

## **Análises físicas e acústica de painéis compensados colados com adesivo cardanol-formaldeído nanoestruturado com lignina**

Maria Rita Ramos Magalhães<sup>1</sup>; Felipe Gomes Batista<sup>1</sup>; Ana Carolina Correa Furtini<sup>1</sup>;  
José Benedito Guimarães Júnior<sup>1</sup>; Lourival Marin Mendes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras (UFLA),  
Lavras/MG, Brasil – [mariaritamagalhaes37@gmail.com](mailto:mariaritamagalhaes37@gmail.com)

**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 e de isolamento acústico foram avaliadas. Os resultados mostraram que os painéis com adição de nanoestrutura de lignina apresentaram melhor desempenho em termos de isolamento acústico e se manteve sem diferença estatística para a densidade, umidade e absorção de água, indicando que o cardanol e a nanoestrutura de lignina são alternativas viáveis na produção de adesivos sustentáveis.

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

## **Physical and acoustic analysis of plywood panels glued with cardanol-formaldehyde adhesive nanostructured with lignin**

**Abstract:** The use of non-renewable primary materials has raised environmental concerns, encouraging 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 improve adhesive properties. Panels were produced with different concentrations of nanostructures, and their physical and acoustic insulation properties were evaluated. The results showed that the panels with the addition of lignin nanostructure presented better performance in terms of acoustic insulation and remained without statistical difference for density, humidity and water absorption, indicating that cardanol and lignin nanostructure are viable alternatives in the production of sustainable adhesives.

**Keywords:** Sustainable adhesives, Nanotechnology, Liquid cashew nut shell (LCC).

## 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).

O líquido da casca da castanha de caju (LCC), subproduto agrícola, é obtido no processamento do caju (*Anacardium occidentale* 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 se tornam útil 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 e acústica de painéis compensados colados com adesivo cardanol-formaldeído nanoestruturados com lignina.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 *Produção dos painéis*

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 nanoestrutura de lignina ao adesivo cardanol-formaldeído. Cada tratamento foi composto por três repetições, totalizando 9 painéis.

**Tabela 1.** Tratamentos avaliados com diferentes concentrações de nanoestrutura de lignina ao adesivo cardanol-formaldeído

Espécie	Nanolignina	Nº de painéis
<i>Pinus</i> sp.	0%	3
	0,25%	3
	0,50%	3

Os painéis foram colados manualmente com adesivos cardanol-formaldeído modificado com nanoestrutura de lignina (Figura 1), de gramatura de 280 g/m<sup>2</sup>, 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: (Autor)

## 2.2 Avaliação física dos painéis compensados

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 dos painéis compensados

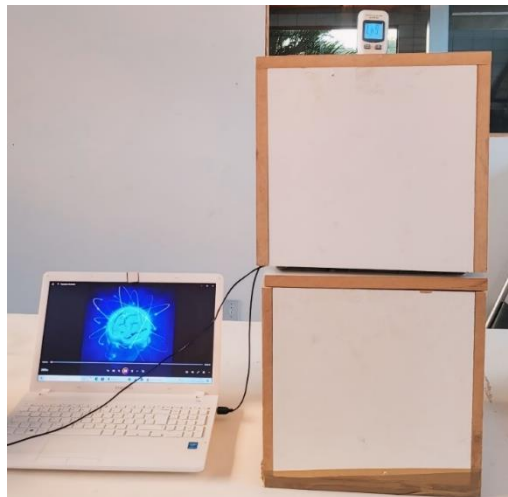
Testes	Metodologia
Densidade aparente	NBR 9484 (ABNT, 2011)
Umidade na base seca	NBR 9484 (ABNT, 2011)
Absorção total de água	NBR 9484 (ABNT, 2011)

## 2.3 Isolamento acústico

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 o 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. 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 (ABNT, 1992) e da ISO 10534-2:1998 (ISO, 2010).

**Figura 2.** Isolamento acústico.



Fonte: (Autor)

## **2.4 Delineamento experimental e análise estatística dos dados**

O delineamento utilizado na avaliação dos tratamentos com adesivos fenol-formaldeído sintético e a base de cardanol com 0, 0,25 e 0,50% de nanoestruturas de lignina foi delineamento inteiramente casualizado (DIC). Sendo realizada ANOVA e teste de Scott-Knott a 5% de significância.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

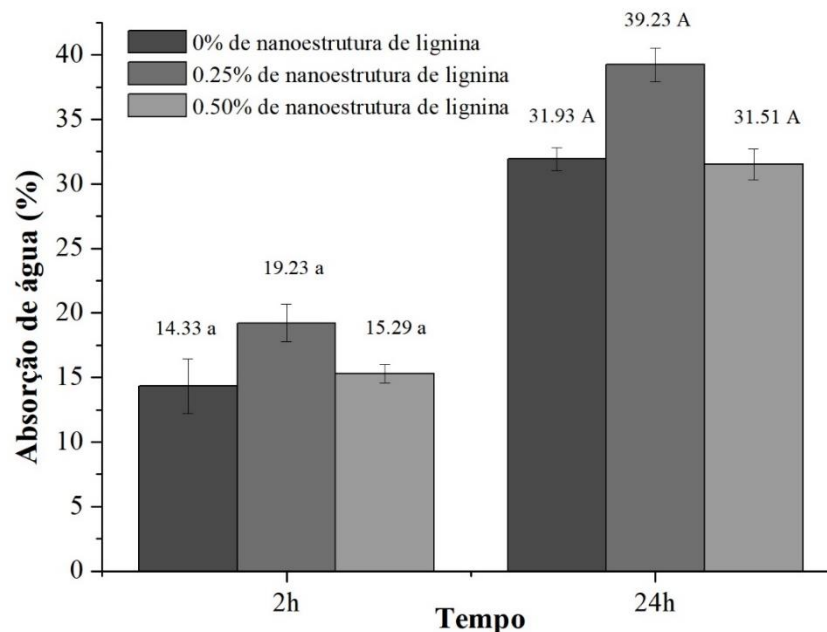
Os painéis apresentaram densidade de 0,76, 0,78 e 0,80 g/cm<sup>3</sup> para 0%, 0,25% e 0,50% de nanoestrutura de celulose, respectivamente, não apresentando diferença estatística entre si. Valor inferior foi encontrado por Costa et al (2020) estudando painel compensado produzido com madeira de paricá, em que encontraram 0,49 g/cm<sup>3</sup> de densidade. Além disso, Kollmann et al. (1975) 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 foi de 5,37%, 5,98% e de 7,58% para 0%, 0,25% e 0,50% de nanoestrutura de celulose, respectivamente, 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-formaldeído, obtiveram para os compensados, valores médios de teor de umidade variando entre 8% e 11%. Em outro estudo Mendoza et al (2017) realizando um estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e *laminated veneer lumber* (LVL), produzidos com lâminas da madeira de Amescla (*Trattinnickia burserifolia*) montados com sete lâminas e colados com adesivo à base de fenol-formaldeído encontraram umidade 8,69% sendo valores superiores ao encontrado nesse trabalho.

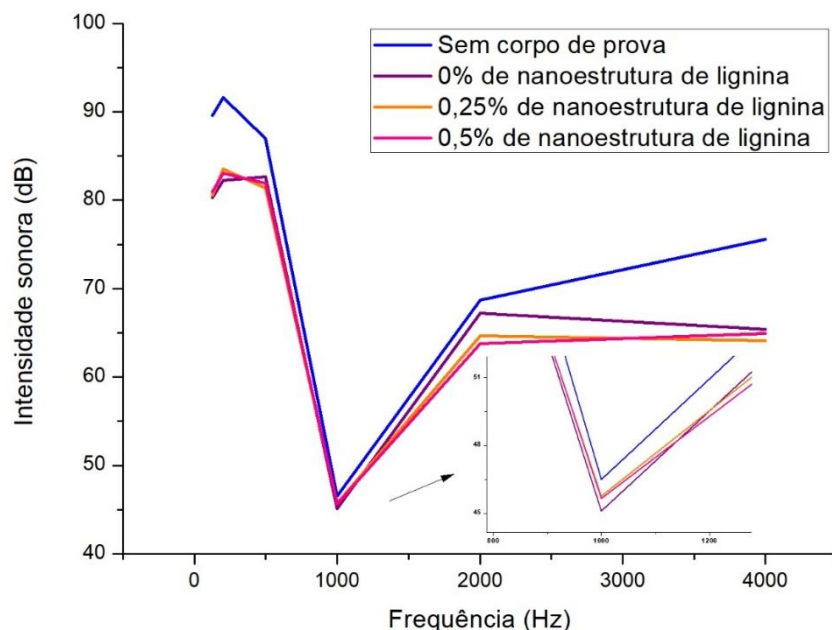
Para a absorção de água em 2h e 24h (Figura 3), o maior valor de 19,23% e 39,23%, respectivamente, não diferindo estatisticamente. Mendoza et al (2017) encontraram para absorção de água com os painéis compensados de madeira de *Trattinnickia burserifolia* uma média de 64,84%. Modes et al (2023) encontraram 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 poliuretana 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 (NASCIMENTO, 2007).

**Figura 3.** Absorção de água em 2 e 24 horas pelos painéis compensados.



Observa-se maiores diferenças entre os tratamentos nas frequências de 2000 Hz a 4000 Hz (Figura 4). Nessas frequências, o tratamento com 0,50% de nanolignina apresentou o melhor desempenho, com intensidades sonoras medidas de 64 dB em 2000 (Hz) e 65 dB em 3000 (Hz). Em contraste, sem corpo de prova apresentou valores de 69 dB para 2000 Hz e 73 dB para 3000 Hz. Na frequência de 4000 (Hz) o tratamento com 0,25% de nanoestrutura se apresentou mais isolante com 64 dB, seguido pelo de 0,50% com 66 dB, já o painel controle esteve com 76 dB. Resultados semelhantes foram observados no estudo de Vieira et al., (2024) em painéis aglomerados de eucalipto colados com lignina, com valores de 69,98 dB.

**Figura 4-** Resultado de teste de isolamento acústico



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 cm e 40 cm, são de 45 dB e de 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 (Hz) 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 dB a 55 dB e de 45 dB a 60 dB respectivamente. Portanto, numa frequência de 1000 (Hz) a 2000 (Hz) todos os tratamentos atendem a essa normativa.

#### 4. CONCLUSÃO

Pode concluir-se com a realização deste trabalho que:

- Os testes não apresentaram diferença estatística.
- Os painéis produzidos apresentaram melhor desempenho em isolamento acústico para a maior concentração de nanoestrutura de lignina (0,5%).
- O estudo demonstrou 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 são alternativas promissoras e sustentáveis.

## 5. REFERÊNCIAS

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 Coating 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 bicomponente. *Revista Madeira Arquitetura & Engenharia*, São Carlos, SP, v. 10, n. 24, p. 37-50, 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. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, v. 9, n. 8, p. e786986089, 2020.

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 JR, J. B. Substitution of urea-formaldehyde by renewable phenolic compound for environmentally appropriate production of particleboards. *Springer Nature*, 2022.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 10534-2: 1998: acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes: part 2: transfer-function method, 2010.

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.

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

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.

NASCIMENTO, R. A. A. Caracterização da lignina de bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor: identificação dos compostos de degradação e reações envolvidas. 2007. 130 p. Tese (Doutorado em Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2007.

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*, v. 271, n. 132614, p. 1-21, 2024.

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.