

**Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá**

**Technological characterization of engineered panels produced with paricá wood**

**Caracterización tecnológica de paneles de ingeniería producidos con madera de paricá**

Recebido: 27/06/2020 | Revisado: 13/07/2020 | Aceito: 15/07/2020 | Publicado: 20/07/2020

**Alessandra Alves Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6590-085X>

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: [alessandra.unir2015@gmail.com](mailto:alessandra.unir2015@gmail.com)

**Adriano Reis Prazeres Mascarenhas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7554-3590>

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

E-mail: [adriano.mascarenhas@unir.br](mailto:adriano.mascarenhas@unir.br)

**Cássio Marques Moquedace dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7673-4524>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [cassio.moquedace@ufv.br](mailto:cassio.moquedace@ufv.br)

**Caik Elísio Tonelli Faria**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0138-6801>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [caiktonelli@gmail.com](mailto:caiktonelli@gmail.com)

**Paulo Junio Duarte**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7319-3101>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [pauloduarte.floresta@gmail.com](mailto:pauloduarte.floresta@gmail.com)

**Thiago Moreira Cruz**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2808-1810>

Universidade Federal de Lavras, Brasil

E-mail: [thiago.moreira.cruz@gmail.com](mailto:thiago.moreira.cruz@gmail.com)

**Resumo**

A demanda por produtos a base de madeira é crescente, principalmente a partir de florestas plantadas. Dessa forma é possível maximizar o aproveitamento da madeira e obter produtos

com resistência e confiabilidade de utilização. Objetivou-se estudar as propriedades tecnológicas d compensado e do LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzidos com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). Avaliou-se a absorção de água, densidade (básica e aparente), umidade, porosidade, inchamento em espessura e inchamento residual. Utilizou-se 30 corpos de prova de cada tipo de painel, os dados foram analisados por meio de estatística descritiva e pela matriz de correlação de Pearson. No compensado a densidade básica, densidade aparente e porosidade foram de  $0,38 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $0,44 \text{ g cm}^{-3}$  e 75,47%, respetivamente. Ainda, a umidade elevou-se 20,91% entre 2 e 96 horas de imersão em água. O inchamento residual foi de 3,75% e o inchamento em espessura aumentou 0,81% entre 2 e 96 horas de imersão. No LVL, a densidade básica ( $0,41 \text{ g cm}^{-3}$ ) e a densidade aparente ( $0,48 \text{ g cm}^{-3}$ ) foram maiores em relação ao compensado e a porosidade foi menor. O inchamento residual (4,24%) e o aumento em inchamento em espessura (1,22%) foram maiores em relação ao compensado. Por apresentarem alta higroscopicidade, as aplicações dos painéis avaliados devem ser preferencialmente em ambientes sem contato com umidade.

**Palavras-chave:** Estabilidade dimensional; Umidade; Física da madeira; Madeira tropical; Madeira engenheirada.

### Abstract

The demand for wood-based products is growing, mainly from planted forests. In this way it is possible to maximize the use of wood and obtain products with resistance and reliability of use. The objective was to study the technological properties of plywood and Laminated Veneer Lumber (LVL) produced with paricá wood (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). Water absorption, density (basic and apparent), humidity, porosity, thickness swelling and residual swelling were evaluated. 30 specimens of each type of panel were used, the data were analyzed using descriptive statistics and Pearson's correlation matrix. In the plywood, the basic density, bulk density and porosity were  $0.38 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $0.44 \text{ g cm}^{-3}$  and 75.47%, respectively. Still, the humidity rose 20.91% between 2 and 96 hours of immersion in water. The residual swelling was 3.75% and the thickness swelling increased by 0.81% between 2 and 96 hours of immersion. In LVL, the basic density ( $0.41 \text{ g cm}^{-3}$ ) and the apparent density ( $0.48 \text{ g cm}^{-3}$ ) were higher in relation to the plywood and the porosity was lower. The residual swelling (4.24%) and the increase in thickness swelling (1.22%) were higher than the plywood. Due to their high hygroscopicity, the applications of the panels evaluated should preferably be in environments without contact with humidity.

**Keywords:** Dimensional stability; Wood moisture; Wood physics; Tropical wood; Engineered wood.

## Resumen

La demanda de productos a base de madera está creciendo, principalmente de bosques plantados. De esta manera, es posible maximizar el uso de la madera y obtener productos con resistencia y fiabilidad de uso. El objetivo fue estudiar las propiedades tecnológicas de la madera contrachapada y LVL (*Laminated Veneer Lumber*) producida con madera de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). Se evaluaron la absorción de agua, la densidad (básica y aparente), la humedad, la porosidad, el hinchamiento del espesor y el hinchamiento residual. Se utilizaron 30 muestras de cada tipo de panel, los datos se analizaron mediante estadísticas descriptivas y la matriz de correlación de Pearson. En la madera contrachapada, la densidad básica, la densidad aparente y la porosidad fueron  $0.38 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $0.44 \text{ g cm}^{-3}$  y 75.47%, respectivamente. Aún así, la humedad aumentó 20.91% entre 2 y 96 horas de inmersión en agua. La hinchazón residual fue del 3,75% y la hinchazón del espesor aumentó en un 0,81% entre 2 y 96 horas de inmersión. En LVL, la densidad básica ( $0,41 \text{ g cm}^{-3}$ ) y la densidad aparente ( $0,48 \text{ g cm}^{-3}$ ) fueron mayores en relación con la madera contrachapada y la porosidad fue menor. La hinchazón residual (4,24%) y el aumento de la hinchazón de espesor (1,22%) fueron mayores que la madera contrachapada. Debido a su alta higroscopicidad, las aplicaciones de los paneles evaluados deben realizarse preferiblemente en entornos sin contacto con la humedad.

**Palabras clave:** Estabilidad dimensional; Humedad de madera; Física de la madera; Madera tropical; Madera de ingeniería.

## 1. Introdução

Em função da exigência de altos padrões de qualidade e uniformidade, aliados a preocupação com o meio ambiente e desenvolvimento de novas tecnologias, ocorreram evoluções nos produtos derivados da madeira. Uma delas é a possibilidade de se utilizar madeira de florestas plantadas, possibilitando a obtenção de produtos mais sustentáveis, diversificando as aplicações e ampliando assim o mercado consumidor (Bal, 2016).

Conforme os dados divulgados por IBÁ (2017), existem cerca de oito milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, sendo que mais de 90% destas áreas são representadas por espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

O restante abrange as demais espécies cultivadas, dentre elas destaca-se o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) que é a espécie nativa da Amazônia mais cultivada, pois possui madeiras apropriada para as indústrias de laminação e crescimento rápido em altura como em diâmetro, possibilitando sua utilização em até 10 anos após o plantio (Oliveira et al., 2019).

Dessa forma, a utilização de produtos engenheirados, confeccionados a partir de madeiras oriundas desses plantios florestais cresce cada vez mais, pois além de maximizar o aproveitamento da madeira, gera produtos de alta resistência e confiabilidade de utilização (Rush et al., 2020; Sotayo et al., 2020).

Dentre esses produtos, destacam-se o painel compensado que é formado por lâminas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as camadas adjacentes e o painel de lâminas paralelas (LVL), que é um material fabricado de lâminas de madeira orientadas na mesma direção (Lima, 2013).

Esses painéis possuem vantagens sobre a madeira maciça, pois proporcionam menor restrição ao uso, possuem maior valor agregado e otimizam o uso da matéria prima. Também podem ser utilizados como alternativa em relação ao demais produtos para construção civil (caixarias e aplicações estruturais), levando em consideração as características da matéria prima, que é renovável e biodegradável (Buzo et al., 2019).

Nota-se a importância dos painéis de madeira para economia brasileira, dado que o País possui grande potencial de produção de matéria prima devido suas extensas áreas para cultivo, e, além disso, a indústria de painéis contribui para o desenvolvimento de novas tecnologias juntamente com a geração de empregos nos setores moveleiro e da construção civil (Baldwin et al., 2017)

Portanto, o estudo das propriedades físicas e mecânicas desses painéis se faz necessário para aperfeiçoar o conhecimento do seu potencial de utilização, pois as diferenças entre as propriedades da madeira estão presentes tanto intra e interespecificamente na árvore (Rodriguez et al., 2016; Correa et al., 2020)

Objetivou-se estudar as propriedades físicas de painéis engenheirados do tipo compensado e LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzidos com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

## 2. Metodologia

O presente estudo está inserido na área de recursos florestais e engenharia florestal com ênfase em ciência e tecnologia da madeira, para sua execução empregou-se a pesquisa laboratorial com natureza quali-quantitativa, conforme as diretrizes apresentadas por Pereira et al. (2018). Realizou-se testes em ambiente controlado com base em normas técnicas para se analisar as propriedades tecnológicas de painéis de madeira engenheirada produzidos com a madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

### 2.1 Produção dos painéis e confecção dos corpos de prova

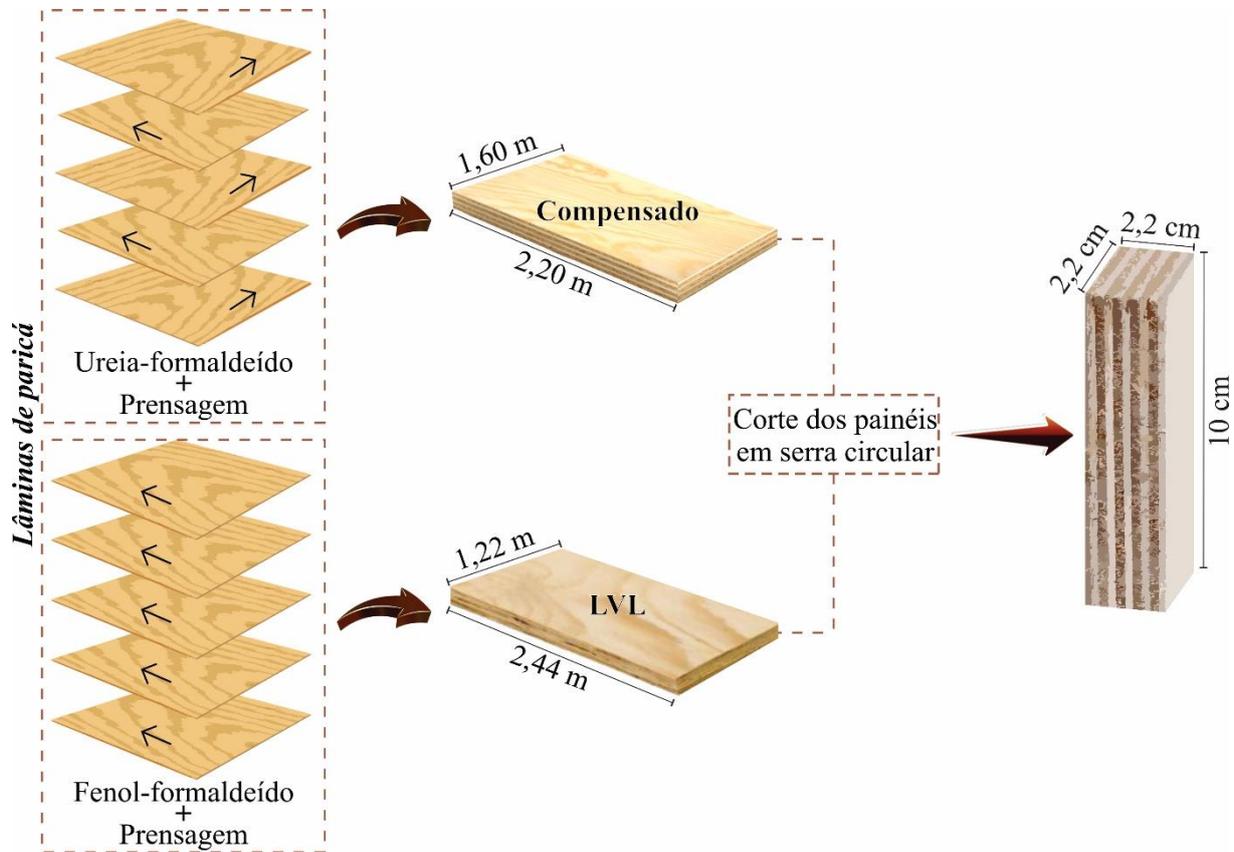
Os painéis utilizados neste trabalho foram o compensado e o LVL (*Laminated Veneer Lumber*), gentilmente doados pela empresa Lano da Amazônia LTDA de Rolim de Moura - RO. Os painéis foram armazenados em condições de umidade de equilíbrio, livres de defeitos e de delaminação, pois já haviam passado pelo processo de seleção de qualidade.

Na confecção do painel compensado, utilizou-se sete lâminas obtidas por meio de torno desfolhador, que passaram por seleção de qualidade visual, secagem (até atingirem de 8 a 12% de umidade) e aplicação da resina ureia-formaldeído. Posteriormente foi prensado em prensa hidráulica (100 MPa a 140 MPa) em temperatura de 100 °C a 120 °C, depois de prontos os painéis foram submetidos ao acabamento (esquadrejamento e lixamento).

Já na fabricação do painel LVL foram utilizadas oito lâminas também obtidas no torno desfolhador, as etapas de confecção do LVL são as mesmas do compensado, diferenciando-se apenas que as lâminas são posicionadas no mesmo sentido anatômico, o adesivo utilizado foi fenol-formaldeído e a temperatura de prensagem variou entre 140 °C e 160 °C.

Ao final do processo, os painéis compensados apresentaram dimensões de 2,20 m x 1,60 m e o LVL 2,44 m x 1,22 m (comprimento e largura). Destes painéis, foram retirados 30 corpos de prova, nas dimensões de 2,2 cm x 2,2 cm x 10 cm (largura × espessura × comprimento), de acordo com as normas ASTM D 1037 (ASTM, 1999) e ASTM 5456 (ASTM, 2019), o esquema de produção dos painéis e dos corpos de prova estão apresentados na Figura 1.

**Figura 1:** Esquema de confecção dos corpos de prova utilizados para caracterização tecnológica do compensado e LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzidos com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

## 2.2 Caracterização tecnológica dos painéis

No estudo das propriedades físicas avaliou-se os parâmetros: absorção de água, densidade (básica e aparente), umidade, porosidade, inchamento em espessura e inchamento residual, seguindo a norma ASTM D 1037 (ASTM, 1999). Para realizar os ensaios, os corpos de prova foram levados até estufa em temperatura de 65 °C até atingirem massa constante, momento em que tiveram suas dimensões e massas mensuradas.

Posteriormente, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climática (temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%) até que se observasse massa constante com umidade em torno de 12%. Nesse momento, as dimensões (comprimento, largura e espessura) e massas foram medidas novamente. Os valores obtidos a partir dessas medições juntamente com os valores após a imersão foram utilizados para calcular a densidade básica e aparente,

respectivamente Equações 1 e 2, e a partir da densidade foi calculado a porosidade dos painéis (Equação 3) (Ross et al., 2010).

$$Db = \frac{m_{0\%}}{V_{28\%}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$Da = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\Phi = \left(1 - \frac{Db}{1,54}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$Db$  = densidade básica ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $Da$  = densidade aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $m_{(0\%)}$  = massa a 0% de umidade (g);  $m_{(12\%)}$  = massa a 12% de umidade (g);  $V_{(28\%)}$  = volume saturado ( $\text{cm}^{-3}$ );  $V_{(12\%)}$  = volume a 12% de umidade;  $\Phi$  = porosidade (%).

Depois, os corpos de prova foram submersos em água e tiveram suas dimensões e massas retomadas às 2, 24 e 96 horas. Ao término deste processo, as amostras foram climatizadas novamente e após a estabilização foram submetidas a nova pesagem. A determinação dos percentuais de absorção de água, umidade e do inchamento em espessura as 2, 24 e 96 horas, e inchamento residual após a climatização, foram calculadas conforme as Equações 4, 5, 6 e 7 respectivamente (Melo, 2012).

$$AA = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

$$Ubu = \left(\frac{m_s - m_u}{m_u}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

$$IE = \left(\frac{e_f - e_i}{e_i}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

$$IR = \left(\frac{e_c - e_i}{e_i}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:  $AA$  = absorção de água (%);  $m_i$  = massa inicial (g), anterior à imersão em água;  $m_f$  = massa final (g), posterior à imersão em água;  $IE$  = inchamento em espessura (%);  $e_i$  = espessura inicial, anterior à imersão em água (mm);  $IR$  = inchamento residual (%);  $e_f$  = espessura final, posterior à

imersão em água (mm); ec = espessura observada após a climatização das amostras (mm); Ubu = umidade na base úmida (%); ms = massa seca (g); mu = massa úmida (g).

Os dados obtidos foram analisados por meio de estatística descritiva e submetidos à matriz de correlação de Pearson ( $p < 0,01$ ).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Caracterização tecnológica do compensado

Entre os valores de densidade básica (Db) e aparente (Da) houveram poucas variações, ambos com CV abaixo de 5% (Tabela 1).

**Tabela 1:** Propriedades físicas de painel compensado produzido com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

Valores	Db (g cm <sup>-3</sup> )	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Φ (%)	Ubu (%)		
				2h	24h	96h
Máx	0,42	0,49	77,57	32,51	44,80	54,03
Média	0,38	0,44	75,47	29,98	41,74	50,89
Min	0,35	0,40	72,58	26,77	38,74	47,66
CV (%)	4,97	4,51	1,61	4,63	3,64	3,10

Em que: Db = densidade básica; Da = densidade aparente (12%); Ubu = umidade base úmida; Φ = porosidade; CV = coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Esses resultados podem ser explicados pelo processo de fabricação do compensado, no qual as lâminas de madeira são distribuídas perpendicularmente entre si, resultando em menor variabilidade nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis em comparação com a madeira *in natura* (Lisboa et al., 2016).

Os valores de Db e Da encontrados estão em conformidade com os parâmetros estabelecidos por Kollmann et al. (1975), pois considerando o valor de referência obtido por Vidaurre et al. (2018) para densidade (0,30 g cm<sup>-3</sup>) da madeira de paricá com idade de aproximadamente 11 anos, a densidade do compensado foi 5% superior em relação à densidade original da madeira correspondente.

Levando em conta que fornecedora dos painéis em estudo utiliza madeira de plantios de paricá com idade próxima de 12 anos, é possível que a proporção de madeira jovem seja

elevada e a prensagem não foi capaz de aumentar a densidade, sendo este um comportamento oposto ao relatado nos estudos de Melo (2013). 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.

Os valores de porosidade obtidos para o painel compensado foram elevados, no entanto, inferiores aos encontrados por Melo et al. (2013) para lâminas de paricá (79,22%), essa diferença pode ser explicada pela utilização de adesivos que podem bloquear parcialmente os sítios de adsorção (Kelly, 1977). A redução na porosidade interfere de maneira positiva na qualidade dos painéis, visto que, ocorrerá diminuição de sua higroscopicidade, tornando o material mais estável.

Vale ressaltar que o conhecimento da estrutura anatômica é fundamental na fabricação de produtos de madeira, pois os espaços que existem e as estruturas de comunicação influenciam nas propriedades físicas, mecânicas e em aplicações da madeira (Bardak et al., 2017).

Iwakiri (2005) e Silva et al. (2020), destacam que a anatomia da madeira está diretamente relacionada as dimensões, disposição e frequência das cavidades celulares, as quais estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira. A madeira de paricá é de baixa densidade com elevado volume de poros, isso favorece a impregnação de preservantes da madeira, bem como a penetração de adesivos para fabricação de painéis (Rosa, 2006).

Por outro lado, a porosidade elevada ocasiona grande absorção de água, e conseqüentemente, aumenta a umidade da madeira (Melo, 2012). Isso pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, cujos valores encontrados para absorção de água e umidade aumentaram com o passar do tempo. Resultados semelhantes foram encontrados por Arruda et al. (2011), para painéis compensados fabricados com lâminas de paricá. Esses resultados podem ser atribuídos a baixa densidade do painel, pois painéis com menor massa específica tendem a absorver mais água por apresentarem menor quantidade de parede celular para um mesmo volume (Silva et al., 2006).

Na Tabela 2, encontram-se os resultados para os parâmetros de estabilidade dimensional do compensado.

**Tabela 2:** Propriedades de estabilidade dimensional e absorção de água de painel compensado produzido com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

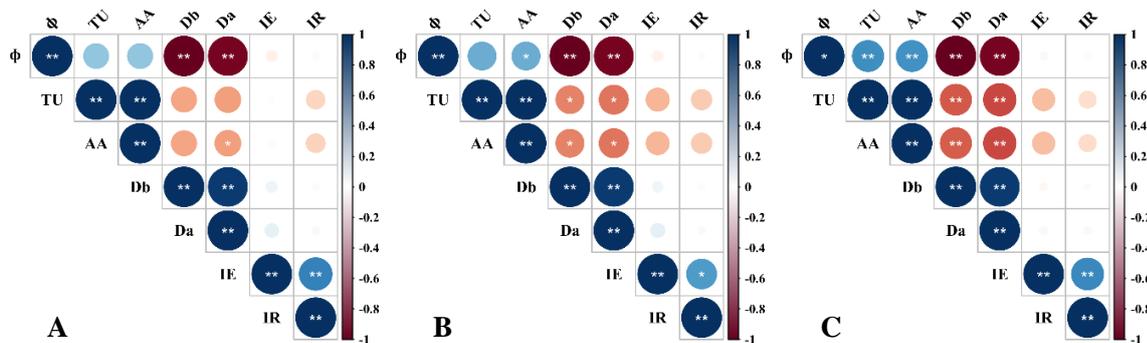
Valores	IR (%)	IE (%)			AA (%)		
		2h	24h	96h	2h	24h	96h
Máx	5,42	4,78	5,41	5,92	48,18	81,14	117,56
Média	3,75	3,75	4,56	4,80	42,86	71,75	103,84
Min	0,98	2,76	3,72	3,83	36,55	63,23	91,07
CV (%)	22,36	9,54	7,66	8,08	6,58	6,31	6,36

Em que: IR = inchamento residual; IE = inchamento em espessura; AA = absorção de água; CV = coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Os valores de inchamento em espessura encontrados foram muito próximos aos encontrados por Arruda et al. (2011) ao analisarem painéis compensados fabricados utilizando resorcinol formaldeído, que apresenta alta resistência à umidade, sendo recomendada para usos externos (Bianche et al., 2017)

Iwakiri et al. (2008) explicaram que o tipo de adesivo utilizado na fabricação do compensado influencia na interatividade do painel com a água. O adesivo utilizado para o compensado foi a ureia-formaldeído, que se caracteriza por apresentar alta higroscopicidade, isso potencializou a absorção de umidade pelo painel. Em relação as propriedades físicas do painel compensado, observou-se correlações negativas entre as densidades básica e aparente com a porosidade (Figura 2).

**Figura 2:** Matriz de correlação de Pearson para as propriedades físicas do painel compensado produzido com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). (A) 2 horas de imersão; (B) 24 horas de imersão; (C) 96 horas de imersão; (Db) densidade básica; (Da) densidade aparente (12%); (TU) umidade na base úmida; ( $\Phi$ ) porosidade; 2h, 24h, 96h = horas de imersão na água; (IR) inchamento residual; (IE) inchamento em espessura; (AA) absorção de água; (\*\* e \*) significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Melo et al. (2016) explicam que quanto maior o volume poros menor será a densidade e vice-versa. A umidade e absorção de água se correlacionaram diretamente com a porosidade, densidade básica e densidade aparente. Iwakiri et al. (2011) e Rush et al. (2020) mencionaram que quanto maior o percentual de poros, maior será a infiltração de água, e consequentemente a umidade será elevada.

Também é possível notar que em todas as situações, obteve-se entre o inchamento em espessura e o inchamento residual correlações diretamente proporcionais, já em relação aos parâmetros de absorção de água, umidade e densidades as correlações observadas não foram significativas.

As explicações apresentadas em estudos de painéis realizadas por Pio (2002), auxiliam no entendimento dos resultados, o autor relata que os inchamentos em espessura e residual são considerados fatores mais importantes ao se analisar o efeito da umidade em painéis de madeira e apresentam correlações com diversas variáveis, tais como: densidade do painel, gramatura de cola, distribuição do adesivo e condições de prensagem.

A ausência de correlação entre o inchamento e as densidades pode ser explicada, em parte, pelas características da resina ureia-formaldeído que devido a alta afinidade com água, provocou maior inchamento na linha de cola. Younesi-Kordheili & Pizzi (2016) esclarecem que painéis fabricados com adesivos mais resistentes a água possuem inchamento reduzido.

### 3.2 Caracterização tecnológica do LVL (*Laminated Veneer Lumber*)

Os valores das densidades básica e aparente foram maiores que os encontrados para o painel compensado (Tabela 3).

**Tabela 3:** Propriedades físicas do painel LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzido com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

Valores	Db (g cm <sup>-3</sup> )	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Φ (%)	Ubu (%)		
				2h	24h	96h
Máx	0,44	0,53	75,41	25,84	39,24	48,90
Média	0,41	0,48	73,67	23,89	36,47	46,29
Min	0,38	0,44	71,63	21,04	33,01	43,01
CV (%)	3,55	3,87	1,27	5,35	4,02	3,09

Em que: Db = densidade básica; Da = densidade aparente (12%); Ubu = umidade base úmida; Φ = porosidade; CV = coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Esse comportamento pode ser explicado pelo processo de fabricação do LVL, no qual as lâminas são montadas, paralelamente, orientadas pela mesma direção da grã. Com isso, aumenta-se a adesão e penetração de adesivos nos poros, elevando-se a densidade do painel (Lima et al., 2013).

Essa diferença também pode ser atribuída a idade das árvores utilizadas para a produção dos painéis. Como não se tem o controle da idade da madeira no processo de produção, há probabilidade de existir diferentes proporções de madeira jovem e adulta nos painéis. Esper et al. (2020) ressaltam que além da idade das árvores, a densidade dos painéis pode ser influenciada pela posição de retirada das lâminas da tora (próximo à medula, porção intermediária ou próximo a casca, e ainda ao longo do fuste).

Os valores obtidos para as densidades básica e aparente foram maiores aos encontrados para madeira paricá por Almeida et al. (2013), como mencionado anteriormente esse padrão pode está relacionado a aplicação de adesivos, os quais, geralmente apresentam densidade superior às lâminas de madeira.

Assim como para o painel compensado, os CV para as densidades básica e aparente resultaram em baixas variações, isso pode ser explicado pela maior quantidade de lâminas no LVL, fazendo com que as linhas de cola fiquem mais finas e homogêneas, resultando em menor variabilidade das propriedades do painel. Outro fator a ser considerado, é que durante a

fabricação do LVL foi utilizado o adesivo fenol-formaldeído e a temperatura de prensagem foi superior em relação ao compensado.

Rindler et al. (2017) explicam que a qualidade e estabilidade dos painéis são influenciadas diretamente pelo tipo de adesivo e fatores relacionados ao processo de fabricação, como: tempo de cura, pressão e temperatura de colagem e viscosidade do adesivo.

A aplicação de adesivo na superfície das lâminas influenciou na porosidade, uma vez que houve redução da quantidade de poros devido ao preenchimento com o adesivo, os valores foram inferiores aos encontrados na literatura relacionada ao paricá (Mendoza et al., 2017). A impregnação de adesivo está associada à porosidade da madeira que é maior em madeiras de baixa densidade, o que facilita a penetração do adesivo (Iwakiri et al. 2009).

Foi possível notar que os valores de absorção de água seguiram a mesma tendência da umidade (Tabela 4). A impregnação de adesivo nos painéis também interferiu na umidade, visto que os espaços vazios (poros) foram obstruídos pela cola (Faria et al., 2018).

**Tabela 4:** Propriedades de estabilidade dimensional e absorção de água do painel LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzido com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke).

Valores	IR (%)	IE (%)			AA (%)		
		2h	24h	96h	2h	24h	96h
Máx	6,32	5,61	6,36	6,67	34,85	64,57	95,71
Média	4,24	4,59	5,46	5,85	31,42	57,49	86,33
Min	3,17	3,28	4,82	5,11	26,65	49,27	75,46
CV (%)	14,93	9,16	5,92	5,97	7,01	6,28	5,70

Em que: Db = densidade básica; Da = densidade aparente (12%); Ubu = umidade base úmida;  $\Phi$  = porosidade; CV = coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Os valores de absorção de água estão em harmonia com os relatos encontrados na literatura para painéis LVL. A absorção de água aumentou gradativamente a medida que o tempo de imersão aumentou, Guimarães Júnior et al. (2009) esclarecem que materiais porosos como a madeira quando imersos em água, tendem continuar absorvendo água até saturar a madeira.

O inchamento em espessura e residual foram próximos aos encontrados para o compensado, acredita-se que isso também esteja relacionado ao adesivo utilizado, como foi explicado nas discussões dos parâmetros anteriores. No entanto, os coeficientes de variação

foram superiores, o que pode ser atribuído ao fato das lâminas serem orientadas na mesma direção, resultando em maior variabilidade das propriedades (Melo, 2012).

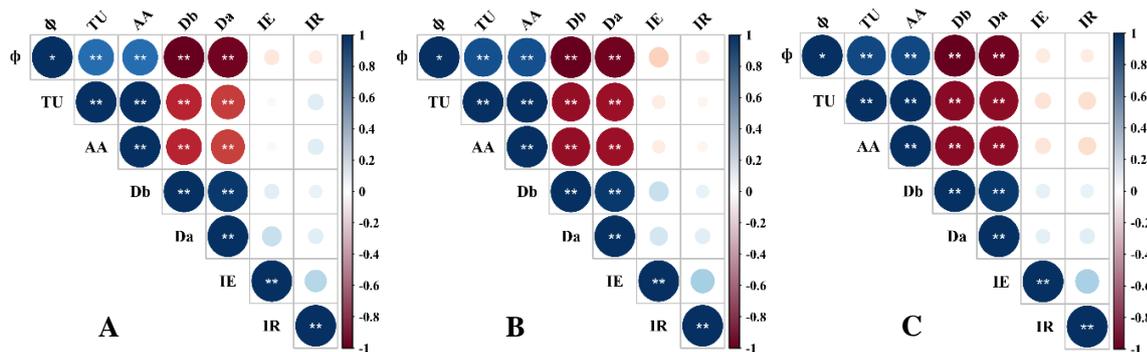
Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Arruda et al. (2013), em pesquisa com lâminas de paricá. Obataya et al. (2017) explicaram que o inchamento em espessura dos painéis de madeira é dado pela soma de dois fatores principais, um relacionado à natureza higroscópica da madeira e outro à liberação de tensões de compressão.

Melo (2013) destaca que uma das vantagens da utilização dos painéis é a redução da anisotropia e eliminação de alguns defeitos, entretanto, se tratando dos painéis LVL, como suas lâminas são orientadas na mesma direção, esses painéis tendem a apresentar uma menor estabilidade dimensional. Por isso, a necessidade de utilizar um adesivo de melhor qualidade, como é o caso do fenol-formaldeído, para evitar um inchamento excessivo na linha de cola.

Em relação as correlações existentes entre essas propriedades físicas do LVL, observa-se na Figura 3, correlações mais fortes do que àquelas registradas no compensado. Isso se deve as características do fenol-formaldeído, que além de alta resistência a umidade apresenta melhor adesão as lâminas.

A densidade básica, densidade aparente, porosidade, umidade e absorção de água se correlacionaram em todas as observações, diferentemente do compensado que só apresentou esses resultados após 24 horas de imersão. Pio (2002) destaca que no caso do LVL a orientação das lâminas contribui para melhor adsorção do adesivo, o que contribui para influência que cada um desses parâmetros exerce sobre o outro.

**Figura 3:** Matriz de correlação de Pearson para as propriedades físicas do painel LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzido com madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). (A) 2 horas de imersão; (B) 24 horas de imersão; (C) 96 horas de imersão; (Db) densidade básica; (Da) densidade aparente (12%); (TU) umidade na base úmida; ( $\Phi$ ) porosidade; 2h, 24h, 96h = horas de imersão na água; (IR) inchamento residual; (IE) inchamento em espessura; (AA) absorção de água; (\*\* e \*) significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Corroborando com resultados, Jakes et al. (2018) explicaram que a porosidade se relaciona diretamente com a densidade que, por sua vez, influencia a absorção de água e penetração do adesivo na madeira. Levando em consideração que tanto o painel compensado como o LVL são fabricados a partir da madeira de paricá, e apresentaram densidades baixas, essas correlações ocorrem em ambos os painéis.

Além disso, diferentemente do painel compensado, os parâmetros de inchamento residual e inchamento em espessura, não apresentaram correlações significativas com nenhum dos demais parâmetros. De maneira geral, a literatura sobre as propriedades físicas e do uso do paricá na fabricação de painéis ainda é escassa. Por isso, conhecer as características deste material torna-se indispensável para estabelecer parâmetros de qualidade e sua aplicação final (Vidaurre et al., 2018).

#### 4. Considerações Finais

O compensado e o LVL fabricados apresentaram densidade básica e aparente superiores a madeira de origem, contudo a porosidade foi menor. Ambos painéis se mostraram pouco estáveis, porém, comparado a madeira *in natura*, são mais estáveis.

As correlações existentes entre as propriedades físicas do painel compensado, aumentaram em decorrência do tempo de imersão. As correlações entre as propriedades físicas do painel LVL foram fortes altas em todas as observações de imersão em água. Os painéis estudados possuem alta higroscopicidade, por isso devem ser aplicados, preferencialmente, em ambientes internos, evitando-se o contato direto com a umidade.

Observou-se que os parâmetros tecnológicos dos painéis são sensíveis a umidade, tipo de adesivo, disposição das lâminas e aos aspectos operacionais de produção. Portanto, visando a diversificação de produtos, recomenda-se que pesquisas relacionadas a madeiras amazônicas sejam realizadas. De posse dos parâmetros tecnológicos das madeiras, é possível subsidiar as indústrias para melhorias no dimensionamento e aplicação dos painéis, bem como, aperfeiçoamento do processo produtivo.

## Referências

Almeida, D. H. D., Scaliante, R. D. M., Macedo, L. B. D., Macêdo, A. N., Dias, A. A., Christoforo, A. L., & Calil Junior, C. (2013). Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* HERB) em peças de dimensões estruturais. *Revista Árvore*, 37(6), 1175-1181. doi: 10.1590/S0100-67622013000600019

American Society for Testing and Materials - ASTM. (1999). *ASTM D 1037: Standard test methods of evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials*. Philadelphia, ASTM.

American Society for Testing and Materials - ASTM. (2019). *ASTM D 5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products*. Philadelphia, ASTM.

Arruda, L. M., Gonçalves, J. C., Del Menezzi, C. H. S., & de Melo, R. R. (2011). Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecanicamente. *Revista Ciência da Madeira*, 3(2). doi: 10.15210/cmadv3i2.4044

Bal, B. C. (2016). Some technological properties of laminated veneer lumber produced with fast-growing *Poplar* and *Eucalyptus*. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(3), 413-424. doi: 10.4067/S0718-221X2016005000037

Baldwin, R. D. F., Kurpiel, F. T., & Baldwin, R. R. W. (2017). Growth and reinvention 2017: a north american perspective on the global wood-based panel industry. *Forest Products Journal*, 67(3), 144-151. doi: 10.13073/0015-7473-67.3.144

Bardak, S., Nemli, G., & Tiryaki, S. (2017). The influence of raw material growth region, anatomical structure and chemical composition of wood on the quality properties of particleboards. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 19(3), 363-372. doi: 10.4067/S0718-221X2017005000031.

Bianche, J. J., Teixeira, A. P. M., Ladeira, J. P. S., Carneiro, A. D. C. O., Castro, R. V. O., & Della Lucia, R. M. (2017). Cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus* sp. colado com diferentes adesivos e diferentes gramaturas. *Floresta e Ambiente*, 24. e00077114 doi: 10.1590/2179-8087.077114

Buzo, A. L. S. C., Sugahara, E. S., Silva, S. A. D. M. D., Morales, E. A. M., & Azambuja, M. D. A. (2019). Painéis de pinus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. *Ambiente Construído*, 19(4), 183-193. doi: 10.1590/s1678-86212019000400350

Correa, A. P. M., Lima, A. P. L., Lima, S. F., Silva, W. G., Stolle, L., Silva, A. A. P. (2020). Efeito do espaçamento sobre o crescimento e produção de eucalipto de rápida rotação aos 24 meses de idade. *Research, Society and Development*, 9(6): e49963404. doi: 10.33448/rsd-v9i6.3404

Esper, J., Riechelmann, D. F., & Holzkämper, S. (2020). Circumferential and longitudinal  $\delta^{13}\text{C}$  Variability in a *Larix decidua* Trunk from the Swiss Alps. *Forests*, 11(1), 117. doi: 10.3390/f11010117

Faria, D. L., Terra, I. C. C., Oliveira, K. M., Furtini, A. C. C. & Guimarães Júnior, J. B. (2018). Estudo da porosidade e dureza da madeira de Seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Agrarian Academy*, 5(9), 368-376.

Guimarães Júnior, J. B., Mendes, L. M., Mendes, R. F., & Mori, F. A. (2009). Painéis compensado de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências. *Cerne*, 15(1), 10-18.

Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. (2017). *Relatório IBÁ 2017*. São Paulo: IBÁ.

Iwakiri, S. (2005). *Painéis de madeira reconstituída*. Curitiba: FUPEF.

Iwakiri, S., Matos, J. L. M., Lima, A. J. M., Silva, F. É., Batista, D. C., & Romão, S. A. Â. (2009). Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído. *Floresta*, 39(3), 669-673. doi: 10.5380/rf.v39i3.15365

Iwakiri, S., Stingham, A. B. M., Silveira, E. L., Zamarian, E. H. C., Prata, J. G., & Bronoski, M. (2008). Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. *Floresta*, 38(3), 487-493. doi: 10.5380/rf.v38i3.12414

Iwakiri, S., Vargas, C. A., Parchen, C. F. A., Weber, C., Batista, C. C., Garbe, E. A., Cit, E. V., & Prata, J. G. (2011). Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. *Floresta*, 41(3), 451-458. doi: 10.5380/rf.v41i3.23991

Jakes, J. E., Frihart, C. R., Hunt, C. G., Yelle, D. J., Plaza, N. Z., Lorenz, L. F., & Ching, D. J. (2018). Integrating multiscale studies of adhesive penetration into wood. *Forest Products Journal*, 68(4), 340-348. doi: 10.13073/FPJ-D-17-00067

Kelly, M. R. (1977). *Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard*. Madison: USDA/FS.

Kollmann, F. F. P., Kuenzi, E.W., & Stamm, A. J. (1975). *Principles of wood science and technology*. Berlim: Springer-Verlag.

Lima, N. N., Mendes, L. M., Sá, V. A. D., & Bufalino, L. (2013). Mechanical and physical properties of LVL panels made from three amazonic species. *Cerne*, 19(3), 407-413. doi: 10.1590/S0104-77602013000300007

Lisboa, F. J. N., Guimarães, Í. L., Junior, J. B. G., Mendes, R. F., Mendes, L. M., & Protásio, T.P. (2016). Potencial de utilização da madeira de *Sclerolobium paniculatum*, *Myracrodruon urundeuva* e *Amburana cearensis* para produção de compensados. *Scientia Forestalis*, 44(109), 129-139. doi: 10.18671/scifor.v44n109.12

Melo, R. R. (2012). *Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (Schizolobium amazonicum Huber ex. Ducke)*. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Brasília: Universidade de Brasília.

Melo, R. R. (2013). Estabilidade dimensional de compostos de madeira. *Revista Ciência da Madeira*, 4(2), 152-175. doi: 10.15210/cmadv4i2.4060

Melo, R. R., Del Menezzi, C. H. S., Souza, M. R. D., & Stangerlin, D. M. (2013). Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). *Floresta e Ambiente*, 20(2), 238-249. doi: 10.4322/floram.2013.004.

Melo, R.R., & Del Menezzi, C. H. S. (2016). Estimativas das propriedades físico-mecânicas de compostos LVL confeccionados com paricá por meio de ultrassom. *Ciência Florestal*, 26(1), 263-272. doi: 10.5902/1980509821118

Mendoza, Z. D. S., Borges, P. D. M., Santos, E. A., Penna, J. E., Elias, M. D. S., & Morais, P. D. M. (2017). Comparative study of the physical and mechanical properties of panel plywood and laminated veneer lumber (LVL). *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 5(Especial), 588-593. doi: 10.5935/2318-7670.v05nespa19

Obataya, E., & Higashihara, T. (2017). Reversible and irreversible dimensional changes of heat-treated wood during alternate wetting and drying. *Wood Science and Technology*, 51(4), 739-749. doi: 10.1007/s00226-017-0918-5

Oliveira, S. S., Oliveira, G. N., Souza, D. P., Oliveira, L. N., Silva, S. O, Carvalho, J. E. F. G., Ferreira, J. B., & de Oliveira, E. (2019). Growth of parica seedlings (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) cultivated in different organic substrates. *African Journal of Agricultural Research*, 14(6), 303-310. doi: 10.5897/AJAR2018.13777

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em:

[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pio, N. S. (2002). *Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden*. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Curitiba: Universidade Federal do Paraná.

Rindler, A., Vay, O., Hansmann, C., & Müller, U. (2017). Dimensional stability of multi-layered wood-based panels: A review. *Wood Science and Technology*, 51(5), 969-996. doi: 10.1007/s00226-017-0940-7

Rodriguez, H. G., Maiti, R., Kumari, A., & Sarkar, N. C. (2016). Variability in wood density and wood fibre characterization of woody species and their possible utility in northeastern Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 7(7), 1139-1150. doi: 10.4236/ajps.2016.77109

Rosa, L.S. (2006). Características botânicas, anatômicas e tecnológicas do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huberr ex Ducke). *Revista de Ciências Agrárias/ Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 46(1), 63-80.

Ross, R. J. (2010). *Wood handbook: wood as an engineering material*. Washington: USDA Forest Service.

Rusch, F., Mustefaga, E. C., Hillig, É., Trevisan, R., & Teleginski, E. (2020). Physical properties of high density panels (HDP) from pine, bamboo and coparticipation of yerba mate. *Research, Society and Development*, 9(7), e436974022. doi: 10.33448/rsd-v9i7.4022

Silva, G. A., Mendes, L., Calegario, N., Mori, F. A., Silva, J., & Santos, I. (2006). Estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, 1(70), 23-29.

Silva, J. G. M., Neto, P. N. M., Soranso, D. R., Tinti, V. P., Oliveira, J. T. S., Oliveira, J. G. L. (2020). Influência da anatomia no desempenho da adesão de quatro espécies madeireiras.

*Research, Society and Development*, 9(4), e31942727. doi: 10.33448/rsd-v9i4.2727

Sotayo, A., Bradley, D., Bather, M., Sareh, P., Oudjene, M., El-Houjeyri, I., Harte, A. M., Mehra, S., O´Ceallaigh, C., Haller, P., Namari, S., Makradi, A., Belouettar, S., Bouhala, L., Deneufbougourg, F., & Guan, Z. (2020). Review of state of the art of dowel laminated timber members and densified wood materials as sustainable engineered wood products for construction and building applications. *Developments in the Built Environment*, 1, 100004. doi: /10.1016/j.dibe.2019.100004

Vidaurre, G. B., Vital, B. R., Oliveira, A. D. C., Oliveira, J. T. D. S., Moulin, J. C., Silva, J. G. M. D., & Soranso, D. R. (2018). Propriedades físicas e mecânicas da madeira juvenil de *Schizolobium amazonicum*. *Revista Árvore*, 42(1). doi: 10.1590/1806-90882018000100001

Younesi-Kordkheili, H., & Pizzi, A. (2017). Ionic liquids as enhancers of urea-glyoxal panel adhesives as substitutes for urea–formaldehyde resins. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(3), 481-483. doi: 10.1007/s00107-016-1116-0

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Alessandra Alves Costa – 50%

Adriano Reis Prazeres Mascarenhas – 20%

Cássio Marques Moquedace do Santos – 8%

Caík Elísio Tonelli Faria – 8%

Paulo Junio Duarte – 7%

Thiago Moreira Cruz – 7%