

Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá

Evaluation of sandwich panels produced with egg carton core and paricá veneers

Lorran de Sousa Arantes 
Ana Carolina Corrêa Furtini 
Rafael Gomes Moreira 
Diogo Antonio Correa Gomes 
Lourival Marin Mendes 
José Benedito Guimarães Júnior 

Resumo

Em busca de novos materiais a partir de resíduos industriais, visando ao custo, à eficiência e à redução do passivo ambiental, este trabalho teve como objetivo avaliar as características físicas, mecânicas, acústicas e térmicas de painéis sanduíche produzidos com lâminas de *Schizolobium amazonicum* (paricá) e núcleo de caixa de ovos feitos de papelão coladas com o adesivo fenol-formaldeído (FF) e com o adesivo ureia-formaldeído (UF), intercalando-se estas com lâminas coladas com ambos (FF+UF). Os painéis foram avaliados por meio de ensaios térmicos, acústicos, físicos e mecânicos. Os adesivos FF e UF influenciaram nas propriedades físico-mecânicas dos painéis. Para a condutividade térmica e resistência térmica, verificou-se que todos os painéis atingiram as exigências normativas da NBR 15220 (ABNT, 2005), com destaque para os painéis produzidos com FF. Sendo assim, a utilização das lâminas de paricá de 32x12x0,2 cm (comprimento, largura e espessura respectivamente) e de caixa de ovo como núcleo com adesivo se mostrou promissora para algumas aplicações na construção civil, além de agregar valor aos resíduos de caixa de ovo como isolantes térmicos e acústicos, por minimizar o descarte de matéria-prima no meio ambiente.

Palavras-chave: Adesivos. Paineis sanduíche. Paricá. Sustentabilidade.

Abstract

*In search of new materials from industrial waste, aiming at cost, efficiency and reduction of environmental liabilities, this study aimed to evaluate the physical, mechanical, acoustic and thermal characteristics of sandwich panels produced with sheets of *Schizolobium amazonicum* (paricá) and egg carton core made of cardboard, glued with adhesive phenol formaldehyde (FF), urea formaldehyde (UF) and interleaved the sheets glued with both. The panels were evaluated through thermal, acoustic, physical and mechanical tests. The FF and UF adhesives influenced the physical-mechanical properties of the panels. For thermal conductivity and thermal resistance, it was found that all panels met the normative requirements of NBR 15220 (ABNT, 2005) with emphasis on panels produced with FF. Therefore, the use of paricá sheets 32x12x0.2 cm (length, width and thickness, respectively) and egg box as a core with adhesive, proved to be promising for some uses in civil construction, in addition to adding value to the egg crate residues as thermal and acoustic insulators, can minimize the disposal of raw material in the environment.*

Keywords: Adhesives. Sandwich panel. Paricá. Sustainable.

¹Lorran de Sousa Arantes
¹Universidade Federal de Lavras
Lavras - MG - Brasil

²Ana Carolina Corrêa Furtini
²Universidade Federal de Lavras
Lavras - MG - Brasil

³Rafael Gomes Moreira
³Universidade Federal de Lavras
Lavras - MG - Brasil

⁴Diogo Antonio Correa Gomes
⁴Universidade Federal de Lavras
Lavras - MG - Brasil

⁵Lourival Marin Mendes
⁵Universidade Federal de Lavras
Lavras - MG - Brasil

⁶José Benedito Guimarães Júnior
⁶Universidade Federal de Lavras
Lavras - MG - Brasil

Recebido em 06/04/22
Aceito em 07/09/22

Introdução

A indústria da construção civil é um dos segmentos industriais mais críticos com referência aos impactos ambientais, sendo considerada um dos principais geradores de resíduos sólidos da sociedade (EVANGELISTA *et al.*, 2010). Os resíduos decorrentes do processo construtivo das paredes de alvenarias, por exemplo, são responsáveis por uma grande parte do desperdício na obra, com mais degradação do meio ambiente, maior tempo de mão de obra e impacto no custo final da construção (PINHO; LORDSLEEM JUNIOR, 2009). As alvenarias são consideradas um dos elementos mais utilizados no processo construtivo tradicional, uma vez que possuem uso comum para divisórias de ambientes internos, como unidades portantes. Além disso, apresentam características de isolamento térmico e acústico (JOYKLAD *et al.*, 2022).

De modo a reduzir os impactos causados pela construção civil, observa-se na literatura corrente a preocupação de pesquisadores no desenvolvimento de métodos e materiais alternativos que gerem menos impactos na natureza e que permitam desempenho satisfatório das estruturas nas quais serão empregados (SILVA *et al.*, 2018). Uma alternativa é o sistema construtivo em que se utilizam painéis sanduíche, o qual pode proporcionar boas características de resistência, durabilidade e isolamento térmico e acústico, podendo ser uma alternativa vantajosa em relação a outros métodos construtivos tradicionais, como os que utilizam paredes de alvenaria ou sistemas pré-fabricados de concreto (MOTTA *et al.*, 2016; GAGLIARDO; MASCIA, 2010).

Os painéis sanduíche são geralmente confeccionados com duas chapas finas na face, tendo alta rigidez e resistência, no entanto o núcleo é flexível e leve, o qual mantém distância entre as faces e sustenta a deformação. Além disso, pode ter propriedades de isolamento (LAKREB *et al.*, 2015). Os painéis à base de madeira, por exemplo, geralmente têm excelente desempenho mecânico, com peso mínimo, e são econômicos, podendo ser utilizados em muitas aplicações industriais e residenciais, como em telhados, fachadas, paredes, divisórias e pisos (HASELI *et al.*, 2018).

Geralmente os painéis sanduíche à base de madeira têm suas faces feitas de tábuas, lâminas de madeira ou compensado (MARTÍNEZ *et al.*, 2016). Os compensados apresentam múltiplas aplicações, e o tipo de uso depende principalmente do adesivo aplicado. Os painéis produzidos com adesivo fenólico, por exemplo, são utilizados na construção civil, como formas de concreto, pisos e alvenaria, entre outros, enquanto os painéis produzidos com adesivo ureico são utilizados principalmente na produção de móveis, como constituintes de divisórias ou outras aplicações de uso interior (CUNHA *et al.*, 2016).

Os adesivos à base de ureia-formaldeído (UF) têm muitas vantagens e são um dos adesivos mais populares. Entre as vantagens estão o baixo custo, a cor e a facilidade de trabalho, porém possuem baixa resistência à umidade. O fenol-formaldeído (FF) é o mais utilizado na produção de painéis para fins estruturais destinados ao ambiente externo, com ou sem proteção, como compensados e OSB (IWAKIRI *et al.*, 2019).

Para o núcleo dos painéis sanduíche, as propriedades de interesse incluem baixa densidade e boas características de isolamento térmico e acústico (ZENKERT, 1997; VINSON *et al.*, 1999). No entanto, há diversos estudos em busca da utilização de resíduos para a confecção de núcleos de painéis sanduíche, como garrafa pet (SOUSA *et al.*, 2018), isolante de resíduo industrial do setor calçadista (DELFINO, 2012) e partículas de bagaço de cana-de-açúcar (POZZER *et al.*, 2020). Levando-se em conta isso, os resíduos comerciais de papelão, tais como as caixas de ovos, possuem características isolantes interessantes para reutilização em painéis sanduíche, devido à forma corrugada e à baixa densidade.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar o desempenho de painéis sanduíche como um possível sistema construtivo utilizando-se lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá) e núcleo de caixa de ovos feita de papelão, colados com adesivos FF e UF. Por ser a madeira de paricá uma espécie nativa das regiões Norte e Nordeste do Brasil, apresenta rápido crescimento (DUTRA *et al.*, 2017), tolerância à baixa fertilidade do solo, facilidade de manejo (SILVA *et al.*, 2020) e baixa incidência de defeitos, o que reflete no aumento do rendimento e na qualidade do compensado (IWAKIRI *et al.*, 2011; MODES *et al.*, 2014). Ainda, a reutilização das caixas de ovos proporciona diminuição da degradação ambiental e valorização do produto final.

Material e métodos

Produção dos compósitos

Para a produção dos compósitos, utilizou-se a madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá), nas seguintes lâminas:

- (a) de 12x12x0,2 cm para painéis destinados aos ensaios de isolamento acústico e térmico; e

(b) de 32x12x0,2 cm para painéis destinados aos ensaios mecânicos e físicos.

Para cada tratamento foram produzidos 9 painéis, totalizando 27.

Cada face dos painéis foi composta de três lâminas intercaladas de forma cruzada, conforme a direção da grã das lâminas adjacentes. Para colar as faces dos painéis com o miolo composto de caixas de ovos foram utilizados os adesivos FF para um tratamento e UF para outro. Já outros 9 painéis foram feitos intercalando-se as lâminas coladas com UF+FF, onde a face superior dos painéis foi composta de lâminas feitas com FF, sendo utilizado esse mesmo adesivo para colar a parte superior do miolo na lâmina. Já para a face inferior dos painéis, utilizaram-se as lâminas coladas com o adesivo UF, e para colar a parte inferior do miolo, ou seja, a caixa de ovo nas lâminas, foi usado o mesmo adesivo UF. A gramatura dos adesivos utilizada foi de 100 g/m².

Após o processo de colagem, foi aplicada uma prensagem a quente a 150 °C a uma pressão de 0,1 MPa em prensa hidráulica por 8 min. Para a avaliação das propriedades físicas, mecânicas e acústicas, e análise de isolamento térmico, os painéis foram acondicionados na sala de climatização a uma temperatura de 20±2 °C e umidade do ar de 65±3%.

Determinação das propriedades físico-mecânicas

Após a estabilização dos painéis em sala climatizada, eles foram submetidos aos ensaios físico-mecânicos. A propriedade física determinada foi a densidade aparente. O ensaio mecânico realizado foi o de flexão estática, no qual foram determinados os Módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR), conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997).

Isolamento térmico

Para a determinação do isolamento térmico dos painéis sanduíche, foi utilizado o método descrito por Mendes *et al.* (2021), através de um atuador térmico na parte inferior, mantendo a temperatura em torno de 60 °C. As temperaturas foram registradas por meio de sensores. A taxa de aquecimento foi de 1 °C/min, e o ciclo, de 1 h. Os dados foram registrados durante esse período por sensores utilizando equipamento *data collector*, modelo IM DC 100-01E. Os resultados de isolamento térmico do material foram obtidos pela diferença dos termopares da base do padrão e do topo, conforme ilustrado na Figura 1. Os valores referentes à condutividade térmica, à resistência térmica e à transmitância térmica foram obtidos conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Isolamento acústico

Para a avaliação do isolamento acústico foram utilizadas duas caixas confeccionadas com painéis de madeira sobrepostas uma sobre a outra (Figura 2a). O compósito ficou entre as duas caixas, apoiado sobre uma placa de espuma acústica, de modo que o ele formasse uma barreira acústica (Figura 2b). Foram utilizados um microcomputador, dois alto-falantes (50 W RMS e resposta de frequência de 22 Hz a 30.000 Hz), conforme a Figura 2c, 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 (INTERNATIONAL..., 2010).

Análise estatística

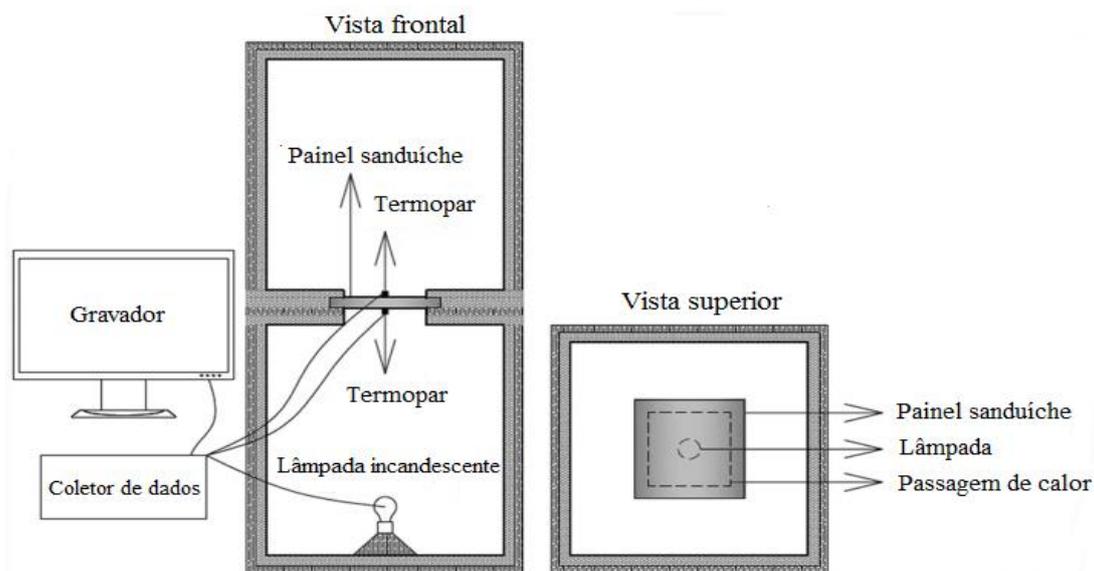
Os ensaios foram analisados obedecendo-se a um delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo utilizados três painéis para cada parâmetro, conforme indicado na Tabela 1, totalizando três repetições para cada ensaio. Os dados obtidos com os ensaios físico-mecânicos, isolamento térmico e isolamento acústico foram analisados estatisticamente pelo Teste de Tukey, a 5% de significância, após a análise de variância. As análises foram realizadas com o auxílio do programa estatístico R.

Resultados e discussão

Determinação das propriedades físicas e mecânicas

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de densidade aparente, de MOE e de MOR obtidos para os painéis sanduíche em valores médios. Nota-se que os painéis sanduíche apresentaram baixa densidade (0,12 g/cm³ e 0,14 g/cm³), pois são inferiores a 0,5 g/cm³ (SRIVARO *et al.*, 2014). Observa-se também que os painéis produzidos com UF foram os que apresentaram maior densidade.

Figura 1 - Diagrama para obtenção da condutividade térmica dos painéis sanduíche



Fonte: adaptada de Mendes *et al.* (2021).

Figura 2 - Equipamentos utilizados para a obtenção do isolamento acústico dos painéis sanduíche

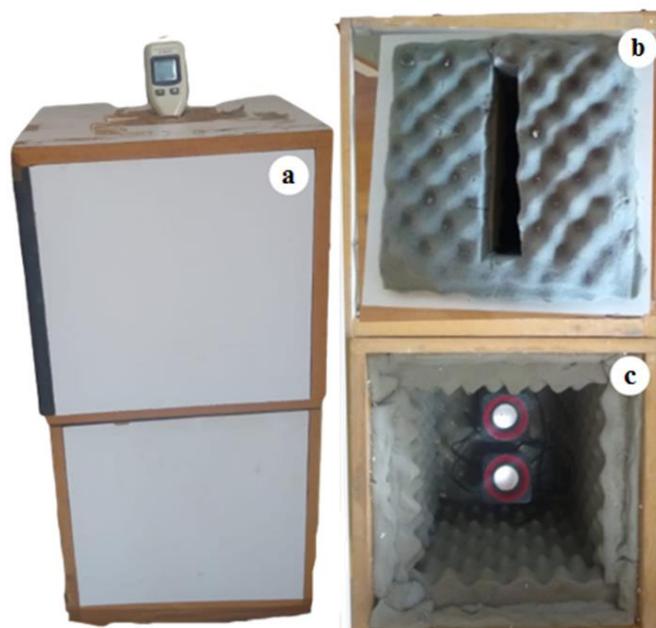


Tabela 1 - Plano experimental

Adesivos	Parâmetros	Repetições
UF	Densidade aparente e flexão estática	3
	Isolamento térmico	
	Isolamento acústico	
FF	Isolamento térmico	3
	Isolamento acústico	
	Densidade aparente e flexão estática	
UF + FF	Isolamento térmico	3
	Isolamento acústico	
	Densidade aparente e flexão estática	

Tabela 2 - Valores de densidade aparente, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) dos painéis

Adesivos	Densidade Aparente (g/cm ³)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
UF	0,146A	22,30A	1,61A
FF	0,127B	14,71B	1,34C
UF+FF	0,133B	17,97B	1,52B
CV (%)	4,34	15,63	8,16

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Segundo Matos *et al.* (2019), a maioria das aplicações de painéis de baixa densidade é de uso não estrutural, como móveis, divisórias, paredes, etc., que podem ser utilizados sem restrições, tendo sua instalação inclusive facilitada, por serem mais leves. Logo, os valores encontrados para a densidade aparente dos painéis se mostram adequados, com destaque aos painéis produzidos com adesivo FF e UF+FF. Outra característica importante é que materiais menos densos possuem melhor absorção acústica e térmica, devido à presença de poros, logo podem ser utilizados para otimizar o isolamento térmico e acústico de forros e revestimentos de paredes.

Neste trabalho se verificou que a densidade influenciou diretamente as propriedades mecânicas dos painéis sanduíche, uma vez que foram encontrados maiores valores de MOE e de MOR para os painéis sanduíche produzidos com adesivo UF (Tabela 2). Para os painéis produzidos com adesivo FF e UF+FF não foram verificadas diferenças estatísticas nos valores de MOE. Já para os valores de MOR foram encontrados maiores valores para os produzidos com adesivo UF+FF em relação aos produzidos com adesivo FF, fato que chama a atenção, uma vez que o adesivo FF é o mais utilizado na produção de painéis para fins estruturais (IWAKIRI *et al.*, 2019) e geralmente apresenta valores mecânicos maiores do que o adesivo UF (OLIVEIRA *et al.*, 2021).

Bahrami *et al.* (2020), ao estudarem painéis sanduíche com o núcleo de papel picado com adesivo UF e FF, concluíram que a densidade do painel teve efeito significativo na melhoria da resistência à flexão, que aumentou com o aumento da densidade, fato também observado no presente estudo. O tipo de adesivo também teve efeito significativo na resistência à flexão do painel sanduíche. Neste caso, o adesivo FF melhorou a resistência à flexão em comparação com o adesivo UF, fato oposto do presente estudo.

Em contrapartida, estudos também indicam maiores valores de MOE para painéis compensados de pínus com adesivo UF em relação aos painéis de pínus com adesivo FF (MATOS *et al.*, 2019). Conforme Matos *et al.* (2019), os painéis confeccionados com adesivo UF podem ter sido beneficiados com a presença de lâminas de lenho adulto, o qual apresenta densidade e propriedades mecânicas superiores. Entretanto, não houve controle desse fator no experimento, da mesma forma que no presente estudo.

Em comparação aos painéis sanduíche com outros tipos de adesivo, Motta *et al.* (2016) encontraram valores de MOE para painéis produzidos com matriz de poliéster reforçada com fios de rami e miolo de bucha vegetal de 27,18 MPa, e para os miolos de EPS (poliestireno expandido) e adesivo epóxi incolor e EPS e adesivo epóxi cinza de 11,97 MPa e de 9,93 MPa respectivamente. Os valores de MOE encontrados neste trabalho para os painéis sanduíche se mostram próximos aos encontrados pelos referidos autores, fato vantajoso, uma vez que os adesivos UF e FF são mais baratos. Já Jin *et al.* (2015), estudando painéis sanduíche de núcleo de treliça 2D à base de madeira bétula (*Betula platyphylla* Suk) com adesivos EPI (emulsão polimerizada com isocianato), obtiveram para o MOR uma média de 7,74 MPa, valor superior quando comparado ao presente estudo, fato esperado, pois o adesivo EPI apresenta maior resistência mecânica.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que especifica os requisitos para sistemas de vedações verticais, não determina valores mínimos de MOR e de MOE, podendo os painéis ser utilizados como divisórias, desde que atendam aos requisitos das demais propriedades determinadas por essa normativa.

Isolamento térmico

Na Tabela 3 se verifica que os valores de condutividade térmica, resistência térmica e transmitância térmica dos painéis sanduíche produzidos com o adesivo FF foram diferentes estatisticamente em relação aos painéis produzidos com UF e UF+FF. Essa diferença pode ser explicada pelos tipos de adesivo e pelos valores de densidade aparente. Diante da literatura, afirma-se que painéis produzidos com adesivo UF apresentam excelentes propriedades térmicas em relação aos painéis produzidos com FF (MOSLEMI *et al.*, 2020; CIRRIK, 2021). Observa-se também que os painéis produzidos com o adesivo FF apresentam menor

densidade e que materiais com baixa densidade geralmente apresentam menor condutividade térmica (STEINHAGEN, 1977). A condutividade térmica é a propriedade de um material que desempenha um papel fundamental em todos os cálculos de transferência de calor, seja no contexto do projeto de edifícios energeticamente eficientes, seja no cálculo do perfil de temperatura (BATTACHERJEE; KRISHNAMOORTHY, 2004).

Conforme a NBR 15220 (ABNT, 2005), para que painéis apresentem característica de material isolante térmico, os valores de condutividade térmica devem ser inferiores a 2W/m.K. Sendo assim, todos os painéis estão em conformidade com o recomendado. Comparado a outros materiais de construção tradicionais, como tijolo de barro vermelho de 0,93 W/m.K e bloco de concreto oco de 0,68 W/m.K (RAMIREZ *et al.*, 2012), a condutividade térmica encontrada nos três tratamentos do presente estudo apresentaram resultados adequados, do mesmo modo quando comparado a outros painéis de madeira, como painel de madeira laminada colada cruzada (MLCC) de pínus de 0,34 W/m.K (FURTINI *et al.*, 2021) e painel cimento madeira de pínus de 0,29 W/m.K.

Wang *et al.* (2020) e Haseli *et al.* (2018) afirmam que painéis do tipo sanduíche possuem valor satisfatório de condutividade térmica. No entanto, quanto menor a condutividade térmica, maior é o isolamento térmico proporcionado pelo material, tornando-se interessante a aplicação desses painéis sanduíche como isolantes térmicos.

Em relação à resistência térmica, observa-se que os painéis feitos com adesivo FF apresentaram maior resistência, sendo esse fato favorável, pois, quanto maior a resistência térmica, menor será a transmissão de calor. De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), a resistência térmica deve ser acima de 0,02 m².K/W, logo todos os painéis se mostram resistentes à transmissão de calor. Conforme Costa (2003), a condutividade térmica tem ligação direta com a RT, logo, quanto menor for a condutividade térmica, maior será a resistência térmica, fato confirmado neste estudo.

Quanto à transmitância térmica, os valores encontrados não atendem à NBR 15220 (ABNT, 2005), que indica para vedações externas $U \leq 3,60$. Conforme Ahmad *et al.* (2014), a transmitância térmica depende da orientação da parede e das condições climáticas locais, logo os valores encontrados no presente estudo podem sofrer variância em diferentes locais e orientações.

Isolamento acústico

Na Figura 3 se observa que os painéis sanduíche produzidos obtiveram comportamento semelhante independentemente do tipo de adesivo usado quanto ao isolamento acústico, atingindo a média de redução de ruídos de 30 dB. Segundo a normativa NBR 15575-4 (ABNT, 2013), em áreas de vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas de intensidade sonora, logo todos os painéis produzidos, independentemente do tipo de adesivo, podem ser utilizados para vedação externa.

O documento normativo NBR 12179 (ABNT, 1992) ainda cita a exigência para o isolamento acústico de materiais de alvenaria de tijolo maciço com espessura de 10 cm e 40 cm, sendo os valores de isolamento de 45 dB e de 55 dB respectivamente. Esses valores de isolamento acústico citados pela norma NBR 12179 (ABNT, 1992) para tijolos maciços, se comparados aos encontrados neste trabalho para os painéis sanduíche produzidos com adesivo FF, atenderiam a esse requisito.

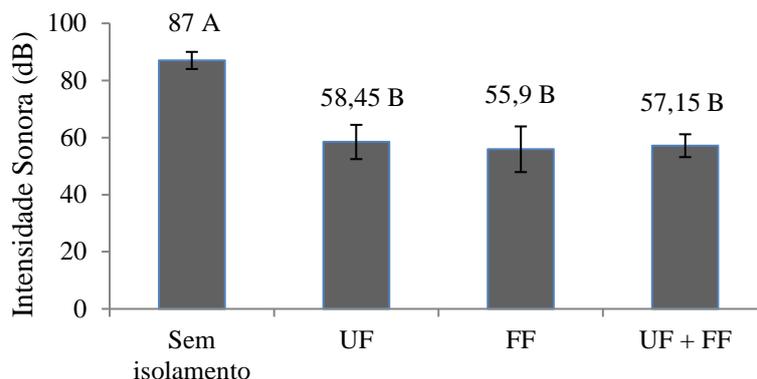
Já para o documento normativo NBR 10152 (ABNT, 2020), o nível sonoro de conforto acústico em hotéis (portaria, recepção e circulação) e ginásios poliesportivos compreendem uma faixa aceitável que varia de 45 dB a 55 dB e de 45 dB a 60 dB respectivamente. Portanto, os painéis produzidos com adesivo FF se enquadrariam em ambas as situações, enquanto os painéis produzidos com os adesivos UF e UF+FF se enquadrariam apenas para a utilização em ginásios poliesportivos.

Tabela 3 - Valores de condutividade térmica (λ), resistência térmica (RT) e transmitância térmica (U) dos painéis sanduíche

Adesivos	λ (W/m.K)	RT (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)
UF	0,5577 ^A	0,0888 ^B	11,38 ^A
FF	0,4075 ^B	0,0924 ^A	10,89 ^B
UF + FF	0,5025 ^A	0,0893 ^B	11,21 ^A
CV (%)	16,75	8,59	7,88

Nota: médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Figura 3 - Valores de intensidade sonora dos painéis sanduíche produzidos com lâminas de paricá e caixa de ovo



Conclusão

Os painéis sanduíche com lâminas de paricá e núcleo de caixa de ovo apresentaram baixa densidade, com destaque aos painéis produzidos com adesivos FF e UF+FF ($0,12 \text{ g/cm}^3$ e $0,13 \text{ g/cm}^3$). Verificou-se que a densidade aparente e o tipo de adesivo influenciaram diretamente os valores de MOE e de MOR, ou seja, os painéis produzidos com adesivo UF apresentaram maiores valores em relação aos painéis produzidos com adesivo FF e UF+FF, por terem apresentado maior densidade.

Para a condutividade térmica e resistência térmica, verificou-se que todos os painéis estão dentro do limite recomendado pela NBR 15220 (ABNT, 2005), com destaque aos painéis produzidos com o adesivo FF, que apresentaram condutividade térmica de $0,407 \text{ W/m.K}$ e resistência térmica de $0,092 \text{ m}^2.\text{K/W}$. Porém, os valores de transmitância térmica que variaram entre $10,89 \text{ W/m}^2.\text{K}$ e $11,38 \text{ W/m}^2.\text{K}$ não atenderam ao limite estabelecido pelo documento normativo. Segundo a normativa NBR 10152 (ABNT, 2020), para o isolamento acústico, os painéis produzidos com o adesivo FF se enquadram para conforto acústico em hotéis (portaria, recepção e circulação) e ginásios poliesportivos, já os painéis de UF e UF+FF, para ginásios poliesportivos. Sendo assim, a utilização de caixas de ovo como núcleo se mostrou promissora para algumas utilizações na construção civil, além de agregar valor como isolantes térmico e acústico, e pode minimizar o descarte dessa matéria-prima no meio ambiente.

Referências

- AHMAD, A. *et al.* In situ measurement of thermal transmittance and thermal resistance of hollow reinforced precast concrete walls. **Energy and Buildings**, v. 84, p. 132-141, 2014.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: sistema de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- BAHRAMI, M. *et al.* Mechanical properties of light weight sandwich panel with recycled paper core. **Forest and Wood Products**, v. 73, n. 1, p. 39-49, 2020.
- BATTACHERJEE, B.; KRISHNAMOORTHY, S. Permeable porosity and thermal conductivity of construction materials. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 16, n. 44, p. 322-330, 2004.
- CIRRIK, Ö. Determination of thermal conductivity of laminated wood materials depending on the layer orientation. **Wood Industry and Engineering**, v. 3, n. 2, p. 31-36, 2021.

- COSTA, E. C. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2003.
- CUNHA, A. B. *et al.* Produção de painéis compensados com resina fenólica e melamínica sem formaldeído. **Revista Floresta**, v. 46, n. 4, p. 553-560, 2016.
- DELFINO, G. P. **Desenvolvimento de painéis sanduíche com lâminas de polietileno de alta densidade e núcleo isolante de resíduo industrial do setor calçadista**. Porto Alegre, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- DUTRA, F. V. *et al.* Morfobiometria de frutos e sementes de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. **Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 2, p. 58-64, 2017.
- EVANGELISTA, P. P. D. A. *et al.* Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.
- FURTINI, A. C. C. *et al.* The Performance of cross laminated timber panels made of *Pinus oocarpa* and *Coffea arabica* waste. **Coffee Science**, v. 16, p. e161854, 2021.
- GAGLIARDO, D. P.; MASCIA, N. T. Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 247-258, dez. 2010.
- HASELI, M. *et al.* Characterization of blackboard and battenboard sandwich panels from date palm waste trunks. **Measurement**, v. 124, p. 329-337, 2018.
- 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.
- IWAKIRI, S. *et al.* Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Floresta**, v. 41, n. 3, 2011.
- IWAKIRI, V. T. *et al.* Produção de painel aglomerado estrutural de *Mimosa scabrella* Benth com resina lignina-fenol-formaldeído. **Floram**, v. 26, n. 3, p. e20171006, 2019.
- JIN, M. *et al.* Compressive and bending behaviors of wood-based two-dimensional lattice truss core sandwich structures. **Composite Structures**, v. 124, p. 337-344, 2015.
- JOYKLAD, P. *et al.* An investigative study for the prediction of compressive strength of cement-clay interlocking (CCI) hollow brick masonry walls. **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, p. e01001, 2022.
- LAKREB, N. *et al.* Mechanical behavior of multilayered sandwich panels of wood veneer and a core of cork agglomerates. **Materials and Design**, v. 65, p. 627-636, 2015.
- MARTÍNEZ, S. E. *et al.* Improvements to the procedure for flexural testing, on two spans, of full Wood-based sandwich panel subject to uniform load. **Construction and Building Materials**, v. 102, n. 1, p. 281-296, 2016.
- MATOS, A. C. *et al.* Influência de diferentes composições de lâminas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* (Schiede ex Schltdl) para produção de compensados multilaminados. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 124, p. 799-810, 2019.
- MENDES, R. F. *et al.* Study of new reinforcing materials for cementitious panel production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 37217-37230, 2021.
- MODES, K. S. *et al.* Rendimento em laminação da madeira de *Schizolobium amazonicum* em torno desfolhador do tipo tracionado. **Ciência da Madeira**, v. 5, n. 2, p. 10-12953, 2014.
- MOSLEMI, A. *et al.* Addition of cellulose nanofibers extracted from rice straw to urea formaldehyde resin: effect on the adhesive characteristics and medium density fiberboard properties. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 99, p. 102582, 2020.
- MOTTA, L. A. C. *et al.* Polyester sandwich panels reinforced with ramie fibers for use in civil construction. **Matéria**, v. 21, n. 3, p. 796-806, 2016.
- OLIVEIRA, M. R. R. *et al.* Physical-mechanical properties of panels produced with corn cob particles and different types and contents of adhesives. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, 2021.

PINHO, S. A. C.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. O custo da perda de blocos/tijolos e argamassa da alvenaria de vedação: estudo de caso na construção civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS-ABC, 16., Fortaleza, 2009. **Anais [...]** Fortaleza, 2009.

POZZER, T. *et al.* Trapezoidal core sandwich panel produced with sugarcane bagasse. **Construction and Building Materials**, v. 264, n. 120718, 2020.

RAMIREZ A. R. *et al.* Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 425-431, 2012.

SILVA, C. B. R. *et al.* Properties of juvenile wood of *Schizolobium parahyba* var. *Amazonicum* (paricá) under different cropping systems. **Agroforest System**, v. 94, p. 583-595, 2020.

SILVA, L. O. *et al.* Tijolo solo-cimento: fabricação e utilização em construções que visam o equilíbrio ambiental. **Revista Conexão Eletrônica Três Lagoas**, v. 15, n. 1, p. 446-455, 2018.

SOUSA, L. S. *et al.* Paineis sanduíche pré-moldado com garrafa Pet: proposta de modulação e análise do custo benefício. **e-RAC**, v. 8, n. 1, 2018.

SRIVARO, S. *et al.* Investigation of physical and mechanical properties of oil palm wood core sandwich panels overlaid with a rubberwood veneer face. **European Journal of Wood and Wood**, v. 72, p. 571-581, 2014.

STEINHAGEN, H. P. **Thermal conductive properties of wood, green or dry, from -40 degrees to + 100 degrees Celsius**: a literature review. Madiso: United States Department of Agriculture Forest Service General Technical Report FPL, 1977.

VINSON, J. R. *et al.* **The behavior of sandwich structures of isotropic and composite materials**. Lancaster: Technomic, 1999.

WANG, X. *et al.* Effective thermal conductivity and heat transfer characteristics for a series of lightweight lattice core sandwich panels. **Applied Thermal Engineering**, v. 173, p. 115205, 2020.

ZENKERT, D. **The handbook of sandwich construction**: engineering materials advisory services. Norway: Dan Zenkert, 1997.

Agradecimentos

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Lorran de Sousa Arantes

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Pesquisa, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Lavras - MG - Brasil | CEP 37203-900 | Tel.: (35) 98413-7685 | E-mail: lorran.arantes@ufla.br

Ana Carolina Corrêa Furtini

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Pesquisa, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 99117-5440 | E-mail: carol.furtini@gmail.com

Rafael Gomes Moreira

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Pesquisa, Redação do manuscrito original.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | E-mail: ragomoreira@hotmail.com

Diogo Antonio Correa Gomes

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Pesquisa, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 99123-7526 | E-mail: diogogomes548@gmail.com

Lourival Marin Mendes

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | Tel.: (35) 3829-1436 | E-mail: lourival@ufla.br

José Benedito Guimarães Júnior

Conceitualização, Metodologia, Análise de dados, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Departamento de Ciências Florestais | Universidade Federal de Lavras | E-mail: jose.guimaraes@ufla.br

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.