

Relação entre propriedades elásticas e biológicas em painéis aglomerados feitos com resíduos de madeira de eucalipto

Relationship between elastic and biological properties in eucalypt wood waste particleboards

Fabricio Gomes Gonçalves¹, Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho¹, Michelângelo Vargas Fassarella¹, Daniela Minini², Vinícius Peixoto Tinti³, Yonny Martinez Lopez¹, Mayária Josiânia Kercília Firmes Sampaio Felberg¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro, CEP 29.550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Prefeito Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, PR, Brasil

³ Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro, CEP 29.550-000, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil

e-mail: fabricio.goncalves@ufes.br, p_gutemberg2001@yahoo.com.br; michelangelo.fassarella@gmail.com,

daniminini16@gmail.com, viniciustinti_madeireiro@hotmail.com, yohnkar@gmail.com, naninhafelberg@hotmail.com

RESUMO

Neste trabalho obteve-se corpos de prova provenientes de painéis aglomerados confeccionados a partir de resíduos de madeira serrada de eucalipto. Caracterizou-se o módulo de elasticidade a partir da frequência flexional e longitudinal e módulo de cisalhamento por meio de ensaios não destrutivo e destrutivo. Foram avaliadas a resistência biológica dos painéis a partir da reação aos fungos *Neolentinus lepideus* e *Brunneoporus malicola* (\approx *Gloeopyllum trabeum*) e com térmitas *Cryptotermes brevis* e *Nasutitermes* sp. Nestes ensaios determinou-se a perda de massa após o período de ataque. Observou-se relação entre o método de vibração flexional do corpo de prova retangular com o módulo de elasticidade estático, possibilitando o uso desse método. Os painéis com menor teor de tanino (2%) no adesivo apresentaram desempenhos mecânicos inferiores. As técnicas utilizadas mostraram ser possível a estimação das propriedades em painéis aglomerados. Os painéis apresentaram-se mais resistentes para o fungo *B. malicola* com as menores perdas de massa (média geral de 15,73%) em relação ao *N. lepideus* (45,73%). Os painéis confeccionados com 100% de tanino-formaldeído promoveram maior perda de massa quando em contato com a térmita *Cryptotermes brevis* (12,54%) e para ambos os fungos *B. malicola* (21,2%) e *N. lepideus* (53,8%). Para as térmitas *Nasutitermes* sp. os painéis com 100% de tanino foram menos degradados.

Palavras-chave: Resíduo de serraria. Excitação por impulso. Vibração flexional. Ensaio biológico.

ABSTRACT

In this work specimens from particleboards were obtained made from wood eucalyptus waste. The modulus of elasticity was characterized from the flexural and longitudinal frequency and shear modulus through non-destructive and destructive tests. The biological resistance of the panels was evaluated from the reaction to the fungi *Neolentinus lepideus* and *Brunneoporus malicola* (\approx *Gloeopyllum trabeum*) and with termite *Cryptotermes brevis* and *Nasutitermes* sp. In these tests, the loss of mass was determined after the attack period. A relationship was observed between the flexural vibration method of the rectangular samples and static modulus of elasticity, enabling the use of this method. The particleboards with lower tannin content (2%) in the adhesive showed lower mechanical results. The techniques used showed that it is possible to estimate the properties in particleboards. Particleboards presented more resistant to fungi *B. malicola* with the lowest mass loss (general average of 15.73%). In relation to *N. lepideus* (45.73%). The panels made with 100% tannin-formaldehyde adhesive promoted greater loss of mass when in contact with the termite *C. brevis* termites

(12.54%) and for both fungi *B. malicola* (21.2%) and *N. lepideus* (53, 8%). For termites *Nasutitermes* sp. the panels with 100% tannin were less degraded.

Keywords: Sawmill waste. Impulse excitation. Flexional vibration. Biological assay

1. INTRODUÇÃO

A madeira se destaca como matéria-prima na competitividade industrial sendo base em inúmeras atividades produtivas. Devido a suas propriedades mecânicas, estruturais e biodegradáveis, seu uso deve ser coerente às suas características, visando rendimento e qualidade no produto final almejado.

A madeira aglomerada, ou painel aglomerado, é um composto formado por partículas de espécies madeireiras [1] ou outro material lignocelulósico [2], incorporadas com um adesivo sintético ou natural, e consolidadas por meio de aplicação de calor e pressão em uma prensa específica [3]. Esse tipo de produto surgiu com o objetivo de tentar suprir a escassez da matéria-prima que ocorreu durante e após a II Guerra Mundial e ganhou espaço no mercado principalmente pelo baixo preço.

A produção de painéis de madeira, como mencionado no relatório da indústria brasileira de árvores [4], apresenta grande importância para a economia brasileira, sendo o ano de 2019 finalizado com uma produção de 6,9 milhões de metros cúbicos, variando apenas -0,7% em relação ao ano de 2019.

A disparidade entre a baixa disponibilidade de matéria-prima e a crescente demanda de produtos florestais faz da madeira do eucalipto uma boa alternativa devido à alta produtividade [1] de suas diferentes espécies plantadas no Brasil e, conseqüentemente, a disponibilidade de áreas possíveis para seu cultivo. Alguns autores [2, 5] mencionaram que o aproveitamento de resíduos para produção de painéis de madeira aglomerada pode ser uma alternativa para o setor, agregando valor à matéria-prima.

A madeira de eucalipto tem se destacado como uma alternativa viável para a produção de painéis aglomerados [6]. Estes autores demonstraram resultados satisfatórios das propriedades físico-mecânicas em painéis aglomerados produzidos com a madeira do gênero *Eucalyptus*.

O painel aglomerado é o gênero de painel mais produzido e consumido no mundo e no Brasil [7]. Em função desta característica, tem-se a necessidade de avaliar as propriedades dos produtos, dentre elas a resistência desses aos organismos xilófagos (fungos e térmitas), que são agentes potencialmente causadores de degradação (deterioração) de painéis.

Alguns trabalhos publicados [8-13] tiveram como objetivo avaliar a resistência de painéis aglomerados ao ataque de organismos xilófagos (fungos e cupins), mediante o uso de adesivos a base de ureia-formaldeído e ou tanino-formaldeído, apresentando resultados variados em função dos diferentes tratamentos aplicados. Porém, de forma geral, foram satisfatórios. Os taninos, sobretudo os condensados são utilizados em alguns trabalhos para melhorar as características de colagem, devido ao seu comportamento fenólico e ainda para reduzir custos.

As análises das propriedades físico-mecânicas em painéis aglomerados são realizadas tradicionalmente por meio de ensaios destrutivos, que são demorados e trabalhosos, além de exigirem um grande número de amostras. Para que esse processo de avaliação da qualidade do painel seja otimizado e menos trabalhoso, alguns ensaios não destrutivos podem ser utilizados, desde que apresentem resultados bem semelhantes aos testes usuais [14]. Técnicas não destrutivas são muito utilizadas por diversos autores para estimativa de propriedades de flexão, em madeiras e painéis reconstituídos [15-20].

Os métodos não destrutivos [21] são aqueles que permitem a estimativa de propriedades da madeira e seus subprodutos, análises em aplicações estruturais e não estruturais, além de permitirem identificar e localizar defeitos na madeira e seus materiais reconstituídos, isso sem alterar a característica estrutural original e conseqüentemente a utilização final do material.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo determinar o módulo de elasticidade a partir de técnicas não destrutivas, bem como avaliar a resistência à agentes biodeterioradores (fungos e cupins) de painéis aglomerados confeccionados com resíduos de madeira de eucalipto proveniente de destopadeira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local, origem da matéria-prima e formação do painel

Foram produzidos trinta e quatro painéis aglomerados de madeira, em uma prensa (Solab, SL12) de pratos planos e aquecidos tendo como matéria-prima os resíduos de madeira de eucalipto provenientes de uma serraria localizada na região do Caparaó, sul do estado do Espírito Santo. Foram utilizadas serragem de destopadeira, peneirados e selecionadas, com dimensões entre 1,5mm e 2,0mm de comprimento. Foi utilizado 8% do adesivo ureia-formaldeído (Hexion, Curitiba-PR), modificado com uma solução de tanino comercial de acácia negra (Tanac, Montenegro-RS) diluído a 50% em água destilada. A Tabela 1 ilustra a composição dos

adesivos nos respectivos tratamentos, as densidades obtidas e as razões de compactação dos mesmos.

Tabela 1. Composição dos painéis, densidade aparente e respectiva razão de compactação para os diferentes tratamentos, prensados com 8% de adesivo, a 3,92 MPa a temperatura de 140 °C por 8 min.

TRATAMENTO	COMPOSIÇÃO DO ADESIVO (%)		DENSIDADE APARENTE DO PAINEL (g cm ⁻³)	RAZÃO DE COMPACTAÇÃO
	UREIA-FORMALDEÍDO (UF)	TANINO-FORMALDEÍDO (TF)		
1- UF	100	0	0,44	0,79
2- TF	0	100	0,47	0,30
3- UF + TF (TUF)	98	2	0,40	0,71
4- UF + TF (TUF)	95	5	0,41	0,73
5- UF + TF (TUF)	90	10	0,44	0,79
6- UF + TF (TUF)	85	15	0,44	0,79

Após a climatização (25 °C ± 2 °C e 65 % ± 5% de umidade relativa), providenciaram-se cortes geométricos simples de seção quadrada de dimensão aproximada de 24 cm × 24 cm × 1,5 cm e de seção retangular medindo cerca de 5 cm × 25 cm × 1,5 cm. Com isso, foram efetuados os calculados de volume e massa específica para cada amostra e também mensurados o comprimento, largura, espessura e massa de todos os corpos de prova.

2.2 Estimativa do módulo de elasticidade

Realizou-se o ensaio destrutivo (flexão estática- MOE) em máquina universal de ensaio (EMIC, DL10.000) de 10 tf com sistema automático de aquisição de dados. O ensaio foi realizado em corpo de prova retangular (5 cm × 25 cm × 1,5 cm) para fins de comparação e aferição da metodologia; e ensaios não destrutivos (métodos de vibração transversal, longitudinal e torcional e *stress wave time*), a saber:

2.2.1 Ensaio *Stress Wave Timer* - SWT

O equipamento SWT registra o tempo de propagação de ondas acústicas (microssegundos) que possibilita o cálculo da velocidade de propagação de onda de tensão (m s⁻¹) a partir de uma relação entre a distância (metros) dos tradutores do equipamento e o tempo que a onda leva para fazer este percurso (seg.).

O equipamento *Stress Wave Timer* (Metriguard, 239A) foi utilizado nos corpos de prova quadrado e retangular para obter o tempo em que a onda de tensão levou para percorrer o comprimento do corpo de prova. A partir do tempo obtido na distância estabelecida obteve-se a velocidade, e consequentemente o módulo de elasticidade dinâmico por meio da Equação 1.

$$MOE = \frac{V^2 * \rho}{g} \quad (1)$$

Onde o MOE_{SW} é o módulo de elasticidade dinâmico, em MPa, o V é a velocidade de propagação da onda, em m s⁻¹, ρ é a massa específica do material, em kg m⁻³, e g é o valor admitido para a gravidade (9,80665), em m s⁻².

2.2.2 Ensaios de vibração transversal, longitudinal e torcional

No ensaio de vibração, os corpos de prova foram devidamente posicionados nos pontos nodais (transversal, longitudinal e torcional), que se encontra a 0,224 × L da extremidade. Os corpos de prova foram apoiados sobre fios de elastômero ligados a duas hastes de madeira, método este conhecido como contorno de barra livre. Em seguida, os mesmos receberam um pequeno impacto com um pequeno martetele de massa inferior ao corpo de prova, e as vibrações dos impactos (ondas acústicas) captadas por um microfone (Figura 1-A), sendo instantaneamente transformadas em frequências por um programa analisador de frequência por som (*Fast Fourier Vibration Analyzer*, FFT2002) (Figura 1-B).

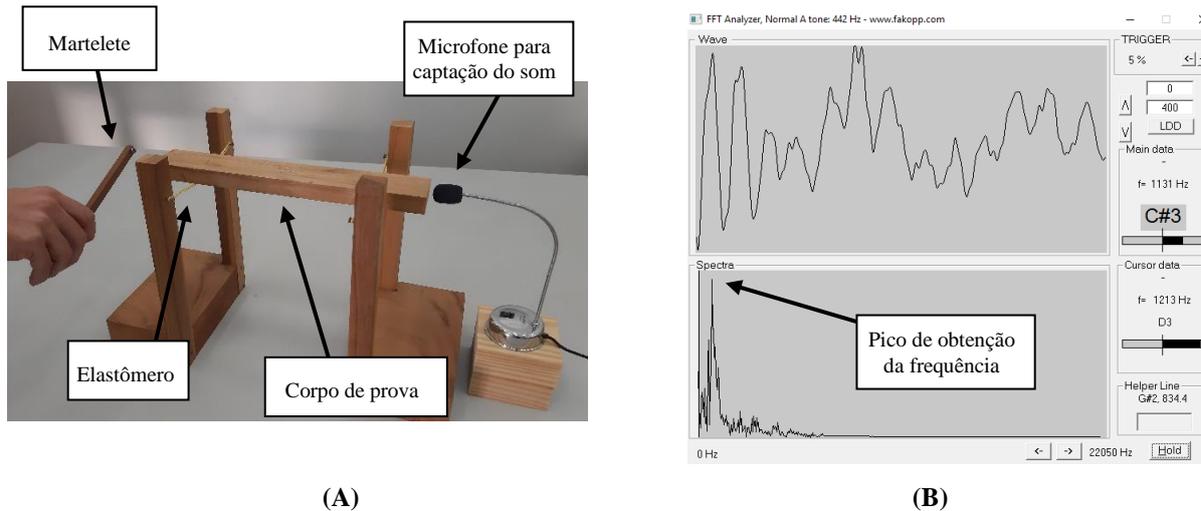


Figura 1: Aparato utilizado para o teste de vibração transversal, longitudinal e torcional (A) e imagem gerada pelo programa *Fast Fourier Vibration Analyzer* (B). Fonte: Os autores.

Existem diferentes modelos matemáticos para cada tipo de excitação aplicada aos corpos de prova. Os modelos utilizados neste estudo estão descritos a seguir, segundo as normas da *American Society for Testing and Materials – ASTM* [22, 23].

A vibração flexional nos corpos de prova retangulares foi obtida a partir da Equação 2.

$$MOE_f = 0.9465 * \left(\frac{m * f_f^2}{b} \right) * \left(\frac{L^3}{t^3} \right) * T_1 \tag{2}$$

Onde o MOE_f é o módulo de elasticidade, em Pa, m é a massa do corpo de prova, em gramas, L é o comprimento do corpo de prova, em mm, b é a largura do corpo de prova, em mm, t é a espessura do corpo de prova, em mm, f_f é a frequência de ressonância fundamental flexional obtida pelo software analisador de vibração, em Hz, e T_1 é o fator de correção para o modo fundamental flexional, que depende da razão de Poisson (μ) e da razão de aspecto da barra (Equação 3).

$$T_1 = 1 + 6.59 * \left(1 + 0.075\mu + 0.811\mu^2 \right) * \left(\frac{t}{L} \right)^2 - 0.87 * \left(\frac{t}{L} \right)^4 - \left[\frac{0.34 * \left(1 + 0.2023\mu + 2.173\mu^2 \right) * \left(\frac{t}{L} \right)^4}{1 + 6.338 * \left(1 + 0.141\mu + 1.536\mu^2 * \left(\frac{t}{L} \right)^2 \right)} \right] \tag{3}$$

Para o cálculo do fator de correção foi estimado a razão de Poisson utilizando-se um valor de 0,25, em função do painel testado apresentar um comportamento homogêneo ao longo da peça.

A vibração torcional nos corpos de prova retangulares foi obtida a partir da Equação 4, possibilitando a obtenção do módulo de cisalhamento [22].

$$G = \frac{4 * L * m * f_t^2}{b * t} * R \tag{4}$$

Onde G é o módulo de cisalhamento, em Pa, f_t é a frequência de ressonância fundamental torcional, em (Hz), m é a massa do corpo de prova, em gramas, b é a largura do corpo de prova, em mm, t é a espessura do corpo de prova, em mm; e, R é o fator da relação entre largura e altura do corpo de prova e é dado pela Equação 5.

$$R = \left[\frac{1 + \left(\frac{b}{t}\right)^2}{4 - 2.521 * \frac{t}{b} * \left(1 - \frac{1.991}{e^{\pi \left(\frac{b}{t+1}\right)}}\right)} \right] * \left[1 + \frac{0.00851 * \eta^2 * b^2}{L^2} \right] - 0.060 * \left(\frac{\eta * b}{L}\right)^{\frac{3}{2}} * \left(\frac{b}{t} - 1\right)^2 \quad (5)$$

As vibrações longitudinal e flexional dos corpos de prova de seção quadrada foram obtidas a partir da Equação 6.

$$MOE_l = 4 * L^2 * \rho * f_l^2 * 10^{-6} \quad (6)$$

Onde o MOE_l é o módulo de elasticidade, em Pa, o ρ é a massa específica do corpo de prova, em kg m^{-3} , L é o comprimento do corpo de prova, em metros, f_l é a frequência do modo longitudinal fundamental, em Hz, e η é o número do modo de vibrar.

2.3 Ensaio de degradação biológica

2.3.1 Ensaio de resistência à fungos xilófagos

Para que o ensaio pudesse ser realizado, retirou-se 6 amostras, nas dimensões $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 12,7 \text{ mm}$ (comprimento, largura e espessura). Os corpos de prova foram provenientes dos ensaios não destrutivos para cada tratamento definido no item 2.1.

O ensaio foi conduzido de acordo com a metodologia proposta em instrumento normativo [24]. As amostras foram secas a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ em estufa (Solab, SL100/100) até atingirem massa constante. Empregaram-se os fungos xilófagos *Neolentinus lepideus* e *Brunneoporus malicola*.

Os ensaios foram montados em frascos de vidro transparente autoclavados a $121 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 30 minutos, com a boca larga, tampa rosqueável e capacidade de 600 mL. Os recipientes foram preenchidos com 300g de solo com pH 5,7 e capacidade de retenção de água de 33,89%, conforme recomendados por instrumento normativo [25].

O experimento foi conduzido com 4 repetições de 6 tratamentos e mais 30% de perda, totalizando 34 frascos e 68 corpos de prova dos painéis para cada fungo com duas repetições por frasco [24]. Foram necessárias um período de 12 semanas para o desenvolvimento dos fungos e finalização dos trabalhos. O ensaio foi mantido em sala climatizada a $28 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) e depois de decorrido tal período, as amostras foram secas sob as mesmas condições antes da realização do ensaio ($50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) e a perda de massa calculada e avaliada [24, 25] (Tabela 2).

Tabela 2: Classes de resistência para ensaio de fungos xilófagos [24].

PERDA DE MASSA (%)	MASSA RESIDUAL (%)	CLASSE DE RESISTÊNCIA
0-10	76-89	Altamente resistente
11-24	90-100	Resistente
25-44	56-75	Moderadamente resistente
≥ 45	≤ 55	Não resistente

2.3.2 Ensaio de resistência à térmita de solo e de madeira seca

Para a realização do ensaio de preferência alimentar da térmita *Nasutitermes* sp., foram dispostos corpos de prova ($25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$) provenientes do ensaio não destrutivo de todos os tratamentos avaliados, em uma caixa de amianto (Figura 2) [26]. O término do ensaio ocorreu após 45 dias corridos.



Figura 2: Arranjo dos corpos de prova no interior da caixa de fibro-cimento preparada para receber a colônia de *Nasutitermes* sp. Fonte: Os autores.

O ensaio de resistência com térmitas de madeira seca (*Cryptotermes brevis*), foi realizado segundo o método descrito pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, do Estado de São Paulo [27]. Utilizou-se amostras com dimensões de 23 mm × 60 mm × 12,7 mm, que após secas em estufas (103 °C ± 2 °C por 48 horas) e unidas aos pares com fita adesiva foram colocadas em contato com 40 cupins, na razão de 39 operários para um soldado, sendo estes jovens (sem indícios de asas) e aparentemente saudáveis. O experimento foi mantido em condições de laboratório (28 ± 2 °C e 65 ± 5% de umidade relativa). Decorridos 45 dias, foi registrada a mortalidade dos cupins, sendo adotado o valor de 67% como indicativo de elevada mortalidade. Avaliou-se também a perda de massa ocorrida nos corpos de prova, uma vez que não houve orifícios transpassando os mesmos.

2.4 Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de normalidade (Kolmogorov-Smirnov – $p < 0,05$) e teste de homocedastia (Bartlett – $p < 0,01$).

Na estimativa do módulo de elasticidade (MOE) foi empregado o delineamento inteiramente casualizado para averiguar a diferença existente entre as médias dos módulos de elasticidade pelos métodos destrutivos e não destrutivos. Quando os tratamentos mostraram diferenças significativas pela análise de variância – ANOVA ($F < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey, na mesma significância nas médias dos tratamentos.

O ensaio com cupim de madeira seca foi avaliado com base no delineamento experimental inteiramente casualizado, totalizando cinco repetições para cada adesivo. O ensaio com o cupim subterrâneo foi avaliado com base no delineamento experimental em blocos, totalizando seis blocos. Ambos ensaios com cupins foram submetidos a ANOVA ($F < 0,05$) e teste de médias (Tukey, $p < 0,05$).

Para a montagem do experimento com fungos, foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado, no esquema fatorial (adesivo, em seis níveis e fungo, em dois níveis) com oito repetições por tratamento, sendo utilizada a ANOVA ($F < 0,01$) e aplicado o teste de médias (Tukey, $p < 0,01$).

3. RESULTADOS

3.1 Módulos de Elasticidade e Ruptura a Flexão Estática

Neste trabalho, a variação significativa de tanino no adesivo químico ureia formaldeído, foi detectada pela análise variância ($F < 0,05$) para ambos módulos de elasticidade e de ruptura a flexão estática (Figura 3).

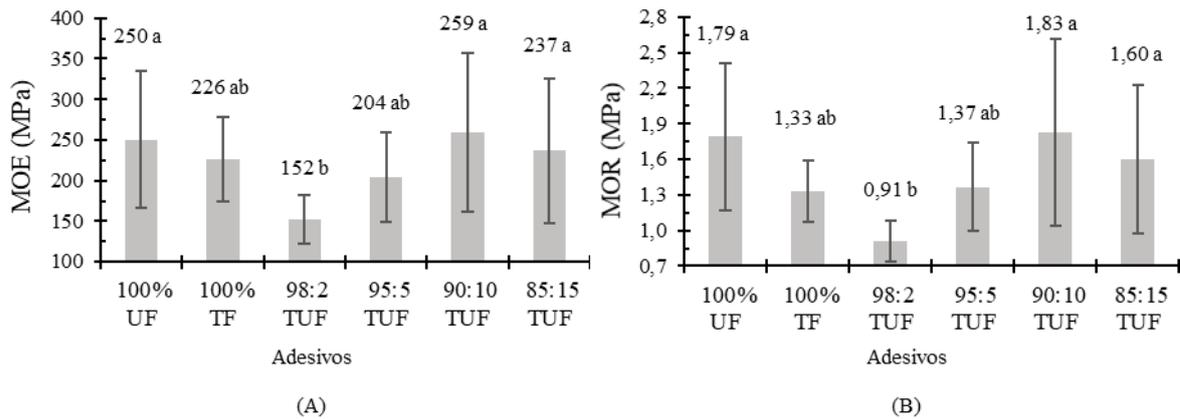


Figura 3: Valores médios dos módulos de elasticidade (A) e de ruptura (B) na flexão estática na seção transversal obtidos por ensaio destrutivo. Adesivos: 100%UF: 100% ureia-formaldeído; 100%TF: 100% tanino-formaldeído; 98:2TUF: 98% ureia-formaldeído e 2% tanino-formaldeído; 95:5TUF: 95% ureia-formaldeído e 5% tanino-formaldeído; 90:10TUF: 90% ureia-formaldeído e 10% tanino-formaldeído; 85:15TUF: 85% ureia-formaldeído e 15% tanino-formaldeído. Barras são o desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey $\geq 0,05$).

3.2 Stress wave time, vibração transversal, longitudinal e torcional

Os módulos de elasticidade obtidos por meio da ressonância longitudinal e flexional (seção quadrada e retangular) realizado com o equipamento *Stress wave timer*, pela vibração transversal, longitudinal e torcional, apresentaram significância pela Anova (Tabela 3).

Tabela 3: Resumo da análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico a partir da frequência longitudinal e flexional nos corpos de prova de seção quadrada e retangular.

MOE DINÂMICO	SEÇÃO	F _c	P-VALOR
Longitudinal	Quadrada	3.585	0.0124
	Retangular	14.311	0.0001
Flexional	Quadrada	12.144	0.0001
	Retangular	4.667	0.0008

Na Figura 4 são apresentados os valores médios do módulo de elasticidade longitudinal dos painéis entre os tratamentos avaliados.

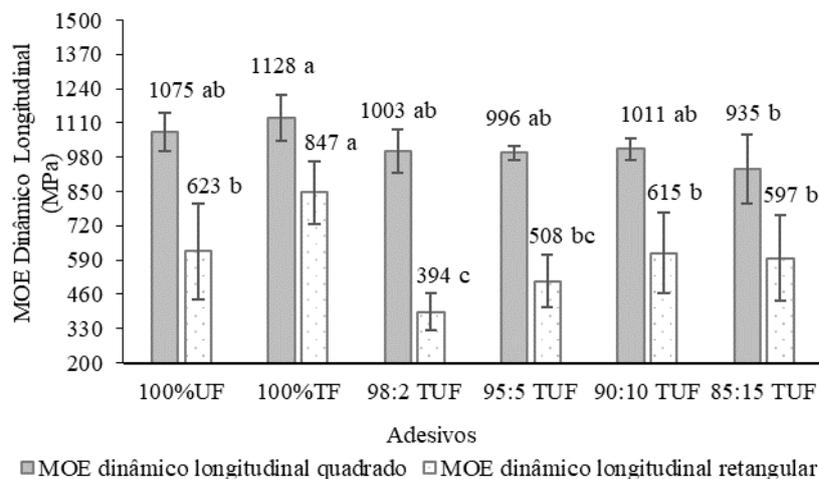


Figura 4: Valores médios para o módulo de elasticidade dinâmico longitudinal (MOE_{Din}), em MPa, obtido por meio do *Stress wave timer* nas seções quadradas e retangulares. Sendo: UF: ureia-formaldeído; TF: tanino-formaldeído; TUF:

tanino-ureia-formaldeído. Barras é o desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra em cada tipo de seção não diferem entre si estatisticamente (Tukey $\geq 0,05$).

Na Figura 5 é apresentado os valores médios para o módulo de elasticidade dos corpos de prova de seção quadrada e retangular para cada tratamento, obtidos por meio da frequência flexional nos corpos de prova quadrados e retangulares.

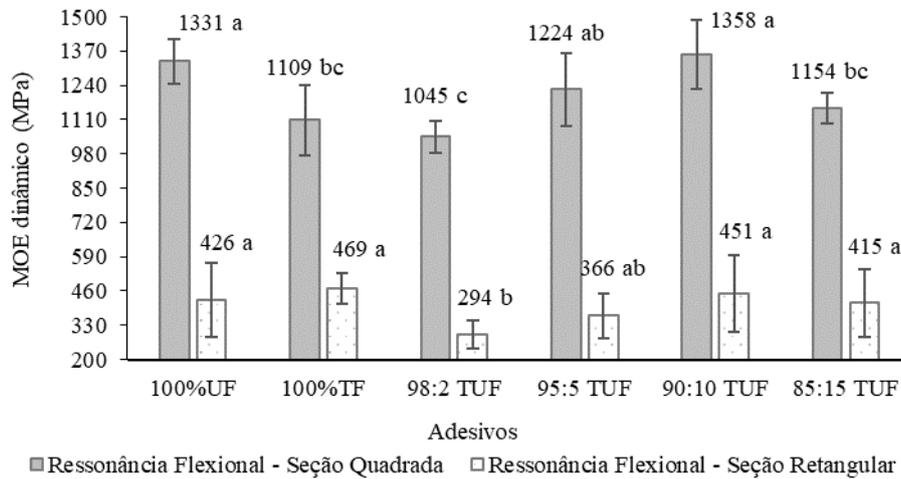


Figura 5: Valores médios para o módulo de elasticidade dinâmico (MOE_{Din}), em MPa, obtido por meio da frequência flexional nas seções quadradas e retangulares. Sendo: UF: ureia-formaldeído; TF: tanino-formaldeído; TUF: tanino-ureia-formaldeído. Barras são o desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra em cada tipo de seção não diferem entre si estatisticamente (Tukey $\geq 0,05$).

3.3 Vibração Torcional e Longitudinal

Houve diferença estatística entre o módulo de cisalhamento nos diferentes tratamentos realizados (P-valor $< 0,05$) obtidos por meio da frequência fundamental torcional e longitudinal obtidos nos corpos de prova de seção quadrada (Figura 6).

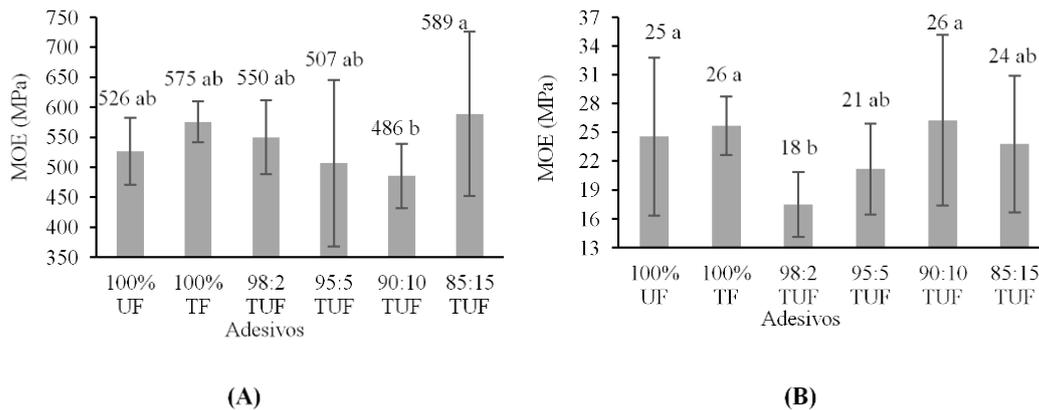


Figura 6: Valores médios do módulo de cisalhamento, em MPa, nos tratamentos estudados, obtidos por meio da frequência fundamental torcional em corpo de prova retangular (A) e vibração longitudinal em corpo de prova quadrado (B). Sendo: UF: ureia-formaldeído; TF: tanino-formaldeído; TUF: tanino-ureia-formaldeído. Barras é o desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey $\geq 0,05$).

A vibração torcional apresentou valores de módulo de cisalhamento relativamente baixos, tendo o tratamento 5 com maior valor (26,30 MPa) e diferenciando estatisticamente apenas do tratamento 3 (17,5 MPa).

A vibração longitudinal dos corpos de prova de seção quadrada apresentou valores de MOE mais baixos para o tratamento 5, isto é, resposta diferente dos outros métodos, e o tratamento 6 com maior valor de MOE (588,77 MPa).

3.4 Correlação linear entre os módulos dinâmico e estático

Na Figura 7 estão ilustradas as correlações obtidas entre os módulos de elasticidade dinâmico e flexional obtidos em corpos de prova retangulares.

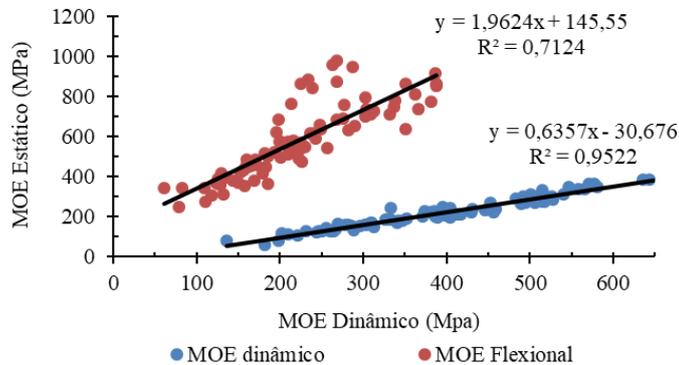


Figura 7: Correlação entre os módulos de elasticidade dinâmico (●) e flexional (▲), obtidos por método vibracional e pelo *Stress wave timer* com o módulo de elasticidade estático destrutivo em corpos de prova retangulares.

A correlação entre o módulo de elasticidade estático e o dinâmico em ambas as metodologias mostrou-se satisfatória ($F < 0,05$), indicando que a utilização dos métodos não destrutivos testados são possíveis de serem utilizados na obtenção do MOE em painéis aglomerados, além da madeira bruta, como também demonstrado em outros trabalhos [19, 28, 29].

3.5 Danos ocorridos por agentes degradadores

Diante dos dados coletados e trabalhados, a análise para o percentual de perda de massa promovida pela ação do cupim *Cryptotermes brevis* indicou variação de acordo com o adesivo empregado, variação esta considerada significativa pelo teste F da ANOVA ($p < 0,01$), como apresentado na Figura 8, não havendo orifícios que transpassassem os corpos de prova.

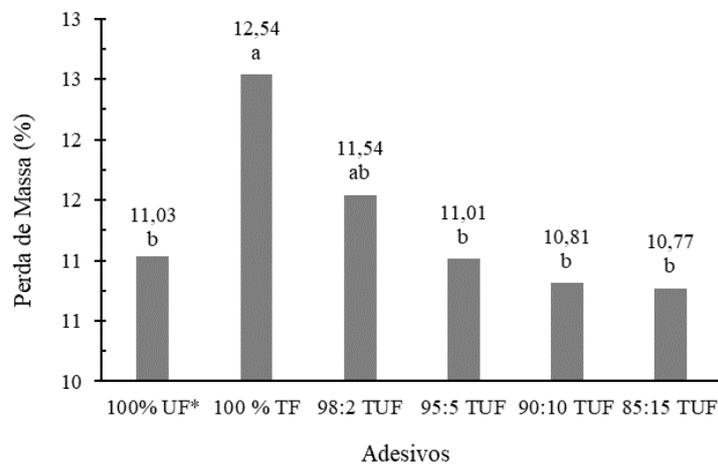


Figura 8: Valores médios da perda de massa causada pela ação da térmita *Cryptotermes brevis* nos painéis. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey $\geq 0,05$).

O ensaio com os fungos *Neolentinus lepideus* e *Brunneoporus malicola* apresentou interação significativa ($F < 0,01$) com os adesivos utilizados nos painéis (Tabela 4).

Tabela 4: Valores médios de perda de massa (em porcentagem) proporcionado pela ação dos fungos *Neolentinus lepideus* e *Brunneoporus malicola* e classificação normativa [24].

ADESIVO*	FUNGO	
	<i>Neolentinus lepideus</i>	<i>Brunneoporus malicola</i>
100% UF	#(MR) 35,5 bcA**	(R) 15,7 aB
100% TF	(PR) 53,8 cA	(R) 21,2 aB
98% UF : 2% TF	(MR) 33,8 abA	(AR) 8,8 aB
95% UF : 5 % TF	(MR) 30,9 abA	(R) 14,2 aB
90% UF : 10% TF	(MR) 38,1 bcA	(R) 17,6 aB
85% UF : 15% TF	(R) 16,3 aA	(R) 16,9 aA

*UF: ureia-formaldeído; TF: tanino-formaldeído; ** Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna não diferem entre si (Tukey $\geq 0,01$); #AR: Altamente Resistente; R: Resistente; MR: Moderadamente Resistente; PR: Pouco Resistente.

No ensaio de resistência ao térmita xilófago de solo (*Nasutitermes* sp.) em ensaio de preferência alimentar, depois de decorrido os 45 dias, foi observado que os corpos de prova foram consumidos por completo, excetuando-se o tratamento composto por 100% de tanino, ou seja, a presença intensa de tanino nos corpos de prova promoveu uma maior resistência ao seu ataque.

4. DISCUSSÃO

Os painéis produzidos apresentaram grau de compactação médio da ordem de 0,61 (razão entre a densidade média dos painéis pela massa específica da madeira utilizada). Valor relativamente baixo, porém esperado considerando a densidade moderadamente alta da madeira de eucalipto usado no experimento (700 kg m^{-3}), inibindo a densificação do produto. Outros motivos que influenciam a qualidade dos corpos de prova podem ser explicados por pequenas variações que ocorrem no processo manual de manufatura dos painéis em laboratório, especialmente nas fases de montagem do colchão, na adição da resina e aditivos e na própria característica do painel [30, 31] e ainda na quantidade de casca presente no resíduo [32].

Notou-se uma relação proporcional entre a densidade do material e seu respectivo módulo de elasticidade, isto é, painéis de maior densidade apresentaram maiores valores de MOE em ambas às dimensões amostradas. Neste método, o tratamento 2 apresentou maiores valores de MOE nas amostras de seção quadrada e retangular.

O módulo de elasticidade é uma propriedade do material, que proporciona uma média da rigidez de materiais sólidos [33]. Para ambas as propriedades, os tratamentos 1, 5 e 6 apresentaram os melhores desempenhos, porém não diferindo estatisticamente entre si, ressalva para o tratamento 5 (composto por 90% de ureia formaldeído + 10% de tanino).

A presença de tanino em pequenas quantidades influenciou negativamente em ambas as propriedades. Isso pode ter acontecido devido a pouca interação adesiva do tanino com a ureia formaldeído, apesar de serem compatíveis quimicamente [34].

A determinação do módulo de elasticidade por meio de ensaios de flexão estática é tradicionalmente mais comum, e importante na obtenção de parâmetros de resistência, rigidez e a esforços de flexão. No atual trabalho foi possível verificar valores de módulo de elasticidade estáticos inferiores aos módulos de elasticidade advindos dos métodos não destrutivos, seguindo a tendência da literatura [29].

Os módulos de elasticidade estático apresentaram valor médio de 220 MPa entre os tratamentos, valores inferiores ao estipulado pela norma de produção de painéis aglomerados produzidos com ureia-formaldeído [35] que determina valor mínimo de 2402,62 MPa para painéis de partículas produzidos para a classe de densidade produzida (inferior a 600 kg m^{-3}).

Os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis de madeira reconstituída são a ureia-formaldeído (UF) e a fenol-formaldeído (FF) [36], sendo a escolha do tipo de resina condicionada as condições de uso do produto final. Variações do adesivo ureia-formaldeído com tanino formaldeído são objetos de estudos por diferentes autores [23, 37- 39]. Estas variações apresentam resultados muito específicos, característica principalmente da matéria-prima utilizada.

Nos ensaios realizados com o *Stress wave time* (vibração transversal, longitudinal e torcional) são geradas ondas por meio de uma vibração produzida por um impacto no material em estudo. Desta forma, mediu-se a velocidade do som produzido em um determinado percurso, sendo este tempo utilizado na determinação da constante dinâmica.

Comparando o método de *Stress wave time* nos corpos de prova quadrado e retangular, nota-se valores

superiores de velocidade da propagação de onda e MOE para os corpos de prova quadrado, tal fato pode ser explicado pela distância percorrida pela onda.

Os ensaios não destrutivos utilizando *Stress wave time* podem ser empregados para aferir sobre propriedades de tração, flexão e adesão interna de materiais compostos de madeira [40].

No método de vibração transversal (frequência flexional) dos corpos de prova retangular e quadrado, foram observados módulos elásticos inferiores para os corpos de prova retangular quando comparados aos dados obtidos nos corpos de prova quadrado.

Pesquisas têm demonstrado a viabilidade do método de vibração transversal na avaliação do módulo de elasticidade da madeira, por meio de correlações entre os módulos de elasticidade obtidos em ensaios não destrutivos [28, 41, 42].

Dentre os métodos não destrutivos, o método de vibração flexional do corpo de prova retangular apresentou valores mais próximos ao MOE de flexão estática por meio destrutivo. Provando que, apesar de apresentar valores superiores aos módulos de elasticidade estáticos (MOE), tal método pode servir de base nos estudos das propriedades mecânica de painéis aglomerados.

Há uma diferença entre os módulos medidos na direção longitudinal e flexional, onde os módulos de elasticidade longitudinal tiveram valores superiores ao transversal. Resultados similares são encontrados na bibliografia [43], onde os valores médios de MOE longitudinal foram 30% superiores ao MOE transversal.

Esta diferença pode ser explicada por três fatores principais: o primeiro e mais crítico é a presença de descontinuidades como trincas na superfície dos corpos de prova, influenciando mais pronunciadamente as medidas feitas na flexão; outro fator é a presença de um gradiente de rigidez ao longo da espessura das amostras, sobretudo na camada mais superficial dos corpos de prova, de forma que a superfície seja mais ou menos rígida que o interior, alterando assim os valores obtidos, por fim, essa tendência também pode ser explicada pela preferência direcional assumida pelas partículas na elaboração do colchão de partículas.

Os métodos dinâmicos permitem obter tanto a integridade quantitativa (MOE) quanto qualitativas sobre um componente mecânico, além do controle de suas propriedades, como mudanças de fase. O corpo de prova não fica inutilizável após os ensaios, e pode ser empregado em sua função normalmente ou ensaiado outras vezes.

Em ambos os métodos, a leitura dos dados (velocidade ou frequência das ondas) é feita a partir do sentido longitudinal do corpo de prova quadrado, motivo que explica a proximidade dos valores de módulos elásticos nos diferentes métodos.

A proximidade nos módulos elásticos entre os métodos de *Stress wave time* (SWT) nos corpos de prova retangulares e a frequência longitudinal obtida nos corpos de prova de seção quadrada, apesar das diferentes dimensões, pode ser explicada pelo princípio de medição desses métodos, o qual segue uma leitura dos módulos através dos sentidos longitudinais dos corpos de prova.

Os dados, em porcentagem de perda de massa no ensaio com cupim de madeira seca foram transformados em arcsen [raiz quadrada (valor em porcentagem/100)] [44]. A transformação foi necessária em função da necessidade de normalizar a distribuição dos dados e homogeneizar as variâncias (teste de Bartlett: $p < 0,05$). Não foi necessário transformar os dados dos ensaios com os fungos (Kolmogorov-Smirnov – $p < 0,05$; fungo *Neolentinus lepideus* e Kniper – $p < 0,05$; fungo *Brunneoporus malicola*).

A maior perda de massa observada no ensaio com os cupins de madeira seca foi observada nos painéis confeccionados com o adesivo composto por 100% de tanino formaldeído, diferentemente do ataque nos painéis por meio dos cupins *Nasutitermes* sp, o qual este tratamento foi mais resistente. O índice de mortalidade não apresentou variação significativa pelo teste de F, mesmo havendo variação das concentrações de UF e TF, apresentando um valor médio de 46,12%. A presença de substâncias tânicas atua na proteção do vegetal contra o ataque de microrganismos, logo a presença de tanino implica em maior resistência do painel ao ataque deste tipo de térmita [45, 46], possivelmente devido a presença de substância fenólica tóxica ou mesmo por ser de difícil decomposição pelos organismos xilófagos [47].

Pelo teste estatístico Shapiro-Wilk foi observado normalidade para os dados apresentados para a degradação pelo cupim de madeira seca. As médias dos tratamentos 100% TF e 98% UF + 2% TF não diferem estatisticamente entre si, bem como entre os tratamentos (100% UF, 95% UF + 5% TF, 90% UF + 10% TF, 85% UF + 15% TF); o coeficiente de variação observado para os dados ficou abaixo de 3%, indicando ótima homogeneidade entre os tratamentos. A mortalidade dos cupins de madeira seca não apresentou variação significativa pelo teste de F mesmo havendo variação das concentrações de UF e TF, apresentando um valor médio de 46,12%.

Em geral, a maioria dos fungos degradam de forma seletiva os compostos de celulose e hemicelulose, ao passo que os fungos da podridão parda, a exemplo do *Brunneoporus malicola* que provoca a degradação de todos os componentes da madeira [48], em especial a lignina [49]. Entre os fungos estudados, o *B. malicola* promoveu maior perda de massa, destacando-se aqueles painéis com maiores proporções de tanino em

relação à ureia formaldeído comprometendo as propriedades físicas e de resistência do material [13, 50].

Os painéis foram classificados como resistentes ao fungo *Brunneoporus malicola*, com exceção do tratamento em que foi utilizado apenas 2% de tanino, que foi classificado como altamente resistente. Para o fungo *Neolentinus lepideus* os painéis foram classificados como de resistência moderada, excetuando-se o tratamento com 100% de tanino e aqueles com 15% de tanino, respectivamente pouco resistente e resistente [22, 24]. Os taninos são considerados antissépticos naturais e por esse motivo possuem potencial para uso como adesivos onde há interesse em aumentar a vida útil de elementos reconstituídos [51].

5. CONCLUSÕES

A técnica de excitação por impulso para estimar o módulo de elasticidade mostrou-se eficiente, principalmente naqueles painéis de maior densidade. A técnica utilizando *Stress Wave Time* também atendeu as expectativas para determinação do módulo de elasticidade.

Os corpos de prova retangulares apresentaram valores de módulo de elasticidade mais próximos daqueles obtidos no ensaio de flexão estática. Então, consideraria esse formato de corpo de prova mais promissor para os ensaios nesses tipos de painéis. O corpo de prova quadrado apresentou maiores valores absolutos na utilização das técnicas de estimativa do módulo de elasticidade.

A presença de tanino nos painéis foi condicionante para a resistência ao ataque de agentes biodeterioradores, a exemplo do cupim *Nasutitermes* sp. e o fungo *Brunneoporus malicola*. De uma forma geral, os painéis foram resistentes ao ataque de *Cryptotermes brevis*.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPES pela concessão da bolsa de pesquisa ao último autor, às empresas Santa Rita, Seta, Momentive Química do Brasil Ltda. pela doação da serragem da madeira, do tanino comercial, e do adesivo químico, respectivamente..

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] DIAS, F.M., NASCIMENTO, M.F., MARTINEZ-ESPINOSA, *et al.*, “Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards”, *Materials Research* v. 8, n. 3, pp. 329-333, July/Sept., 2005.
- [2] MARTINS, R.S.F., GONÇALVES, F.G., LELIS, R.C.C., *et al.*, “Physical properties and formaldehyde emission in particleboards of Eucalyptus sp. and ligno-cellulosic agro-industrial waste”. *Scientia Forestalis*, v. 48, n. 145, e-2926, 2020.
- [3] TOMASELLI, I., “Tendências de mudanças na indústria de painéis”, *Revista da Madeira*, n. 8, pp. 36-40, 2000.
- [4] INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES - IBÁ, “Relatório Ibá 2020”, <https://www.iba.org/publicacoes/relatorios>. Acessado em 01 de fevereiro 2021.
- [5] LOPEZ, Y.M., PAES, J.B., GUSTAVE, D., *et al.*, “Production of wood-plastic composites using *Cedrela odorata* sawdust waste and recycled thermoplastics mixture from post-consumer products - A sustainable approach for cleaner production in Cuba”, *Journal of Cleaner Production*, v. 244, e-118723, Jan., 2020.
- [6] PAN, Z., ZHENG, Y., ZHANG, R., *et al.*, “Physical properties of thin particleboard made from saline eucalyptus”. *Industrial Crops and Products*, v. 26, pp. 185-194, 2007.
- [7] VIDAL, A.C.F., HORA, A.B., “Panorama de mercado: painéis de madeira”, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40, 62p., 2014.
- [8] TERZI, E., KÖSE, C., BÜYÜKSARI, Ü., *et al.* “Evaluation of possible decay and termite resistance of particleboard containing waste tire rubber”. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 63, n. 6, pp. 806-809, Sep., 2009.
- [9] MELO, R.R., SANTINI, E.J., PAES, J.B., *et al.*, “Resistência de painéis aglomerados confeccionados com madeira de *Eucalyptus grandis* e diferentes adesivos a fungos e cupins xilófagos”, *Cerne*, v. 16, Suplemento, p. 82-89, Jul., 2010.
- [10] RODRIGUES, R.B., BRITO, E.O., “Resistência Natural de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* à *Coptotermes gestroi* (Isoptera; Rhinotermitidae) em laboratório”, *Floresta e Ambiente*, v. 18, n. 1, pp. 9-15, Jan./Mar., 2011.
- [11] TASCIOGLU, C., YOSHIMURA, T., TSUNODA, K., “Biological decay and termite resistance of post-treated wood-based composites under protected above-ground conditions: A preliminary study after 36 months of exposure”, *BioResources*, v. 8, n. 1, pp. 833-844, Feb., 2013.
- [12] LÓPEZ-NARANJO, E.J., ALZATE-GAVIRIA, L.M., HERNANDEZ-ZÁRATE, G., *et al.*, “Termite resistance of wood-plastic composites treated with zinc borate and borax”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 29, n. 2, pp. 1-13, Dec., 2014.

- [13] GONÇALVES, F.G., BROCCO, V.F., PAES, J.B., *et al.*, “Resistência de painéis aglomerados de *Acacia mangium* Willd. colados com ureia-formaldeído e taninos a organismos xilófagos”. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 3, pp. 409-416, Jul., 2014.
- [14] MORALES, E.A.M., LAHR, F.A.R., NASCIMENTO, M.F. *et al.*, “Propagação de ondas ultrasônicas através da espessura de chapas OSB e correlação com suas propriedades físico-mecânicas”, *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, v. 11, n. 7, pp. 25-36, 2010.
- [15] NZOKOU, P., FREED, J., KAMDEM, D.P., “Relationship between non-destructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites”. *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 64, n. 1, pp. 90-93, Apr., 2006.
- [16] HEMMASI, A.H., KOHANTORABI, M. “Investigation on the relationship between dynamic modulus of elasticity and the static bending properties of particleboard plates”, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, v. 32, n. 2, pp. 193-204, 2017.
- [17] STANGERLIN, D.M., CALEGARI, L., SANTINI, E.J.; *et al.*, “Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo”, *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 2, pp. 145-150, Abr./Jun., 2008.
- [18] STANGERLIN, D.M., MELO, R.R., GATTO, D.A., *et al.*, “Estimativa do módulo de elasticidade em painéis aglomerados por meio de emissão de ondas ultra-sonoras”, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 5, n. 3, pp. 17-22, Jan., 2010.
- [19] MORALES, E.A.M., BALLARIM, E.M., BERTOLINI, M.S., *et al.*, “Study of Brazilian commercial Oriented Strand Board panels using stress wave”, *Wood Research*, v. 58, n.2, pp. 295-306, 2013.
- [20] KOJIMA, Y., SAKAKIBARA, A., KOBORI, H. *et al.*, “Evaluating the durability performance of wood-based panels by a non-destructive bending test”, *Journal of Wood Science*, v. 62, pp. 263-269, Feb., 2016.
- [21] ROSS, R.J., “Nondestructive testing and evaluation of wood”. In: Ross, R.J. (ed.), *Nondestructive Evaluation of Wood*, 2 ed., chapter 1, Madison, WI: U.S. General Technical Report FPL-GTR-238. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2015.
- [22] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. E-1876-09, “Standard test method for dynamic Young’s modulus, shear modulus, and Poisson ratio by impulse excitation of vibration”, West Conshohocken, PA, 2009.
- [23] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. C-215-14, “Standard test method for fundamental transverse, longitudinal, and torsional resonant frequencies of concrete specimens”, West Conshohocken, PA, 2014.
- [24] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D-2017, “Standard test method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods”, West Conshohocken, PA, 2005.
- [25] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D-1413, “Standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures”, West Conshohocken, PA, 2007.
- [26] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D-3345, “Standard test method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites”, West Conshohocken, PA, 2008.
- [27] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT, “Ensaio acelerado da resistência natural ou de madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes* (Fam. Kalotermitidae)”, São Paulo: IPT; 1980. (Publicação, 1157).
- [28] LOPES, C.B.S., COSTA, L.J., SOARES, J.D. *et al.*, “Determinação do módulo de elasticidade de *Eucalyptus* sp. Por método destrutivo e não destrutivo”, In: *III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira*, #61192, Florianópolis, Santa Catarina, BR, 04-06 Setembro 2017.
- [29] TARGA, L.A., BALLARIN, A.W., BIAGGIONI, M.A.M., “Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal”, *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 2, pp. 291-299, Maio/Ago., 2005.
- [30] CUNHA, A.B., LONGO, B.L., RODRIGUES, A.A., *et al.*, “Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*”, *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 102, pp.259-267, Jun., 2014.
- [31] HILLIG, E., HASELEIN, C.R., SANTINI, E.J., “Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra”, *Ciência Florestal*, v. 12, n. 1, pp. 59-70, 2002.
- [32]] DACOSTA, L.P.E., HASELEIN, C.R., SANTINI, E.J. *et al.*, “Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm”, *Ciência Florestal*, v. 15, n. 3, pp. 311-322, 2005.
- [33] COSSOLINO, L.C., PEREIRA, A.H.A., “Módulos elásticos : visão geral e métodos de caracterização”, In: ITC03-ATCP, Informativo técnico-científico, ATCP Engenharia Física, 2010.

- [34] MININI, D. F., GONÇALVES, F.G., SEGUNDINHO, P.G.A., *et al.*, “Resíduo de madeira de eucalipto e adesivo tânico em painéis aglomerados”, *Ciência da Madeira*, v. 8, n. 2, pp. 101-114, 2017.
- [35] COMMERCIAL STANDARD – CS. 236-66, “Mat formed wood particleboard”. Geneva, 1968.
- [36] KOLLMANN, F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J., “*Principles of Wood Science and Technology: Wood Based Materials*”, New York: Springer-Verlag, 1975.
- [37] GONÇALVES, C.A., LELIS, R.C.C., BRITO, E.O., *et al.*, “Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído modificado com tanino de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth (sabiá)”, *Floresta e Ambiente*, v. 10, n.1, pp.18-26, Jan./Jul., 2003.
- [38] GONÇALVES, F.G., LELIS, R.C.C., OLIVEIRA, J.T., “Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas”, *Revista Árvore*, v. 32, n. 4, pp. 715-722. 2008.
- [39] GONÇALVES, F.G., LELIS, R.C.C., OLIVEIRA, J.T.S., *et al.*, “Chapas aglomeradas confeccionadas com ureia-formaldeído sob adição de tanino em pó”, *Ciência Florestal*, v. 27, n. 4, pp. 1349-1363, Out./Dez., 2017.
- [40] ROSS, R.J., PELLERIN, R.F., “NDE of wood-based composites with longitudinal stress wave”, *Forest Products Journal*, v. 38, n.5, pp. 39-45, May., 1988.
- [41] BARTHOLOMEU, A., GONÇALVES, R., GUIMARAES, I., *et al.*, “Metodologia simplificada para o ensaio de vibração transversal em vigas estruturais de angelim araroba”, In: *IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira*, p. 29, 2004, Cuiabá, Mato Grosso, BR, 27-29 Julho 2004.
- [42] CALIL JÚNIOR, C., MINÁ, A.J.S., “Vibração transversal: um método eficiente para classificação de peças estruturais de madeira”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 2, pp. 335-338, Mai./Ago., 2003
- [43] PIERRE, F.C., BALLARIN, A.W., LARA PALMA, H., “Caracterização física de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros”, *Cerne*, v. 20, n. 2, p. 321-328, Abr./Jun., 2014.
- [44] STEEL, R.G.H., TORRIE, J.H., “*Principles and procedures of statistic: a biometrical approach*”, 2 ed., New York: Mc-Graw Hill, 1980.
- [45] VITAL, B.R., SHIMADA, A.N., VALENTE, O.F., *et al.*, “Avaliação dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden como preservativo de madeira”, *Revista Árvore*, v. 25, n. 2, pp. 245-256, 2001.
- [46] COLLI, A., NASCIMENTO, A.M., XAVIER, L.M., *et al.*, “Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino do *Bambusa tuldoides* (Munro)”, *Floresta e Ambiente*, v. 41, n. 1, pp. 56-64, 2007.
- [47] MELO, R.R., SANTINI, E.J., HASELEIN, C.R.; *et al.*, “Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos”, *Ciência Florestal*, v. 20, n. 3, pp. 501-511, Jul./Set., 2010.
- [48] OLIVEIRA, A.M.F., LELIS, A.T., LEPAGE, E.S., *et al.*, “Agentes destruidores da madeira”. In: LEPAGE, E.S (Coord.) *Manual de preservação de madeiras*. São Paulo: IPT, 1986.
- [49] ESPOSITO, E., INNOCENTINI-MEI, L.H., FERRAZ, A., *et al.*, “Phenoloxidasas and hydrolases from *Pycnopus sanguineus* (UEC-2050 strain): applications”, *Journal of Biotechnology*, v. 29, pp. 219-228, Jun., 1993.
- [50] ROCHA, M.P., *Biodegradação e preservação da madeira*, Curitiba: FUPEF/UFPR, Série didática nº 01/01, 2001.
- [51] AZEVÊDO, T.K.B., PAES, J.B., CALEGARI, L. *et al.*, “Qualidade dos taninos de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) para produção de adesivo tanini formaldeído”, *Ciência Florestal*, v. 25, n. 2, pp. 507-514, Abr./Jun., 2015.

ORCID

Fabricio Gomes Gonçalves
Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho
Michelângelo Vargas Fassarella
Daniela Minini
Vinícius Peixoto Tinti
Yonny Martinez Lopez
Mayária Josiânia Kercília Firmes Sampaio Felberg

<https://orcid.org/0000-0003-2010-9508>
<http://orcid.org/0000-0002-4393-8686>
<https://orcid.org/0000-0003-4495-6058>
<https://orcid.org/0000-0002-9512-0296>
<https://orcid.org/0000-0002-5046-0078>
<https://orcid.org/0000-0001-7141-4823>
<https://orcid.org/0000-0001-7465-5577>