

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

JEFFERSON BEZERRA BEZERRA

**Painel aglomerado de *Tachigali vulgaris* oriundo de plantio de floresta
homogênea da região amazônica**

PIRASSUNUNGA

2023

JEFFERSON BEZERRA BEZERRA

Painel aglomerado de *Tachigali vulgaris* oriundo de plantio de floresta homogênea da região amazônica

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e Ciência de Materiais.

Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais Voltados à Agroindústria.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli

Co-orientador: Prof. Dr. Tiago Marcolino de Souza

PIRASSUNUNGA

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B574p Bezerra Bezerra, Jefferson
Painel aglomerado de *Tachigali vulgaris* oriundo
de plantio de floresta homogênea da região amazônica
/ Jefferson Bezerra Bezerra ; orientador Juliano
Fiorelli ; coorientador Tiago Marcolino de Souza. --
Pirassununga, 2023.
81 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia e Ciência de Materiais) -- Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade
de São Paulo.

1. Taxi-branco. 2. Painel aglomerado. 3.
Anatomia da madeira. 4. Resina de mamona. 5. Ureia-
formaldeído. I. Fiorelli, Juliano , orient. II.
Marcolino de Souza, Tiago, coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Doutor Juliano Fiorelli pela orientação e conselhos que foram de extrema importância para realização desta pesquisa.

Ao professor Doutor Tiago Marcolino de Souza pela coorientação e pelas suas imensas contribuições em cada etapa da pesquisa.

À professora Doutora Lina Bufalino pelos ensinamentos de extrema relevância que me ajudaram no direcionamento desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZA-USP) e demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais (PPG-ENCIMAT).

À Universidade do Estado do Amapá (UEAP) (Laboratório de Biotecnologia da Amazônia – LABTAM) pelo suporte que subsidiaram a análise experimental.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (Laboratório de Produtos Florestais) pela realização da análise de anatomia da madeira.

À minha colega de laboratório Darlen Raquel dos Santos Maia que me acompanhou durante as jornadas de experimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esta pesquisa se concretizasse.

BEZERRA, B. J. **Painel aglomerado de *Tachigali vulgaris* oriundo de plantio de floresta homogênea da região amazônica.** 2023. 86 f. Tese – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023.

RESUMO

O taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) é uma espécie pioneira de rápido crescimento com ampla distribuição geográfica na América do Sul desde a bacia Amazônica até o cerrado do Brasil central. Sua madeira tem sido amplamente utilizada para fins energéticos (carvão e lenha) por ser abundante e possuir um elevado poder calorífico (cerca de 4500 kcal/kg). Entretanto, a produção de painéis aglomerados para esta espécie permanece inexplorada. Painéis aglomerados são produzidos com partículas aglomerada com resina e consolidada pela ação conjunta de temperatura e pressão. Estes painéis poderiam ser uma solução econômica viável para o uso racional e sustentável desta espécie florestal, pois apresentam maior valor agregado e podem ser utilizados para fabricação de núcleos de portas, móveis, fins comerciais, industriais e suporte de carga. O objetivo deste trabalho foi correlacionar as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira de taxi-branco ao desempenho físico e mecânico de aglomerados de baixa/média densidade, produzidos com resinas ureia-formaldeído (UF) e poliuretana à base de óleo de mamona (PU-mamona), sob condições de intemperismo normal e acelerado. Foi determinada a densidade básica da madeira e os teores de extrativos totais, lignina, holocelulose e cinzas da madeira de 9 anos. O pH dos extrativos solúveis em água foi medido verificar o grau de acidez. Foi realizada a macroscopia e microscopia da madeira nas direções transversal, radial e tangencial e dos elementos celulares (fibras librifórmes, raios, vasos). O desempenho físico-mecânico dos painéis pelos ensaios de flexão estática, tração perpendicular, inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA), densitometria de raios-x (DR-X), microscopia eletrônica de varredura (MEV) antes e após o intemperismo acelerado (IA). Os resultados foram comparados as normativas ANSI A208.1 (2016), ISO 16893 (2016) e NBR 14810-2 (2018). Foram determinados a densidade básica (525 kg/m³), extrativos totais (4,2%), lignina (23,87%), holocelulose (76,36%), cinzas (0,68%) e pH (5,5-5,8). A madeira é semi-porosa, tem raios unisseriados e vaso com pontoações intervasculares e placa de perfuração simples. Os valores de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e adesão interna (AI) dos painéis de UF foram inferiores ao de PU-mamona. Os menores valores de IE do painel de PU-mamona podem ser atribuídos à sua menor afinidade à água. A menor resistência à umidade explica a maior AA dos painéis de UF. A DR-X revelou zonas de menor densidade nos painéis de UF devido ao desprendimento de partículas da superfície. O MEV confirmou degradação menos severa após o IA para os painéis de PU-mamona. Os painéis de baixa densidade de UF não atenderam a nenhuma normativa. Enquanto que os painéis de PU-mamona de baixa densidade atenderam à ANSI A208.1 para uso em núcleo de portas. Embora com a ausência dos valores de AI o painel de média densidade com 13% PU-mamona possivelmente atenderiam a normativa para uso comercial (não estrutural). Estes resultados positivos são indicativos de que as propriedades mecânicas dos painéis podem ser melhoradas pela modificação das variáveis de processamento. A produção de painéis aglomerados de taxi-branco pode então trazer avanços para utilização de biomassa florestal de plantio de florestais homogêneas.

Palavras-chave: Taxi-branco, painel aglomerado, anatomia da madeira, resina poliuretana a base de mamona, ureia-formaldeído.

BEZERRA, B. J. **Particleboards of *Tachigali vulgaris* from homogeneous forest planting in the Amazon region**. 2023. 86 f. Doctoral Thesis – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2023.

ABSTRACT

The taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) is a fast-growing pioneer species with a wide geographical distribution in South America from the Amazon basin to the cerrado of central Brazil. Its wood has been widely used for energy purposes (charcoal and firewood) because it is abundant and has a high calorific value (around 4500 kcal/kg). However, the production of particleboard for this species remains unexplored. Agglomerated panels are produced with particles agglomerated with resin and consolidated by the combined action of temperature and pressure. These panels could be a viable economic solution for the rational and sustainable use of this forest species, as they have greater added value and can be used to manufacture door cores, furniture, commercial and industrial purposes and load-bearing. The aim of this study was to correlate the physical, chemical and anatomical properties of taxi-branco wood with the physical and mechanical performance of low/medium density chipboards produced with urea-formaldehyde resins (UF) and castor oil-based polyurethane (PU-mamona), under normal and accelerated weathering conditions. The basic density of the wood and the total extractives, lignin, holocellulose and ash content of the 9-year-old wood were determined. The pH of the water-soluble extractives was measured to check the degree of acidity. Macroscopy and microscopy were carried out on the wood in the transverse, radial and tangential directions and on the cellular elements (fibers, rays, vessels). The physical-mechanical performance of the panels was tested using static bending, perpendicular traction, swelling in thickness (IE), water absorption (AA), X-ray densitometry (X-RD), scanning electron microscopy (SEM) before and after accelerated weathering (AI). The results were compared to the ANSI A208.1 (2016), ISO 16893 (2016) and NBR 14810-2 (2018) standards. The basic density (525 kg/m³), total extractives (4.2%), lignin (23.87%), holocellulose (76.36%), ash (0.68%) and pH (5.5-5.8) were determined. The wood is semi-porous, has uniseriate rays and vessels with intervascular dots and a simple perforation plate. The modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal adhesion (AI) values of the UF panels were lower than those of the PU-mamona. The lower IE values of the PU-mamona panel can be attributed to its lower affinity to water. The lower resistance to humidity explains the higher AA of UF panels. X-RD revealed areas of lower density in UF panels due to the detachment of particles from the surface. SEM confirmed less severe degradation after IA for PU-mamona panels. The low-density UF panels did not meet any standards. While the low-density castor bean PU panels complied with ANSI A208.1 for use in door cores. Despite the absence of IA values, the medium-density panel with 13% PU-mamona could possibly meet the standards for commercial (non-structural) use. These positive results indicate that the mechanical properties of the panels can be improved by modifying the processing variables. The production of agglomerated taxi-white panels could therefore bring advances in the use of forest biomass from homogeneous forest plantations.

Keywords: Taxi-white, chipboard, wood anatomy, castor bean-based polyurethane resin, urea-formaldehyde.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	9
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2 JUSTIFICATIVA	10
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo geral	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
2. CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1 PAINÉIS AGLOMERADOS	14
2.1.1 Painéis de <i>pinus</i>	14
2.1.2 Painéis de Eucalipto	17
2.1.3 Painéis de outras madeiras.....	19
2.1.4 Painéis de bambu.....	24
2.1.5 Painéis de resíduos lignocelulósico.....	27
2.2.6 Painéis híbridos.....	30
2.2 A ESPÉCIE FLORESTAL.....	33
2.3 PAINÉIS DE <i>T. VULGARIS</i>	34
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
3. CAPÍTULO 3 - ESTUDO ANATÔMICO DA MADEIRA DE TAXI-BRANCO	38
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.2.1 Determinação da densidade básica	40
3.2.2. Macroscopia	40
3.2.3. Maceração dos elementos celulares	40
3.2.4. Microscopia	41
3.2.5. Análise dos resultados	41
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
3.3.1 Densidade básica.....	41
3.3.2 Macroscopia.....	42
3.3.3 Microscopia e macerado	43
3.4 CONCLUSÃO.....	46
4. CAPÍTULO 4 - Potencial de <i>Tachigali vulgaris</i> para produção de painéis de baixa densidade feitos com resinas ureia-formaldeído e bicomponente à base de óleo de mamona	47
4.1 INTRODUÇÃO	48
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	49
4.2.1 Caracterização físico-química da madeira	49
4.2.2 Produção do painel	50

4.2.3 Caracterização físico-mecânica	51
4.2.4 Intemperismo acelerado	53
4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	53
4.2.6 Análise dos resultados	53
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.3.1 Propriedades físicas e químicas da madeira.....	53
4.3.2 Propriedades físico-mecânicas do painel.....	54
4.3.3 Microscopia eletrônica de varredura	57
4.4 CONCLUSÃO.....	59
5. CAPÍTULO 5 – Painéis aglomerados de média densidade produzidos com madeira Tachigali vulgaris e resina PU-mamona	61
5.1 INTRODUÇÃO	61
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	62
5.2.1 Produção do painel	62
5.2.2 Caracterização físico-mecânica	64
4.2.3 Adequação à normativas.....	65
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
5.3.1 Propriedades físicas.....	65
5.3.2 Propriedade mecânicas.....	66
5.4 CONCLUSÃO.....	67
6. CONCLUSÃO GERAL.....	68
REFERÊNCIAS.....	69

ESTRUTURA DA TESE

Esta tese foi organizada em 5 capítulos, a saber:

O capítulo 1 apresenta a contextualização da pesquisa, motivação, objetivos e estrutura da tese.

No capítulo 2 consta a revisão da literatura sobre painéis de partículas com enfoque nas pesquisas que apresentam informações de propriedades físicas e mecânicas (AA, IE, MOR, MOE e IB). Ademais, estão inclusas informações de teores de resina, tipos de biomassa e diretrizes da American National Standards Institute (ANSI) - ANSI A208.1 (2016), International Organization for Standardization (ISO) - ISO 16893 (2016) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR 14810-2 (2018).

O capítulo 3 apresenta um estudo da anatomia de taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima; sinônimo *Sclerolobium paniculatum* Vogel) oriunda de plantio de floresta homogênea no cerrado amapaense e resultados da macroscopia e microscopia dessa madeira. Pela análise macroscópica foi determinada a porosidade da madeira. Pela microscopia na direção Tangencial, Radial e Transversal foi determinado conforme Richter e Burger (1991). A análise do macerado permitiu determinar o comprimento de fibras, elementos de vaso e parênquima.

O capítulo 4 contém informações da produção de painéis de partículas de *T. vulgaris* de baixa densidade aglomerados com 12% de resinas ureia-formaldeído e poliuretana à base de óleo de mamona. São apresentados resultados da composição química, densidade básica da madeira, pH e de propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas antes e após ensaio de intemperismo acelerado. Pelas imagens de microscopia eletrônica de varredura foi possível verificar a degradação do material e as interfaces entre as partículas.

O capítulo 5 apresenta os resultados de propriedades físicas e mecânicas de painéis de média densidade de partículas de *T. vulgaris* aglomeradas com 9% e 13% de resina poliuretana à base de óleo de mamona.

1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nas últimas duas décadas houve aumento na demanda por painéis de madeira reconstituída, principalmente para aplicações estruturais na construção civil (IBÁ, 2021). O aumento da demanda por painéis, o baixo custo de matéria-prima regional no estado do Amapá e o fato da tecnologia ser bem consolidada representa uma solução econômica e tecnicamente viável para o aproveitamento da biomassa florestal.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), em 2020 a produção mundial de painéis de madeira foi de 367 milhões m³. No mesmo ano, o consumo de painéis de partículas no Brasil foi de 3,5 milhões m³ (FAO, 2021).

As espécies de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* de reflorestamento são as mais utilizadas para produção de painéis de partículas (LEE et al., 2022). Estudos com espécies nativas da Amazônia têm demonstrado a potencialidade de algumas espécies (e.g., *Schizolobium amazonicum* (paricá), *Hevea brasiliensis* (seringueira) etc.) para produção de painéis aglomerados (COUTO et al., 2020; GILIO; BISPO et al., 2021; NEVES et al., 2022).

T. vulgaris é uma espécie nativa de floresta de terra-firme e cerrado que é plantada experimentalmente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) no Amapá. Trata-se da única espécie amazônica recomendada para substituir o reflorestamento de *Eucalyptus* (MARTORANO, 2018) e que também, é indicada para recuperar áreas degradadas, produzir lenha e carvão (ORELLANA, 2015). Entretanto, pouco se conhece sobre a viabilidade do uso de *T. vulgaris* para produção de painéis aglomerados.

O taxi-branco é uma espécie pioneira com madeira de média densidade (400-700 kg/m³) que exibe rápido crescimento e resistência a perturbações ambientais (BARROS JUNIOR, 2020). Contudo, em temperaturas superiores a 35 °C ocorre a redução de assimilação de CO₂ e aumento da transpiração, de forma que o aquecimento da superfície pode afetar o desenvolvimento de mudas desta espécie (DE MORAIS; ROSSI; HIGA, 2017; SIMÕES et al., 2016).

Em um estudo comparativo, a *T. vulgaris* teve melhor desempenho que *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, mostrou 52% de sobrevivência e produziu 241,7 Mg/ha de biomassa em condições ambientais, após quatro anos (DE FARIAS

et al., 2016). Em plantio experimental com diferentes espaçamentos fica evidente que há competição intraespecífica por luz, o que aumenta a mortalidade em plantios de espaçamentos menores (RODRIGUES et al., 2021).

A rápida produção de biomassa de *T. vulgaris* está associada à fixação de nitrogênio atmosférico (N₂), pela bactéria do gênero *Rhizobium* e proporciona serrapilheira rica em nutrientes que aumentam a matéria orgânica do solo (DE SOUZA et al., 2019).

Outro aspecto interessante é que a morfologia das fibras de *T. vulgaris* depende principalmente de fatores genéticos, da taxa com que o xilema secundário é produzido pelo câmbio vascular. Embora a densidade possa variar amplamente, as dimensões das fibras não variam tanto, sugerindo que o aumento da densidade em função do tempo se deve pelo aumento em espessura das fibras (aumento da massa por volume) (DOS SANTOS SILVA et al., 2021).

A madeira da espécie *T. vulgaris* é de média densidade e provavelmente pode ser empregada na produção de painéis aglomerados (CABRAL et al., 2007).

1.2 JUSTIFICATIVA

A demanda por novos materiais sustentáveis para produção de painéis de partículas e valoração de espécies florestais nativas da Amazônia, além da substituição de resinas à base de formaldeído, justificam esta pesquisa para produção de painéis aglomeradas homogêneas de *T. vulgaris* proveniente de plantio de florestas homogêneas de áreas de terra-firme e cerrado amapaense e aglomerados com as resinas UF e PU-Mamona.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Promover a caracterização física, química e anatômica da madeira de *T. vulgaris* e estudar o desempenho físico e mecânico de painéis de partículas aglomerados com resina comercial e poliuretana à base de óleo de mamona.

1.3.2 Objetivos específicos

- I. Estudar as características físicas, químicas e anatômicas de *T. vulgaris* oriunda de plantio de floresta homogênea do cerrado amapaense;
- II. Analisar o desempenho físico e mecânico antes e após ensaios de intemperismo acelerado de painéis de partículas de *T. vulgaris* produzidos com resina ureia-formaldeído e poliuretana bicomponente à base do óleo de mamona.
- III. Avaliar painéis de partículas de média densidade de *T. vulgaris* produzidos com 9% e 13% de resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona.

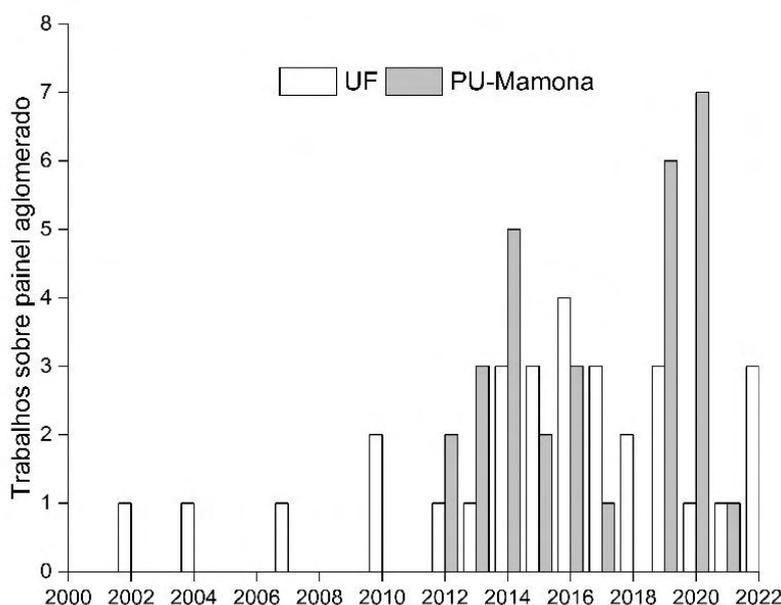
2. CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é dedicado à uma revisão concisa de literatura sobre painéis aglomerados com resinas UF e PU-mamona a fim de contextualizar o estado de arte que permeia este campo do conhecimento. Dentro desse escopo, este capítulo discute o desempenho físico e mecânico de painéis de partículas homogêneas e apresenta informações de estudos de painéis utilizando a madeira *T. vulgaris*.

2.3 PAINÉIS DE UF E PU-MAMONA

Os trabalhos mais recentes sobre painéis homogêneos foram pesquisados nas bases Google Acadêmico e Scopus, conforme ilustra a Figura 1. Para a busca foram utilizados os termos: “aglomerado”, “particleboard”, módulo de ruptura - “MOR”, módulo de elasticidade - “MOE”, adesão interna - “AI”, absorção de água - “AA” e/ou “WA”, inchamento em espessura - “IE” e/ou “TS”, “kg/m³”, “g/cm³”, ureia-formaldeído - “UF”, óleo de mamona - “castor oil”.

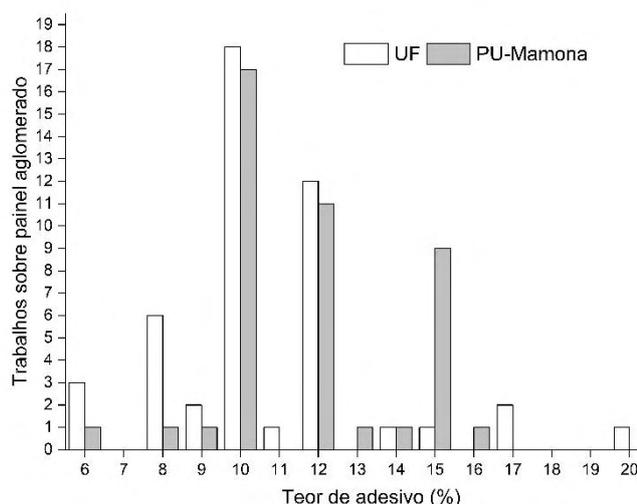
Figura 1 – Publicações de painéis aglomerados entre 2000-2022



Fonte: o autor (2023)

Na literatura, os teores de adesivo variam de 6% a 20%. Para UF os teores mais frequentemente utilizados são 10%, 12% e 8%, enquanto para PU-mamona são 10%, 12% e 15%, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Trabalhos publicados em função do teor e tipo de resina



Fonte: o autor (2023)

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis com espessura entre 6-13 mm foram comparadas aos requisitos das normativas ANSI A208.1:2016, ISO 16893:2016 e NBR 14810-2:2018. A ANSI A208.1:2016 utiliza uma classificação de densidade do painel diferente da utilizada pela NBR 14810-2:2018, enquanto que a ISO não utiliza a densidade como parâmetro.

No sistema de classificação da ANSI A208.1:2016 há 3 faixas de densidade do painel (DA): *Low-Density* (Baixa densidade, $DA < 640 \text{ kg/m}^3$) para núcleo de portas (LD-1, LD-2); *Medium-density* (Média densidade, $640 < DA < 800 \text{ kg/m}^3$) para uso comercial (M-0, M-1 e M-S) e uso industrial (M-2, M-3i); *High-density* (Alta densidade, $DA > 800 \text{ kg/m}^3$) para fins industriais (H-1, H-2, H-3); Painel para pavimento (PBU); Painel para Decker (D-1; D-2).

A ISO 16893:2016 classifica os painéis em: *General purpose* (Uso geral) para aplicação que não exijam as propriedades específicas para móveis ou suporte de carga (P-GP); *Furniture* (mobiliário) na fabricação de mobiliário, na marcenaria, na montagem de marcenaria, bases para tratamento decorativo de superfície (P-FN); *Load bearing* (suporte de carga) para aplicações estruturais ou de suporte de carga (P-LB); *Heavy-duty load bearing* (suporte de carga resistente) para aplicações estruturais ou suporte de cargas pesadas (P-HLB). As condições ambientais de aplicação são classificadas em: apenas em condições secas (REG); condições temperadas de humidade (MR1); condições de humidade tropical (MR2); exposto às condições atmosféricas acima do solo (EXT).

A NBR 14810-2:2018 classifica os painéis de partículas de média densidade (500-750 kg/m³) em: P2 - painéis não estruturais para uso interno em condições secas); P3 - painéis não estruturais para uso em condições úmidas); P4 - painéis estruturais para uso em condições secas); P5 – painéis estruturais para uso em condições úmidas; P6 – painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos; P7 – painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos.

2.1 PAINÉIS AGLOMERADOS

2.1.1 Painéis de *pinus*

Os resultados físicos e mecânicos para várias espécies de pinus é apresentado na Tabela 1. Em seguida os resultados são discutidos para cada espécie.

Tabela 1 – Resultados físico-mecânicos para painéis de pinus

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Iwakiri (2010)	<i>P. taeda</i>	UF	8	15,00	676,00	26,93	90,67	12,03	1886,00	0,58	M-S	P-FN REG	-
	<i>P. caribaea</i> var.	UF	8	15,00	687,00	31,34	88,93	16,73	2326,00	1,07	M-2	-	-
	<i>P. caribaea</i> var.	UF	8	15,00	694,00	25,35	83,74	18,08	2515,00	1,14	M-3i	-	-
	<i>P. bahamensis</i>	UF	12	12,00	630,00	11,17	16,83	9,46	1039,06	1,24	LD-2	-	-
Sanches (2012)	<i>P. taeda</i>	UF	12	12,00	650,00	11,49	15,40	8,35	1417,51	0,57	M-0	-	-
	<i>P. taeda</i>	UF	12	12,00	650,00	11,49	15,40	8,35	1417,51	0,57	M-0	-	-
Bertolini et al. (2013)	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	12	10	880	-	-	25,00	2304,00	-	-	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	12	10	890	-	-	28,00	2670,00	-	-	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	15	10	900	-	-	26,00	2474,00	-	-	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	12	10	900	-	-	24,00	2537,00	-	-	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	15	10	910	-	-	28,00	2764,00	-	-	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	15	10	940	-	-	26,00	2553,00	-	-	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	15	10	950	-	-	29,00	2911,00	-	-	-	-
Fiorelli et al. (2014)	<i>P. spp.</i>	UF	10-15	10	800,00	26,99	-	8,69	1813,00	0,54	M-0	-	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	10-15	10	800,00	29,31	-	14,56	1543,00	0,54	-	P-GP REG	-
	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	10-15	10	800,00	25,72	-	15,92	1548,00	0,67	-	P-GP REG	-
Ferro et al. (2014)	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	12	10	800	-	-	19,4	2439,6	-	-	-	-
Silva et al. (2014)	<i>P. caribaea</i>	PU-mamona	10	6,39	915,66	-	-	43,28	3666,66	1,27	D-3/PBU	P-HLB REG	-
Bertolini et al. (2015)	<i>Pinus spp.</i>	PU-mamona	12	10	550	-	-	6,6	759	-	-	-	-
Baldin (2016)	<i>P. spp.</i>	UF	10	9,50	770,00	30,86	-	8,28	1301,21	0,19	-	-	-
Rosa (2017)	<i>P. taeda</i>	UF	8	12,00	648,00	13,46	37,02	11,67	1766,63	0,67	M-S	P-GP REG	P2
Iwakiri et al. (2019)	<i>Pinus</i> 180°C 2 min	UF	8	13,00	648,00	21,21	59,16	11,68	1987,00	0,62	M-S	P-FN REG	-
	<i>Pinus</i> 180°C 4 min	UF	8	13,00	673,00	23,71	70,05	8,71	1711,00	0,38	M-0	-	-
	<i>Pinus</i> 180°C 6 min	UF	8	13,00	675,00	26,26	66,66	7,88	1648,00	0,65	M-0	-	-

Continua

Conclusão

Tabela 1 – Resultados físico-mecânicos para painéis de pinus

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
	<i>Pinus</i> 200°C 2 min	UF	8	13,00	679,00	23,64	65,23	11,73	1877,00	0,70	M-S	P-FN REG	-
	<i>Pinus</i> 200°C 4 min	UF	8	13,00	683,00	23,78	62,80	10,65	1849,00	0,69	M--1	P-GP REG	-
	<i>Pinus</i> 200°C 6 min	UF	8	13,00	687,00	24,23	59,26	8,47	1769,00	0,45	M-0	-	-
	<i>Pinus</i> 220°C 2 min	UF	8	13,00	684,00	24,45	61,00	11,48	1870,00	0,74	M-S	P-FN REG	-
	<i>Pinus</i> 220°C 4 min	UF	8	13,00	692,00	23,67	60,65	12,31	1993,00	0,73	M-S	P-FN REG	-
	<i>Pinus</i> 220°C 6 min	UF	8	13,00	701,00	18,65	50,83	10,54	1702,00	0,73	M--1	P-GP REG	-
Shirosaki et al. (2019)	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	15	10	960	8,49		37,43	3464	2,17	H-3/PBU	P-HLB REG	-
Trevisan (2021)	<i>P. spp.</i>	PU-mamona	10	15	893	21,47	56,32	16,89	2352	0,77	-	P-FN REG	-
Kligenberg (2022)	<i>P. caribaea</i>	UF	10	15,70	711,00	15,32	61,99	10,89	2101,34	0,75	M-1	P-GP REG	-
Souza (2022)	<i>Pinus</i>	PU-mamona	10	12	744	22,61	83,51	8,44	1673	0,41	M-0	-	-

Fonte: o autor (2023)

2.1.1.1 *Pinus spp.*

Bertolini et al. (2013) produziu painéis de alta densidade de *P. spp.* e PU-mamona foram expostos à condições ambientais severas e, mesmo assim, alcançaram valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) compatíveis com os requisitos normativos. Contudo, ausência de valores para AI é a principal razão para não apresentar classificação.

Em seguida, Fiorelli et al. (2014) demonstraram que resíduos de *P. spp.* aglomerados com UF podem ser utilizados para produção de painéis de uso comercial. As partículas residuais de *P. spp.* encoladas com PU-mamona podem ser empregadas para uso geral (FIORELLI et al., 2014). Painéis de *P. spp.* e PU-mamona produzidos por Ferro et al. (2014) apresentaram desempenho mecânico satisfatório tanto para MOR e MOE, no entanto a ausência de valores de AI impossibilitou a classificação.

Alguns painéis feitos com UF apresentaram resultados inferiores muito provavelmente devido a diferenças de composição química da madeira e não atenderam normativas (BALDIN, 2016). Os painéis de alta densidade de *P. spp.* e PU-

mamona produzidos por Shirosaki et al. (2019) obtiveram o melhor desempenho mecânico para esta espécie podendo ser aplicado para fins estruturais, suporte de cargas pesadas e para pavimento (SHIROSAKI, 2019). Trevisan (2021) utilizou menor teor de adesivo, menor densidade e espessura maior do que Shirosaki (2019) e obteve um painel com menor desempenho mecânico, contudo que pode ser utilizado para fabricação de móveis.

2.1.1.2 *Pinus taeda*

Iwakiri (2010) produziu painéis de *P. taeda* aglomerados com UF por ser a espécie de *Pinus* mais utilizada no Brasil. O painel apresentou desempenho mecânico que permite aplicações de uso comercial e para fabricação de móveis. Aglomerados de baixa e média densidade *P. taeda* aglutinados com UF podem ser utilizados para confecção de núcleo de portas e para uso comercial (SANCHES, 2012).

Rosa et al. (2017) encontrou melhor resultado quando utilizou espessura e densidade menor resultando em menor inchamento em espessura podendo ser utilizado para uso geral, comercial e uso não-estrutural interno em condições secas.

2.1.1.3 *Pinus caribaea*

P. caribaea var. caribaea e *P. caribaea var. bahamensis* são nativos da América Central, porém possuem melhor desenvolvimento em clima tropicais. Os painéis destas espécies foram aglomerados com UF e atenderam aos critérios normativos para painéis de uso industrial (IWAKIRI et al., 2010). Silva et al. (2014) também encontraram resultados melhores com a resina de PU-mamona permitindo aplicações de uso estruturais, suporte de cargas pesadas, pavimentos e Deckers.

2.1.1.4 *Pinus*

Iwakiri et al. (2019) ao estudar os parâmetros de prensagem de painéis de *Pinus* concluiu que o aumento da temperatura e do tempo de prensa degradam termicamente a resina de UF. O tempo de prensa pode ser reduzido pelo controle da densidade alvo do painel, pois menor densidade resulta em maior transferência de calor e permite prensagem rápida.

Souza (2022) obteve painéis de pinus aglomerados com PU-mamona que

podem ser utilizados para uso comercial e atendem a normativa ANSI.

2.1.2 Painéis de Eucalipto

Os resultados físicos e mecânicos para várias espécies de eucalipto é apresentado na Tabela 2. Em seguida os resultados são discutidos para cada espécie.

Tabela 2 – Resultados físico-mecânicos para painéis de eucalipto

Autor(es)	Biomassa	Resina	UF (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Melo et al. (2010)	<i>E. grandis</i>	UF	12	9,50	610,00	32,37	40,82	12,92	1329,49	0,16	LD-2	-	-
	<i>E. grandis</i>	UF	12	9,50	720,00	29,14	39,01	16,53	1667,45	0,20	-	-	-
Varanda et al. (2013)	<i>E. grandis</i>	PU-mamona	10	10	951,00	4,30	5,20	18,00	2349,00	1,84	H-1/PBU	P-LB REG	-
	<i>E. grandis</i>	PU-mamona	10	10	951,00	4,3	5,2	18	2349	1,84	H-1/PBU	P-LB REG	-
Tinti (2015)	<i>E. spp.</i>	UF	10	12,50	466,00	26,36	147,79	2,52	330,31	0,68	-	-	-
Magzoub (2015)	<i>E. camaldulensis</i>	UF	17	10,00	667,96	18,87	61,13	6,69	1316,62	0,41	-	-	-
Guimarães Júnior (2016)	<i>Eucalipto</i>	UF	12	15,00	480,00	25,82	95,79	6,32	1234,48	0,28	LD-2	-	-
Minillo (2016)	<i>Eucalipto</i>	PU-mamona	10	10	877,47	19,03	41,23	18,28	1282	1,27	-	P-GP REG	-
Rosa et al. (2017)	<i>E. benthamii</i>	UF	8	12,00	635,00	10,74	24,84	15,82	2111,11	0,78	LD-2/PBU	P-FN REG	P3
	<i>E. dunnii</i>	UF	8	12,00	639,00	11,13	29,82	17,03	2222,33	0,74	LD-2/PBU	P-LB REG	P3
	<i>E. grandis</i>	UF	8	12,00	639,00	11,05	25,79	20,82	2589,75	0,91	LD-2/PBU	P-LB REG	P4
	<i>E. saligna</i>	UF	8	12,00	630,00	11,76	22,28	18,29	2169,11	0,79	LD-2/PBU	P-FN REG	P3
	<i>E. urograndis</i>	UF	8	12,00	634,00	11,76	28,00	17,45	2275,74	0,64	LD-2	P-LB REG	P3
Soares et al. (2017)	<i>E. grandis</i>	UF	10	15,00	550,00	-	-	8,57	735,05	0,19	LD-2	-	-
Varanda et al. (2019)	<i>E. grandis</i>	PU-mamona	14	10	913,00	-	-	24,1	2982	-	-	-	-
	<i>E. grandis</i>	PU-mamona	12	10	913,00	-	-	18,7	2581	-	-	-	-
	<i>E. grandis</i>	PU-mamona	10	10	913,00	-	-	18,2	2349	-	-	-	-
Shirosaki et al. (2019)	<i>E. grandis</i>	PU-mamona	15	10	1040,00	5,83	-	34,6	3925	4,19	H-3 /PBU/D-3	P-HLB REG	-
Lima Junior (2019)	<i>E. spp.</i>	PU-mamona	10	12,7	800,00	7,69	17,87	19,99	2670	2,65	M-3i	P-LB REG	-
Farias et al. (2020)	<i>E. grandis</i>	UF	6	15,00	618,00	22,75	109,58	3,27	385,83	0,13	-	-	-
	<i>E. grandis</i>	UF	9	15,00	629,00	13,09	97,47	4,88	637,00	0,21	LD-2	-	-
	<i>E. grandis</i>	UF	12	15,00	624,00	8,08	81,79	7,27	932,00	0,38	LD-2	-	-
Silva (2020)	<i>E. citriodora</i>	PU-mamona	10	12,7	872,62	9,25	12,48	17,52	2964	2,78	H1/PBU	P-LB REG	-
Celestino (2020)	<i>E. citriodora</i>	PU-mamona	10	12,7	804,33	4,67	24,26	9,01	1738,4	1,55	-	-	-
Souza (2022)	<i>Eucalipto</i>	PU-mamona	10	12	744,00	19,69	46,64	6,92	1434	0,36	-	-	-

Fonte: o autor (2023)

2.1.2.1 *Eucalyptus grandis*

E. grandis é a espécie de eucalipto mais plantada no Brasil e tem crescimento

rápido favorecido pelas condições edafoclimáticas. Painéis de baixa densidade de *E. grandis* aglutinados com UF podem ser utilizados para núcleo de portas (MELO et al., 2010). Varanda et al. (2013) produziu painéis de alta densidade de PU-mamona que atenderam normativas para aplicações industriais, aplicações estruturais e suporte de carga.

Rosa et al. (2017) conseguiu produzir um painel de baixa densidade de UF com o melhor desempenho mecânico para esta espécie. Os resultados foram tão bons que atenderam a todos as normativas, e o painel pode ser utilizado como núcleo de portas, para uso estrutural e suporte de cargas. Soares et al. (2017) atenderam os parâmetros para painel de núcleo de porta, pois o aumento da espessura e diminuição da densidade resultaram em menor adesão das partículas quando comparados os valores de AI.

Varanda et al (2019) demonstrou que o aumento do teor de adesivo resulta em maior desempenho mecânico. Seus resultados não apresentam o ensaio de AI, contudo muito provavelmente seriam classificados como painéis de uso industrial e de suporte de carga. Em seu trabalho também demonstra que o ensaio de intemperismo acelerado reduz o desempenho mecânico.

Shirosaki et al. (2019) produziu o painel de alta densidade de *E. grandis* e PU-mamona com maior desempenho mecânico. Os resultados são consequência do maior teor de adesivo e menor espessura do painel que resultaram em uma AI excepcional para a espécie. Os painéis podem ser utilizados para aplicações industriais, fins estruturais e suporte de cargas pesadas.

Farias et al. (2020) encontrou resultados mecânicos inferiores ao produzir painéis de baixa densidade com espessura de 15 mm resultando em menores valores de MOR, MOE e AI. Os painéis apenas atenderam a normativa ANSI para núcleo de portas.

2.1.2.2 *Eucalyptus spp.*

Tinti (2015) ao estudar os painéis de baixa densidade de *E. spp.* aglomerado com UF verificou que os painéis não atenderam a nenhuma normativa. Lima Junior (2019) produziu painel de alta densidade utilizando resina de PU-mamona e obteve um desempenho mecânico satisfatório, ou seja, um painel que pode ser utilizado para uso industrial e suporte de carga. O melhor desempenho mecânico pode ser explicado

pelo aumento da densidade do painel e pelo tipo de adesivo, comprovando que PU-mamona resulta em um painel com maior adesão e resistência.

2.1.2.3 *Eucalyptus citrodora*

Celestino (2020) produziu painéis de alta densidade de *E. citrodora* (popularmente conhecido como madeira corymbia) e PU-mamona que não atendeu a nenhuma normativa. Enquanto que Silva (2020) obteve um painel semelhante, porém com desempenho mecânico superior que pode ser utilizado para uso industrial, uso estrutural e suporte de carga. As diferenças observadas entre os painéis não podem ser plenamente explicadas pelo aumento da densificação do painel, sendo mais provável que o painel de 872 kg/m³ tenha maior coeficiente de esbeltez.

2.1.2.4 Outras espécies de Eucalipto

Outras espécies de Eucalipto também foram estudadas em diversos trabalhos. Magzoub (2015) produziu painel de média densidade de *E. camaldulensis* e UF que não atingiu MOR mínimo para atender as normativas.

Rosa et al. (2017) conseguiu produzir painéis de baixa densidade de *E. benthamii*, *E. dunni*, *E. saligna* e *E. urograndis* aglomerados com UF que apresentaram excelentes resultados mecânicos. Estes painéis atenderam a todas as normativas e podem ser utilizados para núcleo de portas, uso industrial, na fabricação de mobiliário, uso não estrutural em condições úmidas e uso estrutural em condições secas.

Por fim, os trabalhos utilizaram madeira de eucalipto sem citar exatamente o nome da espécie. É o caso dos trabalhos de Guimarães Júnior (2016) que produziu painel de baixa densidade que pode ser utilizado para núcleo de portas; Minillo (2016) estudou painéis de alta densidade de PU-mamona que servem para uso geral, mas não podem ser utilizados para móveis ou suporte de carga; e Souza (2022) produziu um painel que não atendeu normativas.

2.1.3 Painéis de outras madeiras

Nesta subseção será discutido a utilização de madeira de diferentes espécies para produção de painéis aglomerados. A Tabela 3 apresenta os resultados

mecânicos de painéis de diferentes espécies de madeira.

Tabela 3 - Resultados físico-mecânicos para painéis de outras espécies de madeira

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Okino et al. (2004)	<i>Cupressus spp.</i>	UF	10	13	700,00	36,00	60,00	31,00	4400,00	0,90	M-3i	P-FN REG	P6
	<i>Cupressus spp.</i>	UF	10	13	700,00	31,00	70,00	25,40	3000,00	1,10	M-3i	P-FN REG	P5
Santos et al. (2013)	<i>Couratari oblongifolia</i>	PU-mamona	16	12	932	15	22,49	16,02	2011	1,56	-	P-FN REG	-
Barbirato et al. (2014)	<i>Mezilaurus itauba</i>	PU-mamona	15	10	800	6,4	20,62	17,41	2700	1,9	M-3i/PBU	P-LB REG	-
Lias et al. (2014)	<i>Neolamarckia cadamba</i> 1 mm	UF	11	12	500,00	30,68	131,9 ₁	17,61	5632,23	0,62	LD-2	P-FN REG	-
	<i>Neolamarckia cadamba</i> 2 mm	UF	11	12	500,00	32,14	128,6 ₄	17,50	5309,22	0,55	LD-2	P-FN REG	-
	<i>Neolamarckia cadamba</i> 1 mm	UF	11	12	600,00	34,76	119,3 ₄	24,32	7778,69	0,74	LD-2	P-FN REG	-
	<i>Neolamarckia cadamba</i> 2 mm	UF	11	12	600,00	41,08	114,3 ₄	27,31	8751,84	0,60	LD-2	P-FN REG	-
	<i>Neolamarckia cadamba</i> 1 mm	UF	11	12	700,00	46,77	117,9 ₈	33,50	10678,6 ₂	0,81	M-3i	P-FN REG	-
	<i>Neolamarckia cadamba</i> 1 mm	UF	11	12	700	53,61	112,6 ₅	35,84	10967	0,56	M-3i	P-FN REG	-
Azambuja (2016)	<i>Cupressus lusitanica</i>	UF	12	13	735	14,50	-	10	1873	0,27	-	-	-
Lee et al. (2016)	<i>Hevea brasiliensis</i> 100°C 1h - condição seca	UF	8	12	681,10	32,40	73,10	10,80	1297,00	0,58	-	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 100°C 1h - condição úmida	UF	8	12	674,00	25,90	89,20	13,90	1503,00	0,55	M-0	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 100°C 2h - condição seca	UF	8	12	673,20	30,20	73,10	10,40	1265,00	0,51	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 100°C 2h - condição úmida	UF	8	12	665,00	25,90	85,70	13,30	1472,00	0,36	M-0	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 100°C 3h - condição seca	UF	8	12	662,60	30,10	70,90	10,10	1264,00	0,31	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 100°C 3h - condição úmida	UF	8	12	623,80	23,90	75,40	12,10	1443,00	0,21	LD-2	-	-

Continua

Continuação

Tabela 3 - Resultados físico-mecânicos para painéis de outras espécies de madeira

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Lee et al. (2016)	<i>Hevea brasiliensis</i> 150°C 1h - condição seca	UF	8	12	671,70	34,10	73,80	10,00	1228,00	0,47	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 150°C 1h - condição úmida	UF	8	12	671,20	29,00	72,10	11,80	1387,00	0,42	M-0	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 150°C 2h - condição seca	UF	8	12	665,10	30,00	71,00	9,70	1148,00	0,38	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 150°C 2h - condição úmida	UF	8	12	664,20	24,10	70,60	10,70	1355,00	0,32	-	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 150°C 3h - condição seca	UF	8	12	651,90	29,50	67,80	9,60	942,00	0,27	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 150°C 3h - condição úmida	UF	8	12	615,70	23,10	68,40	8,90	1155,00	0,20	LD-2	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 200°C 1h - condição seca	UF	8	12	664,30	30,70	71,90	10,50	1203,00	0,36	-	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 200°C 1h - condição úmida	UF	8	12	668,80	25,80	70,40	10,80	1283,00	0,40	-	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 200°C 2h - condição seca	UF	8	12	650,50	28,20	65,90	9,50	1194,00	0,27	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 200°C 2h - condição úmida	UF	8	12	647,80	22,90	67,90	10,40	1252,00	0,25	-	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 200°C 3h - condição seca	UF	8	12	630,40	27,30	62,10	9,00	933,00	0,25	LD-2	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 50°C 1h - condição seca	UF	8	12	713,10	40,70	88,00	13,00	1469,00	0,67	M-0	P-GP REG	-

Continua

Conclusão

Tabela 3 - Resultados físico-mecânicos para painéis de outras espécies de madeira

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
	<i>Hevea brasiliensis</i> 50°C 1h - condição úmida	UF	8	12	691,40	33,70	82,40	14,50	1585,00	0,64	M-1	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 50°C 2h - condição seca	UF	8	12	689,50	33,60	84,70	12,00	1430,00	0,61	M-0	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 50°C 2h - condição úmida	UF	8	12	668,80	31,50	79,90	14,30	1557,00	0,41	M-1	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 50°C 3h - condição seca	UF	8	12	672,10	27,60	77,50	11,20	1377,00	0,60	-	P-GP REG	-
	<i>Hevea brasiliensis</i> 50°C 3h - condição úmida	UF	8	12	660,40	24,00	79,10	14,20	1543,00	0,31	M-0	P-GP REG	-
Archangelo (2019)	<i>Tectona grandis</i>	PU-mamona	12	12,7	852,11	5,89	16,45	14,26	2039,57	0,99	PBU	P-FN REG	-
Nasser (2019)	<i>Tectona grandis</i>	PU-mamona	12	12,7	852,11	5,89	16,45	14,16	2039,57	0,99	PBU	P-FN REG	-
Marques (2020)	<i>Manilkara huberi</i>	PU-mamona	15	15	1200	9,1	20,23	14,17	4185	0,77	-	-	-
	<i>Dinizia excelsa</i>	PU-mamona	15	15	1030	11,18	35,5	18,55	1670,39	0,95	PBU	-	-
Dias (2020)	<i>Tectona grandis</i>	PU-mamona	12	12,7	748,52	10,8	51,62	10,62	2405	1,73	M-1	P-GP REG	-
Celestino (2020)	<i>Tectona grandis</i>	PU-mamona	10	12,7	774,05	2,61	18,22	12,51	1996	2,27	M-S/PBU	P-FN REG	-
Gilio (2020)	<i>Tectona grandis</i>	PU-mamona	10	15	902	2,81		22,67	3024,67	0,71	D-2/PBU	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i>	PU-mamona	10	15	851	10,09		15,23	2375,36	1,06	H1/PBU	P-LB REG	-
Trevisan (2021)	<i>Hevea brasiliensis</i>	PU-mamona	10	15	905	14,86	48,73	13,53	2174	0,85	H2/PBU	P-FN REG	-
Criscuolo (2022)	<i>Simarouba amara</i>	PU-mamona	10	10	977	10,88	19,06	23,87	2326	3,381	M-0	P-LB REG	-
Souza (2022)	<i>Tectona grandis</i>	PU-mamona	10	12	685	11,74	46,18	9,72	1751	0,46	M-2	-	-
	<i>Hevea brasiliensis</i>	PU-mamona	10	12	693	15,85	78,03	12,46	2232	0,92	M-S	P-FN REG	P2

Fonte: Autor (2023)

Okino et al. (2004) desenvolveu painéis de média densidade de madeira de cipreste (*C. spp.*) com resina de UF. As propriedades mecânicas foram obtidas destes painéis resultaram nos maiores valores de MOR e MOE desta revisão de literatura. Os painéis apresentam possibilidade de utilização industrial, movelaria e para condições severas de carga em ambientes úmido e seco. Azambuja (2016) utilizou uma espécie de cipreste (*C. lusitanica*) que não atendeu a nenhuma normativa, embora tenha utilizando parâmetros similares aos de Okino (2004). A composição química ou geometria das espécies de cipreste provavelmente são muito diferentes.

Madeiras da região Amazônica têm sido estudadas para produção de painéis aglomerados. Santos et al. (2013) produziu painéis de alta densidade a partir de resíduos de madeira tauari (*C. oblongifolia*) e 16% de resina PU-mamona resultando em um painel com aplicação para produção de móveis. Outro painel de alta densidade foi feito a partir da madeira de itauba (*M. itauba*) e 15% de PU-mamona e demonstraram ser adequado para o uso industrial, pavimentos e suporte de carga (BARBIRATO et al., 2014).

A seringueira (*H. brasiliensis*) é uma espécie amazônica que foi introduzida na Malásia no século XIX devido ao alto valor da borracha feita a partir de seu látex. Lee et al. (2016) estudaram o efeito do tratamento térmico sob painéis de seringueira e UF e concluíram que em partículas tratadas termicamente a 150°C por 2h resultaram em painéis com maior estabilidade dimensional. Os painéis de seringueira podem ser utilizados para uso comercial, industrial e uso geral sem suporte de carga.

Gilio (2020) produziu painel de alta densidade de seringueira e resina PU-mamona que pode ser utilizado para fins industriais, suporte de cargas pesadas e pavimento. Trevisan (2021) produziu painéis de alta densidade com resultado superior, ou seja, que servem para fins industriais, pavimento e produção de móveis. Souza (2022) produziu painel de média densidade para uso comercial, móveis e fins não estruturais para uso interno em condições secas.

Outras espécies amazônicas estão sendo pesquisadas para produção de painéis de madeira aglomerada com resina PU-mamona. Marques (2020) produziu painéis de alta densidade de maçaranduba (*M. huberi*) e angelim-vermelho (*D. excelsa*). Os resultados demonstraram que apenas os painéis de angelim-vermelho atenderam a normativa para uso como pavimento. Criscuolo (2022) produziu painéis de alta densidade de marupá (*S. amara*) que podem ser aplicados para uso comercial

e para o suporte de cargas pesadas.

Madeiras nativas do sul e sudeste asiático como a cadamba (*L. cadamba*) e a teca (*T. grandis*) vem sendo estudadas para produção de painéis. Lias et al. (2014) utilizaram madeira de cadamba (*L. cadamba*) para produzirem painéis de UF. As partículas mais finas apresentaram desempenho mecânico superior. Além disso, o aumento da densidade está diretamente relacionado ao aumento de IE, MOR e MOE, e inversamente proporcional a AA. Os painéis de baixa densidade podem ser utilizados para núcleo de portas e mobília, enquanto que os de média densidade para uso industrial e mobília.

A madeira de teca tem sido utilizada para produção de aglomerados com PU-mamona. Arcangelo (2019) e Nasser (2019) produziram o juntos o mesmo painel de alta densidade que pode ser aplicado para pavimento e produção de móveis. Gilio (2020) produziu um painel de alta densidade de madeira teca com aplicação para Deckers.

Painéis de média densidade de madeira teca foram produzidos por Dias (2020) e servem para uso comercial, enquanto que os painéis de Celestino (2020) atenderam os requisitos para uso comercial e fabricação de móveis. E por fim, Souza (2022) produziu painel para uso comercial.

2.1.4 Painéis de bambu

Nesta subseção são apresentados trabalhos sobre aglomerados de bambu. A Tabela 4 apresenta os resultados mecânicos de painéis de diferentes espécies de madeira.

Tabela 4 – Resultados físico-mecânicos para painéis de bambu

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Ahmad, Kasim e Mohmod (2002)	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	8	12	561,00	10,77	38,48	9,18	1598,00	0,23	LD-2	-	-
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	10	12	561,00	8,50	36,41	9,91	1675,00	0,32	LD-2	-	-
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	12	12	561,00	7,31	34,22	11,32	1734,00	0,44	LD-2/ PBU	P-GP REG	-
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	8	12	561,00	16,39	49,07	9,77	1759,00	0,39	LD-2	P-FN REG	-
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	10	12	561,00	11,96	10,27	11,72	1896,00	0,51	LD-2	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	12	12	561,00	7,60	36,00	13,37	2083,00	0,61	LD-2	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	8	12	561,00	17,16	52,68	11,56	1985,00	0,48	LD-2	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	10	12	561,00	11,07	45,75	12,52	1959,00	0,45	LD-2	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	12	12	561,00	9,17	34,93	13,68	2168,00	0,67	LD-2	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	8	12	641,00	24,46	63,57	15,83	2480,00	0,39	M-S	P-GP REG	-
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	10	12	641,00	13,84	51,89	20,21	2759,00	0,59	M-3i	P-LB REG	P4

Continua

Continuação

Tabela 4 – Resultados físico-mecânicos para painéis de bambu

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	12	12	641,00	11,57	49,39	18,03	2649,00	0,67	M-3i/PBU	P-LB REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	8	12	641,00	22,18	59,89	17,87	2891,00	0,66	M-3i	P-FN REG	-
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	10	12	641,00	16,21	53,80	20,98	3071,00	0,78	M-3i	P-LB REG	P3
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	12	12	641,00	13,40	45,94	21,04	2989,00	0,94	M-3i	P-LB REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	8	12	641,00	17,81	46,43	17,05	2538,00	0,58	M-3i	P-LB REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	10	12	641,00	11,60	39,52	17,95	2684,00	0,72	M-3i/PBU	P-LB REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	12	12	641,00	10,55	34,09	19,12	2913,00	0,86	M-3i/PBU	P-LB REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	8	12	721,00	23,88	52,31	21,33	3059,00	0,50	M-3i	P-FN REG	-
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	10	12	721,00	15,08	42,91	24,40	3330,00	0,68	M-3i	P-HLB-REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 1 ano	UF	12	12	721,00	12,42	36,33	28,52	3613,00	0,69	M-3i/PBU	P-HLB-REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	8	12	721,00	20,45	48,38	17,37	2542,00	0,77	M-3i	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	10	12	721,00	15,17	40,20	23,94	3214,00	0,99	M-3i	P-HLB-REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 2 ano	UF	12	12	721,00	11,54	36,85	22,04	3132,00	1,11	M-3i/PBU	P-LB REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	8	12	721,00	20,94	42,40	18,28	2696,00	0,71	M-3i	P-FN REG	P2
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	10	12	721,00	12,69	37,16	20,21	2934,00	0,88	M-3i/PBU	P-LB REG	P4
	<i>G. scortechinii</i> 3 ano	UF	12	12	721,00	11,80	34,05	24,16	3544,00	1,04	M-3i/PBU	P-HLB-REG	P4
Toledo (2013)	<i>D. giganteus</i>	UF	8	12,70	1010,00	21,73	34,00	21,28	3566,71	0,90	H-3	P-FN REG	-
	<i>D. giganteus</i>	UF	10	12,70	980,00	19,36	30,62	24,90	3971,96	0,82	H-2	P-FN REG	-
	<i>D. giganteus</i>	UF	12	12,70	1030,00	8,81	18,75	28,69	4649,83	1,01	H-/PBU	P-HLB REG	-
	<i>D. giganteus</i>	UF	15	12,70	1010,00	9,68	18,11	29,64	4667,14	0,93	H-/PBU	P-HLB REG	-
Varanda et al. (2014)	<i>D. giganteus</i>	PU-Mamona	6	12,7	679,08	22,69	74,14	3,73	351,11	-	-	-	-
	<i>D. giganteus</i>	PU-Mamona	8	12,7	616,51	15,29	80,65	4,55	659,04	-	-	-	-
	<i>D. giganteus</i>	PU-Mamona	10	12,7	705,29	13,53	58,84	4,76	711,14	-	-	-	-
	<i>D. giganteus</i>	PU-Mamona	12	12,7	641,38	8,17	64,73	5,64	757,3	-	-	-	-
Valarelli et al. (2014)	<i>D. giganteus</i>	UF	6	12,7	610,68	17,24	74,37	2,43	677,74	-	-	-	-
	<i>D. giganteus</i>	UF	10	12,7	630,74	8,58	48,23	7,78	1515,55	-	-	-	-
Archangelo (2016)	<i>D. giganteus</i>	PU-mamona	12	12,7	955,83	5,32	11,63	30,93	3889,67	5,52	D-2/PBU	P-LB REG	-
Azambuja (2016)	<i>D. giganteus</i>	UF	12	13,00	749,00	12,10	-	10,00	2381,00	0,32	M-0	-	-
Nasser (2016)	<i>D. giganteus</i>	PU-mamona	12	10	908,8	3,82	10,13	23,05	3006,53	4,67	D-3/PBU	P-HLB REG	-
Brito (2018)	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	580,00	19,49	89,58	7,41	556,25	0,75	LD-2	-	-
	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	580,00	18,60	84,41	7,54	553,77	0,64	LD-2	-	-
	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	590,00	10,65	92,79	6,38	588,64	0,62	LD-2	-	-
	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	590,00	14,15	79,24	7,21	630,40	0,58	LD-2	-	-
	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	610,00	10,63	77,27	7,40	980,61	0,77	LD-2	-	-
Bazzetto, Bortoletto e Brito (2019)	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	580,00	8,90	43,70	7,20	927,00	0,27	LD-2	-	-
	<i>D. asper</i>	UF	10	15,70	580,00	8,90	44,10	6,00	774,00	0,28	LD-2	-	-

Continua

Conclusão

Tabela 4 – Resultados físico-mecânicos para painéis de bambu

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
<i>D. asper</i>		UF	10	15,70	590,00	9,30	42,20	7,60	981,00	0,25	LD-2	-	-
<i>D. asper</i>		UF	10	15,70	590,00	9,40	45,40	5,20	693,00	0,26	LD-2	-	-

Fonte: o autor (2023)

2.1.4.2 *D. giganteus*

Toledo (2013) desenvolveu painéis de alta densidade de *D. giganteus* e resina UF que podem ser utilizados para fins industriais, produção de móveis e suporte de cargas pesadas. Para painéis de baixa densidade não foi possível atender a nenhuma normativa (VALARELLI et al., 2014). Azambuja (2016) conseguiu produzir um painel de média densidade que se adequa ao uso comercial (não estrutural).

O uso da resina PU-mamona para produção de painéis demonstrou resultados similares. Varanda et al. (2014) não conseguiu atender a nenhuma normativa para painéis de média densidade. Entretanto, Archangelo (2016) e Nasser (2016) produziram painéis de alta densidade que servem para Deckeres, pavimento e suporte de cargas pesadas.

2.1.4.3 *D. asper*

Brito (2018) e Bazzetto, Bortoletto e Brito (2019) produziram painéis de baixa densidade de *D. asper* e 10% de UF. Os painéis conseguiram atender a normativas para núcleo de portas. Não foram encontrados aglomerados de *D. asper* e PU-mamona na literatura.

2.1.4.1 *G. scortechinii*

Ahmad, Kasim e Mohmod (2002) estudaram painéis feitos de *G. scortechinii* e UF. Foi observado que os indivíduos de 3 anos de idade obtiveram melhor desempenho mecânico (LD-2 e P2). O aumento do teor de adesivo de 8% para 10% trouxe maior resistências físico-mecânica. Os painéis de baixa densidade pode ser utilizados como núcleo de portas, produção de móveis e uso não estrutural. Enquanto que os painéis de média densidade podem ser utilizados para uso comercial, industrial, uso estrutural, fabricação de móveis e suporte de cargas pesadas. Para esta espécie também não foram encontrados painéis de PU-mamona.

2.1.5 Painéis de resíduos lignocelulósico

Nesta subseção são apresentados trabalhos sobre aglomerados de resíduos lignocelulósico. A Tabela 5 apresenta os resultados mecânicos de painéis de diferentes tipos de resíduos lignocelulósicos.

Tabela 5 – Resultados físico-mecânicos para painéis de resíduos lignocelulósico

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Osarenmwinda e Nwachukwu (2007)	Casca de arroz 1 mm	UF	20	19,00	720,00	10,90	38,53	14,20	1958,00	0,44	M-S	-	-
	Casca de arroz 1,18 mm	UF	20	19,00	720,00	11,01	40,98	13,46	1789,28	0,39	M-S	-	-
	Casca de arroz 2 mm	UF	20	19,00	720,00	11,20	42,92	11,84	1687,00	0,34	M-0	-	-
	Casca de arroz 2,36 mm	UF	20	19,00	720,00	11,25	44,85	11,59	1640,00	0,32	M-0	-	-
	Casca de arroz 2,8 mm	UF	20	19,00	720,00	11,51	47,21	11,11	1590,00	0,28	-	-	-
Garzón et al. (2012)	Bagaço de cana-de-açúcar	PU-mamona	15	10	883,00	21,2	21,86	21,86	2770	1,18	H-3	P-FN REG	-
Fiorelli et al. (2012)	Fibra da casca de coco	PU-mamona	10-15	11	800,00	15,30	36,59	17,94	1405,00	1,80	M-0	P-GP REG	-
	Fibra de casca de coco	PU-mamona	10-15	10	1000,00	19,67	22,38	17,92	1396,00	2,07	-	P-GP REG	-
Fiorelli et al. (2013)	Bagaço de cana-de-açúcar	PU-mamona	10-15	10	883,00	42	53,2	21,2	2570	0,34	-	P-GP REG	-
Barbirato et al. (2014)	Casca de amendoim	PU-mamona	15	10	800	14,62	33,45	12	1538	-	-	-	-
Varanda et al. (2014)	Casca de aveia	PU-mamona	10	10	1016,00	4,20	6,80	24,00	1942,00	1,60	PBU	P-FN REG	-
	Casca de aveia	PU-mamona	10	10	1016	4,2	6,8	24	1942	1,6	PBU	P-FN REG	-
Magzoub et al. (2015)	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	17	10,00	722,07	43,43	87,84	16,91	2100,00	0,34	M-0	P-GP REG	-
Baldin (2016)	<i>Eragrostis plana</i>	UF	10	9,50	690,00	70,23	-	4,43	698,38	0,04	-	-	-
Cravo et al. (2015)	Casca de amendoim	PU-mamona	15	10	542,06	18,92	61,13	1,82	333,8	0,159	-	-	-
Minillo (2016)	Bagaço de cana-de-açúcar	PU-mamona	10	10	934,18	26,42	61,03	10,38	1403	0,9	-	-	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	PU-mamona	10	10	771,14	48,12	40,8	7,52	1300	0,31	-	-	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	PU-mamona	10	10	888,00	17,79	42,99	15,5	1395	1,02	-	P-GP REG	-
Viana (2016)	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	17,2	12,5-15	717,79	22,17	-	3,45	509,10	0,06	-	-	-
Machado et al. (2017)	Casca do coco babaçu	PU-mamona	12	10	920,00	58,98	86,34	14,48	1267,85	0,92	-	P-GP REG	-
	Casca do coco babaçu	PU-mamona	12	10	910,00	56,07	75,32	39,98	3381,13	1,47	H-3	P-FN REG	-
	Casca do coco babaçu	PU-mamona	12	10	910,00	56,91	76,38	25,65	2771,72	1,14	H-3	P-FN REG	-
Brito et al. (2018)	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	10	15,70	590,00	40,91	135,77	12,87	798,64	0,22	LD-2	-	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	10	15,70	590,00	46,83	133,55	15,51	718,07	0,20	LD-2	-	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	10	15,7	590,00	44,75	140,50	11,77	1096,57	0,15	LD-2	-	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	10	15,70	600,00	41,84	138,20	13,50	692,58	0,23	LD-2	-	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	10	15,70	600,00	47,87	139,86	13,66	849,14	0,16	LD-2	-	-
Iswanto et al. (2018)	Casca de maracujá	UF	12	10	750,00	60,99	107,91	3,17	452,33	0,26	-	-	-

Continua

Conclusão

Tabela 5 – Resultados físico-mecânicos para painéis de resíduos lignocelulósico

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
	Casca de maracujá	UF	14	10	780,00	61,10	107,99	5,46	789,13	0,34	-	-	-
	Casca de maracujá	UF	10	10	830,00	83,69	168,34	4,20	657,01	0,19	-	-	-
Archangelo (2019)	Casca de arroz	PU-mamona	12	12,7	727,6	6,12	12,94	13,49	1799,38	0,59	M-S/PBU	P-GP REG	-
Lima (2019)	Fibra de Piaçaba	PU-mamona	15	9,00	606,48	7,31	-	17,15	1583,04	-	-	-	-
Nasser (2019)	Casca de amendoim	PU-mamona	13	12,7	915,00	15,53	22,78	10,86	1552,8	3,62	-	P-GP REG	-
Silva (2019)	Caroço do Açaí	PU-mamona	15	10	999,5	11,11	36,64	3,94	486,78	-	-	-	-
Sugahara et al. (2019)	Bagaço de cana-de-açúcar	UF	10	10	966,00	65,60	-	18,00	2420,00	0,95	H-1	P-FN REG	-
	Bagaço de cana-de-açúcar	PU-mamona	10	10	882,00	10,9	-	31	3020	2,52	H-3/PBU	P-LB REG	-
Varanda et al. (2019)	Casca de aveia	PU-mamona	14	10	913,00	-	-	27	2171	-	-	-	-
	Casca de aveia	PU-mamona	12	10	913,00	-	-	24,9	2078	-	-	-	-
	Casca de aveia	PU-mamona	10	10	913,00	-	-	24,5	1942	-	-	-	-
Bispo (2020)	Fibra da casca coco	PU-mamona	10	10	750	10,38	35,33	16,7	1841	0,53	M-S/PBU	P-FN REG	P2
Oliveira et al. (2021)	Espiga de milho	UF	6	15,00	640,00			7,41	2168,00	0,21	LD-2	-	-
	Espiga de milho	UF	9	15,00	620,00			8,08	3540,00	0,21	LD-2	-	-
	Espiga de milho	UF	12	15,00	610,00			12,58	4250,00	0,21	LD-2	-	-

Fonte: o autor (2023)

2.2.5.2 Bagaço de cana-de-açúcar

Painel de bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e resina UF foram investigados. É importante destacar que a parte externa da casca de cana-de-açúcar é hidrofóbica e reduz a aderências das partículas à resina de UF causando inchamento em espessura.

Painéis de média densidade foram produzidos por Magzoub et al. (2015) com 17% de UF e apresentaram desempenho mecânico adequado para uso comercial e uso geral. Viena (2016) também utilizou 17% de adesivo, porém seus painéis não apresentaram boa adesão de partículas, principalmente devido a maior espessura adotada.

Brito et al. (2018) conseguiram produzir painéis de baixa densidade para núcleo de porta. Sugahara et al. (2019) produziu painéis de alta densidade que apresentaram elevado desempenho mecânico e podem ser aplicados para uso industrial e fabricação de móveis.

Os painéis de PU-mamona e BCA de alta densidade estão em fase de

pesquisa, havendo alguns estudos sobre eles. Garzón et al. (2012) obteve um painel para uso industrial e mobiliário. Fiorelli et al. (2013) e Minillo (2016) obtiveram painéis com aplicabilidade para uso geral devido ao menor teor de adesivo utilizado.

De alguma forma Sugahara (2019) conseguiu desenvolver um painel de BCA com alto desempenho mecânico. O painel pode ser utilizado para uso industrial e suporte de carga.

2.2.5.4 Cascas

Osarenmwinda e Nwachukwu (2007) investigaram o efeito da espessura das partículas de casca de arroz no desempenho mecânico de painéis de UF de média densidade. Os painéis com menor espessura apresentaram melhor estabilidade e maior resistência mecânica e aplicabilidade para uso comercial. Archangelo (2019) produziu painéis de casca de arroz e PU-mamona que tiveram um desempenho mecânico melhor, podendo ser utilizados para uso comercial, pavimento e uso geral.

Painéis de alta densidade de casca de aveia e resina PU-mamona foram produzidos por Varanda (2014). Estes painéis apresentaram resistência adequada para fabricação de móveis. A casca de amendoim também foi utilizada para produzir painéis com PU-mamona. Barbirato et al. (2014) e Nasser (2019) produziram painéis de alta densidade com resultados muito similares, e o painel pode ser empregado para uso geral (não estrutural). Cravo et al. (2015) ao produzir painéis de média densidade de casca de amendoim não conseguiu atender a nenhuma normativa. Estes resultados podem ser explicados pela baixa afinidade da casca de amendoim à resina e devido a forma das partículas que requerem uma maior compactação.

Painéis de fibras de casca de coco também têm sido estudados para reutilização deste resíduo. Fiorelli et al. (2012) utilizaram fibras de casca de coco e PU-mamona para produzir painel de alta densidade cujos resultados mecânicos confirmam que podem ser utilizados para uso comercial e uso geral. Bispo (2020) produziu painéis de média densidade de fibras de casca de coco e PU-mamona e obteve um painel com aplicações para pavimento, fabricação de móveis e não estrutural de uso interno.

Machado et al. (2017) produziram painel de alta densidade de casca do coco babaçu e PU-mamona. O painel de casca de coco babaçu atendeu as normativas para uso industrial, produção de móveis e uso geral. Também de origem de uma palmeira,

as fibras de piaçaba são compridas e finas que conferem maior coeficiente de esbeltez. Lima (2019) encontrou alta resistência mecânica para painéis de alta densidade de piaçaba. Entretanto, não foi possível determinar o valor de AI para esses painéis, o que impossibilita a correta classificação normativa.

Nem sempre um resíduo vai ser eficiente para conferir resistência mecânica para os painéis como é da biomassa de *E. plana*. O revestimento das fibras de *E. plana* composto por cutina, uma substância hidrofobia que não interage quimicamente com a resina UF e resultam em desempenho mecânico insatisfatório (BALDIN, 2016).

Por fim, outras cascas tem sido utilizadas para produzir painéis. Iswanto et al. (2018) observou o mesmo efeito hidrofóbico na casca de maracujá, pois nenhum painel de alta densidade conseguiram atender às normativas. A explicação para estes resultados está na composição química da biomassa da casca de maracujá que é hidrofóbica e não absorve adequadamente a resina de UF. A biomassa de casca de maracujá provavelmente possui alto teor de celulose que explica o maior inchamento em espessura e absorção de água.

Silva (2019) utilizou o resíduo do caroço do açaí para produzir painéis de alta densidade com PU-mamona. Os resultados foram negativos e indicam que talvez os caroços do açaí não sejam adequados para produzir painéis devido ao baixo desempenho mecânico.

Oliveira et al. (2021) estudaram a utilização de resíduos de espiga de milho aglomerada com UF para produzir painéis de baixa densidade. Os resultados demonstraram que este resíduo pode ser utilizado para produção de núcleos de porta.

2.2.6 Painéis híbridos

Nesta subseção são apresentados trabalhos painéis aglomerados híbridos. A Tabela 6 apresenta os resultados mecânicos de painéis de painéis híbridos de diferentes tipos de biomassas.

Tabela 6 – Resultados físico-mecânicos para painéis híbridos

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
Varanda et al. (2013)	70% <i>E. grandis</i> + 30% Casca de <i>Avena sativa</i>	PU-mamon a	10	10	946	5,5	6	20	2342	1,74	H-2/PBU	P-LB REG	-
	85% <i>E. grandis</i> + 15% Casca de <i>Avena sativa</i>	PU-mamon a	10	10	941	4,2	5,9	18	2366	1,65	H-1/PBU	P-LB REG	-
Castro Júnior et al. (2014)	60% madeira + 40% BCA	PU-mamon a	15	10	516,00	11,19	55,61	12,03	1207,00	-	-	-	-
Magzoub et al. (2015)	50% <i>E. camaldulensis</i> + 50% BCA	UF	17	10	695,31	38,75	87,06	11,19	1776,75	0,30	-	P-GP REG	-
	30% <i>E. camaldulensis</i> + 70% BCA +	UF	17	10	597,35	31,62	87,29	11,16	1755,86	0,46	LD-2	P-GP REG	-
Cravo et al. (2015)	50% casca de amendoim e 50% fibra de casca de coco	PU-mamon a	15	10	503,04	18,1	68,33	3,88	445,2	0,256	-	-	-
Baldin et al. (2016)	50% <i>P. spp.</i> + 50% <i>E. plana</i>	UF	10	9,50	690,00	54,92		3,75	871,50	0,07	-	-	-
Guimarães Junior et al. (2016)	85% Eucalipto + 15% sorgo	UF	12	15	460,00	31,41	150,58	5,34	914,80	0,17	LD-2	-	-
	55% Eucalipto + 45% sorgo	UF	12	15	460,00	33,42	175,65	3,53	823,86	0,13	LD-1	-	-
	70% Eucalipto + 30% sorgo	UF	12	15	440,00	30,72	151,91	5,34	927,20	0,14	LD-2	-	-
Minillo (2016)	70% eucalipto + 30% BCA	PU-mamon a	10	10	673,15	39,91	42,81	5,63	1084	0,32	-	-	-
	70% eucalipto + 30% BCA	PU-mamon a	10	10	880,74	22,16	52,69	16,76	1023	1,39	-	P-GP REG	-
Nasser (2016)	70% bambu e 30% amendoim	PU-mamon a	12	10	917,46	2,02	7,74	21,19	2801,18	1,57	D-2/PBU	P-LB REG	-
	80% bambu e 20% amendoim	PU-mamon a	12	10	919,24	1,82	7,6	21,36	2971,02	1,54	D-2/PBU	P-LB REG	-
	90% bambu e 10% amendoim	PU-mamon a	12	10	923,13	1,62	6,88	22,47	3053,44	1,49	D-2/PBU	P-LB REG	-
Buzo et al. (2019)	60% madeira + 40% BCA	PU-mamon a	10	10	935	62,2		15	2416	1,14	H-1	P-FN REG	-
	60% madeira + 40% BCA	PU-mamon a	10	10	1060	6,8	-	35	3555	2,23	D-3/PBU	P-HLB REG	-
Soares et al. (2017)	40% <i>E. grandis</i> + 60% BCA	UF	10	15,00	530,00			3,29	195,65	0,10	-	-	-
	60% <i>E. grandis</i> + 40% BCA	UF	10	15,00	520,00			3,63	377,03	0,13	-	-	-
	80% <i>E. grandis</i> + 20% BCA	UF	10	15,00	530,00			5,46	451,08	0,14	-	-	-
Brito (2018)	25% <i>D. asper</i> + 75% BCA	UF	10	15,70	590,00	29,47	119,44	10,55	1054,15	0,25	LD-2	-	-

Continua

Conclusão

Tabela 6 – Resultados físico-mecânicos para painéis híbridos

Autor(es)	Biomassa	Resina	Teor (%)	E (mm)	DA (kg/m ³)	IE (%)	AA (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	IB (MPa)	ANSI	ISO	ABNT
	50% <i>D. asper</i> + 50% BCA	UF	10	15,70	600,00	26,17	112,63	8,77	1028,13	0,24	LD-2	-	-
	75% <i>D. asper</i> + 25% BCA	UF	10	15,70	600,00	17,39	94,28	7,41	996,70	0,36	LD-2	-	-
Dias (2020)	70% Madeira Teca +30% estirpe de pupunha	PU-mamon a	12	12,7	698,85	12,74	54,36	13,97	1899	1,13	M-S	P-FN REG	P2
Borges (2022)	50% <i>E. grandis</i> + 50% casquilho de soja	UF	12	15,00	550,00	51,39	139,13	6,14	1050,00	0,41	LD-2	-	-
Kligenberg (2022)	Flamboyant + 70% <i>P. caribaea</i>	UF	10	15,70	693,00	23,47	67,10	11,94	2064,82	0,93	M-S	-	-
	30% Sibipiruna + 70% <i>P. caribaea</i>	UF	10	15,70	703,00	12,44	53,08	12,34	2066,31	0,73	M-S	-	-

Fonte: o autor (2023)

Painéis de *E. camaldulensis* e resina UF com adição de BCA de 50% para 70% reduziu a densidade do painel. A redução da densidade permite utilização além de uso geral também para núcleo de porta (MAGZOUN et al., 2015). Resultados similares foi observado para painel de *E. grandis* e UF com adição de 50% de casquilho de soja (BORGES, 2022).

Soares et al. (2017) percebeu que em painéis de baixa densidade de *E. grandis* e UF o incremento de BCA de 20% para 60% reduziu o desempenho mecânico tornando o painel impróprio para uso. É importante destacar que o desempenho mecânico depende principalmente do tipo de madeira utilizada e da densidade do painel. Minillo (2016) produziu painéis de média densidade de eucalipto com 30% de BCA e obteve resultado inferior aos painéis de madeira com 40% de BCA (BUZO et al., 2019).

Painéis de *P. caribaea* (70%) com adição de 30% de *Flamboyant* ou Sibipiruna aglomerados com 12% de UF obtiveram resultados mecânicos inferiores aos de painéis com 100% de *P. caribaea* com 8% UF (KLIGENBERG, 2022). A explicação para este resultado pode estar na composição química das madeiras adicionadas que apresentam uma absorção de resina inferior à de *P. caribaea*.

Resultado inverso foi observado por Brito (2018) ao aumentar o teor de BCA em painéis de *D. asper* e UF. Os painéis com maior teor de BCA apresentaram

maiores valores de MOR e MOE. No entanto, devido a característica hidrofóbica do revestimento externo o incremento de BCA causou redução do AI. Nasser (2016) percebeu que a adição de casca de amendoim em painéis de alta densidade reduziram o MOR e MOE de painéis de bambu e PU-mamona, porém aumentaram o AI do painel devido a melhor compatibilidade entre a casca de amendoim e a resina.

Painéis de média densidade de *T. grandis* e PU-mamona com adição de biomassa de estirpe de pupunheira (30%) resultou no aumento do MOR e redução do MOE. Porém, quando comparado com painéis de média densidade de *T. grandis* a adição de pupunha teve resultado positivo sobre as propriedades mecânicas do painel.

2.2 A ESPÉCIE FLORESTAL

T. vulgaris é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae que apresenta ocorrência em regiões de cerrado e floresta amazônica na América do Sul, desde as Guianas até o Peru e em todo o Brasil central (FLECHTMANN, 1998; MARIMON et al., 2006; BRAZ et al., 2014; NÁVIA). Na literatura, os nomes científicos *Sclerobium paniculatum* Vogel e *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima são utilizados para referir-se a espécie. Silva e Lima (2007) estudou as características fisiológicas das folhas e flores e concluiu que *S. paniculatum* é sinônimo de *T. vulgaris* porque diferem apenas em algumas características da flor (pistilo preso ao estipe, pubescência de perianto e inflorescência) (MACEDO et al., 2014).

Dois atributos corroboram para sua importância: 1) poder calorífero entre 4.390 – 4.849 kcal/kg (SANTANA, 2010; LISBOA et al., 2016; ORELLANA et al., 2018; SILVA et al., 2021; VALE; DIAS); 2) crescimento rápido (altura: 2,2 - 2,5 m/ano; diâmetro: 2,05-3,40 cm/ano) devido à presença de bactérias *Rhizobium* (fixadoras de N₂) nas raízes, o que contribuem para seu rápido desenvolvimento e, como sua madeira de baixa/média densidade (470 – 780 kg/m³), promove a absorção acelerada de CO₂ atmosférico (VALE; DIAS; SANTANA, 2010; FREIRE et al., 2020; SILVA et al., 2021; BARROS-JUNIOR et al., 2022).

T. vulgaris é a segunda espécie mais importante do cerrado e é muito utilizada para produção de lenha e carvão (JUNIOR; HARIDASAN, 2005; VIDOTTO et al., 2007; AQUINO; WALTER; RAIEIRO, 2007; ARAÚJO et al., 2011;

FRANCZAK et al., 2011). Essas características tornam *T. vulgaris* ideal para plantios de florestas com fins energéticos (SOUZA et al., 2008; MIGUEL et al., 2011; RAMOS et al., 2021; DE SOUSA et al., 2019; FREIRE et al., 2020).

Por ser uma espécie pioneira e nativa muitas pesquisas têm sido feitas com fertilizantes NPK a fim de aumentar a taxa de sobrevivência e crescimento de mudas de sob condições ambientais adversas (estresse hídrico, solo degradado, etc.) (DE ABREU; PORTO; NOGUEIRA, 2017; DE MORAIS; ROSSI; HIGA, 2017; SIMÕES et al., 2017; SIMÕES et al., 2020; SIMÕES et al., 2022).

Mudas com taxa de sobrevivência 40% maior foram produzidas em viveiro aplicando 50% de sombreamento (FREITAS et al., 2012; SOUZA et al., 2019). Plantios experimentais nos estados do Pará, Roraima e Amapá mostraram IE de até 78% em espaçamentos maiores (3x3, 3x4 e 4x4), que pode ser explicada pela formação de copa e competição interespecífica por luz (FARIAS et al., 2016; ORELLANA et al., 2018; TONINI et al., 2018; CRUZ et al., 2020; RODRIGUES et al., 2020; SILVA et al., 2021; BARROS-JUNIOR et al., 2022).

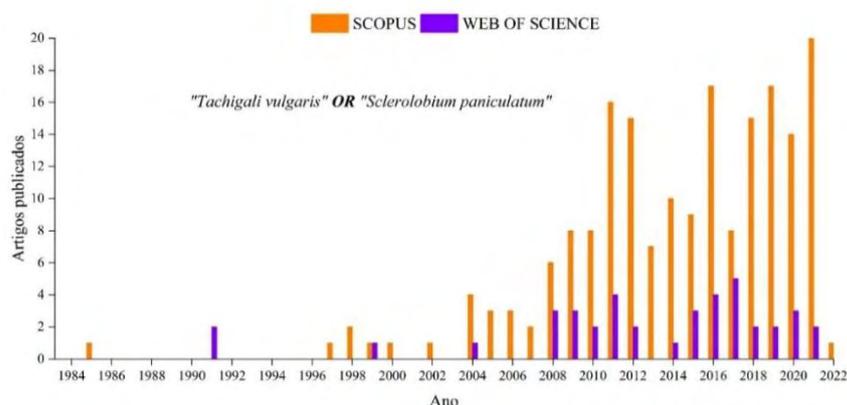
2.3 PAINÉIS DE *T. VULGARIS*

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados da *Scopus* e *Web of Science* a fim de verificar as informações referentes à produção de painéis de partículas homogêneas; identificar a evolução de pesquisas com a madeira de *T. vulgaris* para produção de painéis; bem como identificar a quantidade de trabalhos que tratem da produção de painéis de partículas desta espécie, na intenção de apurar os resultados e comprovar o ineditismo do tema desta pesquisa.

Desta forma, a busca foi realizada utilizando a categoria “*todos os campos*” (*all fields*) em 3 subdivisões:

- 1) “*Tachigali vulgaris*” OR “*Sclerolobium paniculatum*” (Figura 3);
- 2) “*Tachigali vulgaris*” OR “*Sclerolobium paniculatum*” AND “*particleboard*” (Figura 2);
- 3) “*Tachigali vulgaris*” OR “*Sclerolobium paniculatum*” AND “*painel*”;

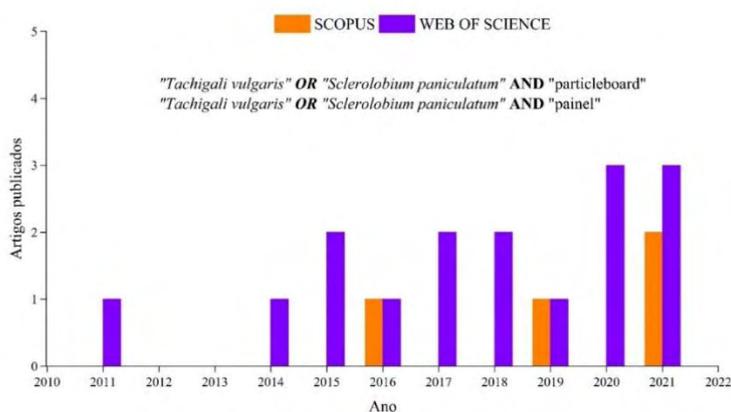
Figura 3 – Artigos publicados que contêm o nome científico ou sinônimo de Taxi-branco em bancos de dados da SCOPUS e Web of Science.



Fonte: o autor (2023)

Dos 20 artigos publicados apresentados na Figura 4, apenas 1 artigo publicado.

Figura 4 – Artigos publicados que contêm o nome científico e/ou sinônimo de *T. vulgaris* e a palavra “particleboard” e/ou “painel” em bancos de dados da SCOPUS e Web of Science.



Fonte: o autor (2023)

Em 2016 observou a existência de um trabalho publicado de *T. vulgaris* para produção de painel compensado (Tabela 7). Não há publicações sobre painéis de partículas homogêneas para *T. vulgaris* na literatura consultada.

Tabela 7 – Publicações que contêm o nome da espécie e/ou sinônimo e a palavra “particleboard”/“painel”.

Título do artigo	Ano	Base de dados
Charcoal as amendment to substrate of seedlings of <i>Tachigali vulgaris</i> LG Silva & HC Lima	2011	WEB OF SCIENCE
Wood anatomy of seven species of <i>Tachigali</i> (Caesalpinioideae-leguminosae)	2014	WEB OF SCIENCE
Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradao) in the Cerrado-Amazon transition zone	2015	WEB OF SCIENCE
How do Neotropical pygmy squirrels (<i>Sciurillus pusillus</i>) use seasonally flooded forests in the Peruvian Amazon?	2015	WEB OF SCIENCE
Survival and growth of native <i>Tachigali vulgaris</i> and exotic <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia	2016	WEB OF SCIENCE
Potential use <i>Sclerolobium paniculatum</i>, <i>Myracrodruon urundeuva</i> and <i>Amburana cearensis</i> wood for plywood production	2016	SCOPUS
First record of <i>Poekillopteraphalaenoides</i> found on <i>Tachigali vulgaris</i> (Fabaceae: Caesalpinioideae) in southwestern of Goias, Brazil	2017	WEB OF SCIENCE
Methods of Breaking Dormancy and Germination Substrates for <i>Tachigali vulgaris</i> L.G. Silva & H.C. Lima	2017	WEB OF SCIENCE
Leaf traits explaining the growth of tree species planted in a Central Amazonian disturbed area	2018	WEB OF SCIENCE
Energetic density of <i>Tachigali vulgaris</i> wood by diametric class in two experimental plants in the Amazon	2018	WEB OF SCIENCE
Environments for seedling production and nodulation by rhizobia in <i>Tachigali vulgaris</i>	2019	WEB OF SCIENCE
Prediction of properties of <i>Sclerolobium paniculatum</i> and <i>Qualea grandiflora</i> charcoal	2019	SCOPUS
Growth and mortality of <i>Tachigali vulgaris</i> L. G. Silva and H. C. Lima in different planting spacing for biomass production	2020	WEB OF SCIENCE
Symbiotic efficiency of inoculation with nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Tachigali vulgaris</i> seedlings	2020	WEB OF SCIENCE
Genetic parameters and initial selection of <i>Tachigali vulgaris</i> provenances and progenies in Roraima	2020	WEB OF SCIENCE
Soil seed bank under <i>Tachigali vulgaris</i> (LG Silva & HC Lima) plantations in different spacing in the eastern region of the State of Para, Amazon	2021	WEB OF SCIENCE
Thermogravimetric characteristics and combustion of <i>Tachigali vulgaris</i> wood planted at different spacings	2021	WEB OF SCIENCE
Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes	2021	WEB OF SCIENCE
Influence of wood species and adhesive type on the performance of multilaminated plywood	2021	SCOPUS
Characterization of wood from <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> Huber x Ducke trees from a multi-stratified agroforestry system established in the Amazon rainforest	2021	SCOPUS

Fonte: o autor (2023)

Neste contexto, o potencial da biomassa de *T. vulgaris* para produção de painéis permanece pouco explorado, havendo um único estudo sobre painéis compensados (LISBOA et al., 2016).

Diferentemente da queima de lenha/carvão que liberam gases poluentes (SO₂, NO₂, CO₂ etc.), hoje em dia, há uma preocupação com a produção de materiais não-poluentes e ecologicamente corretos (FIORELLI et al., 2018). Esta

demanda crescente por materiais renováveis, o crescimento populacional e o padrão de consumo tornam urgente a pesquisa por novas fontes sustentáveis (MESQUITA et al., 2018).

A resistência à água da resina PU-Mamona mantém a estabilidade dimensional dos painéis, e a torna ideal para ambientes úmidos, como a região amazônica. Diversos trabalhos têm utilizados fibras naturais e resíduos amazônicos (juta, açaí, paricá, castanha da Amazônia etc.) aglomerados com PU-mamona por sua resistência à umidade (FIORELLI et al., 2018; MESQUITA et al., 2018; NOGUEIRA; LAHR; GIACON, 2018).

Os painéis aglomerados apresentam uma única camada feita a partir de biomassa lignocelulósica aglutinada com resina sintética, e consolidada com pressão e temperatura (ZHANG et al., 2018). A resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU-Mamona) vem sendo pesquisada como alternativa as resinas à base de formol, com menor impacto ambiental e à saúde humana (GAMA; FERREIRA; BARROS-TIMMONS, 2019).

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que há uma maioria de painéis de UF que se adequaram a ANSI A208.1:2016 (73%) e que estes correspondem a painéis de baixa e média densidade. De outro modo, uma minoria de painéis de baixa densidade feitos com PU-mamona atendeu esta normativa.

A quantidade de painéis de PU-Mamona que não atenderam a ISO 16893:2016 foi cerca de 4 vezes maior que para UF. No entanto, estes poucos painéis que atenderam obtiveram desempenho mecânico superior, indicando que a resina de PU-mamona possui características superiores quando comparada com resina UF.

Como há uma minoria de painéis de PU-mamona de média densidade é razoável que a maioria não atenda a faixa de densidade da NBR 14810-2:2018. Apenas 3,7% dos painéis de média densidade de PU-Mamona conseguiram atender as exigências da normativa brasileira. A ISO 16893:2016 e a NBR 14810-2:2018 são as normas menos e mais exigente, respectivamente. Desta forma, recomenda-se a normativa ANSI A208.1:2016 para avaliar os parâmetros físico-mecânicos de painéis por apresentar exigência intermediária.

3. CAPÍTULO 3 - ESTUDO ANATÔMICO DA MADEIRA DE TAXI-BRANCO

RESUMO

A espécie *Tachigali vulgaris* L. G. SILVA & H. C. LIMA, conhecido como taxi-branco, é uma espécie pioneira importante para produção de lenha e carvão que vem sendo plantada com fins energéticos e de recuperação de área degradadas. Embora existam estudos sobre a anatomia do taxi-branco, há poucas formas de diferenciar suas características anatômicas de espécies do mesmo gênero. O objetivo desta pesquisa foi identificar e descrever as características morfológicas da madeira de taxi-branco. A densidade da madeira foi determinada por imersão de cunhas em água. A aparência, cor e textura da madeira foram avaliadas pela macroscopia. Foram determinadas a partir de microscopia a descrição das seções transversal, radial e tangencial e o tamanho de fibras, parênquimas e vasos do macerado da madeira. A densidade básica média foi de 564 kg/m³. A análise macroscópica demonstrou um cerne de cor róseo-claro ao bege-pardacento e um alburno pouco diferenciado, com tons mais claros. A microscopia revelou fibras libriformes curtas com paredes finas, raios homogêneos corpos de amido em seu interior e vasos solitários predominantes com placas de perfuração simples. Os resultados são relevantes para a identificação mais precisa da espécie e descrição de sua característica anatômica. No entanto, com não existem estudos anatômicos sobre as espécies com semelhanças morfológicas do gênero *Tachigali* a comparação dos resultados torna-se complexa de ser executada. Esta pesquisa fornece informações valiosas sobre as características anatômicas desta espécie para futuras investigações em tecnologia da madeira.

Palavras-chave: *Tachigali vulgaris*, Anatomia da madeira, Florestas homogêneas

ABSTRACT

The species *Tachigali vulgaris* L. G. SILVA & H. C. LIMA, known as taxi-branco, is an important pioneer species for the production of firewood and charcoal that has been planted for energy purposes and to recover degraded areas. Although there are studies on the anatomy of the taxi-branco, there are few ways of differentiating its anatomical characteristics from species of the same genus. The aim of this research was to identify and describe the morphological characteristics of white taxi-wood. The density of the wood was determined by immersing wedges in water. The appearance, color and texture of the wood were assessed by macroscopy. The description of the transverse, radial and tangential sections and the size of the fibers, parenchyma and vessels of the macerated wood were determined using microscopy. The average basic density was 564 kg/m³. Macroscopic analysis showed a light pink to beige-brown heartwood and a poorly differentiated sapwood with lighter tones. Microscopy revealed short libriform fibers with thin walls, homogeneous rays with starch bodies inside and predominantly solitary vessels with simple perforation plates. The results are relevant for a more precise identification of the species and a description of its anatomical characteristics. However, as there are no anatomical studies on species with morphological similarities in the genus *Tachigali*, comparing the results is complex. This research provides valuable information on the anatomical characteristics of this species for future research into wood technology.

Keywords: *Tachigali vulgaris*, Wood anatomy, Homogeneous forests.

3.1 INTRODUÇÃO

O taxi-branco foi descrito pela primeira vez na publicação “*Linnaea.XI - Ein Journal für die Botanik in ihrem ganzen Umfange*” como *Sclerolobium*, nome em latim que deriva do grego σκληρο λοβιο e significa lóbulo duro, devido a consistência lenhosa do vegetal (GARCKE et al., 1837). O nome científico *Sclerolobium paniculatum* Vogel é citado a primeira vez no livro “*Neue Beiträge zur Flora Surinams I.*” (PULLE, 1907). O termo *paniculatum* refere-se a panícula, um tipo de inflorescência formada por um conjunto de racemos, na qual os ramos decrescem da base para o ápice, assumindo forma cônica ou piramidal.

O gênero *Tachigali* apresenta 75 espécies conhecidas cuja identificação é complexa devido as semelhanças morfológicas (ORELLANA et al., 2018; WFO, 2023). O gênero *Sclerolobium* apresentava estreita relações com *Tachigali*, diferindo apenas pela posição do estipe do pistilo em relação ao receptáculo e simetria das flores, e outros pequenos detalhes. Estas similaridades fizeram com que Silva e Lima (2007) realizassem uma modificação da nomenclatura da espécie para *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima (Sinônimos: *Sclerolobium paniculatum* Vogel, *Sclerolobium paniculatum* Vogel var. *paniculatum*) (HUAMANTUPA-CHUQUIMACO et al., 2023).

Tachigali vulgaris apresenta semelhança morfológica com *T. guianensis* e *T. paraensis*, por causa da presença de pétalas lineares, entretanto, apresenta indumento na face abaxial dos folíolos (seríceo), e comprimentos do pecíolo (9,3 cm), da raque da folha (25,5 cm), do pedicelo (2 mm) e dos frutos (6 cm) (RODRIGUES et al., 2012). Na fase juvenil, *T. vulgaris* cresce melhor com 50% de sombreamento, no entanto no estágio adulto a competição interespecífica evidencia maiores diâmetros em plantios com espaçamentos maiores (ex.: 3m x 3m) (FELFILI et al., 1999; TONINI et al., 2018).

A identificação anatômica de *T. vulgaris* apresenta o mesmo problema da identificação taxonômica, ou seja, é difícil definir a qual espécie pertence uma amostra de madeira. O conhecimento sobre a anatomia da madeira de *T. vulgaris* é importante para subsidiar aplicações adequadas. A madeira de *T. vulgaris* é composta basicamente por fibras, parênquima axial, parênquima radial e vasos. Estes elementos podem apresentar diferenças significativas como resultados das condições ambientais (ex. vasos com pontoações guarnecidas associadas à secas no cerrado) (PIRES; MARCATI, 2005).

As características anatômicas fornecem informações valiosas sobre o desempenho físico-mecânico da madeira e suas possíveis aplicações tecnológicas. Por exemplo, comparando a microscopia da madeira e carvão de *T. vulgaris* evidenciou-se que a carbonização degrada inicialmente o parênquima radial aumentando a porosidade do carvão (BARAÚNA et al., 2021).

Este trabalho objetivou caracterizar o xilema secundário de *Tachigali vulgaris*, proveniente de plantios de floresta homogênea no estado do Amapá e que apresenta potencial para reflorestamento, produção de lenha/carvão e painéis de partículas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima) (SisGen N° AA58FCF) com 9 anos de idade é oriunda do plantio de florestas homogêneas campo experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Amapá (EMBRAPA-AP), em área com vegetação nativa de cerrado no município de Macapá-AP. Corpos de prova (2 cm x 2 cm x 2 cm) do cerne e alburno foram utilizados para análises macroscópica e microscópica.

3.2.1 Determinação da densidade básica

Para determinação da densidade da madeira foram retiradas cunhas opostas das extremidades do tronco a cada 1 m. A densidade básica (D_b) foi determinada conforme a NBR 11941 (ABNT, 2003).

3.2.2. Macroscopia

A madeira foi analisada no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais – LTPF da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Corpos de prova do cerne e alburno tiveram a seção transversal lixada com lixas de numeração 80, 100, 120, 150, 180, 220, 360, 600 e 1200. Foi utilizada lupa conta fios (10x) para obtenção das imagens macroscópicas seguindo as recomendações de Zenid e Ceccantini (2007), Botosso (2011) baseadas em IAWA (1989). Para identificação da madeira foi utilizada a descrição macroscópica do Museu Paraense Emílio Goeldi.

3.2.3. Maceração dos elementos celulares

Para o rompimento da lamela média foram utilizadas lascas de madeira imersas

em solução de Franklin (1945) em estufa (60°C) por 24h. Em seguida, o material foi lavado com água destilada e corado com Safranina 1%. O macerado foi analisado em lentes oclusivas de 4x (comprimento de fibras), 10x (comprimento e diâmetro dos vasos), 40x (espessura da parede celular). A descrição seguiu as recomendações de IAWA (1989) e biometria baseada na ficha de Mady (2007).

3.2.4. Microscopia

Os corpos de prova foram cozidos sob pressão (6-12 h) e cortes histológicos com espessura de 10-15 µm foram feitos em micrótomo de deslize (AO Spencer). Os cortes foram clarificados (hipoclorito de sódio), corados (Safranina aquosa), desidratados (série alcóolica 50-100%) e imersos em acetato de N-butila 1v:1v (15 min.) e 100% (10 min.). Os cortes histológicos das seções transversal, radial e tangencial foram preparados conforme Richter e Burger (1991), selados em meio de montagem Entellan e Bálsamo do Canadá, e secos em temperatura ambiente por 24 h.

As microfotografias foram feitas sob as oclusivas de 4x (200 µm), 10x (100 µm) e de 40x (20 µm) a partir de microscópio com câmera acoplada (Motic Panthera L). Foi utilizado o software Motic Images Plus 3.0 ML para medições. As imagens foram tratadas no software ImageJ para contagem dos vasos e raios do cerne/alburno e determinar suas frequências por mm² (MACEDO et al., 2014). As descrições anatômicas foram realizadas conforme Coradin e Camargos (2002) e IAWA (1989).

3.2.5. Análise dos resultados

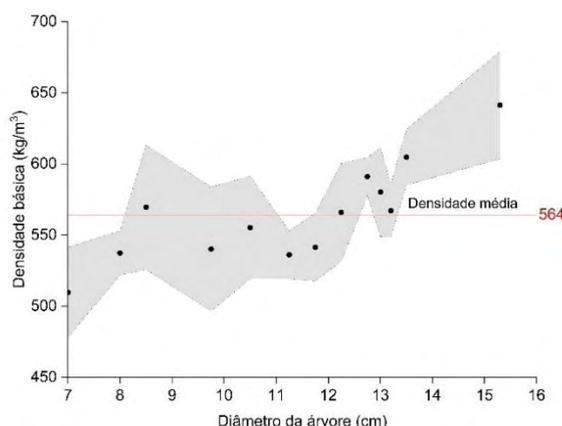
Foi realizado teste t-Student ao nível de 5% de significância a fim de comparar os valores obtidos para o cerne e alburno. Os resultados obtidos foram comparados com o da literatura para corroborar as informações acerca da identificação anatômica da espécie.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Densidade básica

Os valores de densidade de *T. vulgaris* variaram de 509-641 kg/m³, sendo o valor média igual a 564 kg/m³ (Figura 1).

Figura 1 – Densidade básica de *Tachigali vulgaris* de 9 anos de idade. Cada ponto corresponde à média de 2 pares de cunhas opostas e a região cinza ao desvio padrão (n =52).



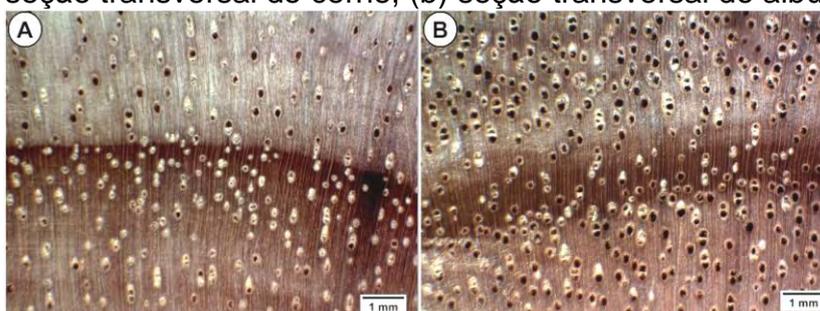
Fonte: o autor (2023)

De acordo com os dados de D_b de *T. vulgaris* e sabendo que 80% das árvores permanecem na classe diamétrica de até 13 cm a densidade básica pode variar de 480-600 kg/m³ nas (DE PAULA, 2005). A D_b de *T. vulgaris* aumenta em função do diâmetro do tronco conforme demonstrou os resultados de florestas homogêneas em cerrado (582 kg/m³) e terra-firme (562 kg/m³) no estado do Amapá (ORELLANA et al., 2018).

3.3.2 Macroscopia

A madeira de *T. vulgaris* apresenta cerne irregular quanto à cor, róseo-claro ao bege-pardacento, com reflexos róseos ou arroxeados. O alburno apresenta pouca diferenciação, com tons mais claros; textura média; grã reversa; superfície irregularmente lustrosa e áspera. Os anéis de crescimento ficam distintos pelo espessamento da parede das fibras formando zonas escurecidas (Figura 2A, Figura 2B).

Figura 2 – Macroscopia da madeira de *T. vulgaris* exibindo os elementos de vaso. (a) seção transversal do cerne, (b) seção transversal do alburno.



Fonte: o autor (2023)

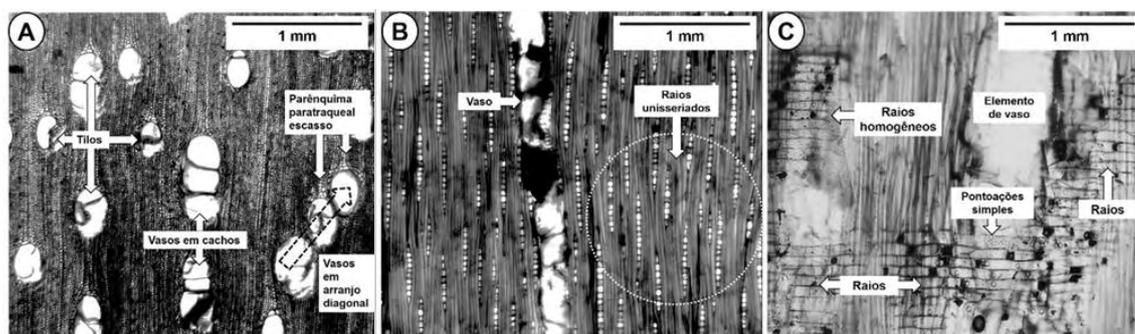
A porosidade é semi-porosa e possui majoritariamente poros solitários, e em menor quantidade poros múltiplos de 2-4. É possível ver os tilos na forma de obstrução dos poros (NISGOSKI et al., 2018).

Os resultados da análise macroscópica então coerente com descrição para o xilema secundário na literatura (Reis et al., 2011): 1) Parênquima paratraqueal escasso e apenas visível com ampliação de 10x, vasicêntrico e unilateral formando arranjos diagonais; 2) Os raios unisseriados visíveis a olho nu em seções transversal e tangencial; 3) Vasos visíveis a olho nu com predominância de vasos solitário e menor frequência de vasos em germinados de 2-3. 4) Anéis de crescimento com zonas fibrosas tangenciais mais escuras.

3.3.3 Microscopia e macerado

Descrição microscópica: **Fibras:** Fibras libriformes curtas (666,25-904,82 μm); paredes finas (2,89-3,11 μm); largura da fibras de 440,73-902,36 μm de comprimento; diâmetro do lume de 14,86-14,96 μm , os anéis de crescimento apresentam zonas fibrosas (Figura 2A, Figura 2B); **Raios:** altura (527,26-540,94 μm), largura (52,61-53,94 μm), frequência 1,37-1,48 raios/mm, exclusivamente unisseriados, não estratificados e homogêneos, constituídos de células procumbentes, altura em número de células de 3-12; **Vaso:** comprimento (251,01-463 μm), diâmetro (226,70-278,72 μm), largura do lume (203,83-255,86 μm), espessura da parede (11,4-11,43 μm), porosidade semi-porosa, vasos solitários predominantes, múltiplos 2-3, pontoações radio vasculares simples; Parênquima axial - paratraqueal vasicêntrico escasso (Figura 3A).

Figura 3 – Microscopia de *T. vulgaris*:(a) seção transversal exibindo vasos, tilos e parênquima axial; (b) seção tangencial mostrando raios e vaso; (c) seção radial que apresenta elemento de vaso, raios e pontoações os pontos em pretos dentro dos raios são incrustações de sílica.



Fonte: o autor (2023)

3.3.3.1 Fibras

As dimensões das fibras libriiformes de *T. vulgaris* relatadas na literatura foram: 1) comprimento 156-1620 μm ; 2) diâmetro (12-29 μm); 3) largura do lume (9-17 μm); 4) e espessura da parede celular (2-10 μm) (PIRES; MARCATI, 2005; OLIVEIRA et al., 2008; MACEDO et al., 2014). Os resultados observados foram similares ao relatados na literatura.

3.3.3.2 Raios

Os vasos de *T. vulgaris* citados na literatura possuem as seguintes dimensões: 1) altura (81-377 μm); 2) largura dos raios (11-48 μm); 3) frequência (6-14 vasos/mm) (PIRES; MARCATI, 2005; MACEDO et al., 2014). Os observados para os comprimento e largura dos raios foram superiores aos da literatura.

Os raios são homocelulares e apresentam corpos de sílica em seu interior. Corpos de sílica da Figura 4C dentro dos raios foram relatado na literatura para outras espécies do gênero *Tachigali* (ESPINOZA; MELANDRI, 2006). Embora, a presença de corpos de sílica seja um parâmetro na identificação de *T. vulgaris* (MACEDO et al., 2014).

3.3.3.3 Vasos

Para os vasos temos as seguintes dimensões: 1) comprimento (306-910 μm); 2) diâmetro (60-368 μm); 3) largura do lume (237-342 μm); 4) frequência (1-12 vasos/ mm^2) (MACEDO et al., 2005; MACEDO et al., 2014). Com exceção do comprimento do vaso do alburno que é menor que os valores observados, as

dimensões estão em conformidade com a literatura.

Os vasos de *T. vulgaris* apresentam placas de perfuração simples, pontoações intravasculares alternas, parênquima paratraqueal de diferentes tipos. Também pode apresentar parênquima paratraqueal escasso, parênquima vasicêntrico e parênquima aliforme (MACEDO et al., 2014).

A presença de poros solitários e em cachos com múltiplos (2-3) é corroborada pela literatura (ESPINOZA; MELANDRI, 2006). Nos resultados observados há predominância de vasos solitários pouco numerosos (1-3 vasos/mm²), com maior frequência no cerne, porém com diâmetro médio menor.

Há diferença significativa entre a largura do lume das fibras e o comprimento dos vasos presentes no cerne e alburno (Tabela 1). A largura do lume das fibras e o comprimento dos vasos são maiores que os do alburno.

Tabela 1 - Valores médios e coeficiente de variação dos elementos anatômicos da madeira de *T. vulgaris*. Teste *t-student* ao nível de 5% de significância (n =36).

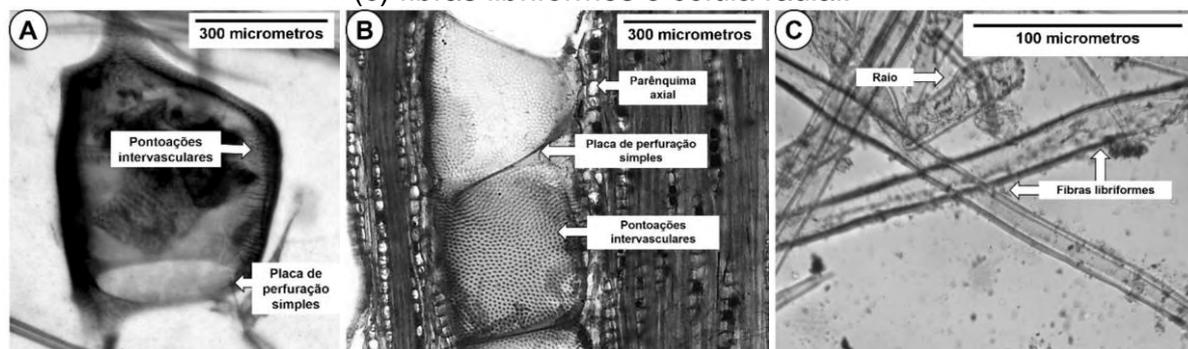
	Cerne		Alburno		Teste t-Student	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	t	p-valor
Fibras						
Comprimento (µm)	666,25	23,90	904,82	111,26	-1,41	0,16
Diâmetro (µm)	14,86	4,01	14,96	18,43	1,73	0,08
Largura do lume (µm)	10,54	34,20	8,74	31,26	2,34	0,02*
Espessura da parede (µm)	2,89	31,57	3,11	22,03	-1,32	0,18
Parênquima axial (%)	5,86	-	11,73	-	-	-
Área ocupada pelas fibras (%)	90,53	-	73,45	-	-	-
Raios unisseriados						
Altura (µm)	540,94	31,69	527,26	42,65	-0,49	0,80
Largura (µm)	53,94	15,31	52,61	26,65	-0,25	0,62
Quantidade (unidades/raios)	6,91	46,15	8,02	43,71	-	-
Frequência (raios/mm)	1,37	-	1,48	-	-	-
Parênquima radial (%)	-	-	-	-	-	-
Vasos						
Solitário (vasos/mm ²)	3,63	4,58	1,26	8,27	-	-
Múltiplo de 2 (vasos/mm ²)	1,19	33,08	0,34	9,42	-	-
Múltiplo de 3 (vasos/mm ²)	0,59	33,08	0,25	23,57	-	-
Comprimento (µm)	463,49	25,88	251,04	24,39	-6,96	1,15x10 ⁻⁹ *
Diâmetro (µm)	226,70	30,55	278,72	29,09	-1,57	0,11
Largura do lume (µm)	203,83	34,01	255,86	31,83	-0,03	0,20
Espessura da parede (µm)	11,43	30,55	11,40	30,99	1,28	0,97
Área ocupada por vasos (%)	3,61	-	14,82	-	-	-

*Significativo a 5% de significância

Fonte: Autores (2023)

Vaso com placa de perfuração simples (Figura 4A), pontoações intervasculares areoladas (Figura 4A, Figura 4B), raio e fibras libríformes (Figura 4C).

Figura 4 – Microscopia do macerado de *T. vulgaris*. (a) Elemento de vaso exibindo placa de perfuração simples; (b) Vaso com pontoações intervasculares areoladas; (c) fibras libriformes e célula radial.



Fonte: o autor (2023)

3.4 CONCLUSÃO

A pesquisa analisou as propriedades físicas e anatômicas da madeira de *Tachigali vulgaris*. Os resultados indicaram valores de densidade básica e características anatômicas da espécie compatíveis com os da literatura. Os maior comprimento e largura dos raios e o menor comprimento médio de vasos no alburno divergem da literatura. Há diferenças significativas entre a largura do lume das fibras e o comprimento dos vasos do cerne e alburno. Estas informações são relevantes para a identificação da espécie e para tecnologia da madeira. A inexistências de estudo que relacione as diferenças morfológicos entre espécies do gênero *Tachigali* à anatomia dificultaram a comparação dos resultados. A análise detalhada dos elementos celulares permitiu uma melhor compreensão da estrutura anatômica da madeira de *T. vulgaris* para que futuras pesquisas possam desenvolver soluções tecnológicas a partir destas informações.

4. CAPÍTULO 4 - POTENCIAL DE *TACHIGALI VULGARIS* PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE BAIXA DENSIDADE FEITOS COM RESINAS UREIA-FORMALDEÍDO E BICOMPONENTE À BASE DE ÓLEO DE MAMONA

RESUMO

A madeira de *Tachigali vulgaris* apresenta potencial ainda inexplorado para produção de painéis aglomerados de baixa densidade. No entanto, há uma crescente preocupação sobre as questões ambientais e busca por alternativas sustentáveis em substituição de adesivos à base de formaldeído. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico-mecânico de painéis de partículas homogêneas de baixa densidade de *T. vulgaris* aglomerada com resina poliuretana à base de óleo de mamona e ureia-formaldeído. Foram determinadas a composição química, densidade básica (D_b) e pH de extrativos solúveis em água fria/quente da madeira. A qualidade dos painéis foi avaliada por meio das normativas internacionais sendo determinada a densidade aparente (DA), inchamento em espessura (IE), absorção de água (AA), módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e adesão interna (AI) antes e após ensaio de intemperismo acelerado. Os painéis produzidos com resina PU-Mamona apresentaram desempenho físico-mecânico superior (DA:473 kg/m³, IE: 29,29%, AA: 96,76%, MOR: 6,01 MPa, MOE: 514,79 MPa e AI: 1,91 MPa) aos produzidos com UF (DA: 461 kg/m³, IE: 21,53%, AA:160,70%, MOR: 2,40 MPa, MOE: 215,74 MPa e AI: 0,85 MPa) e foram classificados como painéis tipo LD-2. A análise por microscopia eletrônica de varredura indicou uma menor degradação nos painéis produzidos com resina PU-Mamona. Os painéis submetidos ao ensaio de intemperismo acelerado não atenderam as recomendações normativas.

Palavras-chave: Taxi-branco, painel aglomerado, plantio de florestas homogêneas

ABSTRACT

Tachigali vulgaris wood still has untapped potential for the production of low-density particleboard. However, there is growing concern about environmental issues and the search for sustainable alternatives to replace formaldehyde-based adhesives. The aim of this study was to evaluate the physical and mechanical performance of low-density homogeneous particle boards made from *T. vulgaris* agglomerated with polyurethane resin based on castor oil and urea-formaldehyde. The chemical composition, basic density (D_b) and pH of the wood's cold/hot water-soluble extractives were determined. The quality of the panels was assessed using international standards, determining the apparent density (AD), thickness swelling (ES), water absorption (WA), modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and internal adhesion (AI) before and after accelerated weathering. The panels produced with PU-Mamona resin showed superior physical-mechanical performance (DA:473 kg/m³, IE: 29.29%, AA: 96.76%, MOR: 6.01 MPa, MOE: 514.79 MPa and AI: 1.91 MPa) to those produced with UF (DA: 461 kg/m³, IE: 21.53%, AA:160.70%, MOR: 2.40 MPa, MOE: 215.74 MPa and AI: 0.85 MPa) and were classified as LD-2 type panels. Scanning electron microscopy analysis showed less degradation in the panels produced with PU-Mamona resin. The panels submitted to the accelerated weathering test did not meet the normative recommendations.

Keywords: White-Taxi, particleboard, homogeneous forest plantation

4.1 INTRODUÇÃO

Painéis aglomerados apresentam uma única camada constituída de fragmentos de material lignocelulósico incorporados com adesivo sintético e consolidados pelo efeito conjunto de pressão e temperatura (CRAVO; SARTORI; FIORELLI, 2017) e são utilizados para produção de móveis, portas, revestimento decorativo etc.

Com a pandemia da Covid-19 e aplicação de *home office* houve um aumento da demanda por painéis, causando um crescimento de 14,6% da produção brasileira entre 2020 (7,1 milhões de m³) e 2021 (8,2 milhões de m³) (IBÁ, 2022). Deste total, 3,5 milhões de m³ correspondem a painéis de partículas (aglomerado/MPD) produzidos principalmente na região Sul e nos estados de São Paulo e Minas Gerais (SOZIM; NAPOLI; FERRO; MUSTEFAGA; HILLIG, 2019; FAO, 2021).

Painéis aglomerados são feitos principalmente de *Pinus*, e em menor escala, de Eucalipto. Porém, estudos sugerem que *Pinus spp.* é menos adaptado a eventos de seca/ondas de calor causados pelas mudanças climáticas (GATICA; GYENGE; BULFE; PAHR; DALLA TEA; FERNÁNDEZ, 2023). Espécies nativas (e.g. Taxi-branco, Faveira etc.) apresentam melhor adaptação ao estresse hídrico e podem ser uma fonte segura de biomassa florestal no contexto das mudanças climáticas, além impactar menos à fauna em plantio de florestas homogêneas (FARIAS et al., 2016).

O taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima; sinônimo *Sclerolobium paniculatum* Vogel) é espécie arbórea pioneira pertencente à família Fabaceae que apresenta ocorrência em regiões de cerrado e floresta amazônica na América do Sul, desde as Guianas até o Peru e em todo o Brasil central. Trata-se da única espécie amazônica recomendada como nova alternativa ao reflorestamento de Eucalipto (MARTORANO, 2018) e que também é indicada para recuperação de áreas degradadas e produção de lenha e carvão (ORELLANA, J. B. P., 2015).

Seu poder calorífero varia de 4.390 – 4.849 kcal/kg e tornam *T. vulgaris* ideal para plantios de florestas com fins energéticos (SILVA et al., 2021). A presença de bactérias *Rhizobium*, nas raízes de *T. vulgaris* contribuem para seu

rápido desenvolvimento (altura: 2,2 - 2,5 m/ano; diâmetro: 2,05-3,40 cm/ano) e produção de madeira de média densidade (470 – 780 kg/m³) por meio da absorção de CO₂ atmosférico (SILVA et al., 2021; BARROS-JUNIOR et al., 2022).

Embora a importância de *T. vulgaris* seja devido sua utilização para produção de lenha e carvão que liberam SO₂, NO₂ e CO₂, hoje em dia, há uma preocupação com a produção de materiais não-poluentes e ecologicamente corretos (FIORELLI; et al., 2018). Neste contexto, o potencial da biomassa de *T. vulgaris* para produção de painéis permanece pouco explorado, havendo um único estudo sobre painéis compensados (LISBOA et al., 2016).

A resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU-Mamona) vem sendo pesquisada como alternativa as resinas à base de formol, com menor impacto ambiental e à saúde humana (GAMA; FERREIRA; BARROS-TIMMONS, 2019). Sua resistência à água mantém a estabilidade dimensional dos painéis, e a torna ideal para ambientes úmidos, como a região amazônica. Outros trabalhos têm utilizados madeira de espécies nativas da Amazônia (e.g., *Schizolobium amazonicum* (paricá), *Hevea brasiliensis* (seringueira) etc.) para produção de painéis aglomerados com PU-mamona (COUTO et al., 2021; NEVES; DE OLIVEIRA et al., 2022).

Dentro desse escopo, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico-mecânico de painéis de partículas homogêneas de baixa densidade de biomassa de *T. vulgaris* aglomerada com resina poliuretana à base de óleo de mamona e uréia-formaldeído antes e após ensaio de intemperismo acelerado.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização físico-química da madeira

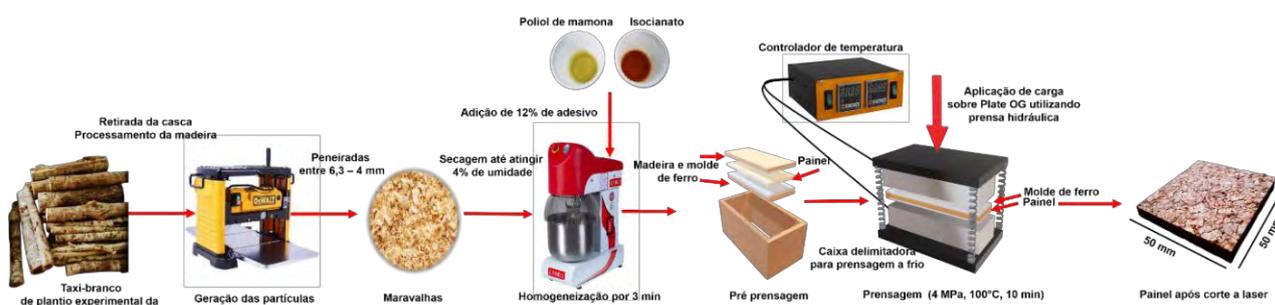
A madeira de 9 anos de Taxi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima) (SisGen N° AA58FCF) obtida de floresta homogênea pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – AP) foi avaliada por meio dos seguintes ensaios: 1) físicos - Amostragem e preparo da madeira de acordo com NBR 14660 (ABNT, 2004) e densidade básica (D_b) NBR 11941 (ABNT, 2003); 2) químicos - Extrativos totais NBR 14853 (ABNT, 2010b); Cinzas NBR 13999 (ABNT, 2017); Lignina insolúvel NBR 7989 (ABNT, 2010a); Holocelulose

(BROWNING, 1963). A influência dos extrativos solúveis em água fria/quente (GEFFERT; GEFFERTOVA; DUDIÁK, 2019).

4.2.2 Produção do painel

Os painéis de Taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) foram produzidos em uma prensa hidráulica de 15 t. Foram utilizadas partículas entre 4 – 6,3 mm geradas por meio de um desengrosso (DW733, DEWALT). A densidade alvo do painel estimada foi de 500 kg/m³. As partículas foram secas em estufa de circulação de ar até atingirem 4% de umidade. Em seguida, foram aglomeradas com resina por meio de um misturador planetário (BP12RP, G-PANIZ), pré-prensadas em molde de ferro, e conformadas em prensa hidráulica com sistema de aquecimento (MPH-15D, MARCON) e (Plate OG, OVERGROW) (Figura 1).

Figura 1 – Ilustração das etapas de produção do painel aglomerado



Fonte: a autor (2023)

Para a fabricação dos painéis de partículas, foram utilizados 12% dos adesivos poliuretano bicomponente à base de óleo de mamona (PU-Mamona) da empresa Imperveg® e ureia-formaldeído Cascamite (UF) da empresa Redelease®, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Tratamentos avaliados na pesquisa

Tratamentos	Biomassa	Adesivo
T1	<i>T. vulgaris</i>	12% UF (64% de sólidos)
T2	<i>T. vulgaris</i>	12% PU-Mamona (acima de 90% de sólidos)

Fonte: O autor (2023)

As partículas foram encoladas em um misturador planetário (BP12RP,

GPANIZ) por 3 min. . Após a homogeneização o material foi prensado em prensa hidráulica a 4 MPa, temperatura de 100 °C (PU-Mamona) e 140 °C (UF) por 10 minutos. Foram produzidos corpos de prova com dimensões nominais 174 cm x 50 cm x 6,2 mm.

4.2.3 Caracterização físico-mecânica

O desempenho dos painéis foi avaliado por meio de ensaios físico-mecânicos de acordo com a normativa ISO 16893 (ISO, 2016a) – *Wood-based panels: Particleboard*. As propriedades avaliadas foram o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) de acordo com a ISO 16978 (ISO, 2003b), adesão interna (AI) de acordo com a ISO 16984 (ISO, 2003d), inchamento em espessura (IE) de acordo com a ISO 16983 (ISO, 2003c) e absorção de água (AA). Também foi avaliado o perfil de densidade por meio de densitometria de raios-X.

4.2.3.1 Densitometria de raios-X (DA-X)

A densitometria de raios-X foi utilizada para determinar o perfil de densidade dos painéis. Amostras com 50 mm x 50 mm foram preparadas para cada tratamento e os valores da densidade foram obtidos para cada 50 µm através da espessura da amostra. Um densitômetro de raios-X foi utilizado (DAX 6000, FAGUS-GRECON). Os parâmetros de voltagem foram 33kV, 0-1mA, 11° de radiação, posição inicial e final do feixe de 100 e 50 µm. Assim foi possível determinar os valores médio, máximo e mínimo da densidade das faces.

4.2.3.2 Inchamento em espessura (IE)

O inchamento em espessura foi determinado pela diferença em espessura da amostra após imersão em água por 24h. Foi utilizado paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. O percentual de inchamento em espessura foi calculado usando a Equação 1. Onde E_f é a espessura final após a imersão em água por 24h e E_i é a espessura inicial.

$$IE(\%) = \left(\frac{E_f - E_i}{E_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

4.2.3.3 Absorção de água (AA)

A absorção de água foi determinada pela diferença de massa da amostra após imersão em água por 24h. Foi utilizada balança digital com precisão de 0,001 g. O percentual de absorção de água foi calculado usando a Equação 2.

$$AA(\%) = \left(\frac{A_f - A_i}{A_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde A_f é a massa final após a imersão em água por 24h e A_i é a massa inicial.

4.2.3.4 Módulos de ruptura e elasticidade

O módulo de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) foi determinado após o ensaio de flexão estática em máquina universal de ensaio mecânico (DL 30000, EMIC). Os valores foram determinados utilizando as Equações 3 e 4.

$$MOR(MPa) = \frac{1,5 \times P \times D}{B \times (E)^2} \quad (3)$$

$$MOE(MPa) = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (4)$$

Onde P é a carga de ruptura (N); P1 é a carga no limite proporcional (N); D é a distância entre os apoios do aparelho (mm); B é a largura do corpo de prova (mm); E é a espessura do corpo de prova (mm); e d é a deflexão (mm).

4.2.3.5 Resistência à tração perpendicular

A adesão interna (AI) foi determinada após o ensaio de tração perpendicular. Os valores foram determinados utilizando as Equações 5.

$$AI(MPa) = \frac{P}{B \times E} \quad (5)$$

Onde P é a carga de ruptura (N); B é a largura do corpo de prova (mm); e E é a espessura do corpo de prova (mm).

4.2.4 Intemperismo acelerado

Para o ensaio de intemperismo acelerado (IA) foram avaliados 20 corpos de prova nas dimensões 174 mm x 50 mm, revestido nas bordas com pasta acrílica. Os corpos de provas foram inseridos em câmara de envelhecimento acelerado UV (EQUV, EQUILAN) e submetidos a 8 ciclos de 12 h (8h de UVB com $0,49 \text{ W/m}^2$ a 60°C e 4h de condensação a 50°C). Posteriormente os painéis foram submetidos ao ensaio de flexão estática e determinado os valores de MOR e MOE.

4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizado em 3 amostras com dimensões de 15x15 mm (TM300, HITACHI). As imagens coletadas possuíam ampliação de 100 e 500 vezes. Esse ensaio foi realizado para os painéis antes e após o ensaio de intemperismo acelerado com o objetivo de identificar diferenças na microestrutura do material e na aglomeração das partículas.

4.2.6 Análise dos resultados

Os resultados mecânicos obtidos antes e após o intemperismo acelerado foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA) . Os resultados foram submetidos ao teste de Tukey 5% para verificar diferenças significativas nas propriedades mecânicas das amostras analisadas para cada um dos tratamentos (T1 e T2).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Propriedades físicas e químicas da madeira

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise química da madeira *T. vulgaris* de 9 anos. Os valores encontrados estão coerentes com a literatura, pois árvores mais jovens apresentam maiores teores de holocelulose e menores teores de lignina e extrativos (CARNEIRO et al., 2017). Os teores de lignina, holocelulose e extrativos e cinzas de *T. vulgaris* são similares a outros trabalhos para *T. vulgaris* (ORELLANA e PALHETA, 2015). O teor de lignina e holocelulose

observado está próximo ao relatado na literatura para *Pinus spp.* e *Pinus oocarpa* (FIORELLI et al., 2014; NARCISO et al, 2021).

Tabela 2 – Valores médios e coeficiente de variação dos componentes químicos e propriedades físicas e químicas da madeira de *T. vulgaris*.

Tratamento	TL (%)	TH (%)	TE (%)	TC (%)	D _b (kg/m ³)	pH AF	pH AQ
<i>T. vulgaris</i>	23,87 (1,03)	76,36 (0,89)	4,20 (2,03)	0,68 (0,18)	525,50 (12,98)	5,88 (1,19)	5,52 (1,44)

Em que: TL: Teor de lignina; TH: Teor de holocelulose; TE: Teor de extrativos totais; TC: Teor de cinzas; D_b: Densidade básica; pH AF: Solução de extrativos em água fria; pH AQ: Solução de extrativos em água quente.

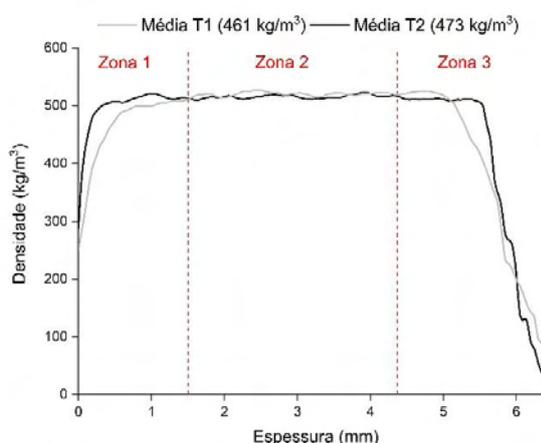
Fonte: O autor (2023)

A densidade básica está dentro dos valores esperados 470 – 780 kg/m³ (TONINI; SCHWENGBER; MORALES; OLIVEIRA, 2018) (Tabela 3). O pH dos extrativos solúveis em água fria está 1 unidade acima do valor relatado para *Pinus spp.*, enquanto que o pH dos extrativos solúveis em água quente está dentro da faixa de pH esperado para madeiras amazônicas (3 – 6) (BARROS-JUNIOR et al, 2022).

4.3.2 Propriedades físico-mecânicas do painel

Os resultados obtidos pelo densitometria de raios-X são típicos de perfil de densidade de painel de partículas homogêneas (Figura 2).

Figura 2 – Perfil de densidade dos painéis aglomerados. T1: UF 12%; T2: PU-mamona 12%.



Fonte: O autor

Os painéis dos tratamentos T1 e T2 são classificados como de baixa densidade ($<640 \text{ kg/m}^3$) de acordo com a norma ANSI A208.1:2016. Os tipos T1 e T2 atenderam aos requisitos de variação máxima de DA determinados pela norma ISO 16893:2016. A densidade da superfície para T1 (Zona 1 e Zona 3) apresentou menores valores que podem ser explicados pela menor adesão entre as partículas.

A adesão das partículas nas regiões de T2 foi superior à observada para T1 (Zona 1 e Zona 3). A densidade no interior do painel (Zona 2) foi semelhante para todos os tratamentos. Os painéis não apresentaram deformações significativas que pudessem ser atribuídas a processo ou irregularidades na superfície.

Os valores médios de T1 e T2 e seus respectivos coeficientes de variação são apresentados para DA, IE e AA (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios e coeficiente de variação das propriedades físicas dos painéis aglomerados de *T. vulgaris*. T1: UF 12%, T2: PU-mamona 12%.

Tratamentos	IE (%)	AA (%)
T1	21,53 (16,32)	160,70 (8,06)
T2	29,29 (46,67)	96,76 (39,78)

Fonte: O autor (2023)

Em comparação com aglomerados de *E. spp.*, *Neolamarckia cadamba* e híbrido de *Eucaliptus spp.* e bagaço de sorgo (TINTI, 2015; JUNIOR et al, 2016), o painel T1 apresentou um IE 10% menor para painéis de baixa densidade. Por outro lado, o painel T2 teve uma IE 16% maior em comparação com aglomerados de casca de amendoim, *D. giganteus* e *P. spp.* (DA SILVA BERTOLINI; CHRISTOFORO; LAHR, 2015; LIMA JUNIOR, 2019). Somente o painel T1 atendeu ao requisito de variação máxima de espessura de 1,5 mm (IE $< 24,19\%$), estabelecido pela norma ISO 16893:2016.

O alto valor de AA observado para o painel T1, 160%, deve-se à maior afinidade da resina com a água, o que está dentro da faixa de valores descrita na literatura (10-175%) (VALARELLI et al., 2014; BRITO, 2018). A baixa densidade do painel T2 resultou em um valor de AA (96,76%) superior aos da literatura (55-80%) (DE CASTRO JUNIOR et al., 2014). É importante ressaltar que as normas

utilizadas neste estudo não utilizam a AA como parâmetro para determinar o desempenho físico dos painéis.

Os resultados da caracterização mecânica de T1 e T2 são discutidos nesta seção. Os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação de MOR, MOE e AI são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios e coeficiente de variação das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados antes e após envelhecimento acelerado. T1: UF 12%, T2: PU-mamona 12%.

Tratamentos		MOR (MPa)	MOE (MPa)	AI (MPa)
T1		2,40 (10,29) a	215,74 (17,09) a	0,85 (83,68) a
T2		6,01(12,29) b	514,79 (20,81) b	1,91 (42,09) b
T1 IA		0,44 (70,13) c	36,42 (59,73) c	-
T2 IA		3,51(8,22) d	260,20 (12,65) a	-
Requisitos normativos para painéis com espessura entre 6-13 mm				
ANSI A208.1:2016	LD- 1	2,80	500,00	0,10
	LD- 2	2,80	500,00	0,14
ISO 16893:2016	P- GP REG	10,50	-	0,28
	P- FN REG	11,00	1800,00	0,40

Fonte: O autor (2023)

Médias seguidas pela mesma letra não apresentaram diferença significativa ao teste Tukey com 5% de significância (N = 6).

Os valores de MOR e MOE para T1 não atenderam as normativas e foram menores que os observados em painéis de UF na literatura (MOR: 3,27-27,31 MPa, MOE:377,03-8751) (FARIA et al., 2020). Resultados similares são encontrados na literatura para painéis de: *E. spp.* (10% UF, 466 kg/m³, 12,5 mm, MOR: 2,52 MPa, MOE: 330,31 MPa) e *D. giganteus* (6% UF, 610 kg/m³, 12,7 mm, MOR: 2,43 MPa, MOE: 677,74) (VALARELL et al., 2014; TINTI, 2015).

O MOR e o MOE de T2 foram similares aos observados para *D. giganteus* (12% PU-Mamona, 641,38 kg/m³, 10 mm, MOR: 5,64, MOE: 757 MPa) e menores que os verificados para *P. spp.* (12% PU-Mamona, 550 kg/m³, 10 mm, MOR: 6,6, MOE: 759 MPa) (VALARELLI et al., 2014; DA SILVA BERTOLINI; CHRISTOFORO; LAHR, 2015).

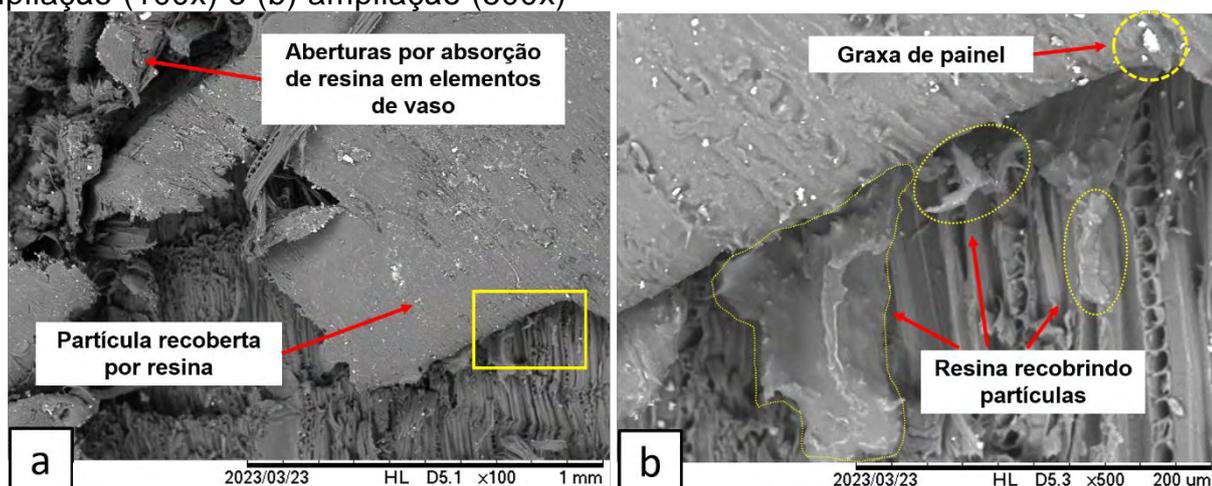
As amostras submetidas ao intemperismo acelerado (IA) apresentaram valores de MOR e MOE de aproximadamente 50% inferior em relação às amostras referências T2. Os resultados da ANOVA mostram que há diferença significativa para o MOR de todos os tratamentos, entretanto, para o MOE não houve diferença significativa entre T1 e T2. Os resultados mecânicos de T2 foram superiores ao de T1 após o IA, contudo, T2 não atendeu a normativa ANSI A208.1, pois embora o MOR fosse superior a 2,8 MPa o MOE permaneceu abaixo de 500 MPa.

Os valores de AI para aglomerados de baixa densidade de UF da literatura variam de 0,1-1,24 MPa. Para PU-Mamona, esses valores variam de 0,15-0,25 MPa (CRAVO et al., 2015). Com base nos resultados ambos os tratamentos atenderam à ANSI A208.1:2016 e ISO 16893:2016 com valores superiores a 0,4 MPa de AI. Apenas T2 atendeu a todos os requisitos normativos para ANSI A208.1:2016, sendo classificado com painel LD-2, mas não atendeu ao MOR exigido pela ISO 16893:2016 para painéis de uso geral. As propriedades mecânicas dos painéis de UF não atingiram as recomendações mínimas das normativas.

4.3.3 Microscopia eletrônica de varredura

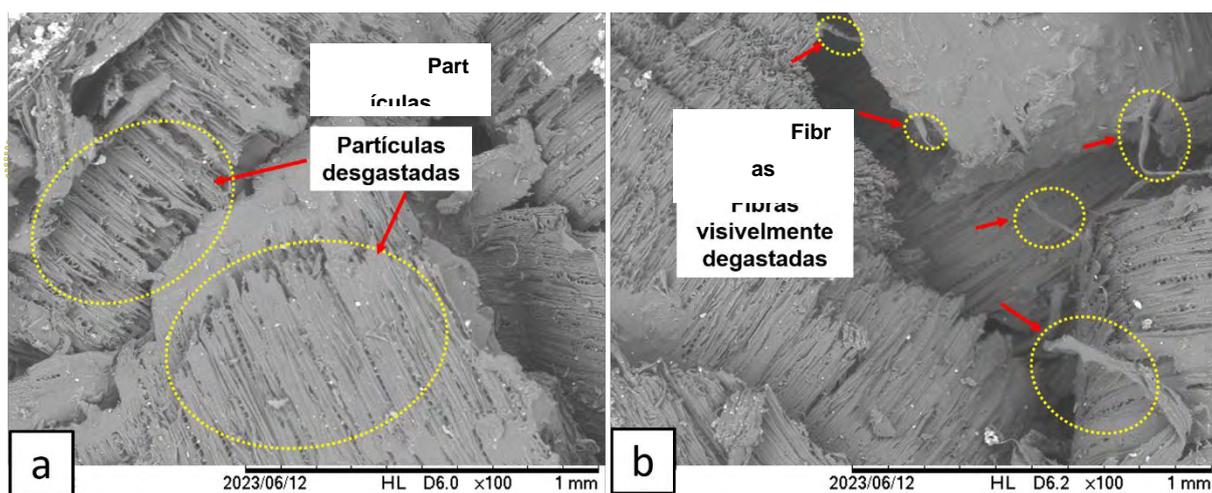
As Figuras 3-6 apresentam a análise da microestrutura (MEV) de T1, T1 IA, T2 e T2 IA, respectivamente. As partículas em sua maioria foram produzidas na direção tangencial pelo desengrosso, por esse motivo só é possível observar os elementos de vaso nas extremidades das partículas (Figura 3a). Nas bordas laterais das partículas é possível observar a adesão da resina às partículas adjacentes (Figura 3b). Na Figura 4, não é possível observar o recobrimento por resina UF, mas há um evidente descarte das superfícies das partículas que estão expostas e perdem as fibras de sua microestrutura (Figura 4a-b).

Figura 3 – MEV de painel de *T. vulgaris* aglomerado com resina UF (T1). Em que: (a) ampliação (100x) e (b) ampliação (500x)



Fonte: O autor (2023)

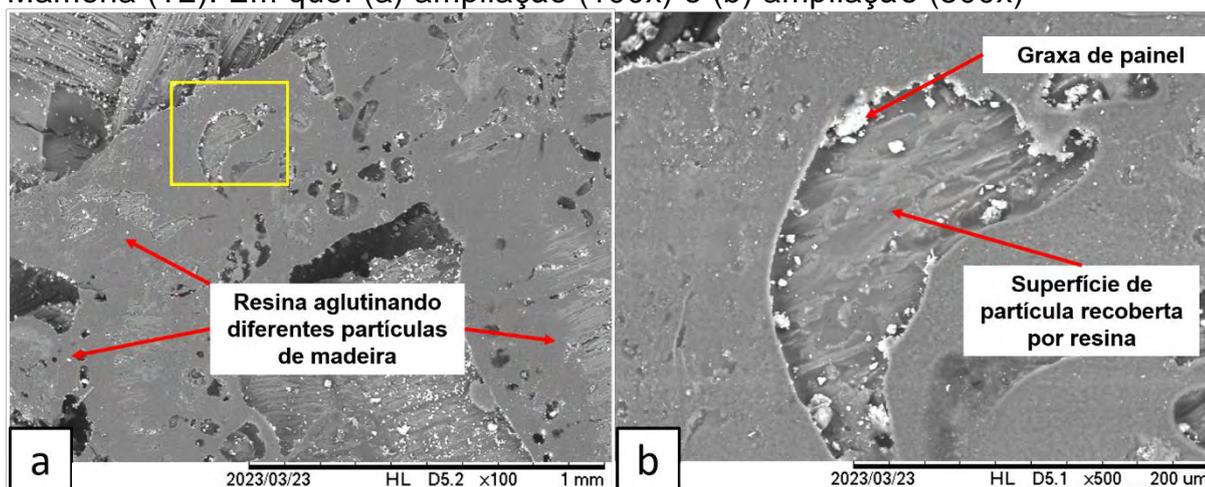
Figura 4 – MEV de painel de *T. vulgaris* aglomerado com resina UF após envelhecimento acelerado (T1 IA). Em que: (a) ampliação (100x) e (b) ampliação (100x)



Fonte: O autor (2023)

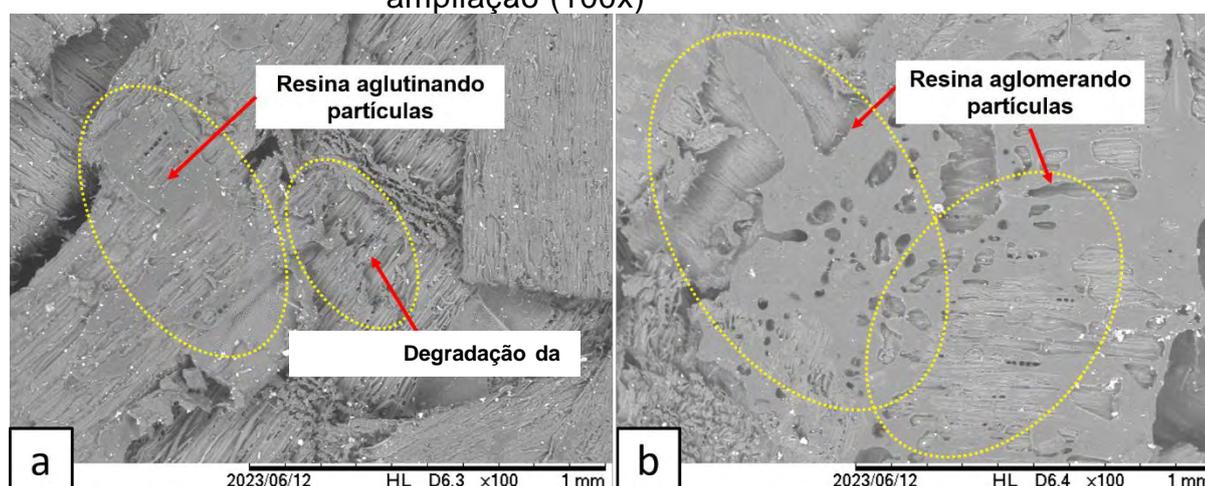
Na Figura 5 a resina é menos absorvida pela madeira e apresenta-se acumulada sobre as partículas formando uma região recoberta pelo adesivo que aglomera partículas adjacentes. Na Figura 6, as partículas apresentaram degradação menos intensa do que T1 e foi observado as regiões de acúmulo de resina sobre as partículas. As partículas de T2 foram menos desgastadas pelo IA devido a maior resistência da resina PU-Mamona à umidade e temperatura.

Figura 5 – MEV de painel de *T. vulgaris* aglomerado com resina PU-Mamona (T2). Em que: (a) ampliação (100x) e (b) ampliação (500x)



Fonte: O autor (2023)

Figura 6 – MEV de painel de *T. vulgaris* aglomerado com resina PU-Mamona após envelhecimento acelerado (T2 IA). Em que: (a) ampliação (100x) e (b) ampliação (100x)



Fonte: O autor (2023)

4.4 CONCLUSÃO

Neste estudo, foram avaliadas as propriedades físicas e químicas da madeira e físicas e mecânicas de painéis aglomerados de *Tachigali vulgaris*, produzidos com resinas ureia-formaldeído (UF) e poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona). Os resultados indicaram que a madeira de *T. vulgaris* possui teores similares com dados da literatura para os componentes químicos e densidade básica. No entanto, os painéis de UF apresentaram desempenho físico e mecânico inferior aos painéis produzidos com resina PU-Mamona. A microscopia eletrônica de varredura revelou diferenças na adesão das resinas às partículas e na degradação das superfícies após o intemperismo acelerado.

Esses resultados destacam a viabilidade de utilização da madeira de *T. vulgaris* na produção de painéis aglomerados de baixa densidade, sendo classificado como LD-2 pela ANSI A208.1:2016. A análise MEV demonstrou que o painel de PU-Mamona apresentou degradação menos severa devido sua menor afinidade à água. Após o IA os painéis não atenderam nenhuma normativa. Os resultados permitem concluir que painéis com melhor desempenho podem ser engenheirados a partir da modificação das variáveis de processamento.

5. CAPÍTULO 5 – Painéis aglomerados de média densidade produzidos com madeira *Tachigali vulgaris* e resina PU-mamona

5.1 INTRODUÇÃO

O taxi-branco é espécie arbórea pertencente à família Fabaceae que apresenta ocorrência em regiões de cerrado e floresta amazônica na América do Sul, desde as Guianas até o Peru e em todo o Brasil central (NÁVIA; FLECHTMANN, 1998; MARIMON et al., 2006; BRAZ et al., 2014). Na literatura, o nome científico do Taxi-branco é atribuído à *Sclerobium paniculatum* Vogel e *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima. Foi estabelecido que *S. paniculatum* é sinônimo de *T. vulgaris* porque diferem apenas em algumas características da flor, como o pistilo preso ao estipe, pubescência de perianto e inflorescência (SILVA; LIMA, 2007; MACEDO et al., 2014).

No Brasil, seu nome popular varia entre os estados brasileiros: 1) Taxi-branco-da-terra-firme (AM, PA e AP); 2) carvoeiro (DF, GO, MT e MG); 3) carvão-de-ferro (BA, PA); 4) pau-pombo (MA e PI); 5) carvoeira (RJ); 6) velame e veludo (BA); 7) ajusta-contas, justa-conta e justacontas (MT); 8) angá, cangalheiro, pau-bosta e pau-fedorento (MG); 9) cachamorra e mandinga (PI); 10) taxirana-do-cerrado (RR); 11) passariúva e passuaré (SP); 12) tachí-do-campo, taxi-brando-do-flanco, taxi-pitomba e taxizeiro (PA, AP) (EMBRAPA, 2005).

T. vulgaris é a segunda espécie mais importante do cerrado muito utilizada para produção de lenha e carvão (JUNIOR; HARIDASAN, 2005; AQUINO; WALTER; RIBEIRO, 2007; VIDOTTO et al., 2007; ARAÚJO et al., 2011; FRAN CZAK et al., 2011). Dois atributos corroboram sua importância: 1) poder calorífero entre 4.390 – 4.849 kcal/kg (VALE; DIAS; SANTANA, 2010; LISBOA et al., 2016; ORELLANA et al., 2018; SILVA et al., 2021); 2) crescimento rápido (altura: 2,2 - 2,5 m/ano; diâmetro: 2,05-3,40 cm/ano) devido à presença de bactérias *Rhizobium*, fixadoras de N₂, nas raízes de *T. vulgaris* contribuem para seu rápido desenvolvimento e, como sua madeira é de média densidade (470 – 780 kg/m³), promove a absorção acelerada de CO₂ atmosférico (VALE; DIAS; SANTANA, 2010; FREIRE et al., 2020; SILVA et al., 2021; BARROS-JUNIOR et al., 2022). Essas características tornam *T. vulgaris* ideal para plantios de florestas com fins energéticos (SOUZA et al., 2008; MIGUEL et al., 2011; DE SOUSA et al., 2019; FREIRE et al., 2020; RAMOS et al., 2021).

Por ser uma espécie pioneira e nativa muitas pesquisas têm sido feitas com fertilizantes NPK a fim de aumentar a taxa de sobrevivência (TS) e crescimento de mudas de sob condições ambientais adversas (estresse hídrico, solo degradado, etc.) (DE ABREU; PORTO; NOGUEIRA, 2017; DE MORAIS; ROSSI; HIGA, 2017; SIMÕES et al., 2017; SIMÕES et al., 2020; SIMÕES et al., 2022). Mudas com taxa de sobrevivência 40% maior foram produzidas em viveiro aplicando 50% de sombreamento (FREITAS et al., 2012; SOUZA et al., 2019). Plantios experimentais nos estados do Pará, Roraima e Amapá mostraram TS de até 78% em espaçamentos maiores (3x3, 3x4 e 4x4), que pode ser explicada pela formação de copa e competição interespecífica por luz (REIS et al., 2015; FARIAS et al., 2016; NARDUCCI; YARED; BRIENZA JÚNIOR, 2016; ORELLANA et al., 2018; TONINI et al., 2018; CRUZ et al., 2020; RODRIGUES et al., 2020; SILVA et al., 2021; BARROS-JUNIOR et al., 2022).

Os painéis aglomerados apresentam uma única camada feita a partir de biomassa lignocelulósica aglutinada com resina sintética, e consolidada com pressão e temperatura (ZHANG et al., 2018). A resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU-Mamona) vem sendo pesquisada como alternativa as resinas à base de formol, com menor impacto ambiental e à saúde humana (GAMA; FERREIRA; BARROS-TIMMONS, 2019).

A resistência à água da resina PU-Mamona mantém a estabilidade dimensional dos painéis, e a torna ideal para ambientes úmidos, como a região amazônica. Diversos trabalhos têm utilizados fibras naturais e resíduos amazônicos (juta, açaí, paricá, castanha da Amazônia etc.) aglomerados com PU-mamona por sua resistência à umidade (FIORELLI et al., 2018; MESQUITA et al., 2018; NOGUEIRA; LAHR; GIACON, 2018).

Dentro desse escopo, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico e mecânico de painéis de partículas homogêneas de biomassa *T. vulgaris* aglomerada com resina poliuretana à base de óleo de mamona.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Produção do painel

Os painéis de *Tachigali vulgaris*, conhecido como Taxi-branco, foram produzidos utilizando uma prensa hidráulica de 15 toneladas equipada com sistema

de aquecimento. A madeira utilizada foi proveniente de árvores de Taxi-branco (SisGen N° AA58FCF) com 9 anos de idade, provenientes de um plantio em uma floresta homogênea da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Amapá (EMBRAPA-AP).

Para a obtenção das partículas, foram utilizados pedaços de madeira com tamanho variando entre 4 e 6,3 mm, gerados em um desengrosso (DW733, DEWALT). As partículas foram submetidas à secagem em uma estufa de circulação de ar até atingirem um teor de umidade de 3%. Na fabricação dos painéis de partículas, foram empregados adesivos poliuretano bicomponentes à base de óleo de mamona (PU-Mamona) da empresa Imperveg®, nas proporções de 9% e 13% em relação à massa seca das partículas.

Tabela 1 – Tratamentos utilizados para produção dos aglomerados

Tratamentos	Biomassa	Adesivo
T1	<i>T. vulgaris</i>	9% PU-Mamona
T2	<i>T. vulgaris</i>	13% PU-Mamona

Fonte: o autor (2023)

As partículas foram homogeneizadas em um misturador planetário (BP12RP, GPANIZ) durante 3 minutos. O material foi prensado com 4 MPa, 100 °C e 10 minutos. Foram fabricados painéis com dimensões nominais de 20 cm x 6,5 cm x 7 mm. Foram produzidos corpos de prova de acordo com a norma ISO 16893:2016 - Painéis à base de madeira: Painel de partículas e ISO 16999:2003 -Painéis a base de madeira — Amostragem e corte de corpos de prova.

5.2.2 Caracterização físico-mecânica

Foram realizados testes físicos e mecânicos para avaliar o desempenho dos painéis, seguindo as diretrizes da norma ISO 16893:2016 - Painéis à base de madeira: Painel de partículas. As propriedades analisadas incluíram resistência à ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), inchamento em espessura (IE) e absorção de água (AA).

4.2.2.1 Caracterização física

4.2.2.1.1 Densidade aparente (DA)

A determinação da densidade aparente foi realizada de acordo com a norma ISO 9427:2003 – Wood-based panels: determination of density. A densidade aparente foi calculada utilizando a Equação 3.

$$DA(\text{kg/m}^3) = \left[\frac{m}{S \times E} \right] \times 10^6 \quad (1)$$

Onde m é a massa em gramas (g); S : a área da superfície do corpo de prova (mm^2); e E : a espessura do corpo de prova (mm).

4.2.2.1.2 Inchamento em espessura (IE)

O teste de inchamento em espessura foi realizado de acordo com a ISO 16983:2003 – *Wood-based panels: Determination of swelling in thickness after immersion in water*. O inchamento em espessura foi calculado pela diferença em espessura da amostra após imersão em água por 24h (equação 2).

$$IE(\%) = \left[\frac{T_f - T_i}{T_i} \right] \times 100 \quad (2)$$

Onde T_f é a espessura final após a imersão em água por 24h e T_i é a espessura inicial.

4.2.2.2 Caracterização mecânica

4.2.2.2.1 Módulos de ruptura e elasticidade

O desempenho mecânico dos painéis foi avaliado por meio de ensaios de

acordo com as normativas ISO 16978:2003 – *Wood-based panels: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength*. Os módulos de ruptura e elasticidades foram calculados utilizando as equações 4 e 5.

$$\text{MOR(MPa)} = \frac{3 \times P \times D}{2 \times B \times E^2} \quad (3)$$

$$\text{MOE(MPa)} = \frac{P1 \times D^3}{4 \times d \times B \times E^3} \quad (4)$$

Onde: P: carga de ruptura lida no indicador de cargas (N); P1: carga no limite proporcional (N); D: distância entre apoios do aparelho (mm); B: largura do corpo de prova (mm); E: espessura do corpo de prova (mm); d: deflexão do corpo de prova (mm).

4.2.3 Adequação à normativas

Os resultados foram comparados com os valores para faixa de espessura de 6-13 mm das seguintes normativas: 1) ANSI A208.1:2016 - *American National Standard: Particleboard*; 2) ISO 16893:2016 – *Wood-based panels: Particleboard*; e 3) NBR 14810-2:2018 - *Painéis de partículas de média densidade: Parte 2*.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Propriedades físicas

Esta seção apresenta os resultados da caracterização física de painéis aglomerado T1 e T2. Os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação são apresentados na Tabela 2 para DA e IE.

Tabela 2 – Resultados dos testes físicos para aglomerado de *T. vulgaris*. T1: PU-mamona 9%, T2: PU-mamona 13%.

Tratamento	DA (kg/m ³)	CV (%)	IE (%)	CV (%)
T1	675,52	12,29	16,91	25,00
T2	741,54	7,36	14,33	22,20

Fonte: o autor (2023)

A densidade é um parâmetro importante para ANSI A208.1:2016 e NBR14810-2:2018, pois é a partir dela que os painéis são classificados e avaliados quanto a seu desempenho. Contudo, a ISO 16893:2016 utiliza apenas o desempenho mecânico

(MOR, MOE e IB) para classificar e avaliar os painéis. Os painéis deste estudo foram classificados como de média densidade (640-750 kg/m³) conforme classifica a ANSI A208.1:2016. Apenas T1 atendeu aos requisitos de variação de DA (<10%) determinados pela norma ISO 16893:2016.

Os valores de IE encontrados estão dentro da faixa observados para de aglomerados com densidade entre 673-740 kg/m³ (IE: 6,12-39,91%) (MINILLO, 2016; ARCHANGELO, 2019). A redução de 2% do IE de observada para T2 pode ser explicada pelo aumento da DA e teor de adesivo. O mesmo efeito foi observado pelo aumento da densidade de aglomerado de madeira teca (*Tectona grandis*) (685-748 kg/m³) que reduziu IE de 11,74% para 10,8% (SOUZA, 2022).

Os resultados de IE para *T. vulgaris* (14-16%) indicam uma melhor compactação das partículas em comparação com aglomerados de *Eucaliptus spp.* (19,69%), *Pinus spp.* (22,61%) e *Dendrocalamus giganteus* (22,69%) (VALARELLI et al., 2014; SOUZA, 2022). O IE de T1 e T2 atendem o requisito para painéis de uso interno (IE<22%) de acordo com a NBR 14810-2:2018.

5.3.2 Propriedade mecânicas

Os resultados da caracterização mecânica de T1 e T2 são discutidos nesta seção. Os valores médios e seus respectivos coeficientes de variação são apresentados para MOR e MOE são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados mecânicos dos painéis aglomerados de *T. vulgaris*. T1: PU-mamona 9%, T2: PU-mamona 13%.

Tratamentos	MOR (MPa)	MOE (MPa)
T1	15,29 (34,79%)	1141,70 (30,77%)
T2	19,84 (14,84%)	1383,44 (12,60%)
Requisitos normativos para painéis com espessura entre 6-13 mm		
ANSI A208.1:2016	M-0	7,6
	M-1	10
	M-S	11
	M-2	13
	M-3i	15
ISO 16893:2016	P-GP REG -	10,50
	P-FN REG	11,00
NBR 14810-2:2018	P2 REG	11,00
	P4 REG	16,00

Fonte: o autor (2023)

As propriedades mecânicas de T1 e T2 foram superiores às observadas para

aglomerados de média densidade de fibra de coco (800 kg/m³, MOR: 3,73 MPa, MOE: 351,11 MPa), *E. spp.* (800 kg/m³, MOR: 4,76 MPa, MOE: 711,14 MPa), *T. grandis* (748-774,05 kg/m³, MOR: 5,63-7,52 MPa, MOE: 1084-1300 MPa), *P. spp.* (744 kg/m³, MOR: 6,92 MPa, MOE: 1434 MPa) (FIORELLI et al., 2012; LIMA JUNIOR, 2019; CELESTINO, 2020; DIAS, 2020; SOUZA, 2022).

O MOR de T1 e T2 foram similares aos observados em aglomerados de média densidade para *D. giganteus* (679 kg/m³, MOR: 17,41 MPa, MOE: 2700 MPa) e *P. spp.* (800 kg/m³, 19,4 MPa, MOE: 2439,6 MPa) que foram classificados pela ANSI A208.1:2016 como painéis M-3i e M-2, respectivamente (FERRO et al., 2014; VALARELLI et al., 2014).

Contudo, na literatura a razão MOE/MOR está entre 78-226, enquanto que as razões de T1 e T2 foram 74 e 69, respectivamente (BARBIRATO et al., 2014; ARCHANGELO, 2019; BISPO, 2020). Esta menor razão para T1 e T2 pode ser entendida como um desempenho mecânico abaixo do esperado para o MOE, ou seja, ao serem submetidos a esforços os painéis têm maiores chances de sofrer uma deformação irreversível quando comparados com os valores da literatura.

Com base nos resultados de MOR e MOE apenas T2 conseguiu atender a normativa ANSI A208.1:2016 e foi classificado como painel M-0. O baixo valor de MOE observado para T1 e T2 acabaram restringido sua classificação pela ISO 16893:2016 e NBR 14810-2:2018.

5.4 CONCLUSÃO

Painéis aglomerados de *T. vulgaris* atenderam os requisitos normativos para uso interno. A baixa relação MOE/MOR para T1 e T2, dos valores típicos relatados na literatura, sugerem que os painéis podem apresentar uma deformação irreversível sob cargas mais intensas. Portanto, considerando as características avaliadas, a utilização desses painéis de *T. vulgaris* pode ser viável para aplicações de uso interno (M-0), embora seja recomendado um estudo mais aprofundado para compreender melhor seu comportamento mecânico e propor eventuais melhorias.

6. CONCLUSÃO GERAL

Os painéis aglomerados de diferentes biomassas com resinas ureia-formaldeído (UF) e poliuretana de mamona (PU-mamona) foram avaliados quanto ao seu desempenho mecânico. Nota-se que a maioria dos painéis de baixa densidade que atenderam as exigências normativas da ANSI A208.1:2016 eram de UF. Enquanto, que a maioria dos trabalhos que utilizavam resina PU-mamona produziam painéis de média/alta densidade. A normativa ANSI a208.1:2016 apresentou nível de exigência intermediária. Desta forma, é indicada para avaliar o desempenho mecânico dos painéis.

As propriedades físicas e anatômicas de *T. vulgaris* são diferentes dos citados na literatura devido o maior comprimento/largura dos raios, menor comprimento médio de vasos, largura do lume das fibras e o comprimento do vaso do cerne/alburno. A inexistências de estudo que correlacione as características anatômica entre espécies do gênero *Tachigali* dificultam a comparação dos resultados. A análise detalhada dos elementos celulares permitiu uma melhor compreensão da estrutura anatômica da madeira de *T. vulgaris* para futuras aplicações tecnológicas.

Os painéis de baixa densidade de UF tiveram não atenderam a nenhuma normativa. Os painéis de baixa densidade de PU-mamona atenderam a ANSI A208.1:2016 para aplicação com núcleo de portas (LD-2). A MEV revelou diferenças na adesão das partículas e evidenciou degradação após o intemperismo. No entanto, os painéis de PU-Mamona sofreram menos degradação a maior resistência à água. Após testes de imersão em água, os painéis não cumpriram as normativas. Os resultados indicam que ajustar as variáveis de processamento pode levar a painéis com melhor desempenho físico-mecânico.

Embora com ausência de dados para adesão interna o painel de média densidade com 13% de PU-mamona apresentou módulo de ruptura e elasticidade que atendem à ANSI A208.1 para uso comercial (não estrutural). Além disso, apresentou resistência após ao ensaio de inchamento em espessura que seriam ideais para condições de alta umidade como a região amazônica.

Estes resultados positivos são indicativos de que as propriedades mecânicas dos painéis podem ser melhoradas pela modificação das variáveis de processamento. A produção de painéis aglomerados de taxi-branco pode então trazer avanços para utilização de biomassa florestal de plantio de florestais homogêneas.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A.; KASIM, J.; MOHMOD, A. Properties of single-layer urea formaldehyde particleboard manufactured from commonly utilized malaysian bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). **Journal of Bamboo and Rattan**, v. 1, n° 2, p. 109-117, 2002.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1 - American National Standard: Particleboard**. Gaithersburg: ANSI, 2016.
- AQUINO, F. D. G.; WALTER, B. M. T.; RAIEIRO, J. F. Population dynamics of Cerrado woody plants, Balsas, Maranhão. **Revista Árvore**, v. 31, n° 5, p. 793-803, 2007.
- ARAÚJO, G. M.; NASCIMENTO, A. R. T.; LOPES, S. F.; RODRIGUES, R. F.; RATTER, J. A. Structure and floristics of the arboreal component of a dystrophic cerradão and comparison with other cerradões in central Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 68, n° 3, p. 401-418, 2011.
- ARCHANGELO, A. **Fabricação e caracterização dos painéis homogêneos com partículas de madeira teca (*Tectona Grandis* LF) e a adição da casca de arroz**. 2019. 211 f. Tese - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.
- ARCHANGELO, A. **Painéis de bambu com casca de arroz e adesivo de mamona**. 2016. Dissertação - Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941 - Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 13999 - Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- _____. **NBR 14660 - Madeira: amostragem e preparação para análise**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- _____. **NBR 14810-2 - Painéis de partículas de média densidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- _____. **NBR 14853 - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno, em diclorometano e em acetona**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010b.
- _____. **NBR 7989 - Pasta celulósica e madeira: determinação da lignina insolúvel em ácido**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010a.
- AZAMBUJA, M. D. A. **Proposta de utilização de resíduos lignocelulósicos para fabricação de painéis de partículas**. 2016. Dissertação - Departamento de Engenharia Civil, Ilha Solteira - SP, 2016.
- BALDIN, T.; DA SILVEIRA, A. G.; VIDRANO, B. R. A.; CANCIAN, L. C.; SPATT, L. L.; HASELEIN, C. R. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 3, p. 230-237, 2016.
- BARAÚNA, E. E. P.; STALLBAUN, P. H.; MONTEIRO, T. C.; SILVA, T. C.; BALDIN, T., COLEN, F. *et al.* The Effect of Carbonization on the wood anatomy of *Sclerolobium paniculatum* Vogel. **BioResources**, v. 16, n. 4, p. 7846-7854, 2021. 7846.

- BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; BARRERO, N. G.; PALLONE, E. M. D. J. A.; LAHR, F. A. R.; CRISTOFORO, A. L.; SAVASTANO JUNIOR, H. Painel aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira itaúba. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 685-697, 2014.
- BARROS JUNIOR, U. D. O. **Tachigali vulgaris em plantios homogêneos na Amazônia: parâmetros de crescimento, madeira e carvão vegetal para fins energéticos**. 2020. Dissertação - Departamento de Ciências Florestais, Belém, 2020.
- BARROS-JUNIOR, U.; ROSÁRIO, W.; LIMA, M.; SILVA, M.; PATRÍCIO, E.; GONÇALVES, D.; BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. Effects of tree spacing and forking on the modification of wood density in a trial plantation of *Tachigali vulgaris* for energy in Amazonia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 34, n. 1, p. 11-23, 2022.
- BAZZETTO, J. T. D. L.; BORTOLETTO, G.; BRITO, F. M. S. Effect of particle size on bamboo particle board properties. **Floresta e ambiente**, v. 26, n. 2, p.2-8, 2019.
- BERAM, A. The Effects of Alkali Modification on Some Properties of Particleboard Produced from Corn Stalks. **Yüzyılda Fen ve Teknik**, v. 9, n. 17, p. 38-44, 2022.
- BISPO, R. A. **Produção e avaliação de painéis de partículas de fibra de coco, pinus e eucalipto aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. 124 f. Dissertação - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.
- BORGES, I. O.; DE NOVAIS MIRANDA, E. H.; BRITO, F. M. S.; DA SILVA ALTAFIN, N. C.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Potencial de utilização de resíduos da cultura de soja tratados com água e hidróxido de sódio para produção de painéis aglomerados. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. 1-13, 2022.
- BOTOSSO, P. C. **Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento**. [Internet]. Colombo: EMBRAPA; 2011. Acesso em 06 de agosto de 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137126/1/Doc194Papel.pdf>
- BRAZ, R. L. D. S. O.; OLIVEIRA, J. T. S.; ROSADO, A. M.; VIDAURRE, G. B.; PAES, J. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOIOLA, P. L. Caracterização anatômica, física e química da madeira de clones de *Eucalyptus* cultivados em áreas sujeitas à ação de ventos. **Revista Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 127-137, 2014.
- BRITO, F. M. S. **Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu**. 2018. Tese - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2018.
- BRITO, F. M. S.; BORTOLETTO, G. Properties of particleboards manufactured from bamboo (*Dendrocalamus asper*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 1, p.e7245, 2020.
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience Publisher, 1963.
- BUZO, A. L. S. C.; SUGAHARA, E. S.; SILVA, S. A. D. M. D.; MORALES, E. A. M.; AZAMBUJA, M. D. A. Painéis de pinus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 183-193, 2019.

- CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus spp.* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 897-905, 2007.
- CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U.; DE FREITAS FIALHO, L.; FIGUEIRÓ, C. G.; DA SILVA, C. M. S. Efeito do material genético e do sítio na qualidade do carvão vegetal de madeira de curta rotação. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p.473-480, 2017.
- CARVALHO, P. E. R. **Taxi-branco: taxonomia e nomenclatura**. Colombo, 2005. Acesso em 06 de agosto de 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/41472/1/circ-tec111.pdf>.
- CELESTINO, V. R. D. B. **Estudo do comportamento físico e mecânico de painéis aglomerados fabricados com partículas de *Tectona grandis* e *Corymbia citriodora***. 2020. Tese - Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2020.
- CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para sua identificação**. Brasília: IBAMA; 2002.
- COUTO, J. P. M.; NASCIMENTO, M. F.; AQUINO, V. B. D. M.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painel MDP com resina poliuretana à base de óleo de mamona com adição de cimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p.661-669, 2020.
- CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. D. L.; FIORELLI, J. Agro-industrial waste composites as components for rural buildings. *In: Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials*. Witney: Woodhead Publishing, 2017.
- CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. D. L.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. D. C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Painel aglomerado de resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 721-730, 2015.
- CRISCUOLO, G. **Aplicação da técnica de infusão a vácuo para a confecção de painéis compósitos de matriz polimérica reforçados/carregados com resíduos lignocelulósicos**. 2022. Dissertação - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2022.
- CRUZ, S. L.; PEDROZO, C. Â.; OLIVEIRA, V. X. A.; SILVA, A. M. D.; RESENDE, M. D. V. D.; GONÇALVES, D. D. A. Genetic parameters and initial selection of *Tachigali vulgaris* provenances and progenies in Roraima. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 258-269, 2020.
- ROSA, T. S.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; BONDUELLE, G. M. Use of five eucalyptus species for particleboards manufacture. **Revista Árvore**, v. 41, n. 2, p. e410215, 2017.
- BERTOLINI, M. S.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Thermal insulation particleboards made with wastes from wood and tire rubber. **Key Engineering Materials**, v. 668, n. 10, p. 263-269, 2015.
- BERTOLINI, M. S.; LAHR, F. A. R.; DO NASCIMENTO, M. F.; AGNELLI, J. A. M. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated *Pinus sp.* and castor oil resin. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 293-303, 2013.
- SILVA, S. A. M.; GONÇALVES, R.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. Medium

density particleboard (MDF) produced with *Pinus caribaea* fibers and castor oil based polyurethane resin. **Advanced Materials Research**, v. 1025, n. 10, p. 13-16, 2014.

ABREU, D. C. A.; PORTO, K. G.; NOGUEIRA, A. C. Methods of Breaking Dormancy and Germination Substrates for *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. **Floresta e Ambiente**, v. 24, n. 1, p. 1-10, 2017.

CASTRO JUNIOR, S. L.; GARZÓN, N.; WILLIAMS, D.; GUESSO, F. L.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; ROSSIGNOLO, J. A.; FIORELLI, J. Particleboards with agricultural wastes: sugar cane bagasse and reforestation wood. **Key Engineering Materials**, v. 600, n. 3, p. 667-676, 2014.

FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; CARVALHO, L. R. S.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, n. 1, p. 173-182, 2016.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M.; MULLER, M. T.; MENEZZI, C. H. S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010.

MORAIS, R. R.; ROSSI, L. M. B.; HIGA, R. C. V. Gas exchange of seedlings of taxi-branco submitted to leaf temperature variation and irrigation suspension. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 97-104, 2017.

OLIVEIRA, M. R. R.; BRITO, F. M. S.; VILLELA, L. S.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Physical-mechanical properties of panels produced with corn cob particles and different types and contents of adhesives. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e541101119828-e541101119828, 2021.

SOUSA, P. R. F.; CASSEB, B. S.; DA SILVA, M. C.; PALHETA, L. F.; SIMÕES, P. H. O.; LIMA, C. C.; DE ALMEIDA AZEVEDO, N. C.; DA SILVA, L. F. F.; DOS SANTOS NOGUEIRA, G. A.; DE OLIVEIRA NETO, C. F.; DE ARAUJO, D. G.; DE PAIVA, A. P.; PIRES, H. C. G.; DE SOUSA, L. I. S.; DE PAULA, M. T. Influence of artificial shading on seedling production of *Tachigali myrmecophila* (Ducke) Ducke. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 10, p. 1572-1577, 2019.

SOUZA, J. C.; PEDROZO, C. Â.; SILVA, K.; OLIVEIRA, V. X. A.; ALENCAR, A. M. S. Environments for seedling production and nodulation by rhizobia in *tachigali vulgaris*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 116-129, 2019.

DIAS, L. G. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos painéis de teca com adição de pupunha**. 2020. 129 f. Tese - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2020.

SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; DE ASSIS, M. R.; DE ALMEIDA GONÇALVES, D.; TRUGILHO, P. F.; DE PAULA PROTÁSIO, T. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacings for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 3, p. 211-224, 2021.

ESPINOZA, N.; MELANDRI, J. Wood anatomy of the tribe Caesalpinieae (LEGUMINOSAE, CAESALPINIOIDEAE) in Venezuela. **IAWA Journal**, v. 27, n. 1 p. 99-114, 2006.

- FARIA, D. L.; LOPES, T. A.; LOPES, D. E.; ARAÚJO, B. C. L.; DE CASTRO, G. M.; MENDES, L. M.; JUNIOR, J. B. G. Emprego de maravalhas de *Eucalyptus* na produção de painéis: uma alternativa para aproveitamento dos resíduos oriundos da usinagem da madeira. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n° 3, p. 1101-1109, 2020.
- FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L. D. C. R.; PETTER, F. A.; ANDRADE, F. R.; MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophyllax* *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368, n. p. 173-182, 2016.
- FELFILI, J.; HILGBERT, L. F.; FRANCO, A. C.; SOUSA-SILVA, J. C.; RESENDE, A. V.; NOGUEIRA, M. V. P. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento em viveiro. **Brazilian Journal of Botany**, v. 22, n. 2, p.297-301, 1999.
- FERRO, F. S.; DE ALMEIDA, D. H.; MAGALHÃES DE SOUZA, A.; ICIMOTO, F. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Influence of proportion polyol/pre-polymer castor-oil resin components in static bending properties of particleboards produced with *Pinus* sp. **Advanced Materials Research**, v. 884, n. 1, p. 667-670, 2014.
- FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO JR, H.; PALLONE, E. M. D. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, n. 2, p. 69-75, 2012.
- FIORELLI, J.; DE LUCCA SARTORI, D.; CRAVO, J. C. M.; SAVASTANO JR, H.; ROSSIGNOLO, J. A.; DO NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R. Sugarcane bagasse and castor oil polyurethane adhesive-based particulate composite. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 439-446, 2013.
- FIORELLI, J.; GALO, R. G.; CASTRO JUNIOR, S. L.; BELINI, U. L.; LASSO, P. R. O.; SAVASTANO, H. Multilayer Particleboard Produced with Agroindustrial Waste and Amazonia Vegetable Fibres. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 7, p. 1151-1161, 2018.
- FIORELLI, J.; GOMIDE, C. A.; LAHR, F. A. R.; DO NASCIMENTO, M. F.; DE LUCCA SARTORI, D.; BALLESTEROS, J. E. M.; BUENO, S. B.; BELINI, U. L. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, v. 21, n. 4, p.3269-3277, 2014.
- FIORELLI, J.; RAMOS, R. D.; SAYAMA, J. T.; BARRERO, N. G.; PALONE, E. D. J. A. Particleboards with waste wood from reforestation. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 2, p. 251-256, 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Forest product statistics 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>.
- FRANCZAK, D. D.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MEWS, H. A.; MARACAHIPES, L.; DE OLIVEIRA, E. A. Changes in the structure of a savanna forest over a six-year period in the Amazon-Cerrado transition, Mato Grosso state, Brazil. **Rodriguesia**, v. 62, n. 2, p. 425-436, 2011.
- FRANKLIN, G. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**. v. 155, n. 51, p. 51,

1945.

FREIRE, J. M.; DE FARIA, S. M.; ZILLI, J. E.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; CAMARGO, I. S.; ROUWS, J. R. C.; JESUS, E. C. Symbiotic efficiency of inoculation with nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in *Tachigali vulgaris* seedlings. **Revista Árvore**, v. 44, n.1, p. 1-11, 2020.

FREITAS, G.; VAZ-DE-MELO, A.; PEREIRA, M.; DE ANDRADE, C.; LUCENA, G.; DA SILVA, R. Influence of shading on seedling quality of *Sclerolobium paniculatum* Vogel for recovery of degraded areas. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 3, n. 3, p. 5-12, 2012.

GAMA, N.; FERREIRA, A.; BARROS-TIMMONS, A. Cure and performance of castor oil polyurethane adhesive. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Kidlington, v. 95, n. 8, p.102413, 2019.

GARCKE, A.; SCHLECHTENDAL, D. F. L. V.; SCHLECHTENDAL, D. F. L. **Linnaea** : Ein Journal für die Botanik in ihrem ganzen Umfange. Berlin: F. Dümmler; 1837.

GARZÓN, N.; SARTORI, D.; ZUANETTI, I.; BARBIRATO, G.; RAMOS, R.; FIORELLI, J.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JR, H. Durability evaluation of agro-industrial waste-based particle boards using accelerated aging cycling tests. **Key Engineering Materials**, v. 517, n. 6, p. 628-634, 2013.

GATICA, G.; GYENGE, J.; BULFE, N. M. L.; PAHR, N.; DALLA TEA, F.; FERNÁNDEZ, M. E. Unprecedented mortality induced by extreme hot-drought in mature planted *Pinus spp.* stands is locally modulated by soil characteristics. **New Forests**, v. 1, n. 1, p.1-13, 2023.

GEFFERT, A.; GEFFERTOVA, J.; DUDIÁK, M. Direct method of measuring the pH value of wood. **Forests**, Basel, v. 10, n. 9, p.1-9, 2019.

GILIO, C. G. **Avaliação de painéis de partículas homogêneas empregando-se madeira de *Hevea brasiliensis* e *Tectona grandis*, aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. Dissertação - Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2020.

GILIO, C. G.; BISPO, R. A.; TREVISAN, M. F.; RODRIGUES, F. R.; JUNIOR, L. C. F. A.; DA SILVA, S. A. M. Produção de painéis aglomerados empregando seringueira, teca e poliuretano derivado de óleo de mamona. **Revista Principia**, v. 57, n. 1, p.86-97, 2021.

HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; CARDOSO, D. B. O. S.; CARDOSO, L. J. T.; SANTANA, J. C. O.; SIMON, M. F.; COSTA, J. A. S. *et al.* *Tachigali* in Flora e Funga do Brasil [Internet]. Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2023. Disponível em:<<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB100914>>

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Anuário Estatístico da IBÁ 2019. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2022**. São Paulo: IBÁ, 2022.

International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. 1989. Acesso em 06 de agosto de 2023. Disponível: <https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/IAWA%20list%20of%20microscopic%20features%20for%20hardwood%20identification.pdf>

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO 16893 - Wood-based panels:** Particleboard. Geneva: ISO, 2016a.

_____. **ISO 16978 - Wood-based panels:** Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Geneva: ISO, 2003b.

_____. **ISO 16983: Wood-based panels:** Determination of swelling in thickness after immersion in water. Geneva: ISO, 2003.

_____. **ISO 16984 - Wood-based panels:** Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the panel. Geneva: ISO, 2003d.

_____. **ISO 16999 : Wood-based panels** — Sampling and cutting of test pieces. Geneva: ISO, 2003.

_____. **ISO 16978 - Wood-based panels:** Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength: Geneva: ISO, 2003.

ISWANTO, A. H.; SUCIPTO, T.; ADLINA, E.; PRABUNINGRUM, D. Passion fruit hulls particleboard: the effect of urea formaldehyde level on physical and mechanical properties. **International Conference on Agriculture, Environment, and Food Security**, v. 122, n. 1, p. 012138, 2018.

IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A. A.; PARCHEN, C. F. A.; CIT, E. J.; TRIANOSKI, R. Utilização da madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis* para produção de painéis aglomerados. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 193-198, 2010.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; DO NASCIMENTO, C. C.; JUIZO, C. G. F.; LENGOWSKI, E. C.; BILCATI, G. K.; GONÇALVES, T. Particleboard manufactured from six species of Amazon tropical timbers. **Madera Bosques**, v. 24, n. 3, p. 2018.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; ROSA, T. S.; DA COSTA, L. S. S. Effects of temperature and pressure time in the manufacture of particleboards. **Floresta**, v. 49, n. 3, p. 383-390, 2019.

JUNIOR, B. H. M.; HARIDASAN, M. A comparison of the woody vegetation and soil characteristics of a cerrado and a Cerrado sensu stricto in adjacent areas on dystrophic soils in eastern Mato Grosso State, Brazil. **Acta Botânica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.

GUIMARÃES-JUNIOR, J. B. G.; XAVIER, M. M.; SANTOS, T. S.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n° 88, p. 435-442, 2016.

KLINGENBERG, D. **Caracterização da madeira da arborização urbana visando sua valorização em produtos com maior valor agregado**. 2022. Dissertação - Faculdade Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2022.

LEE, S. H.; ASHAARI, Z.; JAMALUDIN, F. R.; YEE, C. N.; AHAMAD, W. N. Physico-mechanical properties of particleboard made from heat-treated rubberwood particles. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 4, p. 655-658, 2017.

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**, v. 3, n. 6, p. 173-176, 2014.

- LIMA JUNIOR, M. P. D. **Utilização da técnica de excitação por impulso para caracterização mecânica de painéis de partículas com adição de casca de *Eucalyptus spp.*** 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.
- LIMA, I. M. **Comportamento térmico de compósito polimérico reforçado com resíduo de Piaçava.** 2019. Dissertação - Faculdade de Tecnologia, Manaus, 2019.
- LISBOA, F. J. N.; GUIMARÃES, Í. L.; GUIMARÃES, J. B.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; DE PROTÁSIO, T. P. Potential use *Sclerolobium paniculatum*, *Myracrodruon urundeuva* and *Amburana cearensis* wood for plywood production. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 129-136, 2016.
- LISBOA, F. J. N.; GUIMARÃES, Í. L.; GUIMARÃES, J. B.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; DE PROTÁSIO, T. P. Potential use *Sclerolobium paniculatum*, *Myracrodruon urundeuva* and *Amburana cearensis* wood for plywood production. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p.129-136, 2016.
- MACEDO, T. M.; BARROS, C. F.; COSTA, C. G.; LIMA, H. C. Wood anatomy of seven species of *Tachigali* (Caesalpinioideae-Leguminosae). **IAWA Journal**, v. 35, n. 1, p 19-30, 2014.
- MACHADO, N. A. F.; FURTADO, M. B.; PARRA-SERRANO, L. J.; PARENTE, M. D. O. M.; FIORELLI, J.; JÚNIOR, H. S. Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 202-209, 2017.
- MADY, F. T. M. **Técnicas para microscopia da madeira.** Manaus: EDUA; 2007.
- MAGZOUB, R.; OSMAN, Z.; TAHIR, P.; NASROON, T.; KANTNER, W. Comparative evaluation of mechanical and physical properties of particleboard made from bagasse fibers and improved by using different methods. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 49, n. 6, p. 537-542, 2015.
- MARIMON, B. S.; DE S. LIMA, E.; DUARTE, T. G.; CHIEREGATTO, L. C.; RATTER, J. A. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian forest ecotone. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 63, n. 3, p. 323-341, 2006.
- MARQUES, M. B. L. **Avaliação de espécies arbóreas da Amazônia na produção de painéis para revestimento de parede.** 2020. Dissertação - Faculdade de Ciências Agrárias, Manaus, 2020.
- MARTORANO, L. G. T., D. C. M.; LISBOA, L. S.; SOUSA, V. G. D.; SANTOS, L. S. D.; JÚNIOR, S. B. **Zoneamento Topoclimático do Taxi-branco (*Tachigali vulgaris L.F.*) na Amazônia Legal: estratégias de Planejamento com Metas de Desenvolvimento Sustentável.** Belém-PA: EMBRAPA, 2018.
- MESQUITA, A. D. L.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; FARIA, L. J. G.; LAHR, F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops and Products**, v. 112, n. 1, p. 644-651, 2018.
- MIGUEL, A.; MARIMON, B. S.; DE OLIVEIRA, E. A.; MARACAHIPES, L.; MARIMON-JUNIOR, B. H. Woody community dynamics of a gallery forest in the

transition Cerrado-Amazon Forest in Eastern Mato Grosso, over a seven year period (1999 to 2006). **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 53-61, 2011.

MINILLO, L. Q. **Aproveitamento de resíduo das indústrias de celulose e sucroalcoleira para produção de painéis aglomerados**. 2016. 96 f. Dissertação - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

NARCISO, C.; REIS, A.; MENDES, J.; NOGUEIRA, N.; MENDES, R. Potential for the use of coconut husk in the production of medium density particleboard. **Waste and Biomass Valorization**, v. 12, n. 5, p.1647-1658, 2021.

NARDUCCI, T. S.; YARED, J. A. G.; BRIENZA JÚNIOR, S. Growth and survival of *Sclerobium paniculatum* vogel and the relationship between rainfall and the increment in diameter at different planting spacings. **Revista Árvore**, v. 40, p. 447-454, 2016.

NASSER, S. M. **Painéis com partículas de madeira da espécie teca e casca de amendoim com adesivo à base de mamona**. 2019. Tese - Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2019.

NÁVIA, D.; FLECHTMANN, C. H. W. Two new species of eriophyid mites (Acari: Eriophyidae) from *Sclerobium paniculatum* Vog. (Caesalpiniaceae) from Brazil. **International Journal of Acarology**, v. 24, n. 2, p. 119-123, 1998.

NEVES, A. H. B.; DE OLIVEIRA, A. C.; ATAIDES, G. C.; DOS SANTOS, C. M. M.; PEREIRA, V. L.; DE AQUINO, L. F. P.; SCCOTI, M. S. V.; DE QUADROS TRONCO, K. M.; DE MELO, R. R.; MASCARENHAS, A. R. P. Biomassa e carbono em plantio comercial de paricá na Amazônia. **Nativa**, v. 10, n. 2, p.154-162, 2022.

NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F. Z.; FRANÇA, R. F. **Características anatômicas de 20 espécies do mato grosso**. In: GIMÉNEZ, A. M. G. I. B. (Ed.). Los bosques y el futuro : consolidando un vínculo permanente en la educación forestal. 1 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2018.

NOGUEIRA, I. M. S.; LAHR, F. A. R.; GIACON, V. M. Development and characterization of particleboards manufactured with the residue of Brazilian nut fruit and castor oil polyurethane resin. **Revista Materia**, v. 23, n. 1, p. e11985, 2018.

OKINO, E. Y.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A.; ALVES, M. V. D. S.; DE SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Evaluation of the physical and biological properties of particleboard and flakeboard made from *Cupressus spp*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 53, n. 1, p. 1-5, 2004.

OLIVEIRA, I. R. M.; VALE, A. T.; MELO, J. T.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C. Biomassa e características da madeira de *Sclerobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v. 14, n. 4, p.351-357, 2008.

ORELLANA, B. B. M.; DO VALE, A. T.; GONÇALVES, J.; GUEDES, M. C.; ORELLANA, J. B. P.; LIMA, C. M. Produtividade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* por classe diamétrica em plantios experimentais na Amazônia. **Nativa**, v. 6, n° 2, p. 773-781, 2018.

ORELLANA, J. B. P. **Valorização tecnológica da madeira de Tachigali vulgaris proveniente de plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá**. 2015. Dissertação - Departamento de Engenharia Florestal, Brasília-DF, 2015.

- OSARENMWINDA, J.; NWACHUKWU, J. Effect of particle size on some properties of rice husk particleboard. **Advanced Materials Research**, v. 18, n° 6, p. 43-48, 2007.
- PIRES, I. P.; MARCATI, C. R. Anatomia e uso da madeira de duas variedades de *Sclerolobium paniculatum* Vog. do sul do Maranhão, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 19, n. 4, p. 669-678, 2005.
- PULLE, A. Neue Beiträge zur Flora Surinams I. **Recueil des Travaux Botaniques Néerlandais**, v. 4, n. 1, p. 119-141, 1907.
- RAMOS, L. D. O.; MIRANDA, R. O. V.; SOARES, A. A. V.; PAULA PROTÁSIO, T.; ALMEIDA GONÇALVES, D. Wood volumetry of *Tachigali vulgaris* pure plantations in different planting spacings. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 990-999, 2021.
- REIS, A. R. S.; REIS, P. C. M.; BRANDÃO, A. T. O.; LISBOA, P. L. B. Anatomia do xilema secundário de sete espécies do gênero *Tachigali* Aubl.(Fabaceae), disponíveis na Xiloteca Walter A. Egler, do Museu Paraense Emílio Goeldi, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 6, n. 3 p. 669-678, 2011.
- REIS, S. M.; LENZA, E.; MARIMON, B. S.; GOMES, L.; FORSTHOFER, M.; MORANDI, P. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; FELDPAUSCH, T. R.; ELIAS, F. Post-fire dynamics of the woody vegetation of a savanna forest (Cerradão) in the Cerrado-Amazon transition zone. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n. 1, p. 408-416, 2015.
- RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel; 1991.
- RODRIGUES, M. S.; SILVA, R. C. , SECCO, R. S. Caesalpinieae (Leguminosae-Caesalpinioideae) do Campo Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, Município de Moju, PA, Brasil. **Hoehnea**. V. 39, n. 3, p. 489-516, 2012.
- RODRIGUES, R. P.; DE ALMEIDA GONÇALVES, D.; SILVA, A. R.; MARTINS, W. B. R.; DIONISIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G. Growth and mortality of *Tachigali vulgaris* L. G. Silva and H. C. Lima in different planting spacing for biomass production. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, p. 1-11, 2021.
- SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeiras de quatro espécies florestais**. 2012. Dissertação - Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Irati - PR, 2012.
- SANTOS, W. L. F.; DA SILVA, A. J. P.; CABRAL, A. A.; MERCURY, J. M. R. Particleboard manufactured from tauari (*Couratari oblongifolia*) wood waste using castor oil based polyurethane resin. **Materials Research**, v. 17, n. 3, p. 657-663, 2014.
- SHIROSAKI, R. K.; ALMEIDA, T. H. D.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Caracterização de painéis de partículas de média densidade feitos com resina poliuretana monocomponente à base de mamona. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 1, p. 37-43, 2019.
- SILVA, A. M. V. D. **Avaliação do comportamento térmico de compósitos poliméricos produzidos com resíduos de açaí em edificações na Amazônia**. 2019. Dissertação - Faculdade de Tecnologia Manaus, 2019.
- SILVA, D. A. L.; LAHR, F. A. R.; GARCIA, R. P.; FREIRE, F. M. C. S.; OMETTO, A. R. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil.

The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 18, n. 1, p. 1404-1411, 2013.

SILVA, G. M. S. D. **Produção e análise de painéis particulados de *Corymbia Citriodora* com adição de fibras de coco**. 2020. Dissertação - Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2020.

SILVA, L. F. G. D.; LIMA, H. C. D. Mudanças nomenclaturais no gênero *Tachigali aubl.*(Leguminosae-Caesalpinioideae) no Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, n. 2, p. 397-401, 2007.

SILVA, M. O. D. S.; SILVA, M. G. D.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R. D.; GONÇALVES, D. D. A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. D. P. Thermogravimetric characteristics and combustion of *Tachigali vulgaris* wood planted at different spacings. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 1-15, 2021.

SILVA, M. O. D. S.; SILVA, M. G. D.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R. D.; GONÇALVES, D. D. A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. D. P. Thermogravimetric characteristics and combustion of *Tachigali vulgaris* wood planted at different spacings. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 2021.

SIMÕES, P. H. O.; CARDOSO, K. P. S.; DO NASCIMENTO, V. R.; PALHETA, J. G.; DE PAULA, M. T.; DOS SANTOS, N. G.; MARTINS, J. T. S.; MACHADO, L. C.; SILVA, K. R. S.; DE ARAÚJO, D. G.; NETO, C. F. O.; BRITO, A. E. A. Biochemical response of Tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima) in function of sources and doses of nitrogen. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1579-1587, 2017.

SIMÕES, P. H. O.; DE CARVALHO, J. O. P.; DE ARAUJO, D. G.; GAMA, M. A. P.; LIMA, C. C.; DE OLIVEIRA NETO, C. F.; OKUMURA, R. S.; DA SILVA, R. T. L.; DOS SANTOS NOGUEIRA, G. A.; DE PAULA, M. T. Effect of phosphorus and potassium on gas exchanges of *Tachigali vulgaris*. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 12, p. 1961-1969, 2020.

SIMÕES, P. H. O.; DE OLIVEIRA NETO, C. F.; DO VALE, R. S.; PALHETA, L. F.; DE PAULA, M. T. Growth and seedlings quality of *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima in response to sources and doses of nitrogen. **Espacios**, v. 37, n. 38, p. 1-8, 2016.

SIMÕES, P. H. O.; DE PAULA, M. T.; DE ARAÚJO, D. G.; DE SOUZA, L. C.; LIMA, C. C.; PALHETA, L. F.; DE OLIVEIRA NETO, C. F.; DE CARVALHO, J. O. P. Biological use coefficient of biomass of *Tachigali vulgaris* under phosphorus and potassium fertilization: Management technologies for sustainable production of bioenergy in tropical countries. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 5, p. 637-648, 2022.

SOARES, S. S.; JÚNIOR, J. B. G.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; LISBOA, F. N. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017.

SOUZA, C. R.; LIMA, R. M. B.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B. Efficiency of forest species for multiple use in Amazonia. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 7-14, 2008.

SOUZA, J. C.; PEDROZO, C. Â.; SILVA, K.; OLIVEIRA, V. X. A.; ALENCAR, A. M. S.

Environments for seedling production and nodulation by rhizobia in *Tachigali vulgaris*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 116-129, 2019.

SOUZA, M. V. D. **Avaliação e viabilidade técnica para aproveitamento de resíduo de serraria de quatro espécies de madeira para produção de painéis aglomerados homogêneos e heterogêneos**. 2022. 147 f. Dissertação - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2022.

SOZIM, P. C. L.; NAPOLI, L. M.; FERRO, F. S.; MUSTEFAGA, E. C.; HILLIG, É. Propriedades de painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Ligustrum lucidum* e *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 39, n. 1, p.1-8, 2019.

SUGAHARA, E. S. **Painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto e bagaço de cana, com adesivos ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona**. 2018. Dissertação - Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira - SP, 2018.

SUGAHARA, E. S.; DA SILVA, S. A. M.; BUZO, A. L. S. C.; DE CAMPOS, C. I.; MORALES, E. A. M.; FERREIRA, B. S.; AZAMBUJA, M. A.; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. High-density particleboard made from agro-industrial waste and different adhesives. **BioResources**, v. 14, n. 3, p. 5162-5170, 2019.

TINTI, V. P. **Efeitos da temperatura e adesivos na qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira de eucalipto**. 2015. Dissertação – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2015.

TOLEDO, L. J. D. S. **Caracterização das propriedades físico-mecânica e de desempenho no lixamento de chapas particuladas (*Dendrocalamus Giganteus*)**. 2013. Dissertação - Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2013.

TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; OLIVEIRA, F. J. M. D. Crescimento e qualidade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* sob diferentes espaçamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 1-8, 2018.

TONINI, H.; SCHWENGBER, D. R.; MORALES, M. M.; OLIVEIRA, F. J. M. D. Crescimento e qualidade energética da madeira de *Tachigali vulgaris* sob diferentes espaçamentos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, n. 1, p.1-8, 2018.

TREVISAN, M. F. **Painéis aglomerados homogêneos produzidos com partículas de pinus e seringueira e aglutinados com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona: avaliação das propriedades físicas e mecânicas**. 2021. Dissertação - Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2021.

VALARELLI, I. D.; BATISTELLE, R. A.; BRANCO, L. A. M. N.; CHAHUD, E.; CHRISTOFORO, A. L.; ROCCO LAHR, F. A.; BEZERRA, B. S. Evaluation of bamboo particleboards produced with urea-formaldehyde resin. **Advanced Materials Research**, v. 1025, n. 9, p. 432-435, 2014.

VALARELLI, I. D.; BATTISTELLE, R. A. G.; BUENO, M. A. P.; BEZERRA, B. S.; DE CAMPOS, C. I.; ALVES, M. C. S. Physical and mechanical properties of particleboard bamboo waste bonded with urea formaldehyde and castor oil based adhesive. **Revista Materia**, v. 19, n. 1, p. 1-6, 2014.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relationships among chemical properties, physical and energy wood properties of five Cerrado species. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-146, 2010.

VARANDA, L. D.; ALESI, L. S.; YAMAJI, F. M.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Mechanical properties of accelerated aging particleboards. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 571-578, 2019.

VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; DE ALMEIDA, D. H.; SILVA, D. A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Evaluation of modulus of elasticity in static bending of particleboards manufactured with *Eucalyptus grandis* wood and oat hulls. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 36, n. 3, p. 405-411, 2014.

VARANDA, L. D.; NASCIMENTO, M. F. D.; CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, D. A. L.; LAHR, F. A. R. Oat hulls as addition to high density panels production. **Materials Research**, v. 16, n. 6, p. 1355-1361, 2013.

VIANA, E. W. P. **Painéis de madeira desenvolvidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar**. 2016. Dissertação - Campus de Fernadópolis, Fernadópolis, 2016.

VIDOTTO, E.; PESSEDA, L. C. R.; RAIEIRO, A. D. S.; DE FREITAS, H. A.; BENDASSOLLI, J. A. Vegetation dynamics during the Holocene in a forest-savanna transition, Southern Amazon Basin, based on isotope and phytosociological studies. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 385-400, 2007.

WORLD FLORA ONLINE. *Tachigali Aubl.* 2023. Acesso em 06 de agosto de 2023. Disponível em: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-4000037408>

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. Identificação macroscópica de madeiras. 2007. Acesso em 06 de agosto de 2023. Disponível em: <https://lrfp.paginas.ufsc.br/files/2016/05/Apostila-Identifica%C3%A7%C3%A3o-Macrosc%C3%B3pica-IPT-abril-2012.pdf>

ZHANG, H.; SFARRA, S.; SARASINI, F.; FIORELLI, J.; PEETERS, J.; AVDELIDIS, N. P.; DE LUCCA SARTORI, D.; AIARRA-CASTANEDO, C.; PERILLI, S.; MOKHTARI, Y.; TIRILLÒ, J.; MALDAGUE, X. P. V. Impact modelling and a posteriori non-destructive evaluation of homogeneous particleboards of sugarcane bagasse. **Journal of Nondestructive Evaluation**, v. 37, n. 1, p. 2018.