

Artigos



Incorporação de nanoestruturas de lignina em adesivo cardanol-formaldeído para a produção de painéis compensados

Incorporation of lignin nanostructures into cardanol-formaldehyde adhesive for the production of plywood panels

Maria Rita Ramos Magalhães¹ 

Felipe Gomes Batista¹ 

Ana Carolina Corrêa Furtini¹ 

Lourival Marin Mendes¹ 

José Benedito Guimarães Junior¹ 

¹Universidade Federal de Lavras , Lavras, MG, Brasil

RESUMO

O uso de matérias-primas não renováveis tem gerado preocupações ambientais, incentivando a busca por alternativas sustentáveis. Este estudo investiga o uso do cardanol e lignina na produção de adesivos para painéis compensados. O cardanol, rico em compostos fenólicos, foi utilizado para sintetizar resinas cardanol-formaldeído, enquanto a lignina foi incorporada como nanoestrutura para melhorar as propriedades adesivas. Painéis de *Pinus* sp. foram produzidos com diferentes concentrações de nanoestruturas e suas propriedades físicas, mecânicas e acústicas foram avaliadas. Os resultados mostraram que os painéis com adição de nanoestrutura de lignina apresentaram maior desempenho em termos de resistência mecânica, como aumento significativo no cisalhamento na linha de cola, MOE e MOR, além de melhorar o isolamento acústico, apesar de não diferirem significativamente a densidade, umidade e absorção de água. Isso indica que o cardanol, em conjunto com nanoestruturas de lignina, pode representar uma solução viável para a produção de adesivos ecológicos, equilibrando desempenho técnico e sustentabilidade.

Palavras-chave: Adesivos sustentáveis; Nanotecnologia; Líquido da casca da castanha do caju (LCC)



ABSTRACT

The use of non-renewable raw materials has raised environmental concerns, driving the search for sustainable alternatives. This study investigates the use of cardanol and lignin in the production of adhesives for plywood panels. Cardanol, rich in phenolic compounds, was used to synthesize cardanol-formaldehyde resins, while lignin was incorporated as a nanostructure to enhance adhesive properties. *Pinus* sp. panels were produced with different concentrations of nanostructures, and their physical, mechanical, and acoustic properties were evaluated. The results showed that panels with the addition of lignin nanostructure demonstrated better performance in terms of mechanical strength, such as a significant increase in shear strength at the glue line, MOE, and MOR, as well as improved acoustic insulation, although there were no significant differences in density, moisture, and water absorption. This indicates that cardanol, combined with lignin nanostructures, may represent a viable solution for producing eco-friendly adhesives, balancing technical performance and sustainability.

Keywords: Sustainable adhesives; Nanotechnology; Cashew nut shell liquid (CNSL)

1 INTRODUÇÃO

As matérias-primas não renováveis têm proporcionado preocupações ambientais ao longo dos anos. Por esse motivo, a busca por materiais alternativos que possibilitem o equilíbrio entre a crescente produção industrial e os resíduos gerados no planeta vêm intensificando. Além disso, nas indústrias de derivados de madeira reconstituída, o grande desafio é reduzir as emissões de formaldeído na produção dos painéis (Yadav, 2021; Rodrigues *et al.*, 2023).

O líquido da casca da castanha de caju (LCC), subproduto agrícola, é obtido no processamento do caju (*Anacardium occidentale* e Linn), correspondendo a aproximadamente 25% da massa da castanha, amplamente disponível no Nordeste do Brasil. Esta fonte renovável aromática representa uma alternativa natural promissora aos fenóis derivados do petróleo. Após o tratamento térmico do LCC, seguido de uma destilação, leva à descarboxilação do ácido anacárdico que produz o cardanol de grau industrial (cerca de 90% de pureza) (Caillol, 2018).

Na polimerização com formaldeído, o cardanol apresenta maior reatividade devido à presença de dois grupos hidroxila no anel aromático. Isto é, favorece a polimerização seletiva dos monômeros fenólicos do LCC. As resinas cardanol-formaldeído são preparadas em uma faixa de 0,6 a 0,9 da proporção formaldeído/cardanol (Bajpai *et al.*, 2008).



Além disso, outro biopolímero renovável importante aos adesivos é a lignina. Os grupos funcionais da lignina, como hidroxila alifática, hidroxila fenólica e grupos carbonila, podem reagir na síntese de adesivos, contribuindo também na redução da emissão de formaldeído livre. As partículas em escala nanométrica de lignina possuem excelentes propriedades, incluindo propriedades mecânicas aprimoradas, boa estabilidade térmica, alta área de superfície e boa mistura com outros polímeros (Ridho *et al.*, 2024).

Em geral, os biopolímeros para produção de painéis também têm suas excelentes relações nas propriedades físicas e acústicas, o que os tornam úteis para diferentes tipos de aplicações em edifícios, como materiais de parede, piso e móveis, além de garantir que a camada externa não obstrua significativamente a transição da onda sonora para a camada interna (Sari *et al.*, 2016).

Dessa forma, considerando a hipótese de que o cardanol e a nanoestrutura de lignina possui propriedades que podem viabilizar do ponto de vista técnico na produção de adesivo para painéis, o presente estudo tem o objetivo de avaliar as propriedades físicas, mecânicas e acústica de painéis compensados colados com adesivo cardanol-formaldeído nanoestruturados com lignina.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção do material

A madeira de *Pinus* sp. foi obtida de árvores de aproximadamente 18 anos, localizada em plantios experimentais da cidade de Lavras, na região sul de Minas Gerais. Sob as coordenadas 21° 14' 45" S, 44° 59' 59" W. Após o abate, as árvores foram seccionadas em toras de aproximadamente 80 cm de comprimento, as quais foram armazenadas em um tonel de água e aquecidas em uma temperatura de 80°C por 72 horas a fim de evitar o ataque de organismos xilófagos e diminuir a resistência mecânica da madeira, facilitando também, o processo de laminação. Após



a obtenção das lâminas, estas foram submetidas a um processo de secagem natural até atingirem a umidade de equilíbrio e secas em estufa utilizando temperatura de 105°C por 48 horas.

O cardanol, componente do Líquido da casca de castanha do caju (LCC), líquido escuro e pouco viscoso, foi obtido em recipiente lacrado de 10L pela empresa Resibras Cashol, localizada em Jacarecanga, Fortaleza CE e a lignina Kraft de *Eucalyptus* sp. foi obtida por uma empresa de papel e celulose.

2.2 Produção do adesivo

O adesivo cardanol-formaldeído foi sintetizado conforme o procedimento descrito por Faria *et al.* (2023). O cardanol foi aquecido em banho-maria a 90°C, e o formaldeído foi adicionado à mistura na proporção de 1:5 (formaldeído:cardanol). Após 60 minutos, o catalisador NaOH foi incorporado à mistura.

Seguindo ajustes na metodologia de Lopes *et al.* (2020) com a abordagem *Top-down*, preparou-se uma solução contendo 300g de lignina dissolvida em 3L de água. A mistura foi homogeneizada por 40 minutos a 500 rpm em um agitador mecânico. As nanoestruturas de lignina foram geradas por um processo mecânico no moinho Super Masscolloider Masuko Sangyo MKCA6-2, com 10 passagens a 1500 rpm e distância entre os discos do moinho ajustada para 120 µm. Por fim, as nanoestruturas de lignina foram incorporadas ao adesivo cardanol-formaldeído nas proporções de 0,25 e 0,50%.

2.3 Produção dos painéis compensados

Foram utilizadas lâminas de madeira de *Pinus* sp. para produção de painéis compensados com dimensões de 300 × 300 × 15 mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente). Três tipos de painéis compensados foram feitos substituindo diferentes níveis de concentração de nanoestruturas de lignina ao adesivo cardanol-formaldeído. Cada tratamento foi composto por três repetições, totalizando 9 painéis, conforme indica a Tabela 1.

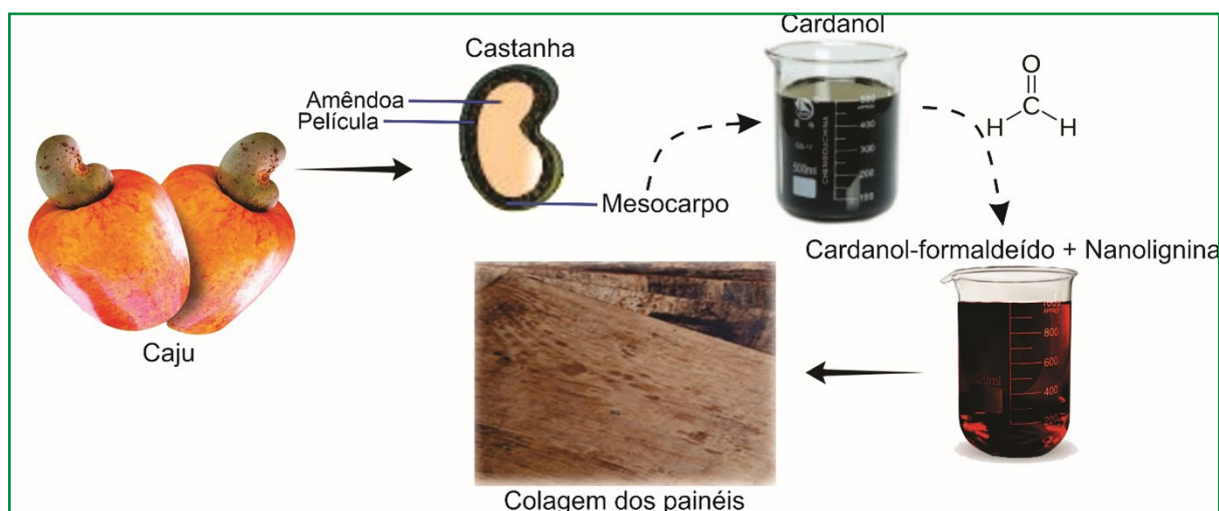
Tabela 1 – Tratamentos avaliados com diferentes concentrações de nanoestruturas de lignina ao adesivo cardanol-formaldeído

Tratamento	Nanolignina (%)	Nº de painéis
Controle	-	3
NL _{0,25}	0,25	3
NL _{0,50}	0,50	3

Fonte: Autores (2025)

Os painéis foram colados manualmente com adesivos cardanol-formaldeído modificado com nanoestrutura de lignina (Figura 1), de gramatura de 280 g/m², com ciclo de prensagem de 1,0 MPa, durante 10 minutos à 160°C utilizando uma prensa hidráulica. Após a prensagem, os painéis foram climatizados a 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5% onde permaneceram até obtenção de massa constante. Posteriormente foram esquadrejados para obtenção dos corpos de prova.

Figura 1 – Produção dos painéis compensados



Fonte: Autores (2025)

2.4 Avaliação física e mecânica dos painéis

Para a avaliação das propriedades físicas os painéis foram submetidos ao processo de esquadrejamento para a retirada dos efeitos de bordas e, posteriormente,

na serra circular para a retirada dos corpos-de-prova. Em seguida, foram realizados os testes indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados

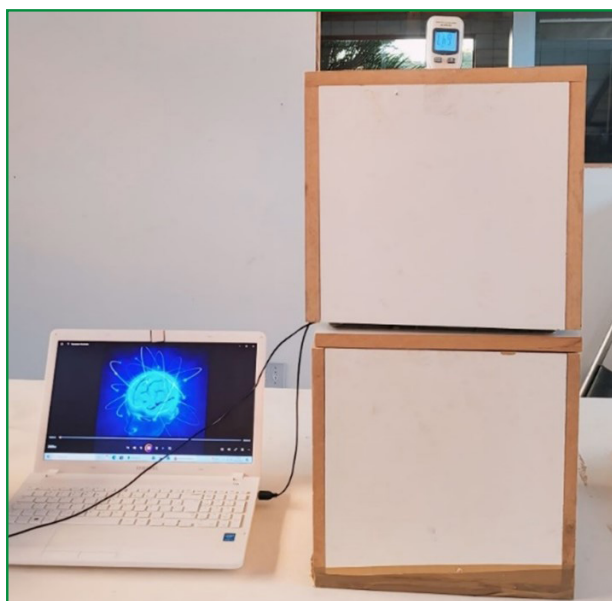
Testes	Metodologia
Densidade aparente	NBR 9485 (ABNT, 2011b)
Umidade na base seca	NBR 9484 (ABNT, 2011a)
Absorção total de água	NBR 9586 (ABNT, 2011c)
Flexão estática	NBR 9533 (ABNT, 2012a)
Cisalhamento na linha de cola	NBR 12466-1 (ABNT, 2012b)

Fonte: Autores (2025)

2.5 Isolamento acústico dos painéis

Para a avaliação do isolamento acústico foram utilizadas duas caixas confeccionadas com painéis de madeira sobrepostas uma sobre a outra (Figura 2). O corpo de prova ficou entre as duas caixas, apoiado sobre uma placa de espuma acústica, de modo que ele formasse uma barreira acústica. Foram utilizados um microcomputador, dois alto-falantes (50 W RMS e resposta de frequência de 22 Hz a 30.000 Hz), e um decibelímetro.

Figura 2 – Teste de isolamento acústico dos painéis



Fonte: Autores (2025)

Na saída de áudio do microcomputador foi conectado o alto-falante, fixado no interior da caixa de painel de madeira, de modo que o som transmitido passasse pelo compósito e sem a presença do compósito. Todo o ruído transmitido foi medido pelo decibelímetro, seguindo as recomendações da NBR 12179 (1992) e da International Organization for Standardization - ISO 10534-2 (2010).

2.6 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi aplicado para avaliar os tratamentos com adesivos de cardanol-formaldeído com 0, 0,25 e 0,50% de nanoestruturas de lignina para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Sendo realizada ANOVA e teste de Scott-Knott a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Avaliação física e mecânica dos painéis

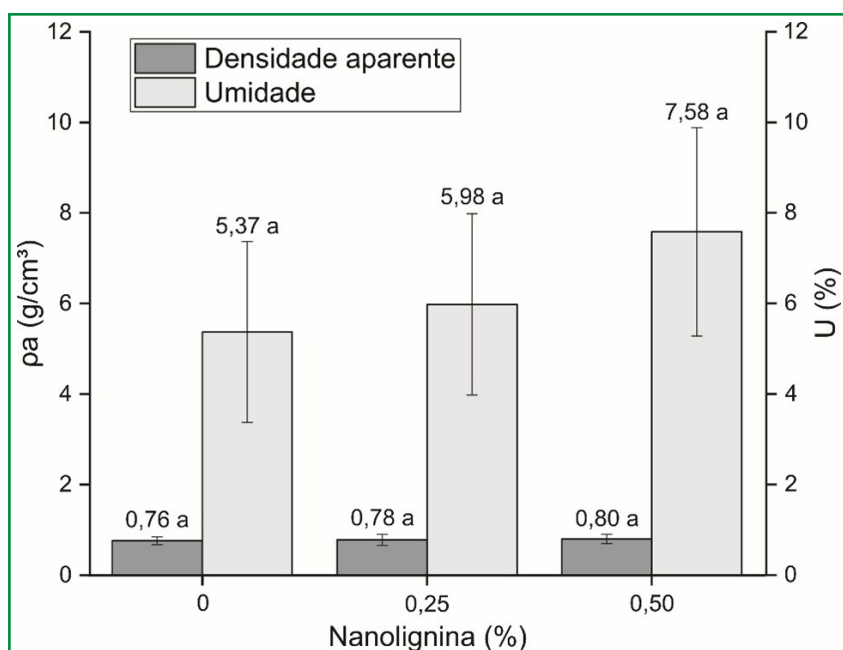
Os painéis com nanoestruturas de lignina apresentaram densidade com variação de 0,76 a 0,80 g/cm³, não apresentando diferença estatística entre si (Figura 3). Valor inferior foi encontrado por Costa *et al.* (2020) estudando painel compensado produzido com madeira de paricá, em que encontraram 0,49 g/cm³ de densidade. Além disso, Minhas *et al.* (2021) mencionaram que fatores como espécie, umidade das lâminas e variáveis do ciclo de prensagem, temperatura e pressão podem afetar a densidade dos painéis.

A umidade dos painéis variou de 5,37 a 7,58%, não apresentando diferença estatística. Segundo Lima (2011) trabalhando com painéis compensados e LVL de nove lâminas, produzido com *Cordia goeldiana*, *Parahancornia amapa*, *Pterodon pubescens* e *Pinus* sp., colados com o adesivo resorcinol-formaldeídeo, obtiveram para os compensados, valores médios de teor de umidade variando entre 8 e 11%. Em outro estudo, Borges *et al.* (2017) realizando comparativos das propriedades físicas



dos painéis, produzidos com lâminas da madeira de Amescla (*Trattinnickia burserifolia*) montados com sete lâminas e colados com adesivo à base de fenol-formaldeído, apresentaram umidade de 8,69%, sendo valores superiores ao encontrado neste trabalho.

Figura 3 – Densidade e umidade dos painéis compensados



Fonte: Autores (2025)

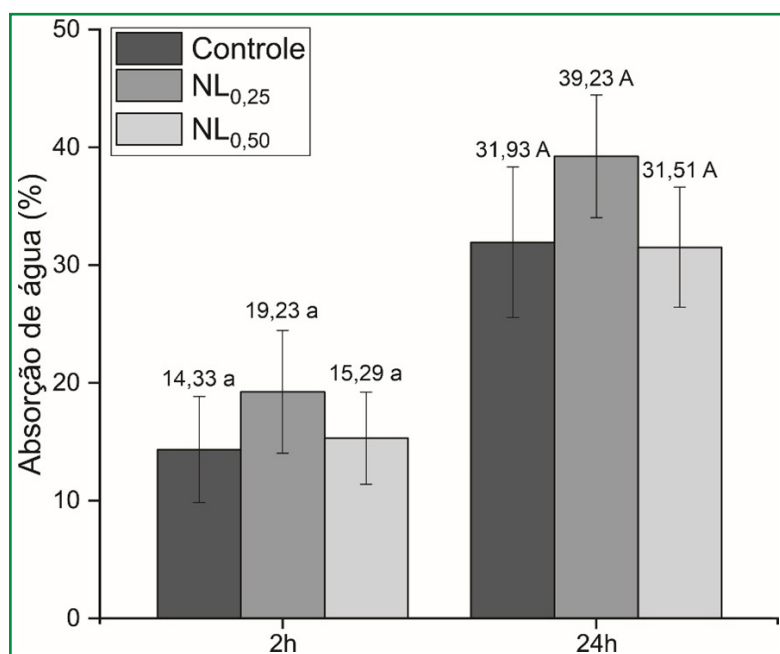
Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de significância.

Na absorção de água dos painéis compensados (Figura 4), os tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas, variando de 14,33 a 19,23% em 2h e 31,51 a 39,23% em 24h.

Borges *et al.* (2017) encontraram para absorção de água com os painéis compensados de madeira de *Trattinnickia burserifolia* uma média de 64,84%. Mode *et al.* (2023) encontraram absorção de água de 59,81% para *Pinus taeda*, enquanto Campos *et al.* (2009), ao analisarem painéis compensados de cinco lâminas de *Pinus* sp., produzidos com adesivo poliuretano bi-componente, obtiveram média para absorção

de água em 24 horas de 64,33%, sendo esses valores, superiores ao encontrado nesse estudo, o que pode ser explicado pelos diferentes adesivos utilizados. Contudo, ao adicionar o cardanol ao adesivo espera-se que a absorção de água seja reduzida, já que o cardanol apresenta característica hidrofóbica (Furtini *et al.*, 2022). Além disso, a lignina também apresenta esse mesmo comportamento, o que pode favorecer na redução da absorção de água (Huang *et al.*, 2022).

Figura 4 – Absorção de água em 2 e 24 horas pelos painéis compensados



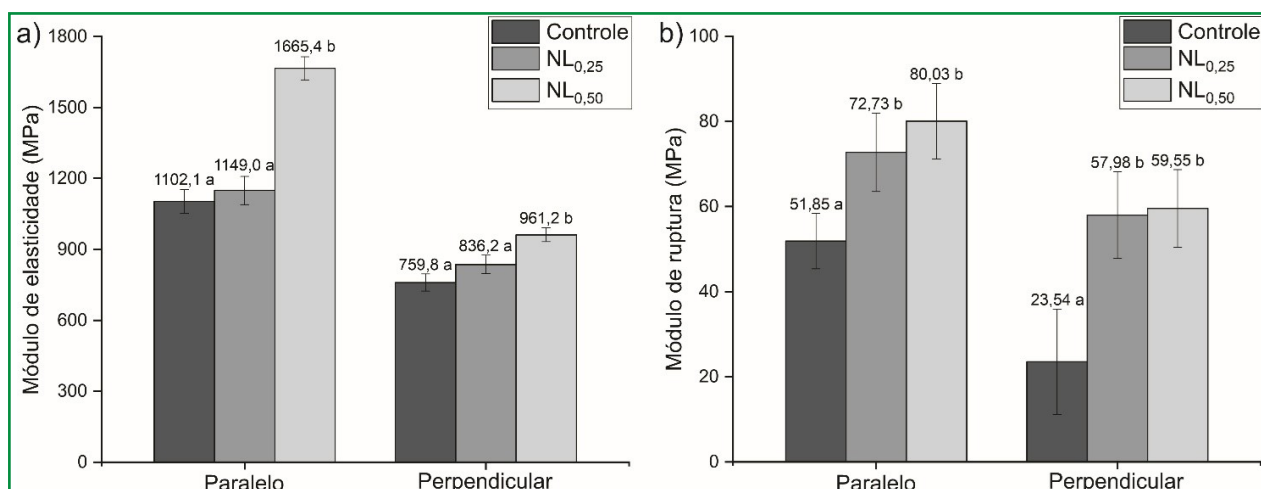
Fonte: Autores (2025)

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de significância.

No ensaio de flexão, o tratamento NL_{0,50} apresentou maior MOE paralelo e perpendicular (1665,4 e 961,2 MPa, respectivamente) (Figura 5). Apesar do aumento, todos os resultados não atenderam aos requisitos da norma para o MOE, conforme ABNT NBR 9531 (1986), para painéis compensados para uso estrutural externo, pois estabelece valor mínimo de 5223 MPa no sentido paralelo e 1485 MPa no sentido perpendicular.



Figura 5 – Módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) dos painéis compensados



Fonte: Autores (2025)

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de significância.

Mode *et al.* (2023) encontraram para o MOE paralelo, 5699,0 MPa e 2107,2 MPa para o MOE perpendicular com compensados de *P. taeda* x *C. lusitanica*. Valores superiores ao encontrado nesse trabalho. Os resultados inferiores desse trabalho podem estar relacionados a influência da qualidade da madeira no desempenho mecânico de compensados.

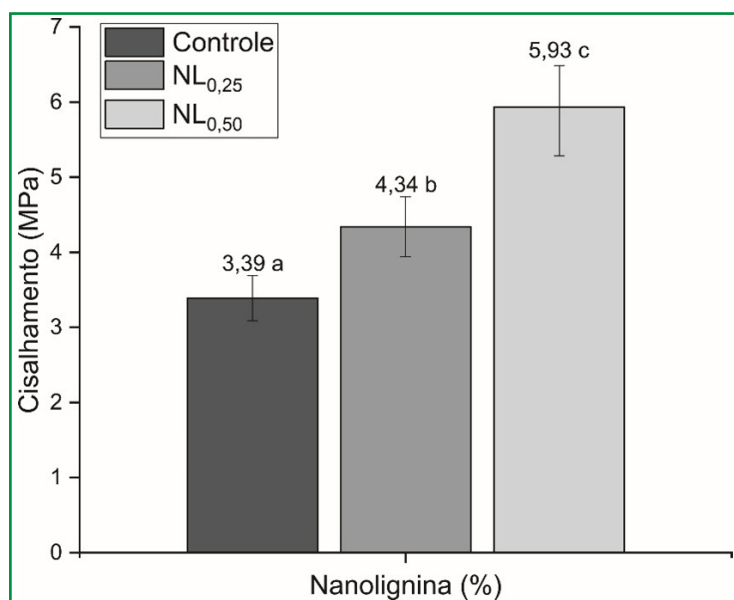
Para o MOR paralelo e perpendicular, os tratamentos com nanoestruturas de lignina (NL_{0,25} e NL_{0,50}), apresentaram maiores valores, não diferindo estatisticamente entre eles. Com isso, os tratamentos com NL mostraram impacto positivo nas propriedades mecânicas dos materiais, e que os efeitos são mais notáveis diante as suas orientações (paralelo e perpendicular). Isso pode ser relevante para aplicações que exigem maior resistência, independente da direção da carga aplicada.

Apesar disso, todos os resultados de MOR atenderam a ABNT NBR 9531 (1986), que permite o mínimo exigido de 30.9 MPa para MOR paralelo e 14.0 MPa perpendicular. No trabalho de Mode *et al.* (2023) encontraram <45,45 MPa para o MOR paralelo e <24,56 MPa para MOR perpendicular utilizando painéis compensados de *P.*

taeda x *C. lusitanica*. Valores inferiores aos encontrados nesse estudo, principalmente utilizando NL nos adesivos.

Em relação aos resultados de cisalhamento na linha de cola, os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas (Figura 6), constatando o potencial da utilização das nanoestruturas de lignina no adesivo no cardanol-formaldeído, com valor superior ao tratamento NL_{0,50} (5,93 MPa). Contudo, todos os tratamentos atenderam a norma EN 314-2 (1993) com mínimo 1 MPa, aos requisitos de produto estrutural.

Figura 6 – Cisalhamento na linha de cola dos painéis compensados



Fonte: Autores (2025)

Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott no nível de 5% de significância.

No estudo de Krefta *et al.* (2022), ao avaliar revestimentos nas propriedades tecnológicas de painéis compensados não-estruturais de uso externo, submetidos em diferentes ciclos na câmara de intemperismo acelerado, mostraram valores de cisalhamento na linha de cola inferiores ao do presente estudo, variando de 1,73 a 2,00 MPa. Além disso, Iwakiri *et al.* (2002), também encontrou valores inferiores para a espécie *Pinus taeda* L., onde o valor encontrado pelos mesmos variou de 1,88 a

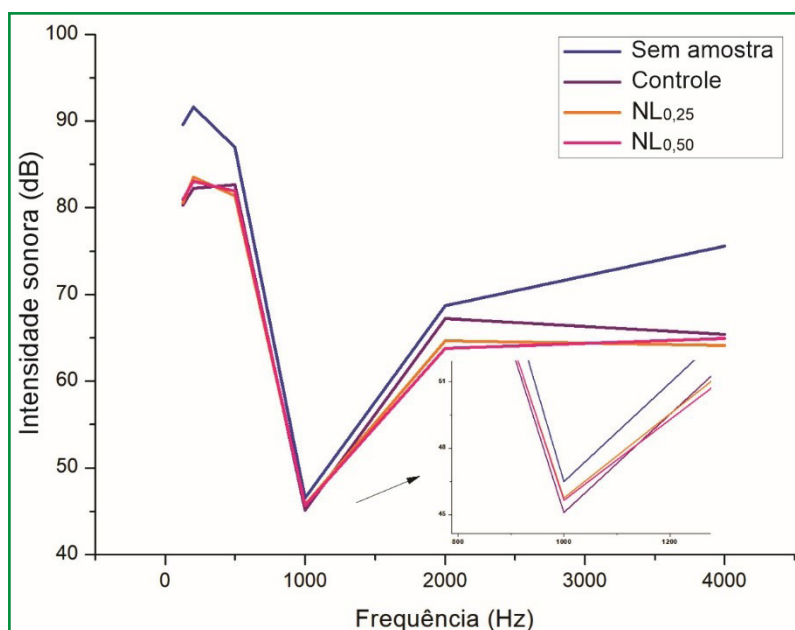


2,81 MPa. Esses também atendem ao intervalo proposto pelo catálogo técnico da Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2002), o qual apresenta valores de cisalhamento na linha de cola variando de 1,70 a 3,70 MPa.

3.2 Isolamento acústico dos painéis

No isolamento acústico, observa-se que nas frequências de 2000 Hz a 4000 Hz são notadas as maiores diferenças entre os tratamentos (Figura 7). Nessas frequências, o tratamento $NL_{0,50}$ apresentou o melhor desempenho, com intensidades sonoras medidas de 64 dB em 2000 (Hz) e 65 dB em 3000 (Hz). Em contraste, o controle apresentou valores de 69 dB para 2000 Hz e 73 dB para 3000 Hz. Na frequência de 4000 (Hz) o tratamento $NL_{0,25}$ se apresentou mais isolante com 64 dB, seguido pelo de $NL_{0,50}$ com 66 dB, já o painel controle esteve com 76 dB. Resultados semelhantes foram observados em painéis aglomerados de eucalipto colados com lignina, com valores de 69,98 dB (Vieira *et al.*, 2024).

Figura 7 – Teste de isolamento acústico dos painéis compensados



Fonte: Autores (2025)

Segundo a norma NBR 12179 (ABNT, 1992) a exigência para os valores de isolamento acústico de materiais de alvenaria de tijolo maciço com espessura de 10

e 40 cm, são de 45 e 55 dB, respectivamente. Esses valores de isolamento acústico se comparados aos encontrados neste trabalho para os painéis colados com adesivo cardanol-formaldeído modificado com nanoestrutura de lignina, atenderiam a esse requisito nas frequências de 1000 a 1500 Hz.

Já para o documento normativo NBR 10152 (ABNT, 2020), o nível sonoro de conforto acústico em hotéis (portaria, recepção e circulação) e ginásios poliesportivos compreendem uma faixa aceitável que varia de 45 a 55 dB e de 45 a 60 dB respectivamente. Portanto, numa frequência de 1000 a 2000 Hz, todos os tratamentos atendem a essa normativa.

Por fim, o processo descrito no estudo revela que o uso de cardanol e nanoestruturas de lignina no adesivo não só oferece uma alternativa sustentável em termos de matéria-prima, como também contribui para a criação de produtos com melhor desempenho mecânico e acústico. Isso reduz a dependência de matérias-primas não renováveis, diminui os impactos ambientais e favorece a criação de produtos mais ecológicos ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os painéis produzidos com nanoestruturas de lignina no adesivo cardanol-formaldeído apresentaram um desempenho mecânico superior, evidenciado por um aumento significativo no cisalhamento da linha de cola, além de melhorias no Módulo de Elasticidade (MOE) e no Módulo de Ruptura (MOR). Além disso, foi observado um aprimoramento nas propriedades de isolamento acústico, embora não tenham sido encontradas diferenças estatísticas significativas nas variáveis de densidade, umidade e absorção de água.

Contudo, o estudo revelou que o uso de cardanol, derivado do líquido da casca da castanha de caju (LCC), e a incorporação de nanoestruturas de lignina em adesivos para painéis compensados representam alternativas promissoras e sustentáveis. Assim, recomenda-se a realização de estudos futuros, com análises mais aprofundadas,



incluindo a avaliação das emissões de formaldeído, das características químicas e microestruturais dos painéis, além do desenvolvimento de adesivos contendo maiores proporções de nanoestruturas de lignina no cardanol-formaldeído.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Estudos em Painéis de Madeira – NEPAM, ao programa em Ciência e Tecnologia da Madeira e Engenharia de Biomateriais da Universidade Federal de Lavras – UFLA. A empresa Resibras Cashol pelo fornecimento do material, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq; processo nº 150494/2024-6), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – **ABIMCI (2002)**. Catálogo técnico de compensados de pinus. Curitiba: ABIMCI. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9484**: Compensado: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2011a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9485**: Compensado: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2011b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9531**: Chapas de compensado: classificação. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9533**: Compensado: determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12466-1**: Madeira compensada: qualidade de colagem: parte 1: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2012b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9586**: Compensado – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2011c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2020.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

BAJPAI, G. D.; KUMAR, P.; SHUKLA, R. Cure characteristics of cardanol-formaldehyde novolac resins in the presence of metallic driers. **Paint and Coatings Industry**, v. 24 n. 9, p. 44-50, 2008.

CAILLOL, S. Cardanol: A promising building block for biobased polymers and additives. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 14, p. 26-32, 2018.

CAMPOS, C. I.; MORAIS, R. D. V.; NASCIMENTO, M. F. Caracterização físico-mecânica de painéis de madeira compensada produzidos com Pinus sp. e resina poliuretana bi componente. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**, São Carlos, SP, v. 10, n. 24, p. 37-50, jan./jun. 2009.

COSTA, A. A.; MASCARENHAS, A. R. P.; SANTOS, C. M. M. dos; FARIA, C. E. T.; DUARTE, P. J.; CRUZ, T. M. Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e786986089, 2020.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EUROPEAN STANDARD. **EN 314-2**: Bonding of Plywood – Quality – Part 2: Test Requirements. Bruxelas, 1993.

FARIA, D. L.; SCATOLINO, M. V.; OLIVEIRA, J. E.; GONÇALVES, F. G.; SORIANO, J.; PROTÁSIO, T. P.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Cardanol-based adhesive with reduced formaldehyde emission to produce particleboards with waste from bean crops. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 16, p. 48270-48287, 2023.

FURTINI, A. C. C.; BRITO, F. M. S.; JUNIOR, M. G.; FURTINI, J. A. O.; PINTO, L. M. A.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Substitution of urea-formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 44, p. 66562-66577, 2022.

HUANG, C.; PENG, Z.; LI, J.; LI, X.; JIANG, X.; DONG, Y. Unlocking the role of lignin for preparing the lignin-based wood adhesive: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 187, n. 115388, 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10534-2**: acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes: part 2: transfer-function method, 2010.

IWAKIRI, S.; SHIMOYAMA, V. R. S.; PEDROSA, A. L.; ANJOS, R. A. M. Efeito do crescimento radial de Pinus taeda (L.) nas propriedades do painel compensado. **Floresta e Ambiente**, 9, 90-96. 2002.

KREFTA, S. C.; CUNHA, A. B.; BRAND, M. A. Influência do revestimento nas propriedades de painéis compensados não-estruturais de uso exterior submetidos a câmara de intemperismo acelerado. *Scientia Forestalis*, 50, e3849, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.29>

LIMA, N. N. **Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia**. 2011. 208 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.



LOPES, T. A.; LOPES, N. F.; PORTILHO, G. R.; ANDRADE, F. A.; SILVA, L. B. J.; CASTRO, R. V. O.; TONOLI G. H. D.; CARNEIRO, A. D. C. O. **Nanopartículas de lignina e seus efeitos nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído para colagem de madeira.** In: Gonçalves, F.G. (Ed.). Engenharia Industrial Madeireira: Tecnologia, Pesquisa e Tendências, 1st ed., Editora Científica Digital, São Paulo, pp. 219–242, 2020

BORGES, P. H. M.; SANTOS, E. A.; PENNA, J. E.; ELIAS, M. P. S.; MORAIS, P. H. M. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e laminated veneer lumber (LVL). **Nativa**, v. 5, p. 588-593, 2017.

MINHAS, A. H.; ULLAH, N.; RIAZ, A. A.; SIDDIQI, M. U. R.; ABUALNAJA, K. M.; ALTHUBEITI, K.; MUHAMMAD, R. Experimental investigation of vertical density profile of medium density fiberboard in hot press. **Applied Sciences**, v. 11, n. 22, 10769, 2021.

MODE, K. S.; COZER, V.; DOBNER JÚNIOR, M.; VIVIAN, M. A. Propriedades físico-mecânicas de painéis compensados com a madeira de *Cupressus lusitanica* Mill. **Ciência Florestal**, v. 33, p. e74002, 2023.

RIDHO, M. R.; LUBIS, M. A. R.; NAWAWI, D. S.; FATRIASARI, W. Optimization of areca leaf sheath nanolignin synthesis by a mechanical method for in situ modification of ultra-low molar ratio urea-formaldehyde adhesives. **International Journal of Biological Macromolecules**, p.132614, 2024.

RODRIGUES, F. R.; CAZELLA, P. H. S.; SOUZA, M. V.; BISPO, R. A.; ASSIS, L. F.; GILIO, C. G.; CHRISTOFORO, A.L.; SILVA, S. A. M. Produção de painéis de partículas de madeira com inclusão de poliestireno. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 2, e68402, p. 1-22, 2023.

SARI, N. H.; WARDANA, I. N. G.; IRAWAN, Y. S.; SISWANTO, E. Physical and acoustical properties of corn husk fiber panels. **Advances in Acoustics and Vibration**, v. 1, n. 5971814, 2016.

VIEIRA, G. H. C.; DE MORAES, T. P. E.; SARAIVA, K. F.; MARCHESAN, R. Lignina como agente de reforço em painéis produzidos com *Eucalyptus* spp. e casca de *Caryocar brasiliense* (Pequi). **DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v.11, n.3, 2024.

YADAV, R. Development of low formaldehyde emitting particle board by nano particle reinforcement. **Journal of Applied and Natural Science**, v.13, n.4, p. 1187-1197, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v13i4.2959>



Contribuição de Autoria

1 Maria Rita Ramos Magalhães

Engenheira Florestal, Doutoranda em Ciência e Tecnologia da Madeira

<https://orcid.org/0000-0001-7103-0352> • mariaritamagalhaes37@gmail.com

Contribuição: Redação do manuscrito original; Metodologia

2 Felipe Gomes Batista

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira, Pós-doutorando em Recursos Florestais

<https://orcid.org/0000-0002-0210-7026> • felipejp.gomes@gmail.com

Contribuição: Escrita – revisão e edição; Metodologia

3 Ana Carolina Corrêa Furtini

Engenheira Civil, Doutora em Engenharia de Biomateriais, Professora

<https://orcid.org/0000-0002-2106-6602> • carol.furtini1@gmail.com

Contribuição: Pesquisa; Metodologia

4 Lourival Marin Mendes

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciências Florestais, Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8713-405X> • lourival@ufla.br

Contribuição: Design da apresentação de dados; Recebimento de financiamento; Supervisão

5 José Benedito Guimarães Junior

Engenheiro Florestal, Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-9066-1069> • jose.guimaraes@ufla.br

Contribuição: Conceitualização; Análise de dados; Administração do projeto

Como citar este artigo

MAGALHÃES, M. R. R.; BATISTA, F. G.; FURTINI, A. C. C.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. Incorporação de nanoestruturas de lignina em adesivo cardanol-formaldeído para a produção de painéis compensados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 35, e91503, p. 1-18, 2025. DOI 10.5902/1980509891503. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509891503>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.



Artigo Premiado no VI CBCTEM

Com o objetivo de incentivar a disseminação do conhecimento e ampliar a visibilidade das pesquisas na área de Tecnologia de Produtos Florestais, a revista *Ciência Florestal* premiou, com a publicação em seu periódico, trabalhos científicos apresentados durante o VI Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia em Engenharia Madeireira (CBCTEM), realizado de 16 a 18 de outubro de 2024, na cidade de Pelotas, RS. O evento foi promovido pelo curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

Um dos artigos contemplados foi ***"Incorporação de nanoestruturas de lignina em adesivo cardanol-formaldeído para a produção de painéis"***, de autoria de Maria Rita Ramos Magalhães, Felipe Gomes Batista, Ana Carolina Corrêa Furtini, Lourival Marin Mendes e José Benedito Guimarães Junior, da Universidade Federal de Lavras – UFLA.

A Equipe Editorial da revista *Ciência Florestal* parabeniza os autores pela conquista, bem como o coordenador geral do evento, Professor Dr. Leonardo da Silva Oliveira, e o Comitê Científico do VI CBCTEM, pelo sucesso da iniciativa.



Declaração de Disponibilidade de Dados:

Os dados relacionados a este artigo estão disponíveis mediante solicitação a/ao autora/autor correspondente.

Avaliador do artigo:

Cristiane Pedrazzi, *Editadora de Seção*

Equipe Editorial:

Prof. Dr. Cristiane Pedrazzi, *Editadora-Chefe*

Prof. Dr. Dalton Righi, *Editor Associado*

Miguel Fávila, *Editor Gerente*