por consequência, o aumento do valor médio do MoR dos painéis compostos por tachi-preto.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável MoE da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie encontram-se na Tabela 60.

Tabela 60 – Teste de médias para a variável MoE da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie

Espécie	Teor de Adesivo	
	8%	11%
	MoE (MPa)	
Pequiá	1975,62 aA	1980,13 aA
Tachi-preto	1918,09 aA	1809,28 aA
Angelim-da-mata	1646,24 aA	2016,64 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores do teor de adesivo e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

De acordo com a análise dessa interação (Tabela 60), destaca-se que a combinação da modificação do teor de adesivo com a utilização da madeira de angelim-da-mata (T13) na manufatura dos painéis aglomerados proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo para o módulo de elasticidade.

5.4.6 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 61.

Tabela 61 – Valores médios de ligação interna para cada tratamento do Experimento III

Tabela 01 – Valores médios de ligação interna para cada tratamento do Experimento III		
Tratamento	Espécie	Ligação interna
		Mpa
Teor de adesivo 8%		
T8	Pequiá	1,23
T9	Tachi-preto	1,82
T10	Angelim-da-mata	1,77
Teor de adesivo 11%		
T11	Pequiá	1,42
T12	Tachi-preto	2,56
T13	Angelim-da-mata	1,71

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor mínimo para a propriedade de ligação interna, igual a 0,81 MPa, para a classificação H-1 e 0,40 para a classificação PBU. Com base nos dados da Tabela 61, é possível verificar que os painéis aglomerados de todos os tratamentos exibiram valores médios de ligação interna acima do mínimo requerido pela norma em referência, para ambas as classificações.

Dacosta et al. (2005b), avaliando as propriedades mecânicas de aglomerados confeccionados com resíduos de *Pinus elliottii* resultantes do processamento mecânico da madeira e três teores de adesivo (4%, 8% e 12%), concluíram que, para a ligação interna, houve um melhor desempenho dos painéis com a utilização de adesivo em proporção de 12%.

Pedrazzi et al. (2006) estudaram a qualidade de painéis de partículas de madeira aglomerada fabricados com resíduos de uma indústria de celulose, utilizando três teores de adesivo (4%, 8% e 12%) e observaram os maiores valores de ligação interna nos painéis produzidos com 12% de adesivo, e os menores, naqueles produzidos com teor de adesivo de 4%.

Fernandes et al. (2003) produziram painéis aglomerados utilizando a madeira de *Pinus caribaea* e dois teores de adesivo (14 % e 18%) e verificaram que não foi necessário maior percentual de adesivo para obtenção de maiores valores de ligação interna.

De acordo com a análise de variância efetuada para a ligação interna dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO W, Tabela 162), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores teor de adesivo e espécie. Segundo a mesma análise houve interação significativa entre esses dois fatores (ANEXO W, Tabelas 163 e 164, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável ligação interna da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie encontram-se na Tabela 62.

Tabela 62 – Teste de médias para a variável ligação interna da interação entre os fatores teor de adesivo x espécie

Espécie	Teor de Adesivo	
	8%	11%
	Ligação interna (MPa)	
Pequiá	1,23 aA	1,42 aA
Tachi-preto	1,82 aB	2,56 bC
Angelim da mata	1,77 aB	1,71 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores do teor de adesivo e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Conforme os dados da Tabela 62, analisando o teor de adesivo, verifica-se que houve diferença significativa dos valores de ligação interna para os painéis produzidos com tachi-preto. Analisando o fator espécie, observa-se que os painéis produzidos com pequiá apresentaram diferença significativa dos demais em ambos os teores de adesivo, apresentando o menor valor de ligação interna.

A partir da análise da interação (Tabela 62), nota-se que a alteração do teor de adesivo para 11% sobre os painéis produzidos com a madeira de tachi-preto (T12) proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo para a ligação interna. Presume-se que essa tendência possa ter sido decorrente do maior volume relativo de partículas para a mesma massa do colchão, resultando em maior área de contato entre partículas e, portanto, maior número de ligações adesivas e maior resistência.

5.4.7 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície (AP superfície) e no topo (AP topo) dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 63.

Tabela 63 – Valores médios de arrancamento de parafuso na superfície e no topo para cada tratamento do Experimento III

Tratamento	Espécie	AP superfície	AP topo
		N	
Teor de adesivo 8%			
T8	Pequiá	1220,93	1325,53
T9	Tachi-preto	1832,21	1609,93
T10	Angelim-da-mata	1598,48	1804,42
Teor de adesivo 11%			
T11	Pequiá	1292,84	1353,32
T12	Tachi-preto	1619,73	1753,75
T13	Angelim-da-mata	1412,15	1405,62

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valores de arrancamento de parafuso para a classificação PBU, no entanto, para a classificação H-1 estabelece para o arrancamento de parafuso na superfície o valor mínimo de 1600 N. Mediante o exposto, os resultados de AP superfície (Tabela 63) dos painéis produzidos com partículas de tachi-preto e teores de adesivo 8% e 11% (tratamentos T9 e T12, respectivamente) atenderam a norma em referência. Já para o arrancamento de parafuso no topo, a mesma norma estipula o valor mínimo de 1200 N para a classificação H-1. A partir da análise dos dados da Tabela 63, observa-se que os painéis de todos os tratamentos atenderam o requisito mínimo da norma para o AP topo.

Moslemi (1974) relata que a resistência ao arrancamento de parafusos aumenta em painéis de maior densidade e com nível mais elevado de adesivo. No entanto, pode-se inferir que os valores médios absolutos de arrancamento de parafuso dos painéis da presente pesquisa não apresentaram uma tendência bem definida com o aumento do teor de adesivo.

Dacosta et al. (2005b) e Pedrazzi et al. (2006), em seus estudos, observaram que o teor de adesivo utilizado na produção dos painéis teve influência sobre a resistência ao arrancamento de parafusos, pois, com o aumento da

quantidade de adesivo aplicado nos painéis, os valores de resistência também aumentaram.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AP superfície e AP topo dos painéis aglomerados (ANEXO X, Tabelas 165 e 166, respectivamente), verifica-se que para ambas houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve diferença significativa para o fator teor de adesivo nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para o AP superfície do fator espécie, encontram-se na Tabela 64.

Tabela 64 – Teste de médias para a variável AP superfície do fator espécie

Espécie	AP superfície
	N
Pequiá	1256,88 a (138,64)
Tachi-preto	1725,97 b (157,85)
Angelim-da-mata	1505,32 b (183,12)

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 64, os painéis constituídos por partículas de pequiá diferiram significativamente dos demais e foram os menos eficientes para o AP superfície, porque apresentaram o menor valor médio para essa propriedade.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para o AP topo do fator espécie, encontram-se na Tabela 65.

Tabela 65 – Teste de médias para a variável AP topo do fator espécie

Espécie	AP topo
	N
Pequiá	1339,42 a (120,20)
Tachi-preto	1681,84 b (277,18)
Angelim-da-mata	1605,02 ab (230,17)

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

Conforme os dados da Tabela 65, verifica-se que os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis produzidos a partir de angelim-da-mata e diferiram-se dos painéis constituídos por tachi-preto, apresentando o menor valor para o AP topo.

Os painéis constituídos por pequiá apresentaram resultados inferiores de resistência ao arrancamento de parafuso tanto para a superfície como para o topo (Tabelas 64 e 65, respectivamente), indicando influência da razão de compactação sobre essa propriedade.

5.4.8 Dureza Janka

Os valores médios de dureza Janka dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 66.

Tabela 66 – Valores médios de dureza Janka para cada tratamento do Experimento III

Tabela 66 – Valores médios de dureza Janka para cada tratamento do Experimento III		
Tratamento	Espécie	Dureza Janka
		N
Teor de adesivo 8%		
T8	Pequiá	2513,76
T9	Tachi-preto	2660,86
T10	Angelim-da-mata	2690,28
Teor de adesivo 11%		
T11	Pequiá	2972,23
T12	Tachi-preto	3410,26
T13	Angelim-da-mata	3643,99

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valor para a classificação H-1 para a dureza Janka, no entanto, para a classificação PBU estipula o valor mínimo de 2225 N. Pode-se observar, por meio dos dados da Tabela 66, que os painéis de todos os tratamentos exibiram valores médios acima do estipulado pela norma em referência e desta forma puderam atendê-la.

Observa-se, de acordo com a Tabela 66, que com o aumento do teor de adesivo, os painéis mostraram tendência de aumento dos valores de dureza Janka. Bianche et al. (2012), em sua pesquisa, verificaram que não houve efeito significativo do aumento do teor de adesivo de 6% para 8% para a dureza Janka, porém os painéis produzidos com 8% de adesivo apresentaram os maiores valores médios.

De acordo com a análise de variância efetuada para a dureza Janka dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO Y, Tabela 167), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator teor de adesivo, mas

não houve diferença significativa para o fator espécie nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de média de *Tukey*, realizado para a dureza Janka do fator teor de adesivo, encontram-se na Tabela 67.

Tabela 67 – Teste de médias para a variável dureza Janka do fator teor de adesivo

Teor de adesivo	Dureza Janka
	N
8%	2621,63 a (409,66)
11%	3342,16 b (428,92)

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

Considerando o fator teor de adesivo (Tabela 67), observa-se que a alteração do teor de adesivo para 11% na produção dos painéis foi eficiente, uma vez que o valor médio desses painéis diferiu significativamente daqueles com teor de adesivo 8%, apresentando melhor desempenho para a dureza Janka.

5.4.9 Perfil de densidade

Os valores médios de massa específica dos painéis aglomerados, obtidos pelo método de atenuação de raios X, para o perfil de cada tratamento, encontram-se na Tabela 68.

Tabela 68 – Valores médios da massa específica do perfil para cada tratamento do Experimento III

Tratamento	Espécie	Massa específica - Perfil
		(kg.m ⁻³)
Teor de adesivo 8%		
T8	Pequiá	823,26
T9	Tachi-preto	797,14
T10	Angelim-da-mata	803,27
Teor de adesivo 11%		
T11	Pequiá	833,22
T12	Tachi-preto	821,26
T13	Angelim-da-mata	820,56

Constata-se que o método de atenuação de raios X, aplicado na determinação da massa específica dos painéis com teor de adesivo 8%, apresentou valores médios entre 797,14 e 823,26 kg.m⁻³ (Tabela 68), sendo inferiores aos

obtidos pelo método gravimétrico, os quais variaram na faixa de 834,82 a 845,93 kg.m^{-3} (Tabela 46). Já os painéis produzidos com teor de adesivo 11% apresentaram valores variando entre 820,56 e 833,22 (Tabela 68), os quais podem ser considerados muito próximos aos obtidos pelo método gravimétrico onde os valores variaram de 830,27 a 837,04 kg.m^{-3} (Tabela 46).

De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica do perfil dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO Z, Tabela 168), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator teor de adesivo, mas não houve diferença significativa para o fator espécie nem interação entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para a massa específica do perfil do fator teor de adesivo, encontram-se na Tabela 69.

Tabela 69 – Teste de médias para a variável massa específica do perfil do fator teor de adesivo

Teor de adesivo	Massa específica – Perfil
	(kg.m^{-3})
8%	807,89 a (17,92)
11%	825,01 b (11,33)

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

Considerando o fator teor de adesivo (Tabela 69), observa-se que houve diferença significativa entre os painéis, sendo que a alteração para 11% ocasionou um efeito positivo sobre a massa específica do perfil, uma vez que o valor médio ficou mais próximo ao da massa específica nominal planejada (850 kg.m^{-3}).

Belini et al. (2014) produziram painéis de fibras de eucalipto e dois teores de adesivo (13% e 16%) e verificaram tendência de aumento dos valores médios de massa específica com o aumento do teor de adesivo para 16%.

Em se tratando da análise de variância efetuada para as massas específicas das faces e miolo (ANEXO Z, Tabela 169), observa-se que houve diferença significativa entre as posições do painel. Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para massa específica das faces e do miolo, encontram-se na Tabela 70.

Tabela 70 – Teste de médias para a variável massa específica das faces e do miolo dos painéis, obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento do Experimento III

Tratamento	Espécie	Massa específica (kg.m ⁻³)		
		Face inferior	Miolo	Face superior
Teor de adesivo 8%				
T8	Pequiá	825,86 A (19,90)	812,88 A (10,25)	835,79 A (17,12)
T9	Tachi-preto	805,17 A (3,92)	785,40 A (21,49)	808,45 A (12,30)
T10	Angelim-da-mata	808,73 A (7,79)	795,95 A (4,87)	810,69 A (4,92)
Teor de adesivo 11%				
T11	Pequiá	842,11 A (9,69)	819,96 A (6,38)	844,04 A (3,05)
T12	Tachi-preto	825,20 A (17,83)	811,11 A (24,17)	833,29 A (23,08)
T13	Angelim-da-mata	831,20 B (12,95)	799,38 A (11,69)	843,19 B (12,50)

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

De acordo com a Tabela 70, é possível analisar que as faces dos painéis produzidos com angelim-da-mata e teor de adesivo 11% (T13) apresentaram valores equivalentes e superiores de massa específica, diferenciando-se do miolo. Com relação aos painéis dos demais tratamentos, verifica-se que não houve diferença significativa entre as faces e o miolo. Da mesma forma, Belini et al. (2014) observaram que o aumento do teor de adesivo para 16% promoveu uma maior homogeneidade no formato do perfil obtido para os painéis.

Os perfis de densidade dos painéis de partículas obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento, encontram-se na Figura 14.

Figura 14 – Perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados do Experimento III. A) Tratamento 8 – Pequiá e teor de adesivo 8%; B) Tratamento 11 – Pequiá e teor de adesivo 11%; C) Tratamento 9 – Tachi-preto e teor de adesivo 8%; D) Tratamento 12 – Tachi-preto e teor de adesivo 11%; E) Tratamento 10 – Angelim-da-mata e teor de adesivo 8%; F) Tratamento 13 – Angelim-da-mata e teor de adesivo 11%

Observa-se, de acordo com a Figura 14, que os painéis aglomerados com maior teor de adesivo formaram perfis com picos mais elevados de massa específica nas faces. Convém mencionar que o miolo também apresentou aumento dos valores de massa específica com o aumento do teor de adesivo. Essa tendência de aumento pode ter contribuído para o melhor desempenho dos painéis constituídos por

angelim-da-mata e teor de adesivo 11% (T13) para o MoE à flexão estática e dos painéis de tachi-preto e teor de adesivo 11% (T12) para a ligação interna.

5.5 Experimento IV: painéis aglomerados com proporção de mistura

5.5.1 Razão de compactação dos painéis

A Tabela 71 apresenta os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis para cada tratamento.

Tabela 71 – Valores de razão de compactação dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamento	Espécie	Razão de compactação	
		Nominal	Efetiva
Sem mistura			
T11	100% Pequiá	1,3	1,3
T12	100%Tachi-preto	1,5	1,5
T13	100% Angelim-da-mata	1,5	1,4
Com mistura			
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	1,8	1,8
T15	50% Tachi + 50% Paricá	2,0	2,0
T16	50% Angelim + 50% Paricá	2,0	2,0

Conforme pode ser observado na Tabela 71, os valores das razões de compactação nominal e efetiva dos painéis produzidos variaram de 1,3 a 2,0. Considerando a razão de compactação efetiva, observa-se que os valores aumentaram com a utilização da proporção de mistura com o paricá, uma vez que os valores de densidade básica das misturas foram menores.

5.5.2 Massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis

Os valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis aglomerados de cada tratamento encontram-se na Tabela 72.

Tabela 72 – Valores médios de massa específica, espessura e teor de umidade dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamento	Espécie	Massa específica	Espessura	Teor de umidade
		(kg.m ⁻³)		(%)
Sem mistura				
T11	100% Pequiá	837,04	15,99	9,8
T12	100%Tachi-preto	830,27	16,46	10,4
T13	100% Angelim-da-mata	832,20	15,91	9,2
Com mistura				
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	864,80	16,07	9,9
T15	50% Tachi + 50% Paricá	835,40	16,25	10,4
T16	50% Angelim + 50% Paricá	841,46	15,95	9,7

Os valores médios de massa específica dos painéis variaram de 830,27 a 864,80 kg.m⁻³ (Tabela 72), o que os caracteriza como de alta densidade, uma vez que apresentaram valores acima de 800 kg.m⁻³ conforme estabelece a norma ANSI A208.1 (CPA, 2009). De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica dos painéis (ANEXO AA, Tabela 170), verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando que da mesma forma para os experimentos anteriores, a etapa de produção foi bem conduzida. Mesmo não havendo diferença significativa entre os tratamentos, observa-se que com a utilização da proporção de mistura, os valores de massa específica dos tratamentos T14, T15 e T16 apresentaram tendência de aumento, aproximando-se ainda mais da massa específica planejada.

Os valores médios da espessura dos painéis (Tabela 72) variaram de 15,91 a 16,46 mm. Considerando que os separadores utilizados na etapa de prensagem dos colchões de partículas possuíam 15,7 mm de espessura, denota-se que todos os painéis resultaram em espessura superior à do limitador, com diferentes magnitudes. De acordo com a análise de variância efetuada para a espessura dos painéis (ANEXO AA, Tabela 171), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve para o fator proporção de mistura nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável espessura do fator espécie, encontram-se na Tabela 73.

Tabela 73 – Teste de médias para a variável espessura do fator espécie

Espécie	Espessura
	mm
Pequiá	16,03 a (0,15)
Tachi-preto	16,35 b (0,15)
Angelim-da-mata	15,93 a (0,06)

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 73, analisando o fator espécie, verifica-se que os painéis constituídos por tachi-preto diferiram significativamente dos demais, apresentando o maior valor médio para a espessura. Presume-se que a razão de compactação tenha exercido influência sobre tais painéis, os quais liberaram as tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem de forma mais acentuada, resultando no aumento de sua espessura após esse processo.

Os teores de umidade médios dos painéis (Tabela 72) variaram de 9,2 a 10,4%. A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estabelece o valor máximo de 10% para o teor de umidade. Nesse sentido, com exceção dos painéis produzidos com a madeira de tachi-preto em ambas as proporções, os demais atenderam a norma em referência. A análise de variância efetuada para a variável teor de umidade dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO AA, Tabela 172), demonstra que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve para o fator proporção de mistura nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizados para a variável teor de umidade para o fator espécie, encontram-se na Tabela 74.

Tabela 74 – Teste de médias para a variável teor de umidade do fator espécie

Espécie	Teor de umidade
	%
Pequiá	9,8 a (0,24)
Tachi-preto	10,4 b (0,25)
Angelim-da-mata	9,5 a (0,30)

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

Verifica-se a partir dos resultados da Tabela 74 que os painéis constituídos por tachi-preto diferiram significativamente dos demais, apresentando o maior valor médio para o teor de umidade.

5.5.3 Absorção de água

Os valores médios de absorção de água dos painéis aglomerados após duas horas (AA2h) e após vinte e quatro hora de imersão (AA24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 75.

Tabela 75 – Valores médios de absorção de água dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamento	Espécie	AA2h	AA24h
		%	
Sem mistura			
T11	100% Pequiá	7,54	25,95
T12	100%Tachi-preto	24,48	40,29
T13	100% Angelim-da-mata	13,85	33,00
Com mistura			
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	13,37	32,02
T15	50% Tachi + 50% Paricá	23,83	41,19
T16	50% Angelim + 50% Paricá	14,40	30,21

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão dos painéis variaram de 7,54 a 24,48% e 25,95 a 41,19%, respectivamente (Tabela 75). Pode-se inferir que os valores médios absolutos de absorção de água dos painéis do presente estudo não apresentaram uma tendência bem definida com a utilização de 50% de substituição das madeiras.

Naumann et al. (2008) produziram painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* em diferentes proporções de mistura com a madeira de paricá e verificaram que a absorção de água durante as duas primeiras horas de imersão não foi influenciada pela composição das chapas, no entanto, após 24 horas de imersão, observaram que com o aumento da porcentagem de paricá na composição das chapas, os valores da propriedade em questão também aumentaram.

Bianche et al. (2012) verificaram que os painéis produzidos com 25%, 50% e 75% de partículas de eucalipto associadas às partículas de paricá não apresentaram diferença significativa entre eles para a variável absorção de água, após duas horas de imersão. Contudo, após 24 horas de imersão em água os painéis constituídos por paricá em todas as proporções de mistura diferiram dos painéis produzidos com 100% de eucalipto, apresentando maior absorção de água.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AA2h e AA24h dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO AB, Tabelas 173 e 174, respectivamente), verificou-se que para a AA2h houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve diferença para o fator proporção de mistura, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para a AA24h não houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator proporção de mistura, mas houve para o fator espécie e interação entre os fatores (ANEXO AB, Tabelas 175 e 176, respectivamente).

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável AA2h para o fator espécie, encontram-se na Tabela 76.

Tabela 76 – Teste de médias para a variável AA2h do fator espécie

Espécie	AA2h
	%
Pequiá	10,45 a (3,57)
Tachi-preto	24,16 b (3,72)
Angelim-da-mata	14,13 a (1,72)

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

Verifica-se, de acordo com os dados da Tabela 77, que os painéis constituídos por tachi-preto diferiram significativamente dos demais, apresentando o maior valor de AA2h.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para a AA24h da interação entre os fatores espécie x mistura, encontram-se na Tabela 77.

Tabela 77 – Teste de médias para a variável AA24h da interação entre os fatores proporção de mistura x espécie

Espécie	Proporção de mistura	
	100%	50%
	AA24h (%)	
Pequiá	25,95 aA	32,02 bA
Tachi-preto	40,29 aC	41,19 aB
Angelim da mata	33,00 aB	30,21 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da proporção de mistura e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Conforme os dados da Tabela 77, analisando a espécie, observa-se que os valores médios de AA24h para os painéis constituídos por tachi-preto em ambas as

proporções diferiram significativamente dos demais, apresentando os maiores valores para essa propriedade.

De acordo com a análise dessa interação (Tabela 77), destaca-se que a combinação da espécie pequiá com a proporção de mistura com paricá (T14) na manufatura dos painéis proporcionou um efeito estatisticamente significativo para a variável AA24h, afetando o desempenho de tais painéis. Considerando que a madeira de paricá apresentou baixa densidade, normalmente resultante de células de paredes delgadas e lumens espessos, bem como o volume de partículas utilizadas na manufatura do painel aumentou com a substituição de 50% da madeira de pequiá, pode-se deduzir que os espaços vazios disponíveis (lumens) para serem ocupados pela água também aumentaram relativamente.

5.5.4 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis aglomerados após duas horas (IE2h) e após vinte e quatro hora de imersão (IE24h), para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 78.

Tabela 78 – Valores médios de inchamento em espessura dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Experimento IV			
Tratamento	Espécie	IE2h	IE24h
		%	
Sem mistura			
T11	100% Pequiá	2,28	7,52
T12	100%Tachi-preto	7,36	12,33
T13	100% Angelim-da-mata	3,33	9,74
Com mistura			
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	3,81	10,49
T15	50% Tachi + 50% Paricá	8,23	14,74
T16	50% Angelim + 50% Paricá	4,55	10,23

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor máximo de 8% de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água (classificação D-2 – painéis utilizados em deque). Pode-se observar, por meio dos dados da Tabela 78, que os painéis produzidos com 100% pequiá (T11) apresentaram valor médio abaixo do estipulado pela norma em referência e desta forma puderam atendê-la.

Observa-se, de acordo com a Tabela 78, que com a substituição de 50% das madeiras, os painéis mostraram tendência de aumento dos valores de inchamento em espessura, no entanto, ainda inferiores aos referenciados na literatura para painéis produzidos com misturas de espécies, apesar dos diferentes parâmetros de produção. No estudo realizado por Bianche et al. (2012) para painéis produzidos com mistura de madeiras de eucalipto e paricá, os valores médios de inchamento em espessura após 2h e 24h de imersão foram de 32,71% e 44,26%, respectivamente. Iwakiri et al. (2010) encontraram valor médio de 27,57% para o inchamento em espessura após 24h de imersão para painéis produzidos com mistura de madeiras de embaúba e paricá, na proporção de 50%.

Conforme as análises de variância efetuadas para as variáveis IE2h e IE24h (ANEXO AC, Tabelas 177 e 178, respectivamente), verifica-se que para o IE2h houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de mistura e espécie, mas não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para o IE24h houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de mistura e espécie, bem como interação entre ambos (ANEXO AC, Tabelas 179 e 180, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE2h para os fatores proporção de mistura e espécie, encontram-se nas Tabelas 79 e 80, respectivamente.

Tabela 79 – Teste de médias para a variável IE2h do fator proporção de mistura

Proporção de mistura	IE2h
	%
100%	4,32 a (2,33)
50%	5,53 b (2,20)

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

Considerando o fator proporção de mistura (Tabela 79), observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, caso no qual a proporção de 50% promoveu um efeito negativo sobre os painéis, resultando em maior inchamento em espessura após 2 horas de imersão.

Tabela 80 – Teste de médias para a variável IE2h do fator espécie

Espécie	IE2h
	%
Pequiá	3,04 a (0,86)
Tachi-preto	7,80 b (1,07)
Angelim-da-mata	3,94 a (0,73)

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 80, os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis constituídos por angelim-da-mata e diferiram significativamente dos painéis produzidos a partir de tachi-preto, sendo mais eficientes para o IE2h porque apresentaram menores valores médios para a propriedade avaliada.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável IE24h da interação entre os fatores proporção de mistura x espécie encontram-se na Tabela 81.

Tabela 81 – Teste de médias para a variável IE24h da interação entre os fatores proporção de mistura e espécie

Espécie	Proporção de mistura	
	100%	50%
	IE24h (%)	
Pequiá	7,52 aA	10,49 bA
Tachi-preto	12,33 aC	14,74 bB
Angelim da mata	9,74 aB	10,23 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da proporção de mistura e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Analisando a proporção de mistura (Tabela 81), verifica-se que houve diferenças significativas dos valores de IE24h entre as proporções para as madeiras de pequiá e tachi-preto. Analisando o fator espécie, observa-se que os painéis produzidos com pequiá apresentaram diferenças significativas em relação aos demais painéis na proporção 100%, apresentando o menor valor de IE24h. Os tratamentos constituídos por tachi-preto apresentaram os maiores valores de IE24h em cada proporção. Por meio da análise da interação (Tabela 81), nota-se que a redução da proporção de 100% para 50% de partículas sobre as espécies pequiá e tachi-preto na manufatura dos painéis aglomerados proporcionou um efeito estatisticamente significativo sobre a variável IE24h, afetando a estabilidade

dimensional dos painéis. Presume-se que a umidade que alcança os sítios de sorção provoca o inchamento intrínseco da madeira; essa expansão e a própria presença da água afetam a resistência da ligação adesiva que se torna, relativamente, reduzida, e, por consequência, as tensões de compressão, que são maiores nos painéis de maior razão de compactação, são liberadas em maior magnitude.

5.5.5 Flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura (MoR) e módulo de elasticidade (MoE) à flexão estática, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 82.

Tabela 82 – Valores médios de módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tratamento	Espécie	MoR	MoE
		MPa	
Sem mistura			
T11	100% Pequiá	11,48	1980,13
T12	100%Tachi-preto	15,60	1809,28
T13	100% Angelim-da-mata	12,66	2016,64
Com mistura			
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	20,88	2373,90
T15	50% Tachi + 50% Paricá	20,28	2013,04
T16	50% Angelim + 50% Paricá	21,59	2327,67

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula para o MoR os valores mínimos de 14,9 e 11 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. Mediante o exposto, todos os resultados do módulo de ruptura em flexão estática (Tabela 82) ficaram acima do estipulado pela norma para a classificação PBU. Já para a classificação H-1, com exceção dos painéis produzidos com pequiá e angelim-da-mata sem proporção de mistura (tratamentos T11 e T13, respectivamente), os demais atenderam o requisito da norma. Para o MoE, a mesma norma estipula o valor mínimo de 2160 e 1725 MPa para as classificações H-1 e PBU, respectivamente. A partir da análise dos dados da Tabela 82, observa-se que todos os tratamentos apresentaram resultados para o MoE acima do estipulado para a classificação PBU, e, dessa forma, puderam atendê-la. Para a classificação H-1, os painéis dos tratamentos T14 e T16, produzidos com pequiá e angelim-da-mata,

respectivamente, em proporção de 50% de mistura com paricá, atenderam a norma em questão.

Como parâmetros de referências apresentados na literatura, Iwakiri et al. (2010) encontraram valores médios de 16,29 e 2081,72 MPa para o MoR e MoE, respectivamente, de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de embaúba com paricá, na proporção de 50%. Bianche et. al. (2012) encontraram para painéis produzidos com eucalipto e paricá na proporção de 50% de mistura, valores médios de 17,34 e 1977,85 MPa para o MoR e MoE, respectivamente. Trianoski et al. (2015), utilizando a proporção de 50% de mistura das espécies amazônicas *Inga paraensis* e *Inga alba*, obtiveram valores médios de 15,91 e 2587 MPa para o MoR e MoE, respectivamente.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MoR e MoE dos painéis aglomerados (ANEXO AD, Tabelas 181 e 182, respectivamente), verifica-se que para o MoR não houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas houve para o fator proporção de mistura e interação significativa entre os fatores dos tratamentos (ANEXO AD, Tabelas 183 e 184, respectivamente). Para o MoE, verifica-se que houve diferença significativa para os dois fatores analisados, mas não houve interação significativa.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para o MoR da interação entre os fatores proporção de mistura x espécie, encontram-se na Tabela 83.

Tabela 83 – Teste de médias para a variável MoR da interação entre os fatores proporção de mistura e espécie

Espécie	Proporção de mistura	
	100%	50%
	MoR (MPa)	
Pequiá	11,48 aA	20,88 bA
Tachi-preto	15,60 aB	20,28 bA
Angelim da mata	12,66 aA	21,59 bA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da proporção de mistura e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

De acordo com os dados da Tabela 83, analisando o fator proporção de mistura, verifica-se que houve diferenças significativas dos valores de MoR entre as as proporções. Analisando a espécie, observa-se que houve diferença significativa apenas dentro da proporção 100%, caso no qual os painéis produzidos com tachi-

preto diferiram dos demais, apresentando o maior valor de MoR. De acordo com a análise dessa interação (Tabela 83), destaca-se que a utilização da proporção de 50% de mistura de paricá com as espécies na manufatura dos painéis aglomerados proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo para a propriedade em questão.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável MoE para os fatores proporção de mistura e espécie, encontram-se nas Tabelas 84 e 85, respectivamente.

Tabela 84 – Teste de médias para a variável MoE do fator proporção de mistura

Proporção de mistura	MoE
	MPa
100%	1935,35 a (117,36)
50%	2238,20 b (249,14)

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

Considerando o fator proporção de mistura (Tabela 84), observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, caso no qual a proporção de 50% promoveu um efeito positivo sobre os painéis, resultando em maior valor para o MoE.

Tabela 85 – Teste de médias para a variável MoE do fator espécie

Espécie	MoE
	MPa
Pequiá	2177,01 b (259,69)
Tachi-preto	1911,16 a (208,15)
Angelim-da-mata	2172,15 b (193,93)

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 85, os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis constituídos por angelim-da-mata e diferiram significativamente dos painéis produzidos a partir de tachi-preto, sendo mais eficientes para o MoE porque apresentaram maiores valores médios para a propriedade avaliada.

O MoR e o MoE apresentaram comportamento semelhante com relação a utilização da proporção de 50% de mistura, indicando que a razão de compactação exerceu influência sobre essas variáveis. Vital et al. (1974) e Hillig et al. (2002)

observaram que um aumento da razão da compactação provocou aumento das propriedades de resistência à flexão, onde o MoR e o MoE de painéis produzidos com madeira mais leve, ou com mistura de madeiras de menor densidade, foram superiores aos obtidos para painéis de mesma massa específica.

Segundo Cloutier (1998) uma densidade menor da madeira, considerando constante a massa específica do painel, promove uma razão de compactação mais elevada e, conseqüentemente, uma maior superfície de contato entre as partículas em comparação a uma madeira de maior densidade. A maior quantidade de partículas compactadas leva a uma capacidade mais elevada de transmitir esforços. Por conseqüência as propriedades de flexão estática e tração perpendicular são mais elevadas para painéis confeccionados com madeira de baixa densidade (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2011).

5.5.6 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna, para cada tratamento, estão apresentados na Tabela 86.

Tabela 86 – Valores médios de ligação interna dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

Tabela 05 - Valores médios de ligação interna dos painéis para cada tratamento do Experimento IV		
Tratamento	Espécie	Ligação interna
		MPa
Sem mistura		
T11	100% Pequiá	1,42
T12	100%Tachi-preto	2,56
T13	100% Angelim-da-mata	1,71
Com mistura		
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	2,06
T15	50% Tachi + 50% Paricá	1,91
T16	50% Angelim + 50% Paricá	1,67

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) estipula o valor mínimo para a propriedade de ligação interna, igual a 0,81 MPa, para a classificação H-1 e 0,40 para a classificação PBU. Com base nos dados da Tabela 86, é possível verificar que os painéis aglomerados de todos os tratamentos exibiram valores médios de ligação interna acima do mínimo requerido pela norma em referência, para ambas as classificações.

Os resultados de ligação interna referenciados na literatura são bastante abrangentes e quando comparados com os obtidos no presente estudo mostraram-se inferiores. Lima (2011) encontrou para os painéis aglomerados produzidos com a madeira amazônica freijó e pinus, em proporção de mistura de 50%, valor médio de ligação interna igual a 0,89 MPa. Para os painéis constituídos pela madeira amazônica faveira associada à madeira de pinus, também em proporção de 50%, a autora obteve para a ligação interna valor médio de 1,02 MPa. Naumann et al. (2008) encontraram para a ligação interna o valor médio de 0,52 MPa para painéis produzidos com paricá e eucalipto, na proporção de 50% de mistura.

De acordo com a análise de variância efetuada para a ligação interna dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO AE, Tabelas 185, respectivamente), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator espécie, mas não houve para o fator proporção de mistura. Segundo a mesma análise houve interação significativa entre os dois fatores (ANEXO AE, Tabelas 186 e 187, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável ligação interna da interação entre os fatores proporção de mistura x espécie encontram-se na Tabela 87.

Tabela 87 – Teste de médias para a variável ligação interna da interação entre os fatores proporção de mistura e espécie

Espécie	Proporção de mistura	
	100%	50%
	Ligação interna (MPa)	
Pequiá	1,42 aA	2,06 bB
Tachi-preto	2,56 bC	1,91 aAB
Angelim da mata	1,71 aB	1,67 aA

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas, nas linhas, referem-se aos valores da proporção de mistura e as letras maiúsculas, nas colunas, aos valores da espécie

Conforme os dados da Tabela 87, analisando o fator espécie, observa-se que os painéis produzidos com pequiá apresentaram diferença significativa dos demais na proporção de 100%, apresentando o menor valor de ligação interna. Já na proporção de 50% os painéis constituídos por pequiá diferiram significativamente dos painéis produzidos com a madeira de angelim-da-mata, apresentando o maior valor médio para a propriedade. A partir da análise da interação (Tabela 87), nota-se que a alteração da proporção de mistura sobre os painéis produzidos com a madeira

de pequiá (T14) proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo para a ligação interna. Presume-se que essa tendência possa ter sido decorrente do maior volume relativo de partículas para a mesma massa do colchão, resultando em maior área de contato entre partículas e, portanto, maior número de ligações adesivas e maior resistência. Já para os painéis produzidos com tachi-preto, a redução da proporção para 50% afetou o desempenho do tratamento (T15) para a variável analisada.

5.5.7 Arrancamento de parafuso

Os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície (AP superfície) e no topo (AP topo) dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 88.

Tabela 88 – Valores médios de arrancamento de parafuso na superfície e no topo dos painéis para cada tratamento do Experimento IV

cada tratamento do Experimento IV			
Tratamento	Espécie	AP superfície	AP topo
		N	
Sem mistura			
T11	100% Pequiá	1292,84	1353,32
T12	100%Tachi-preto	1619,73	1753,75
T13	100% Angelim-da-mata	1412,15	1405,62
Com mistura			
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	1598,48	2061,03
T15	50% Tachi + 50% Paricá	1410,52	1900,85
T16	50% Angelim + 50% Paricá	1314,09	1693,28

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valores de arrancamento de parafuso para a classificação PBU, no entanto, para a classificação H-1 estabelece para o arrancamento de parafuso na superfície o valor mínimo de 1600 N. Mediante o exposto, verifica-se, de acordo com a Tabela 88, que apenas os painéis produzidos com a madeira de tachi-preto sem proporção de mistura (T12) atenderam a norma em referência para o AP superfície. Já para o arrancamento de parafuso no topo, a mesma norma estipula o valor mínimo de 1200 N para a classificação H-1. A partir da análise dos dados da Tabela 88, observa-se que os painéis de todos os tratamentos atenderam o requisito mínimo da norma para o AP topo.

Considerando os resultados disponíveis na literatura para esta propriedade, observa-se que os painéis do presente estudo mostraram-se compatíveis e/ou superiores. Bianche et al. (2012) obtiveram valor médio de 1153,38 N para o arrancamento de parafuso na superfície de painéis de eucalipto com incremento percentual de 50% de paricá. Trianoski et al. (2015) encontraram valores médios de 1217 e 1397 N para o arrancamento de parafuso na superfície e no topo, respectivamente, para os painéis produzidos com madeiras amazônicas em proporção de mistura.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis AP superfície e AP topo dos painéis aglomerados (ANEXO AF, Tabelas 188 e 189, respectivamente), verifica-se que para o AP superfície não houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de mistura e espécie, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para o AP topo houve diferença significativa para o fator proporção de mistura, mas não houve para o fator espécie, nem interação entre os fatores.

Os resultados do teste de médias de *Tukey*, realizado para o AP topo do fator proporção de mistura, encontram-se na Tabela 89.

Tabela 89 – Teste de médias para a variável AP topo do fator proporção de mistura

Proporção de mistura	AP topo
	N
100%	1504,23 a (282,73)
50%	1885,05 b (281,32)

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

Considerando o fator proporção de mistura (Tabela 89), observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, caso no qual a proporção de 50% promoveu um efeito positivo sobre os painéis, resultando em maior valor para o AP topo. Embora não tenha ocorrido diferença estatística significativa, os painéis produzidos em proporção de mistura com paricá apresentaram tendência de aumento dos valores de massa específica, fato que pode ter influenciado no aumento da resistência da propriedade em questão. Da mesma forma, Dacosta et al. (2005b), avaliando a qualidade de painéis de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii*, observaram que o aumento da massa específica dos painéis conferiu maior resistência para o

teste de arrancamento de parafusos. Bianche (2009) também atribuiu a maior resistência ao arrancamento de parafusos dos painéis produzidos com partículas de paricá ao aumento da massa específica dos mesmos.

5.5.8 Dureza Janka

Os valores médios de dureza Janka dos painéis aglomerados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 90.

Tabela 90 – Valores médios de dureza Janka para cada tratamento do Experimento IV

Tabela 50 – valores médios de dureza Janka para cada tratamento do Experimento IV		
Tratamento	Espécie	Dureza Janka
		N
Sem mistura		
T11	100% Pequiá	2972,23
T12	100%Tachi-preto	3410,26
T13	100% Angelim-da-mata	3643,99
Com mistura		
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	3142,22
T15	50% Tachi + 50% Paricá	2994,30
T16	50% Angelim + 50% Paricá	3007,37

A norma ANSI A208.1 (CPA, 2009) não especifica valor para a classificação H-1 para a dureza Janka, no entanto, para a classificação PBU estipula o valor mínimo de 2225 N. Pode-se observar, por meio dos dados da Tabela 90, que os painéis de todos os tratamentos exibiram valores médios acima do estipulado pela norma em referência e desta forma puderam atendê-la.

Carvalho et al. (2015), avaliando o efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados, encontram valor médio igual a 3566,9 N para a dureza Janka dos painéis produzidos em proporção de 50% de mistura com a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Naumann et al. (2008) encontraram valor médio de 2450 N para painéis produzidos com mistura de madeiras de eucalipto e paricá, na proporção de 50%.

De acordo com a análise de variância efetuada para a dureza Janka dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO AG, Tabela 190) verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator proporção de mistura, mas não houve diferença significativa para o fator espécie nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados do teste de média de *Tukey*, realizado para a dureza Janka do fator proporção de mistura, encontram-se na Tabela 91.

Tabela 91 – Teste de médias para a variável dureza Janka do fator proporção de mistura

Proporção de mistura	Dureza Janka
	N
100%	3342,16 b (428,92)
50%	3047,96 a (110,56)

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

Considerando o fator proporção de mistura (Tabela 91), observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, caso no qual a proporção de 50% promoveu um efeito negativo sobre os painéis, resultando em menor valor para a dureza Janka. Tendência contrária foi encontrada por Naumann et al. (2008), onde os valores médios de dureza aumentaram à medida que foram adicionadas partículas de paricá. Os autores atribuíram esse aumento à maior razão de compactação dos painéis constituídos por paricá bem como às dimensões das partículas utilizadas na pesquisa.

5.5.9 Perfil de densidade

Os valores médios de massa específica dos painéis aglomerados, obtidos pelo método de atenuação de raios X, para o perfil de cada tratamento, encontram-se na Tabela 92.

Tabela 92 – Valores médios da massa específica do perfil para cada tratamento do Experimento IV

Tratamento	Espécie	Massa específica - Perfil
		(kg.m ⁻³)
Sem mistura		
T11	100% Pequiá	833,22
T12	100%Tachi-preto	821,26
T13	100% Angelim-da-mata	820,56
Com mistura		
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	855,73
T15	50% Tachi + 50% Paricá	815,42
T16	50% Angelim + 50% Paricá	863,89

Constata-se que o método de atenuação de raios X, aplicado na determinação da massa específica, apresentou valores variando entre 820,56 e 833,22 kg.m⁻³ para os painéis produzidos com as madeiras amazônicas sem proporção de mistura, e valores médios entre 815,42 e 863,89 kg.m⁻³ para os painéis produzidos em associação com a madeira de paricá (Tabela 92).

De acordo com a análise de variância efetuada para a massa específica do perfil dos painéis aglomerados do presente estudo (ANEXO AH, Tabela 191), verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores proporção de mistura e espécie, mas não houve interação entre os fatores dos tratamentos.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a massa específica do perfil dos fatores proporção de mistura e espécie, encontram-se nas Tabelas 93 e 94, respectivamente.

Tabela 93 – Teste de médias para a variável massa específica do perfil do fator proporção de mistura

Proporção de mistura	Massa específica – Perfil
	(kg.m ⁻³)
100%	825,01 a (11,33)
50%	845,01 b (28,78)

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

Considerando o fator proporção de mistura (Tabela 93), observa-se que houve diferença significativa entre os painéis, sendo que a alteração para 50% ocasionou um efeito positivo sobre a massa específica do perfil, uma vez que o valor médio ficou mais próximo ao da massa específica nominal planejada (850 kg.m⁻³).

Tabela 94 – Teste de médias para a variável massa específica do perfil do fator espécie

Espécie	Massa específica – Perfil
	(kg.m ⁻³)
Pequiá	844,48 b (15,88)
Tachi-preto	818,34 a (22,29)
Angelim-da-mata	842,22 b (25,26)

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 94, verifica-se que os painéis constituídos por pequiá equivaleram-se estatisticamente aos painéis produzidos a partir de angelim-

da-mata, os quais apresentaram maior valor para a massa específica do perfil, e diferiram-se dos painéis constituídos por tachi-preto.

Em se tratando da análise de variância efetuada para as massas específicas das faces e miolo (ANEXO AH, Tabela 192), observa-se que houve diferença significativa entre as posições do painel. Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para massa específica das faces e do miolo, encontram-se na Tabela 95.

Tabela 95 – Teste de médias para a variável massa específica das faces e do miolo dos painéis, obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento do Experimento IV

Tratamento	Espécie	Massa específica (kg.m ⁻³)		
		Face inferior	Miolo	Face superior
Sem mistura				
T11	100% Pequiá	842,11 A (3,92)	819,96 A (21,49)	844,04 A (12,30)
T12	100%Tachi-preto	825,20 A (19,69)	811,11 A (4,97)	833,29 A (5,04)
T13	100% Angelim-da-mata	831,20 AB (9,69)	799,38 A (6,38)	843,19 B (3,05)
Com mistura				
T14	50% Pequiá + 50% Paricá	867,08 AB (19,98)	837,50 A (39,11)	872,69 B (34,10)
T15	50% Tachi + 50% Paricá	831,10 B (12,95)	795,94 A (11,69)	831,86 B (12,50)
T16	50% Angelim + 50% Paricá	876,78 AB (6,41)	845,01 A (5,43)	881,82 B (8,79)

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

De acordo com a Tabela 95, é possível observar que as faces dos painéis produzidos com 100% angelim-da-mata (T13) e as faces de todos os painéis produzidos com a mistura de paricá (Tratamentos T14, T15 e T16) apresentaram valores equivalentes e superiores de massa específica em relação ao miolo. Com relação aos painéis dos demais tratamentos, verifica-se que não houve diferença significativa entre as faces e o miolo.

Os perfis de densidade dos painéis de partículas obtidos por atenuação de raios X, para cada tratamento, encontram-se na Figura 15.

Figura 15 – Perfis de densidade ao longo da espessura dos painéis aglomerados do Experimento IV. A) Tratamento 11 – 100% pequiá; B) Tratamento 14 – 50% pequiá + 50% paricá; C) Tratamento 12 – 100% tachi-preto; D) Tratamento 15 – 50% tachi-preto + 50% paricá; E) Tratamento 13 – 100% angelim-da-mata; F) Tratamento 16 – 50% angelim-da-mata + 50% paricá

Observa-se, de acordo com a Figura 15, que os painéis aglomerados de todos os tratamentos produzidos na proporção 50% de mistura formaram perfis com picos mais elevados de massa específica nas faces, refletindo no melhor desempenho do MoR e do MoE à flexão estática. Convém mencionar que o miolo dos painéis constituídos por angelim-da-mata e paricá (T16) também apresentou aumento dos valores de massa específica. Já o miolo dos painéis produzidos com

tachi-preto e paricá (T15) apresentou uma tendência de redução dos valores de massa específica, esclarecendo a diminuição da resistência à ligação interna desses painéis.

5.6 Resumo das propriedades dos painéis aglomerados

A Tabela 96 apresenta um resumo das propriedades físicas e mecânicas obtidas no presente estudo, juntamente com as indicações do atendimento ou não da norma utilizada como referência.

Tabela 96 – Resumo das propriedades físicas e mecânicas obtidas para todos os tratamentos

Tratamento	ME (kg.m ⁻³)	Esp. (mm)	TU	AA2h	AA24h	IE2h	IE24h	MoR	MoE	LI	AP _s	AP _T	DJ	ME _P	ME _{FI}	ME _M	ME _{FS}
			(%)					(MPa)			(N)			(kg.m ⁻³)			
T1	832,13	15,85	<u>9,5</u>	16,51	36,87	4,84	10,80	9,39	1616,74	<u>0,87</u>	1276,50	<u>1617,01</u>	1346,78	783,67	814,70	757,32	819,49
T2	819,01	15,99	<u>8,5</u>	34,31	50,27	8,00	12,94	8,76	1223,65	<u>1,41</u>	<u>2027,21</u>	<u>1791,35</u>	2019,35	751,58	771,26	725,09	781,18
T3	824,98	15,68	<u>8,7</u>	15,83	32,18	4,45	9,32	4,86	1281,93	<u>0,45</u>	730,59	791,07	1230,73	752,84	786,08	714,44	789,72
T4	821,81	15,98	10,2	11,59	26,84	5,32	13,48	5,22	966,15	<u>0,63</u>	959,42	965,96	1563,34	744,75	748,20	729,15	770,02
T5	828,16	15,92	<u>9,6</u>	37,80	53,79	11,54	15,78	10,04	1290,17	<u>1,18</u>	<u>1624,63</u>	<u>1850,19</u>	1958,05	753,52	778,57	722,87	784,65
T6	834,10	15,93	<u>10,0</u>	8,24	20,26	4,84	9,99	4,59	887,63	<u>0,57</u>	1077,10	1080,36	1794,61	744,08	756,39	723,38	773,19
T7	822,09	15,87	<u>9,3</u>	14,12	32,74	5,24	11,76	6,33	1124,05	<u>0,71</u>	1247,08	<u>1278,13</u>	1786,44	746,36	767,37	718,19	776,45
T8	845,93	15,97	<u>9,4</u>	10,55	27,64	3,37	10,90	<u>11,66</u>	<u>1975,62</u>	<u>1,23</u>	1220,93	<u>1325,53</u>	<u>2513,76</u>	823,26	825,86	812,88	835,79
T9	834,82	16,40	<u>9,8</u>	31,61	44,71	11,86	17,62	<u>16,50</u>	<u>1918,09</u>	<u>1,82</u>	<u>1832,21</u>	<u>1609,93</u>	<u>2660,86</u>	797,14	805,17	785,40	808,45
T10	837,03	16,31	<u>8,7</u>	19,29	36,47	6,28	14,16	<u>13,23</u>	1646,24	<u>1,77</u>	1598,48	<u>1804,42</u>	<u>2690,28</u>	803,27	808,73	795,95	810,69
T11	837,04	15,99	<u>9,8</u>	7,54	25,95	2,28	7,52	<u>11,48</u>	<u>1980,13</u>	<u>1,42</u>	1292,84	<u>1353,32</u>	<u>2972,23</u>	833,22	842,11	819,96	844,04
T12	830,27	16,46	10,4	24,48	40,29	7,36	12,33	<u>15,60</u>	<u>1809,28</u>	<u>2,56</u>	<u>1619,73</u>	<u>1753,75</u>	<u>3410,26</u>	821,26	825,20	811,11	833,29
T13	832,20	15,91	<u>9,2</u>	13,85	33,00	3,33	9,74	<u>12,66</u>	<u>2016,64</u>	<u>1,71</u>	1412,15	<u>1405,62</u>	<u>3643,99</u>	820,56	831,20	799,38	843,19
T14	864,80	16,07	<u>9,9</u>	13,37	32,02	3,81	10,49	<u>20,88</u>	<u>2373,90</u>	<u>2,06</u>	1598,48	<u>2061,03</u>	<u>3142,22</u>	855,73	867,08	837,50	872,69
T15	835,40	16,25	10,4	23,83	41,19	8,23	14,74	<u>20,28</u>	<u>2013,04</u>	<u>1,91</u>	1410,52	<u>1900,85</u>	<u>2994,30</u>	815,42	831,10	795,94	831,86
T16	841,46	15,95	<u>9,7</u>	14,40	30,21	4,55	10,23	<u>21,59</u>	<u>2327,67</u>	<u>1,67</u>	1314,09	<u>1693,28</u>	<u>3007,37</u>	863,89	876,78	845,01	881,82
ANSI A208.1: 2009 H-1	-	-	10	-	-	-	-	14,9	2160	0,81	1600	1200	-	-	-	-	-
ANSI A208.1: 2009 PBU	-	-	10	-	-	-	-	11	1725	0,40	-	-	2225	-	-	-	-

(-) A Norma ANSI A208.1:2009 não dispõe de requisitos mínimos para a propriedade; Valores sublinhados atenderam os requisitos mínimos estabelecidos pela norma em referência em pelo menos uma das classificações.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados analisados e discutidos foram extraídas as seguintes conclusões:

Os painéis aglomerados manufaturados com os resíduos das madeiras *Caryocar villosum* (pequiá), *Hymenolobium excelsum* (angelim-da-mata) e *Tachigali myrmecophyla* (tachi-preto) apresentaram, de maneira geral, propriedades tecnológicas superiores às demais espécies *Mezilaurus itauba* (itaúba-amarela), *Erismia uncinatum* (cedrinho) e *Qualea paraensis* (mandioqueira-escamosa), atendendo um ou mais requisitos mínimos indicados pela norma ANSI A208.1 (2009) para painéis de alta densidade (classificação H-1) e painéis destinados a produção de pisos (classificação PBU);

Os fatores dos tratamentos, espécie (pequiá, tachi-preto e angelim-da-mata), classificação (com finos e sem finos), teor de adesivo (8% e 11%) e proporção de mistura das partículas das madeiras (100% e 50%), influenciaram as propriedades dos painéis aglomerados manufaturados experimentalmente, em certos casos de maneira isolada e em outros interativamente;

A remoção dos finos na produção dos painéis aglomerados resultou em tendência de aumento dos valores da maioria das propriedades mecânicas (MoR, MoE, ligação interna e dureza Janka) dos painéis. Tal variável também contribuiu para reduzir a AA2h, AA24h e IE2h, no entanto, exerceu influência sobre o IE24h, caso no qual os valores apresentaram tendência de aumento. Os painéis com classificação de partículas formaram perfis mais homogêneos, sem elevados picos de massa específica nas faces. Os aglomerados produzidos com os resíduos de tachi-preto sem finos apresentaram o maior potencial de utilização, uma vez que atenderam aos requisitos mínimos indicados pela norma ANSI A208.1 (2009) para todas as propriedades mecânicas avaliadas;

O aumento do teor de adesivo de 8% para 11% melhorou a estabilidade dimensional dos painéis aglomerados produzidos. Houve interações significativas entre os fatores, onde o aumento do teor de adesivo na manufatura experimental dos aglomerados, combinado com as espécies utilizadas, resultou em tendência de redução dos valores de AA2h, AA24h, IE2h e IE24h dos painéis. Para as propriedades mecânicas, verificou-se tendência de aumento dos valores de dureza Janka com o aumento do teor de adesivo, além de interações significativas para o

MoE, as quais influenciaram positivamente o desempenho dos painéis constituídos por angelim-da-mata, e para a ligação interna, melhorando o desempenho dos painéis constituídos por tachi-preto. Os painéis com maior teor de adesivo formaram perfis com picos mais elevados de massa específica nas faces e aumento dos valores de massa específica no miolo. Os aglomerados produzidos com os resíduos de tachi-preto e adesivo 11%, apresentaram potencial de utilização, uma vez que atenderam aos requisitos mínimos indicados pela norma ANSI A208.1 (2009) para todas as propriedades mecânicas avaliadas;

A utilização da proporção de 50% de mistura com partículas de *Schizolobium amazonicum* (paricá) resultou em tendência de aumento dos valores de MoE e AP topo e redução dos valores de dureza Janka. Houve interação significativa entre os fatores para as propriedades AA24h, IE2h, IE24h, MoR e ligação interna, casos nos quais a proporção de 50% de mistura resultou em tendência de aumento dos valores obtidos. Os aglomerados de todos os tratamentos produzidos na proporção de 50% de mistura formaram perfis com picos mais elevados de massa específica nas faces quando comparados com os painéis produzidos sem proporção de mistura. Os painéis produzidos com os resíduos de pequiá, tachi-preto e angelim-da-mata em proporção de 50% mistura com resíduos de lâminas de paricá, apresentaram potencial de utilização, uma vez que atenderam aos requisitos mínimos indicados pela norma ANSI A208.1 (2009) para as propriedades mecânicas avaliadas, com exceção da propriedade AP superfície;

Apesar das tendências de redução e aumento dos valores de algumas das propriedades já destacadas, os painéis aglomerados manufaturados com os resíduos das madeiras amazônicas apresentaram potencial de utilização e se revelaram uma alternativa viável do ponto de vista tecnológico para o aproveitamento de resíduos. Recomenda-se que resíduos de outras espécies sejam avaliados na produção de painéis em diferentes condições experimentais, utilizando, por exemplo, diferentes adesivos, diferentes proporções de misturas de espécies e distribuição das partículas em camadas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C.E.C. de. **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.E.C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n.1, p. 158-166, 2000.
- ALMEIDA, V.C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá**. 2009. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- ALONSO, M.A.V.; OLIET, M.; RODRÍGUEZ, F.; GARCÍA, J.; GILARRANZ, M.A.; RODRÍGUEZ, J.J. Modification of ammonium lignosulfonate by phenolation for use in phenolic resins. **Bioresource Technology**, Barking, v. 96, n. 9, p. 1013-1018, 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D-1037**: Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. West Conshohocken , 2006. 30 p.
- ANDRADE, A. **Pisos de madeira**: características de espécies brasileiras. Piracicaba: ANPM, 2015. 184 p.
- ARAÚJO, F.D. A review of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) - an economically valuable species of the Central Brazilian Cerrados. **Economic Botany**, New York, v. 49, n. 1, p. 40-48, 1995.
- ASHORI, A.; NOURBAKHS, A. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 28, n. 2, p. 225-230, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Números/produtos**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 22 jul. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- _____. **NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- _____. **NBR 14810-1**: chapas de madeira aglomerada – terminologia. Rio de Janeiro, 2006a. 5 p.
- _____. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada – métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006b. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico 2013**: ano base 2012. Brasília, 2013. 148 p.

AYRILMIS, N. Effect of panel density on dimensional stability of medium and high density fiberboards. **Journal of Materials Science**, Andover, v. 42, p. 8551-8557, 2007.

AYRILMIS, N.; KWON, J.H.; HAN, T.H. Effect of resin type and content on properties of composite particleboard made of a mixture of wood and rice husk. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Oxford, v. 38, p. 79-83, 2012.

AYRILMIS, N.; BUYUKSARI, U.; AVCI, E.; KOC, E. Utilization of pine (*Pinus pinea* L.) cone in manufacture of wood based composite. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 1, p. 65-70, 2009.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Panorama de mercado**: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 32, p. 49-90, 2010.

BELINI, U.L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M. P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 343-350, 2009.

BELINI, U. L.; FIORELLI, J.; SAVASTANO JR.; H., TOMAZELLO FILHO, M. Density profile as a tool in assessing quality of new composite. **Materials Research**, São Carlos, v. 17, n. 1, p. 138-145, 2014.

BIANCHE, J.J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*)**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BIANCHE, J.J.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; PEREIRA, F.A.; SANTOS, R.C.; SORATTO, D.N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

BIASI, C.P.; ROCHA, M.P. Rendimento em madeira serrada e quantificação de resíduos para três espécies tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 1, p. 95-108, 2007.

BONET. **Classificação de partículas**. Disponível em: <<http://www.bonetsc.com.br/divisao-bld>>. Acesso em: 10 out. 2012.

BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B.; SILVA, D.A.; KLOCK, U. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2002.

BRASIL. Leis, decretos, etc. Lei n. 12305, de 02 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos. **Diário Oficial**, Brasília, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

- BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Engelm. Var. *elliotti* plantado no sul do Brasil.** 1995. 123 p. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.
- BRITO, E.O.; SILVA, V.C. Propriedade 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, E.O.; ROCHA, J.D.S.; VIDAURRE, G.B.; BATISTA, D.C.; PASSOS, P.R.A.; MARQUES, L.G.C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 1-6, 2004.
- BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T.P.; CÉSAR, A.A.S.; SÁ, V.A.; MENDES, L.M. Modelagem de propriedades físicas e mecânicas em painéis aglomerados de cedro australiano. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 243-249, 2012a.
- BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A.M.; NASSUR, O.A.C.; SÁ, V.A.; TRUGILHO, P.F.; MENDES, L.M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012b.
- BUYUKSARI, U.; AYRILMIS, N.; AVCI, E.; KOC, E. Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones. **Bioresource Technology**, Barking, v. 101, n. 1, p. 255-259, 2010.
- CABRAL, C.P.; VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A.S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*. **Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.
- CAI, Z.; ROSS, R.J. Mechanical properties of wood-based composite materials. In: ROSS, R.J. (Ed.). **Wood handbook: wood as an engineering material**. Wisconsin: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. chap. 12, p. 1-12.
- 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.
- CARLL, C.G. Basic mechanical properties of flakeboards from ring-cut flakes of eastern hardwoods. **Forest Products Journal**, Madison, v. 44, n. 9, p. 26-32, 1994.
- CARVALHO, P.E.R. **Paricá: *Schizolobium amazonicum***. Colombo: EMBRAPA, 2007. 8 p.
- CARVALHO, A.G.; ANDRADE, B.G.; CABRAL, C.P.T.; VITAL, B.R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 209-214, 2015.

CETIN, N.S.; OZMEN, N. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: I. Organosolv lignin modified resins. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Oxford, v. 22, n. 6, p. 477-480, 2002a.

_____. Use of organosolv lignin in phenol-formaldehyde resins for particleboard production: II. Particleboard production and properties. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Oxford, v. 22, n. 6, p. 481-486, 2002b.

CHEN, S.; XIAOHONG, L.; FANG, L.; WELLWOOD, 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.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COMPOSITE PANEL ASSOCIATION. **ANSI A 208.1**: particleboard standard. Leesburg, 2009. 9 p.

DACOSTA, L.P.E.; HASELEIN, C.R.; SANTINI, E.J.; SCHNEIDER, P.R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005a.

_____. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005b.

DAI, C.; YU, C.; HUBERT, P. Modeling vertical density profile in wood composite boards. In: PACIFIC RIM BIO-BASED COMPOSITES SYMPOSIUM, 5., 2000, Canberra. **Proceedings...** Canberra: Australian National University, 2000. p. 220–226.

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 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DONMEZ CAVDAR, A.; KALAYCIOGLU, H.; HIZIROGLU, S. Some of the properties of oriented strandboard manufactured using kraft lignin phenolic resin. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 202, n. 1, p. 559-563, 2008.

DUNKY, M.; NIEMZ, P. **Holzwerkstoffe und Leime**. Berlin: Springer Verlag, 2002. 954 p.

ELEOTÉRIO, J.R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 121 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

FERNANDES, M.M.; LELIS, R.C.C.; TOSTES, A.S.; BRITO, E.O.; LIMA, A.M. Avaliação da qualidade de chapas de partículas manufaturadas com resina tanino-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 100-104, 2003.

FONTES, P.J.P. **Auto-suficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

FRIHART, C.R.; HUNT, C.G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: ROSS, R.J. (Ed.). **Wood handbook**: wood as an engineering material. Wisconsin: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Chap. 10, p. 1-24.

FRYBORT, S.; MAURITZ, R.; TEISCHINGER, A.; MULLER, U. Cement bonded composites: a mechanical review. **Bioresource Technology**, Barking, v. 3, n. 2, p. 602-626, 2008.

GARCIA, F.M.; MANTIO, D.R.; SANSÍGOLO, C.A.; MAGALHÃES, P.A.D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012.

GILLIS, C.M.; STEPHENS, W.C.; PERALTA, P.N. Moisture meter correction factors for four Brazilian wood species. **Forest Products Journal**, Madison, v. 5, n. 4, p. 83-86, 2001.

GONÇALVES, M.T.; RUFFINO, T.; ROSALVO, T. Aproveitamento do resíduo gerado na indústria madeireira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, EESC, 1989. p. 129-140.

GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; MENDES, L.M.; MENDES, R.F.; MORI, F.A. Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 443-452, 2011.

HALLIGAN, A.F. A review of thickness swelling in particleboard. **Wood Science and Technology**, New York, v. 4, p. 301-312, 1970.

HARA, M.M.; MATOSKI, A.; MAGAJEWSKI, C.; MACHADO, J. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeira mediante esforço induzido por punção. **Engenharia e Construção Civil**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 40-53, 2014.

HASELEIN, C.R.; CALEGARI, L.; BARROS, M.V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D.T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HASHIN, R.; SAID, N.; LAMAMING, J.; BASKARAN, M.; SULAIMAN, O.; SATO, M.; HIZIROGLU, S.; SUGIMOTO, T. Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. **Materials & Design**, Oxford, v. 32, n. 5, p. 2520–2525, 2011.

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.

HUMMEL, A.C.; ALVES, M.V.S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira**: produção, receita e mercados. Belém: SFB; AMAZON, 2010. 20 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia, características e utilização**: Estação Experimental de Curuá-Uma. Brasília: LPF, 1998. v. 2, 236 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília, 1997. 152 p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. Brasília: IPEA, 2012. 129 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Taxa anual de desmatamento da Floresta Amazônica**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm>. Acesso em: 28 ago. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. 2. ed. São Paulo, 1989a. 418 p. (IPT. Publicação, 1791).

_____. **Sistema de informações de madeiras brasileiras**. São Paulo, 1989b. 291 p. (IPT. Relatório, 27 078).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Usos da madeira de itaúba**. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=39>. Acesso em 07 jul. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Catálogo de madeiras da Amazônia**: características tecnológicas – área da hidrelétrica de Balbina. Manaus, 1991. 163 p.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Annual review and assessment of the world timber situation 2012**. Yokohama: ITTO, Division of Economic Information and Market Intelligence, 2011. 206 p.

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

_____. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 245 p.

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

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B.F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A.S. de; CARDOSO JUNIOR, A.A.; CHIPANSKI, E.R.; PRATA, J.G.; ADRIAZOLA, M.K.O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005.

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A.B.M.; SILVEIRA, E.L.; ZAMARIAN, E.H.C.; PRATA, J.G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2008.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J.A.; RAMIREZ, M.G.L.; SOUZA, M.M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010.

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

JAGGER, R.W. The new pallmann ring refiner, type PF, for green sawdust, shavings, and other such materials. In: INTERNATIONAL PARTICLEBOARD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 26., 1992, Pullman. **Proceedings...** Pullman: Washington State University, 1992. p. 94-105.

JANKOWSKY, I.P. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. v. 1, 172 p.

JANUARIO, J.F.; 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.

JIN, J.; DAI, C.; HSU, W. E.; YU, C. Properties of strand boards with uniform and conventional vertical density profiles. **Wood Science and Technology**, New York, v. 43, p. 559-574, 2009.

JOSELEAU, J.P.; IMAI, T.; KURODA, K.; RUEL, K. Detection in situ and characterization of lignin in the G-layer of tension wood fibres of *Populus deltoids*. **Planta**, Berlin, v. 219, n. 2, p. 338-345, 2004.

JULIANA, A.H.; PARIDAH, M.T.; RAHIM, S.; NOR AZOWA, I.; ANWAR, U.M.K. Properties of particleboard made from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) as function of particle geometry. **Materials & Design**, Oxford, v. 34, p. 406-411, 2012.

KELLY, M.W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: U.S. Forest Products Laboratory, 1977. 66 p. (General Technical Report, FPL-10)

KHEDARI, J.; NANKONGNAB, N.; HIRUNLABH, J.; TEEKASAP, S. New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir. **Building and Environment**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 59-65, 2004.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B. de; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. de. **Química da madeira**. Curitiba: UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2005. 86 p.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlim: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. **Madeiras brasileiras**. Disponível em:
<<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/pesquisa.php?idioma=portugues>>.
Acesso em: 15 fev. 2014.

_____. **Madeiras brasileiras**. Disponível em:
<<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/pesquisa.php?idioma=portugues>>.
Acesso em: 20 maio 2015.

LEE, S.H.; TERAMOTO, Y.; SHIRAISHI, N. Acid-catalyzed liquefaction of waste paper in the presence of phenol and its application to Novolak-type phenolic resin. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 83, n. 7, p. 1473-1481, 2002.

LEWIS, W.C. **Hardness modulus as an alternate measure of hardness to the standard Janka ball for wood and wood-base materials**. Madison: USDA Forest Service, 1968. 13 p.

LIAS, H.; KASIM, J.; JOHARI, N.A.N.; MOKHTAR, I.L.M. Influence of board density and particle sizes on the homogenous particleboard properties from kelempayan (*Neolamarckia cadamba*). **International Journal of Latest Research in Science and Technology**, New Delhi, v. 3, n. 6, p. 173-176, 2014.

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

LIMA, N.N. **Influência da gramatura de cola na produção de painéis compensados**. 2006. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

_____. **Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia**. 2011. 208 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

LONGO, B.L. **Potencial do resíduo de espécies tropicais para a produção de painéis particulados**. 2014. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

LORA, J.H.; WU, Q. Performance of two non-wood soda lignin derivatives in oriented strandboard powder phenolic adhesive. In: INTERNATIONAL LIGNIN INSTITUTE FORUM, 8., 2007, Rome. **Proceedings...** Rome: The International Lignin Institute, 2007. p. 213-216.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1998. v. 2, 351 p.

_____. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 1, 384 p.

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. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MARASHDEH, M.W.; HASHIM, R.; TAJUDDIN, A.A.; BAUK, S.; SULAIMAN, O. Effect of particle size on the characterization of binderless particleboard made from *Rhizophora* spp. mangrove wood for use as phantom material. **BioResources**, Raleigh, v. 6, n. 4, p. 4028-4044, 2011.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MATOS, J.L.M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”**. 1988. 163p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

_____. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MELO, C.F.M.; GOMES, J.I. **Estudo químico e micrográfico de madeiras da Amazônia**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1979. 70 p. (Comunicado Técnico, 19).

MELO, J.E. de; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. **Silvicultura**, São Paulo, v. 12, n. 42, p. 695-699, 1992.

MELO, L.E.L.; SILVA, C.J.; LOPES, K.V.; BRITO, P.G.M.; SANTOS, I.S. Resíduos de serraria no Estado do Pará: caracterização, quantificação e utilização adequada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 1, p. 113-116, 2012.

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, 2015.

MENDES, L.M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 103 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L.M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M. de. Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, dez. 2002.

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**. 2010. 116 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C. dos; GUIMARÃES JÚNIOR, 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, 2010.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J.B.; SANTOS, R.C. dos; 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.

MILAGRES, E.G. **Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidade**. 2004. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

MIYAMOTO, K.; NAKAHARA, S.; SUZUKI, S. Effect of particle shape on linear expansion of particleboard. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 48, p. 185-190, 2002.

MORESCHI, J.C. **Relação água-madeira e sua secagem**. 2. ed. Curitiba: UFPR, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2014. 121 p.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**: technology. London: Southern Illinois University, 1974. v. 2, 245p.

NAKAMURA, R.M.; SOBRAL FILHO, M. Aglomerado de misturas de espécies tropicais da Amazônia. **Circular Técnica do LPF**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 46-52, jan./jun. 1991.

NASCIMENTO, C.C.; LIMA, M.P.; BRASIL, M.M.; ARAÚJO, R.D.; PAULA, E.V.M. Desenvolvimento de (bio) tecnologias para aproveitamento de recursos naturais no Alto Rio Negro. In: SOUZA, L.A.G.; CASTELLÓN, E.G. (Ed.). **Desvendando as fronteiras do conhecimento na região amazônica do alto Rio Negro**. Manaus: INPA, 2012. cap. 5, p. 83-99.

NAUMANN, R.B.; VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.C.O.; DELLA LUCIA, R.M.; SILVA, J.C.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T.Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.

NEMLI, G.; AYDIN, I.; ZEKOVIC, E. Evaluation of some of the properties of particleboard as function of manufacturing parameters. **Materials & Design**, Oxford, v. 28, n. 4, p. 1169-1176, 2007.

NIRDOSHA, G.; SETUNGE, S.; JOLLANDS, M.; HAGUE, J. Properties of hardwood saw mill residue-based particleboards as affected by processing parameters. **Industrial Crops and Products**, Holanda, v. 29, n. 1, p. 248-254, 2009.

NOLASCO, A.M. **Resíduos da colheita e beneficiamento da caixeta – *Tabebuia cassinoides* (Lam.) DC.**: caracterização e perspectivas. 2000. 171 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

NOLASCO, A.M.; ULIANA, L. **Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira**. Piracicaba: ANPM, 2014. 40 p.

OKUDA, N.; HORI, K.; SATO, M. Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (II): effects on the binderless board properties. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 52, n. 3, p. 249-254, 2006.

ONG, C.L. The influence of wood density and flake dimensions on particleboard properties of five hardwood species. **Malaysian Forester**, Serdang, v. 44, n. 4, p. 508-515, 1981.

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.

PEIXOTO, C.D.; IWAKIRI, S. **Dados e índices da indústria madeireira do estado do Amazonas**. Manaus: INPA; CPPF, 1984. 32 p.

PEIXOTO, G.L.; BRITO, E.O. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 60-67, 2000.

PIERRE, F.C.; BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H. Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 321-328, 2014.

QUINTEK MEASUREMENT SYSTEMS. **Density Profiler Model QDP-01X**: users guide. Knoxville, 1999.

RACKWITZ, G. Influence of chip dimensions on some properties of wood particleboard. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 21, n. 6, p. 200-209, 1963.

RIBEIRO, J.E.L.S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINE, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A.S.; BRITO, J.M.; SOUZA, M.A.D.; MARTINS, L.H.P.; LOHMANN, L.G.; ASSUNÇÃO, P.A.C.L.; PEREIRA, E.C.; SILVA, C.F.; MESQUITA, M.R.; PROCÓPIO, L.C. **Flora da Reserva Ducke**: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central. Manaus: INPA, 1999. 816 p.

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 Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

ROFII, M.N.; YUMIGETA, S.; KOJIMA, Y.; SUZUKI, S. Effect of furnish type and high-density raw material from mill residues on properties of particleboard panels. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 59, p. 402-409, 2013.

SALDANHA, L.K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

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.

SEGURA, T.E.S. **Avaliação das madeiras de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Acacia mearnsii* para a produção de celulose kraft pelos processos convencional e Lo-Solids®**. 2012. 100 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo - 2013**: dados de 2007-2012. Brasília, 2013. 188 p.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica**. Belém: CIFOR, Imazon, 2005. 300 p.

SICOPLAN. **MDF plant**: technology manual. Brussels, 1996. v. 1.

SILVA, D.A.; ALMEIDA, V.C.; VIANA, L.C.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 561-568, 2014.

SILVA, M.J.D.; BEZERRA, B.S.; BATTISTELLE, R.A.G.; VALARELLI, I.D. Prospects for the use of municipal tree pruning wastes in particleboard production. **Waste Management & Research**, Wien, v. 31, n. 9, p. 960-965, 2013.

SIQUEIRA, K.P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 2004. 43 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SOUZA, M.R. de Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais – IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, 1997. p. 49-70.

STARK, N.M.; CAI, Z.; CARLL, C. Wood-based composite materials: panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood–nonwood composite materials. In: ROSS, R.J. (Ed.). **Wood handbook**: wood as an engineering material. Wisconsin: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. chap. 11, p. 1-28.

STRICKLER, M.D. Effect of press cycles and moisture content on properties of douglas-fir flakeboard. **Forest Products Journal**, Madison, v. 7, p. 203-215, 1959.

SUCHSLAND, O.; WOODSON, G.E. **Fiberboard manufacturing practices in the United States**. Madison: USDA Forest Service, 1986. p. 263

SUO, S.; BOWYER, J. Simulation modeling of particleboard density profile. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 26, n. 3, p. 397-411, 1994.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNICA. **Pesquisas e Informações sobre espécies florestais da Amazônia**. Belém: Centro de Tecnologia Madeireira, Departamento de Recursos Naturais, 1979. 111 p.

SURDI, P.G.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; CASTRO, V.R.; MENDES, R.F.; ALMEIDA, N.F.; TOMAZELLO FILHO, M. Relação entre perfil de densidade e ligação interna de painéis OSB de *Pinus spp.* **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 349-357, 2014.

SUZUKI, S.; MIYAMOTO, K. Effect of manufacturing parameters on the linear expansion and density profile of particleboard. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 44, p. 444-450, 1998.

SWEET, M.S.; WINANDY, J.E. The influence of degree of polymerization (DP) of cellulose and hemicellulose on the strength loss of fire-retardant-treated wood. **Holzforschung**, Berlin, 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 Technology Park, 1997. 4 p.

_____. **Test methods T 222 om-02**: acid-insolub lignin in wood and pulp. Atlanta: Tappi Technology Park, 2002. 5 p.

TEREZO, R.F. **Avaliação tecnológica do paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada**. 2010. 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

TORRELL, R.; HILLIG, E.; CORRADI, G.M.; IWAKIRI, S. Influência da adição de serragem nas propriedades tecnológicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus taeda*. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9, n. 1, p. 57-72, 2013.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 262 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; NASCIMENTO, C.C.; BILA, N.F. Painéis aglomerados produzidos com quatro espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 445-452, jun. 2015.

TUOTO, M. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Curitiba: Projeto PNUD BRA 00/20, 2009. 35 p.

VAN LANGENBERG, K.; GRIGSBY, W.; RYAN, G. **Green adhesives**: options for the Australian industry; summary of recent research into green adhesives from renewable materials and identification of those that are closest to commercial uptake. Melbourne: Forest & Wood Products Australia, 2010. 47 p.

VIDAURRE, G.B. **Caracterização anatômica, física e químico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 74 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

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

VITAL, B.R.; LEHMANN, W.F.; BOONE, R.S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

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, Y.Y.; PENG, W.J.; CHAI, L.Y.; PENG, B.; MIN, X.B.; HE, D.W. Preparation of adhesive for bamboo plywood using concentrated papermaking black liquor directly. **Journal of Central South University of Technology**, Changsha, v. 13, n. 1, p. 53-57, 2006.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WONG, E.D.; ZHANG, M.; WANG, Q.; KAWAI, S. Effects of mat moisture content and press closing speed on the formation of density profile and properties of particleboard. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 44, p. 287-295, 1998.

_____. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. **Wood Science and Technology**, New York, v. 33, p. 327-340, 1999.

WONG, K. **Optimising resin consumption, pressing time and density of particleboard made of mixes of hardwood sawmill residue and custom flaked softwood**. 2012. 263 p. Thesis (Doctorate in Philosophy, Civil, Environmental and Chemical Engineering) - RMIT University, Melbourne, 2012.

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.

WU, S.; ZHAN, H. Characteristics of demethylated wheat straw soda lignin and its utilization in lignin-based phenolic formaldehyde resins. **Cellulose Chemistry and Technology**, Bucharest, v. 35, n. 3, p. 253-262, 2001.

XU, W. Influence of vertical density distribution on bending modulus of elasticity of wood composite panels: a theoretical consideration. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 31, n. 3, p. 277-282, 1999.

XU, W.; SUCHSLAND, O. Within-panel variability and selected property relationships of particleboard from single- and mixed-species processes. **Forest Products Journal**, Madison, v. 49, p. 36-40, 1999.

YANG, T.H.; LIN, C.J.; WANG, S.Y.; TSAI, M.J. Characteristics of particleboard made from recycled wood-waste chips impregnated with phenol formaldehyde resin. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 189-195, 2007.

ZERBINI, N.J. **Madeiras tropicais com potencial comercial da região do Rio Xingu (Pará, Brasil): propriedades tecnológicas e cadeia produtiva**. 2008. 187 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ANEXOS

Anexo A

Tabela 97 – Análise de variância das espécies para a variável extrativos totais

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	354.368657	59.061443	172.368	0.0000*
Erro	14	4.797067	0.342648		
Total corrigido	20	359.165724			
CV (%)	8.01				
Média geral	7.3119048			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 98 – Análise de variância das espécies para a variável lignina residual

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	131.112914	21.852152	22.301	0.0000*
Erro	14	13.718467	0.979890		
Total corrigido	20	144.831381			
CV (%)	3.13				
Média geral	31.6090476			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 99 – Análise de variância das espécies para a variável lignina solúvel

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	4.714495	0.785749	26.267	0.0000*
Erro	14	0.418800	0.029914		
Total corrigido	20	5.133295			
CV (%)	16.78				
Média geral	1.0304762			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 100 – Análise de variância das espécies para a variável lignina total

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	128.652162	21.442027	20.272	0.0000*
Erro	14	14.808333	1.057738		
Total corrigido	20	143.460495			
CV (%)	3.15				
Média geral	32.6395238			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 101 – Análise de variância das espécies para a variável holocelulose

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	249.284581	41.547430	23.112	0.0000*
Erro	14	25.167200	1.797657		
Total corrigido	20	274.451781			
CV (%)	2.23				
Média geral	60.0490476			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo B

Tabela 102 – Análise de variância das espécies para a variável distribuição das partículas na peneira 4,00 mm

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	1.011962	0.168660	3.733	0.0198*
Erro	14	0.632533	0.045181		
Total corrigido	20	1.644495			
CV (%)	15.75				
Média geral	1.3495238			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 103 – Análise de variância das espécies para a variável distribuição das partículas na peneira 2,00 mm

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	512.460514	85.410086	19.848	0.0000*
Erro	14	60.245400	4.303243		
Total corrigido	20	572.705914			
CV (%)	6.10				
Média geral	34.0042857			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 104 – Análise de variância das espécies para a variável distribuição das partículas na peneira 0,85 mm

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	115.228724	19.204787	3.717	0.0201*
Erro	14	72.333933	5.166710		
Total corrigido	20	187.562657			
CV (%)	4.71				
Média geral	48.2885714			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 105 – Análise de variância das espécies para a variável distribuição das partículas na peneira 0,50 mm

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	82.673400	13.778900	12.023	0.0001*
Erro	14	16.045267	1.146090		
Total corrigido	20	98.718667			
CV (%)	13.33				
Média geral	8.0333333			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 106 – Análise de variância das espécies para a variável distribuição das partículas no coletor (<0,50 mm)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	55.422895	9.237149	7.240	0.0011*
Erro	14	17.860800	1.275771		
Total corrigido	20	73.283695			
CV (%)	13.57				
Média geral	8.3261905			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo C

Tabela 107 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	571.983181	95.330530	0.767	0.6077 ^{NS}
Erro	14	1739.246000	124.231857		
Total corrigido	20	2311.229181			
CV (%)	1.35				
Média geral	826.040952				Número de observações: 21

^{NS} Não significativo

Tabela 108 – Análise de variância dos tratamentos para a variável espessura dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	0.200562	0.033427	3.044	0.0404*
Erro	14	0.153733	0.010981		
Total corrigido	20	0.354295			
CV (%)	0.66				
Média geral	15.8895238				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 109 – Análise de variância dos tratamentos para a variável teor de umidade dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	6.799990	1.133332	13.254	0.0000*
Erro	14	1.197133	0.085510		
Total corrigido	20	7.997124			
CV (%)	3.11				
Média geral	9.4019048				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo D

Tabela 110 – Análise de variância dos tratamentos para a variável absorção de água em duas horas de imersão dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	2383.380790	397.230132	46.674	0.0000*
Erro	14	119.150533	8.510752		
Total corrigido	20	2502.531324			
CV (%)	14.75				
Média geral	19.7719048				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 111 – Análise de variância dos tratamentos para a variável absorção de água em vinte e quatro horas de imersão dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	2632.865324	438.810887	104.671	0.0000*
Erro	14	58.691800	4.192271		
Total corrigido	20	2691.557124			
CV (%)	5.67				
Média geral	36.134761				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo E

Tabela 112 – Análise de variância dos tratamentos para a variável inchamento em espessura em duas horas de imersão dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	120.341029	20.056838	20.309	0.0000*
Erro	14	13.825867	0.987562		
Total corrigido	20	134.166895			
CV (%)	15.73				
Média geral	6.3195238			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 113 – Análise de variância dos tratamentos para a variável inchamento em espessura em vinte e quatro horas de imersão dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	90.253733	15.042289	5.423	0.0044*
Erro	14	38.833867	2.773848		
Total corrigido	20	129.087600			
CV (%)	13.87				
Média geral	12.0100000			Número de observações: 21	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo F

Tabela 114 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR à flexão estática dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	96.171448	16.028575	20.531	0.0000*
Erro	14	10.929933	0.780710		
Total corrigido	20	107.101381			
CV (%)	12.57				
Média geral	7.0276190				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 115 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE à flexão estática dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	1041279.3763	173546.56272	5.819	0.0032*
Erro	14	417509.55386	29822.110990		
Total corrigido	20	1458788.9302			
CV (%)	14.41				
Média geral	1198.617142				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo G

Tabela 116 – Análise de variância dos tratamentos para a variável ligação interna dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	2.198248	0.366375	25.844	0.0000*
Erro	14	0.198467	0.014176		
Total corrigido	20	2.396714			
CV (%)	14.27				
Média geral	0.8342857				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo H

Tabela 117 – Análise de variância dos tratamentos para a variável arrancamento de parafuso na superfície dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	3371819.9139	561969.985654	15.547	0.0000*
Erro	14	506050.05040	36146.432171		
Total corrigido	20	3877869.964			
CV (%)	14.88				
Média geral	1277.50476				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 118 – Análise de variância dos tratamentos para a variável arrancamento de parafuso no topo dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	3159615.7157	526602.619286	17.703	0.0000*
Erro	14	416447.71906	29746.265648		
Total corrigido	20	3576063.4347			
CV (%)	12.88				
Média geral	1339.15238				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo I

Tabela 119 – Análise de variância dos tratamentos para a variável dureza Janka dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	1628697.6207	271449.603454	6.252	0.0023*
Erro	14	607809.74980	43414.982129		
Total corrigido	20	2236507.3705			
CV (%)	12.47				
Média geral	1671.32809				
			Número de observações: 21		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo J

Tabela 120 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica do perfil dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
TRAT	6	3388.960562	564.826760	3.832	0.0180*
Erro	14	2063.567267	147.397662		
Total corrigido	20	5452.527829			
CV (%)	1.61				
Média geral	753.827142				Número de observações: 21

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 121 – Análise de variância para a variável massa específica das faces e do miolo para cada tratamento dos painéis do experimento I

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Posição /1	2	7179.720422	3589.860211	12.053	0.0001*
Posição /2	2	5374.800022	2687.400011	9.023	0.0005*
Posição /3	2	10814.576622	5407.288311	18.155	0.0000*
Posição /4	2	2509.353356	1254.676678	4.212	0.0208*
Posição /5	2	6956.555622	3478.277811	11.678	0.0001*
Posição /6	2	3852.600267	1926.300133	6.467	0.0034*
Posição /7	2	5896.062689	2948.031344	9.898	0.0003*
Erro	42	12509.629467	297.848321		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo K

Tabela 122 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	380.348878	190.174439	0.991	0.3996 ^{NS}
CLASSIFICAÇÃO	1	740.483472	740.483472	3.859	0.0731 ^{NS}
ESP*CLASSIF	2	98.785811	49.392906	0.257	0.7772 ^{NS}
Erro	12	2302.462400	191.871867		
Total corrigido	17	3522.080561			
CV (%)	1.66				
Média geral	832.85				Número de observações: 18

^{NS} Não significativo

Tabela 123 – Análise de variância dos tratamentos para a variável espessura dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	0.243911	0.121956	11.333	0.0017*
CLASSIFICAÇÃO	1	0.417089	0.417089	38.759	0.0000*
ESP*CLASSIF	2	0.090311	0.045156	4.196	0.0415*
Erro	12	0.129133	0.010761		
Total corrigido	17	0.880444			
CV (%)	0.65				
Média geral	16,07				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 124 – Análise de variância dos tratamentos para a variável teor de umidade dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	3.948933	1.974467	30.771	0.0000*
CLASSIFICAÇÃO	1	0.081339	0.081339	1.268	0.2822 ^{NS}
ESP*CLASSIF	2	0.062978	0.031489	0.491	0.6239 ^{NS}
Erro	12	0.770000	0.064167		
Total corrigido	17	4.863250			
CV (%)	2.73				
Média geral	9.27				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 125 – Análise de variância do desdobramento do fator classificação dentro de cada espécie para a variável espessura dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Finos /1	1	0.024067	0.024067	2.236	0.1606 ^{NS}
Finos /2	1	0.336067	0.336067	31.230	0.0001*
Finos /3	1	0.147267	0.147267	13.685	0.0030*
Erro	12	0.129133	0.010761		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 126 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada classificação para a variável espessura dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	0.032356	0.016178	1.503	0.2565 ^{NS}
Espécie /2	2	0.301867	0.150933	14.026	0.0007*
Erro	12	0.129133	0.010761		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo L

Tabela 127 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1374.047511	687.023756	85.590	0.0000*
CLASSIFICAÇÃO	1	369.104450	369.104450	45.983	0.0000*
ESP*CLASSIF	2	79.962133	39.981067	4.981	0.0266*
Erro	12	96.323467	8.026956		
Total corrigido	17	1919.437561			
CV (%)	11.33				
Média geral	25.012				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 128 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	893.673033	446.836517	194.848	0.0000*
CLASSIFICAÇÃO	1	515.847200	515.847200	224.940	0.0000*
ESP*CLASSIF	2	21.547233	10.773617	4.698	0.0311*
Erro	12	27.519133	2.293261		
Total corrigido	17	1458.586600			
CV (%)	3.64				
Média geral	41.623				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 129 – Análise de variância do desdobramento do fator classificação dentro de cada espécie para a variável AA2h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Finos /1	1	53.342017	53.342017	6.645	0.0242*
Finos /2	1	57.474150	57.474150	7.160	0.0202*
Finos /3	1	338.250417	338.250417	42.139	0.0000*
Erro	12	96.323467	8.026956		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 130 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada classificação para a variável AA2h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	782.093489	391.046744	48.717	0.0000*
Espécie /2	2	671.916156	335.958078	41.854	0.0000*
Erro	12	96.323467	8.026956		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 131 – Análise de variância do desdobramento do fator classificação dentro de cada espécie para a variável AA24h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Finos /1	1	127.974017	127.974017	55.804	0.0000*
Finos /2	1	123.760417	123.760417	53.967	0.0000*
Finos /3	1	285.660000	285.660000	124.565	0.0000*
Erro	12	27.519133	2.293261		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 132 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada classificação para a variável AA24h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	477.968867	238.984433	104.212	0.0000*
Espécie /2	2	437.251400	218.625700	95.334	0.0000*
Erro	12	27.519133	2.293261		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo M

Tabela 133 – Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	175.519478	87.759739	149.534	0.0000*
CLASSIFICAÇÃO	1	4.137606	4.137606	7.050	0.0210*
ESP*CLASSIF	2	3.729411	1.864706	3.177	0.0781 ^{NS}
Erro	12	7.042667	0.586889		
Total corrigido	17	190.429161			
CV (%)	10.02				
Média geral	7.6472				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 134 – Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	102.807033	51.403517	232.146	0.0000*
CLASSIFICAÇÃO	1	4.992800	4.992800	22.548	0.0005*
ESP*CLASSIF	2	2.339433	1.169717	5.283	0.0226*
Erro	12	2.657133	0.221428		
Total corrigido	17	112.796400			
CV (%)	3.43				
Média geral	13.703				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 135 – Análise de variância do desdobramento do fator classificação dentro de cada espécie para a variável IE24h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Finos /1	1	0.015000	0.015000	0.068	0.7991 ^{NS}
Finos /2	1	5.096817	5.096817	23.018	0.0004*
Finos /3	1	2.220417	2.220417	10.028	0.0081*
Erro	12	2.657133	0.221428		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 136 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada classificação para a variável IE24h dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	37.388867	18.694433	84.427	0.0000*
Espécie /2	2	67.757600	33.878800	153.002	0.0000*
Erro	12	2.657133	0.221428		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo N

Tabela 137 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	28.477433	14.238717	8.087	0.0060*
CLASSIFICAÇÃO	1	92.298756	92.298756	52.419	0.0000*
ESP*CLASSIF	2	10.856811	5.428406	3.083	0.0831 ^{NS}
Erro	12	21.129600	1.760800		
Total corrigido	17	152.762600			
CV (%)	11.51				
Média geral	11.533				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 138 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	392009.43	196004.716	6.677	0.0112*
CLASSIFICAÇÃO	1	993199.48	993199.482	33.836	0.0001*
ESP*CLASSIF	2	59304.109	29652.0549	1.010	0.3931 ^{NS}
Erro	12	352236.93	29353.0778		
Total corrigido	17	1796749.9			
CV (%)	10.63				
Média geral	1611.751				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo O

Tabela 139 – Análise de variância dos tratamentos para a variável ligação interna dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1.002633	0.501317	20.017	0.0002*
CLASSIFICAÇÃO	1	0.915756	0.915756	36.565	0.0001*
ESP*CLASSIF	2	0.077478	0.038739	1.547	0.2525 ^{NS}
Erro	12	0.300533	0.025044		
Total corrigido	17	2.296400			
CV (%)	11.44				
Média geral	1,3833				
Número de observações: 18					

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo P

Tabela 140 – Análise de variância dos tratamentos para a variável arrancamento de parafuso na superfície dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1110992.4	555496.245	12.795	0.0011*
CLASSIFICAÇÃO	1	38288.824	38288.8240	0.882	0.3662 ^{NS}
ESP*CLASSIF	2	306689.99	153344.998	3.532	0.0622 ^{NS}
Erro	12	520975.85	43414.6542		
Total corrigido	17	1976947.1			
CV (%)	13.05				
Média geral	1596.661				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 141 – Análise de variância dos tratamentos para a variável arrancamento de parafuso no topo dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	356501.06	178250.531	5.613	0.0190*
CLASSIFICAÇÃO	1	134507.55	134507.555	4.235	0.0620 ^{NS}
ESP*CLASSIF	2	79779.020	39889.5103	1.256	0.3197 ^{NS}
Erro	12	381087.21	31757.2675		
Total corrigido	17	951874.84			
CV (%)	10.69				
Média geral	1666.403				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo Q

Tabela 142 – Análise de variância dos tratamentos para a variável dureza Janka dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	652155.82	326077.910	2.211	0.1523 ^{NS}
CLASSIFICAÇÃO	1	3227654.4	3227654.46	21.884	0.0005*
ESP*CLASSIF	2	231272.50	115636.252	0.784	0.4786 ^{NS}
Erro	12	1769844.7	147487.064		
Total corrigido	17	5880927.5			
		63694			
CV (%)	17.47				
Média geral	2198.181				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo R

Tabela 143 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica do perfil dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	2947.5350	1473.76751	5.682	0.0184*
CLASSIFICAÇÃO	1	9100.3540	9100.35405	35.084	0.0001*
ESP*CLASSIF	2	113.92823	56.964117	0.220	0.8060 ^{NS}
Erro	12	3112.6249	259.385411		
Total corrigido	17	15274.442			
CV (%)	2.05				
Média geral	785.4050				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 144 – Análise de variância para a variável massa específica das faces e do miolo para cada tratamento dos painéis do experimento II

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Posição /1	2	7179.720422	3589.860211	9.154	0.0006*
Posição /2	2	791.994156	395.997078	1.010	0.3702 ^{NS}
Posição /3	2	6956.555622	3478.277811	8.870	0.0007*
Posição /4	2	933.836067	466.918033	1.191	0.3116 ^{NS}
Posição /5	2	5374.800022	2687.400011	6.853	0.0029*
Posição /6	2	384.437600	192.218800	0.490	0.6138 ^{NS}
Erro	36	14117.294333	392.147065		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo S

Tabela 145 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	262.73741	131.368706	0.996	0.3980 ^{NS}
TEOR DE ADESIVO	1	167.14013	167.140139	1.267	0.2824 ^{NS}
ESP*TEOR	2	17.683411	8.841706	0.067	0.9355 ^{NS}
Erro	12	1583.2026	131.933556		
Total corrigido	17	2030.7636			
CV (%)	1.37				
Média geral	836.21				Número de observações: 18

^{NS} Não significativo

Tabela 146 – Análise de variância dos tratamentos para a variável espessura dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	0.650033	0.325017	35.891	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	0.051200	0.051200	5.654	0.0349*
ESP*TEOR	2	0.191100	0.095550	10.552	0.0023*
Erro	12	0.108667	0.009056		
Total corrigido	17	1.001000			
CV (%)	0.59				
Média geral	16.17				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 147 – Análise de variância dos tratamentos para a variável teor de umidade dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	4.209544	2.104772	45.784	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	1.110050	1.110050	24.146	0.0004*
ESP*TEOR	2	0.025233	0.012617	0.274	0.7646 ^{NS}
Erro	12	0.551667	0.045972		
Total corrigido	17	5.896494			
CV (%)	2.24				
Média geral	9.59				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 148 – Análise de variância do desdobramento do fator teor de adesivo dentro de cada espécie para a variável espessura dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Adesivo /1	1	0.000267	0.000267	0.029	0.8666 ^{NS}
Adesivo /2	1	0.006017	0.006017	0.664	0.4309 ^{NS}
Adesivo /3	1	0.236017	0.236017	26.063	0.0003*
Erro	12	0.108667	0.009056		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 149 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada teor de adesivo para a variável espessura dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	0.301867	0.150933	16.667	0.0003*
Espécie /2	2	0.539267	0.269633	29.775	0.0000*
Erro	12	0.108667	0.009056		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo T

Tabela 150 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1098.9562	549.478106	253.342	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	121.42013	121.420139	55.982	0.0000*
ESP*TEOR	2	12.862811	6.431406	2.965	0.0899 ^{NS}
Erro	12	26.027000	2.168917		
Total corrigido	17	1259.2661			
CV (%)	8.23				
Média geral	17.887				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 151 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	739.97407	369.987039	219.219	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	45.824356	45.824356	27.151	0.0002*
ESP*TEOR	2	5.756411	2.878206	1.705	0.2229 ^{NS}
Erro	12	20.253000	1.687750		
Total corrigido	17	811.80784			
CV (%)	3.75				
Média geral	34.674				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo U

Tabela 152 – Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	146.14774	73.073872	352.673	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	36.380450	36.380450	175.581	0.0000*
ESP*TEOR	2	8.760633	4.380317	21.141	0.0001*
Erro	12	2.486400	0.207200		
Total corrigido	17	193.77522			
CV (%)	7.92				
Média geral	5.7461				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 153 – Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	99.845511	49.922756	243.849	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	85.892356	85.892356	419.544	0.0000*
ESP*TEOR	2	2.734044	1.367022	6.677	0.0112*
Erro	12	2.456733	0.204728		
Total corrigido	17	190.92864			
CV (%)	3.76				
Média geral	12.045				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 154 – Análise de variância do desdobramento do fator teor de adesivo dentro de cada espécie para a variável IE2h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Adesivo /1	1	1.771267	1.771267	8.549	0.0128*
Adesivo /2	1	30.375000	30.375000	146.597	0.0000*
Adesivo /3	1	12.994817	12.994817	62.716	0.0000*
Erro	12	2.486400	0.207200		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 155 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada teor de adesivo para a variável IE2h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	111.778422	55.889211	269.736	0.0000*
Espécie /2	2	43.129956	21.564978	104.078	0.0000*
Erro	12	2.486400	0.207200		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 156 – Análise de variância do desdobramento do fator teor de adesivo dentro de cada espécie para a variável IE24h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Adesivo /1	1	17.204267	17.204267	84.035	0.0000*
Adesivo /2	1	42.029067	42.029067	205.292	0.0000*
Adesivo /3	1	29.393067	29.393067	143.571	0.0000*
Erro	12	2.456733	0.204728		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 157 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada teor de adesivo para a variável IE24h dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	67.757600	33.878800	165.482	0.0000*
Espécie /2	2	34.821956	17.410978	85.045	0.0000*
Erro	12	2.456733	0.204728		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo V

Tabela 158 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	63.231633	31.615817	22.160	0.0001*
TEOR DE ADESIVO	1	1.372272	1.372272	0.962	0.3461 ^{NS}
ESP*TEOR	2	0.386211	0.193106	0.135	0.8747 ^{NS}
Erro	12	17.120733	1.426728		
Total corrigido	17	82.110850			
CV (%)	8.83				
Média geral	13.521				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 159 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	71044.610	35522.3053	3.565	0.0609 ^{NS}
TEOR DE ADESIVO	1	35402.831	35402.8310	3.553	0.0839 ^{NS}
ESP*TEOR	2	188190.83	94095.4187	9.442	0.0034*
Erro	12	119586.77	9965.56465		
Total corrigido	17	414225.05			
CV (%)	5.28				
Média geral	1891.0				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 160 – Análise de variância do desdobramento do fator teor de adesivo dentro de cada espécie para a variável MoE dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Adesivo /1	1	30.420017	30.420017	0.003	0.9568 ^{NS}
Adesivo /2	1	17761.600417	17761.600417	1.782	0.2066 ^{NS}
Adesivo /3	1	205801.648067	205801.648067	20.651	0.0007*
Erro	12	119586.775800	9965.564650		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 161 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada teor de adesivo para a variável MoE dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	185711.324289	92855.662144	9.318	0.0034*
Espécie /2	2	73524.123889	36762.061944	3.689	0.0543 ^{NS}
Erro	12	119586.775800	9965.564650		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo W

Tabela 162 – Análise de variância dos tratamentos para a variável ligação interna dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	2.246144	1.123072	66.938	0.0000*
TEOR DE ADESIVO	1	0.364089	0.364089	21.701	0.0006*
ESP*TEOR	2	0.499011	0.249506	14.871	0.0006*
Erro	12	0.201333	0.016778		
Total corrigido	17	3.310578			
CV (%)	7.40				
Média geral	1.75				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 163 – Análise de variância do desdobramento do fator teor de adesivo dentro de cada espécie para a variável ligação interna dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Adesivo /1	1	0.050417	0.050417	3.005	0.1086 ^{NS}
Adesivo /2	1	0.806667	0.806667	48.079	0.0000*
Adesivo /3	1	0.006017	0.006017	0.359	0.5604 ^{NS}
Erro	12	0.201333	0.016778		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 164 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada teor de adesivo para a variável ligação interna dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	0.638956	0.319478	19.042	0.0002*
Espécie /2	2	2.106200	1.053100	62.768	0.0000*
Erro	12	0.201333	0.016778		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo X

Tabela 165 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AP superfície dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	660894.032	330447.016	15.203	0.0005*
TEOR DE ADESIVO	1	53429.6256	53429.6256	2.458	0.1429 ^{NS}
ESP*TEOR	2	74128.3136	37064.1568	1.705	0.2229 ^{NS}
Erro	12	260819.316	21734.9430		
Total corrigido	17	1049271.28			
CV (%)	9.85				
Média geral	1496.05				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 166 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AP topo dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	387381.355	193690.677	5.159	0.0242*
TEOR DE ADESIVO	1	25807.6480	25807.6480	0.687	0.4232 ^{NS}
ESP*TEOR	2	244951.239	122475.619	3.262	0.0739 ^{NS}
Erro	12	450522.407	37543.5339		
Total corrigido	17	1108662.65			
CV (%)	12.56				
Média geral	1542.09				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo Y

Tabela 167 – Análise de variância dos tratamentos para a variável dureza Janka dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	565599.367	282799.683	1.645	0.2337 ^{NS}
TEOR DE ADESIVO	1	2336149.20	2336149.20	13.589	0.0031*
ESP*TEOR	2	185820.706	92910.3531	0.540	0.5960 ^{NS}
Erro	12	2062930.36	171910.863		
Total corrigido	17	5150499.63			
CV (%)	13.90				
Média geral	2981.90				
				Número de observações: 18	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo Z

Tabela 168 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica do perfil dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1273.2105	636.605278	3.517	0.0628 ^{NS}
TEOR DE ADESIVO	1	1319.3699	1319.36995	7.289	0.0193*
ESP*TEOR	2	150.24820	75.124104	0.415	0.6695 ^{NS}
Erro	12	2172.2416	181.020139		
Total corrigido	17	4915.0703			
CV (%)	1.65				
Média geral	816.452				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 169 – Análise de variância para a variável massa específica das faces e do miolo para cada tratamento dos painéis do experimento III

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Posição /1	2	791.994156	395.997078	1.996	0.1476 ^{NS}
Posição /2	2	1074.059022	537.029511	2.707	0.0783 ^{NS}
Posição /3	2	933.836067	466.918033	2.354	0.1070 ^{NS}
Posição /4	2	755.888622	377.944311	1.905	0.1603 ^{NS}
Posição /5	2	384.437600	192.218800	0.969	0.3850 ^{NS}
Posição /6	2	3075.828467	1537.914233	7.753	0.0015*
Erro	36	7141.245200	198.367922		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo AA

Tabela 170 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1082.816344	541.408172	1.457	0.2713 ^{NS}
MISTURA	1	888.592272	888.592272	2.391	0.1480 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	435.533544	217.766772	0.586	0.5717 ^{NS}
Erro	12	4458.946000	371.578833		
Total corrigido	17	6865.888161			
CV (%)	2.29				
Média geral	840.19				Número de observações: 18

^{NS} Não significativo

Tabela 171 – Análise de variância dos tratamentos para a variável espessura dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	0.595544	0.297772	20.864	0.0001*
MISTURA	1	0.004672	0.004672	0.327	0.5778 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	0.077744	0.038872	2.724	0.1059 ^{NS}
Erro	12	0.171267	0.014272		
Total corrigido	17	0.849228			
CV (%)	0.74				
Média geral	16.104				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 172 – Análise de variância dos tratamentos para a variável teor de umidade dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	2.853911	1.426956	23.251	0.0001*
MISTURA	1	0.110450	0.110450	1.800	0.2046 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	0.214533	0.107267	1.748	0.2157 ^{NS}
Erro	12	0.736467	0.061372		
Total corrigido	17	3.915361			
CV (%)	2.50				
Média geral	9.917				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo AB

Tabela 173 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AA2h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	603.593033	301.796517	37.917	0.0000*
MISTURA	1	16.473800	16.473800	2.070	0.1758 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	35.707233	17.853617	2.243	0.1487 ^{NS}
Erro	12	95.511933	7.959328		
Total corrigido	17	751.286000			
CV (%)	17.36				
Média geral	16.247				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 174 – Análise de variância dos tratamentos para a variável AA24h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	456.898478	228.449239	34.517	0.0000*
MISTURA	1	8.792022	8.792022	1.328	0.2715 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	59.506011	29.753006	4.495	0.0349*
Erro	12	79.422400	6.618533		
Total corrigido	17	604.618911			
CV (%)	7.62				
Média geral	33.778				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 175 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção de mistura dentro de cada espécie para a variável AA24h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Mistura /1	1	55.388817	55.388817	8.369	0.0135*
Mistura /2	1	1.233067	1.233067	0.186	0.6737 ^{NS}
Mistura /3	1	11.676150	11.676150	1.764	0.2088 ^{NS}
Erro	12	79.422400	6.618533		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 176 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada proporção de mistura para a variável AA24h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	308.479089	154.239544	23.304	0.0001*
Espécie /2	2	207.925400	103.962700	15.708	0.0004*
Erro	12	79.422400	6.618533		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo AC

Tabela 177 – Análise de variância dos tratamentos para a variável IE2h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	76.506478	38.253239	87.996	0.0000*
MISTURA	1	6.540139	6.540139	15.045	0.0022*
ESP*MISTURA	2	0.323544	0.161772	0.372	0.6969 ^{NS}
Erro	12	5.216600	0.434717		
Total corrigido	17	88.586761			
CV (%)	13.38				
Média geral	4.9272				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 178 – Análise de variância dos tratamentos para a variável IE24h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	68.295011	34.147506	159.609	0.0000*
MISTURA	1	17.287200	17.287200	80.802	0.0000*
ESP*MISTURA	2	5.050433	2.525217	11.803	0.0015*
Erro	12	2.567333	0.213944		
Total corrigido	17	93.199978			
CV (%)	4.27				
Média geral	10.841				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 179 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção de mistura dentro de cada espécie para a variável IE24h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Mistura /1	1	13.231350	13.231350	61.845	0.0000*
Mistura /2	1	8.736267	8.736267	40.834	0.0000*
Mistura /3	1	0.370017	0.370017	1.729	0.2131 ^{NS}
Erro	12	2.567333	0.213944		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 180 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada proporção de mistura para a variável IE24h dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	34.821956	17.410978	81.381	0.0000*
Espécie /2	2	38.523489	19.261744	90.032	0.0000*
Erro	12	2.567333	0.213944		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo AD

Tabela 181 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoR dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	9.308844	4.654422	3.238	0.0751 ^{NS}
MISTURA	1	264.806756	264.806756	184.203	0.0000*
ESP*MISTURA	2	20.302978	10.151489	7.061	0.0094*
Erro	12	17.251000	1.437583		
Total corrigido	17	311.669578			
CV (%)	7.02				
Média geral	17.081				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 182 – Análise de variância dos tratamentos para a variável MoE dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	277638.1718	138819.085	5.518	0.0200*
MISTURA	1	412740.6368	412740.636	16.406	0.0016*
ESP*MISTURA	2	27226.13503	13613.0675	0.541	0.5957 ^{NS}
Erro	12	301901.8410	25158.4867		
Total corrigido	17	1019506.784			
CV (%)	7.60				
Média geral	2086.77				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 183 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção de mistura dentro de cada espécie para a variável MoR dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Mistura /1	1	132.728067	132.728067	92.327	0.0000*
Mistura /2	1	32.853600	32.853600	22.853	0.0004*
Mistura /3	1	119.528067	119.528067	83.145	0.0000*
Erro	12	17.251000	1.437583		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 184 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada proporção de mistura para a variável MoR dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	27.045756	13.522878	9.407	0.0033*
Espécie /2	2	2.566067	1.283033	0.892	0.4302 ^{NS}
Erro	12	17.251000	1.437583		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo AE

Tabela 185 – Análise de variância dos tratamentos para a variável ligação interna dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	1.081211	0.540606	40.596	0.0000*
MISTURA	1	0.000939	0.000939	0.071	0.7951 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	1.248878	0.624439	46.892	0.0000*
Erro	12	0.159800	0.013317		
Total corrigido	17	2.490828			
CV (%)	6.12				
Média geral	1.8861				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 186 – Análise de variância do desdobramento do fator proporção de mistura dentro de cada espécie para a variável ligação interna dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Mistura /1	1	0.614400	0.614400	46.138	0.0000*
Mistura /2	1	0.633750	0.633750	47.591	0.0000*
Mistura /3	1	0.001667	0.001667	0.125	0.7296 ^{NS}
Erro	12	0.159800	0.013317		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 187 – Análise de variância do desdobramento do fator espécie dentro de cada proporção de mistura para a variável ligação interna dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Espécie /1	2	2.106200	1.053100	79.081	0.0000*
Espécie /2	2	0.223889	0.111944	8.406	0.0049*
Erro	12	0.159800	0.013317		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Anexo AF

Tabela 188 – Análise de variância dos tratamentos para a variável arrancamento de parafuso na superfície dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	69486.12643	34743.0632	0.702	0.5148 ^{NS}
MISTURA	1	1.333889	1.333889	0.000	0.9959 ^{NS}
ESP*MISTURA	2	220200.2426	110100.121	2.225	0.1507 ^{NS}
Erro	12	593861.7904	49488.4825		
Total corrigido	17	883549.4934			
CV (%)	15.43				
Média geral	1441.303				Número de observações: 18

^{NS} Não significativo

Tabela 189 – Análise de variância dos tratamentos para a variável arrancamento de parafuso no topo dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	233023.5871	116511.793	1.783	0.2100 ^{NS}
MISTURA	1	652626.4669	652626.466	9.985	0.0082*
ESP*MISTURA	2	255243.6813	127621.840	1.953	0.1844 ^{NS}
Erro	12	784345.7754	65362.1479		
Total corrigido	17	1925239.510			
CV (%)	15.09				
Média geral	1694.642				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo AG

Tabela 190 – Análise de variância dos tratamentos para a variável dureza Janka dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	216675.9568	108337.978	1.563	0.2492 ^{NS}
MISTURA	1	389485.4960	389485.496	5.620	0.0354*
ESP*MISTURA	2	521314.9101	260657.455	3.761	0.0539 ^{NS}
Erro	12	831568.0871	69297.3405		
Total corrigido	17	1959044.450			
CV (%)	8.24				
Média geral	3195.061				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Anexo AH

Tabela 191 – Análise de variância dos tratamentos para a variável massa específica do perfil dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
ESPÉCIE	2	2517.8999	1258.94995	4.567	0.0335*
TEOR DE ADESIVO	1	1799.8000	1799.80000	6.529	0.0252*
ESP*TEOR	2	1828.1168	914.058422	3.316	0.0714 ^{NS}
Erro	12	3307.9200	275.660006		
Total corrigido	17	9453.7368			
CV (%)	1.99				
Média geral	835.014				Número de observações: 18

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo

Tabela 192 – Análise de variância para a variável massa específica das faces e do miolo para cada tratamento dos painéis do experimento IV

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Posição /1	2	1074.228594	537.114297	1.969	0.1513 ^{NS}
Posição /2	2	2144.754358	1072.377179	3.931	0.0277*
Posição /3	2	756.021323	378.010661	1.386	0.2593 ^{NS}
Posição /4	2	2527.815654	1263.907827	4.633	0.0156*
Posição /5	2	3075.955736	1537.977868	5.638	0.0071*
Posição /6	2	2389.870998	1194.935499	4.380	0.0192*
Erro	36	9820.814129	272.800392		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{NS} Não significativo