

Barras de aço coladas em madeira compensada e LVL de paricá

Glued-in steel rods in parica plywood and LVL

João Miguel Santos Dias 
Vinícius de Sousa Lima 
Maria Gabriela Sales da Silva 
Sandriel Lima Nascimento 
Marco Antonio Siviero 
Sabrina Benmuyal Vieira 
August Sales 
Rita Dione Araújo Cunha 
Sandro Fábio César 

¹João Miguel Santos Dias
¹Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Açailândia - MA - Brasil

²Vinícius de Sousa Lima
²Universidade Federal da Bahia
Salvador - BA - Brasil

³Maria Gabriela Sales da Silva
³Universidade Estadual da Região
Tocantina do Maranhão
Açailândia - MA - Brasil

⁴Sandriel Lima Nascimento
⁴Universidade Federal do Maranhão
Imperatriz - MA - Brasil

⁵Marcos Antonio Siviero
⁵Grupo Arboris
Dom Eliseu - PA - Brasil

⁶Sabrina Benmuyal Vieira
⁶Grupo Arboris
Dom Eliseu - PA - Brasil

⁷August Sales
⁷Grupo Arboris
Dom Eliseu - PA - Brasil

⁸Rita Dione Araújo Cunha
⁸Universidade Federal da Bahia
Dom Eliseu - PA - Brasil

⁹Sandro Fábio César
⁹Universidade Federal da Bahia
Dom Eliseu - PA - Brasil

Recebido em 21/02/24
Aceito em 24/04/24

Resumo

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho mecânico de ligações com barras de aço rosqueadas coladas com dois adesivos diferentes em madeira compensada e LVL de paricá com vista ao seu uso estrutural. Foram realizados ensaios de tração axial em 90 corpos de prova com barras de 6,35 mm de diâmetro, coladas com os adesivos epóxi (EPX) e poliuretano à base de óleo de mamona (PUR), com comprimentos de ancoragem correspondentes a 10, 12,5 e 15 vezes o diâmetro das barras. Os resultados obtidos permitiram concluir que o aumento do comprimento de ancoragem provocou um acréscimo não linear da capacidade de carga das ligações com EPX, as ligações com EPX apresentaram maiores cargas de ruptura, sendo os seus valores superiores aos carregamentos de cálculo obtidos pelas normas NBR 7190-1 (ABNT, 2002a) e NBR 8800 (ABNT, 2008) e as ligações com PUR apresentaram os menores valores de ruptura, provocado pela insuficiente interação físico-química entre o adesivo e a madeira.

Palavras-chave: Ligações coladas. Barra de aço. Paricá. Madeira compensada. Madeira laminada colada.

Abstract

The objective of this study was to analyze the mechanical performance of joints with threaded steel bars glued with two different adhesives to parica plywood and LVL, with a view to their structural use. Axial load tests were carried out on 90 test samples with 6,35 mm diameter bars, glued with epoxy (EPX) and castor oil-based polyurethane (PUR) adhesives, with anchoring lengths corresponding to 10, 12,5 and 15 times the diameter of the bars. The results allowed to conclude that increasing the anchorage length resulted in a nonlinear increase in the load capacity of connections with EPX. Connections with EPX exhibited higher rupture loads, surpassing the calculated loads obtained by NBR 7190-1 (ABNT, 2002a) and NBR 8800 (ABNT, 2008) standards. Connections with PUR showed the lowest rupture values, caused by insufficient physical-chemical interaction between the adhesive and the wood.

Keywords: Glued-in rods. Steel bar. Parica. Plywood. LVL.

Introdução

Segundo Lima *et al.* (2022a), a madeira engenheirada é formada através da colagem industrial sob pressão e/ou temperatura de lamelas, lâminas, partículas ou fibras, formando produtos com propriedades físico-mecânicas melhoradas. Face à madeira serrada, os produtos de madeira engenheirada têm um desempenho mecânico menos suscetível à influência de defeitos de crescimento e secagem, variações de teor de umidade e proporcionam uma maior liberdade dimensional e geométrica.

No Brasil, as indústrias de madeira engenheirada localizam-se, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste, havendo uma concentração de fábricas de madeira compensada no Nordeste do Estado do Pará (Lima *et al.*, 2022b), as quais recorrem à madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) (Vidaurre *et al.*, 2018). A madeira compensada e a madeira laminada colada (do inglês: *laminated veneer lumber* – LVL) possuem semelhanças entre si, sendo compostos por lâminas de madeira com espessuras entre 1,0 mm e 4,0 mm, coladas com adesivos (Purba *et al.*, 2019). Enquanto na madeira compensada, as lâminas são coladas em uma sequência alternada perpendicularmente entre si, no LVL, as lâminas são coladas com as fibras em uma só direção, conferindo maior rigidez e resistência mecânica nesta direção.

Devido às limitações dimensionais impostas aos elementos estruturais de madeira, inerentes ao projeto, transporte ou dimensões das peças, é necessário recorrer às ligações, que poderão ser classificadas em função do mecanismo de transmissão de esforços: pinos metálicos, anéis metálicos e chapas com dentes estampados, sambladuras e coladas, conforme a norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022a). As ligações coladas com barras de aço têm como vantagens: facilidade e baixo custo de execução, alta rigidez, eficiência na transferência de carga, boa resistência ao fogo e aparência estética (Zhang *et al.*, 2020), além da execução simplificada (Lukin *et al.*, 2021). Tlustochowicz, Serrano e Steiger (2011) referem que estas ligações podem ser utilizadas em conexões entre elementos estruturais e em reforços, possibilitando a diminuição da seção transversal dos elementos estruturais (Koscheev; Lukin; Roshchina, 2019).

Apesar das vantagens supracitadas, a complexidade da interação entre aço, adesivo e madeira dificulta a análise do comportamento mecânico destas conexões (DIAS *et al.*, 2023), resultando na ausência de procedimentos de projeto padronizados e critérios normativos de dimensionamento destas ligações (Jockwer; Serrano, 2021). Por outro lado, vários estudos têm avaliado o desempenho mecânico de ligações com barras de aço coladas em madeira compensada e LVL, no entanto nenhum trabalho considerou a espécie paricá. Por conseguinte, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho mecânico de ligações com barras de aço coladas com dois adesivos diferentes em madeira compensada e LVL de paricá com vista ao seu uso estrutural.

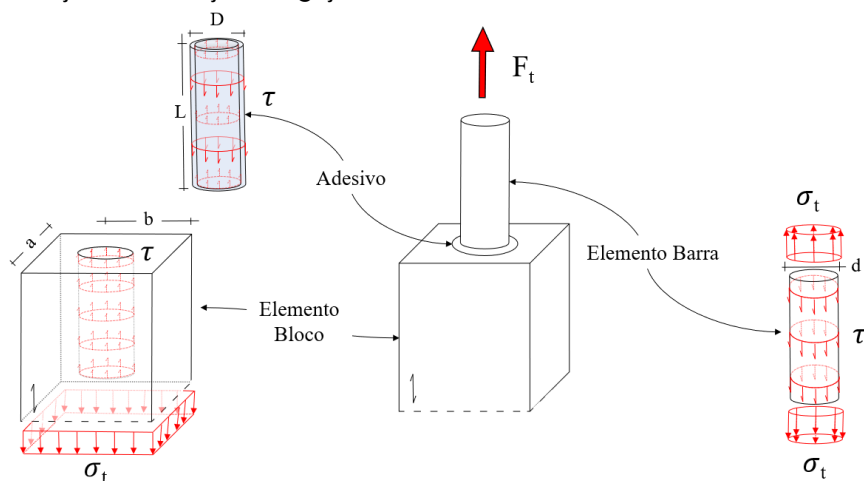
Revisão bibliográfica

Ligações com barras coladas

As ligações com barras coladas são compostas por três elementos: barra, bloco e adesivo (Figura 1). Geralmente, estas conexões estão sujeitas a esforços axiais, sendo que o elemento barra está sujeito a tensões normais e tensões de cisalhamento na sua interface com o adesivo. Por sua vez, o esforço axial é transmitido para o elemento bloco através das tensões de cisalhamento atuantes no adesivo. No elemento bloco, atuam dois estados de tensão: cisalhamento na interface bloco-adesivo e tensões normais de tração.

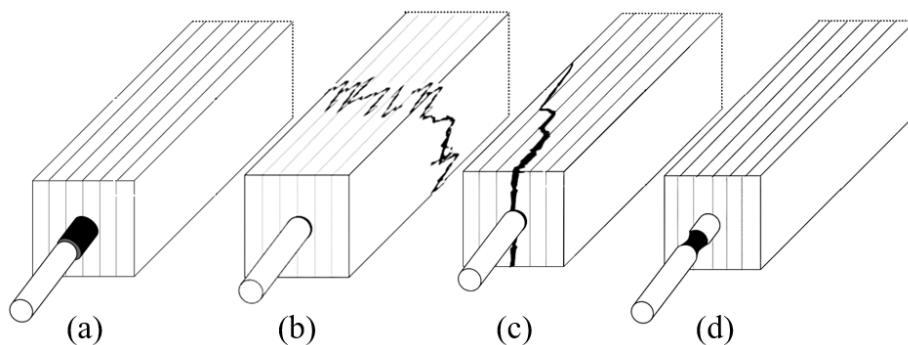
Segundo Tlustochowicz, Serrano e Steiger (2011), as ligações com barras coladas poderão exibir os seguintes tipos de ruptura: cisalhamento na interface bloco-adesivo ou no bloco junto ao adesivo (Figura 2a), tração do bloco (Figura 2b), ruptura por separação da madeira (Figura 2c) e escoamento da barra (Figura 2d). Os tipos de ruptura são dependentes de variáveis geométricas da ligação e do tipo de barra utilizado. Das variáveis geométricas que influenciam o tipo de ruptura a força de ruptura da ligação – equivalente à força de arrancamento da barra – destacam-se a distância entre o eixo da barra e a borda do bloco (b) e a esbeltez da ligação (λ), dada pela razão entre o comprimento de ancoragem (L) e o diâmetro da barra (d) ou do furo (D) (Zhang *et al.*, 2023).

Figura 1 - Distribuição dos esforços na ligação



Nota: Legenda: F_t - força axial de tração; σ_t - tensão normal de tração; τ - tensão de cisalhamento; d - diâmetro do elemento barra; D - diâmetro do furo; L - comprimento de ancoragem da barra; a - menor largura do elemento bloco; b - distância entre o eixo da barra e a borda do bloco.

Figura 2 - Tipos de ruptura a) cisalhamento na interface bloco-adesivo ou nas suas imediações; b) tração do bloco; c) separação da madeira; e d) escoamento da barra



A relação entre λ e a força de ruptura da ligação é logarítmica (Zhang *et al.*, 2023), havendo estudos que indicam ganhos de capacidade de carga da conexão até valores de L iguais a $14d$ para madeira lamelada colada cruzada de espruce (Ayansola; Tannert; Vallee, 2022) e $18d$ para madeiras de alta densidade (Chans; Cimadevila; Gutiérrez, 2013). Quanto ao parâmetro b , Steiger, Gehri e Widmann (2007) referem que o valor mínimo deverá ser $2,3d$, para evitar decréscimos de resistência da ligação. Por outro lado, a norma DIN 1052-08 – *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau* (DIN, 2004) refere que deverá ser adotado um valor mínimo de b igual a $2,5d$.

Elemento bloco

Elemento bloco é a parte da ligação na qual se realiza o furo, sendo posteriormente preenchido por adesivo e no qual se insere o elemento barra. Como elemento bloco, é possível encontrar seções roliças (Pigozzo; Lahr, 2006), madeira serrada de coníferas e de folhosas (Pigozzo *et al.*, 2023), bambu lamelado colado (Yan *et al.*, 2016), madeira lamelada colada (Hunger *et al.*, 2016), madeira lamelada colada cruzada (Ayansola; Tannert; Vallee, 2022), madeira compensada (Jensen; Sasaki; Koizumi, 2002) e LVL (Fawcett; Toumpanaki, 2023).

Zhang *et al.* (2023) referem que a capacidade de carga da ligação depende de alguns fatores intrínsecos ao elemento bloco. O aumento do teor de umidade – e sua variação – assim como a presença de defeitos de crescimento e de secagem da madeira têm influência negativa na resistência mecânica da ligação. Por outro lado, madeiras com alta densidade influenciam a eficiência da fixação do adesivo, podendo ocorrer falhas na adesão, devido à ausência de poros para o estabelecimento de ligações físicas (Dias, 2015). Tlustochowicz, Serrano e Steiger (2011) referem que a alteração do ângulo entre a direção das fibras da madeira e a barra,

poderá implicar na modificação da natureza do carregamento (por exemplo: de puramente axial para combinação de axial com flexão). No entanto, considerando um carregamento puramente axial – não coincidente com a direção das fibras do elemento bloco – não existe consenso quanto à influência do ângulo entre as fibras e o eixo da barra (Harvey; Ansell, 2000).

Para o elemento bloco utilizado neste estudo, utilizou-se madeira compensada e LVL de paricá. Esta espécie é nativa da região da Amazônia, de rápido crescimento, tronco reto, poucos defeitos de crescimento (Arantes *et al.*, 2023) e programa de secagem simples (Melo; Del Menezzi, 2015). Segundo Moura, Muler e Jacon (2017), em 2015, o plantio do paricá era correspondente a 15,3% da área total silvicultura do Brasil. Parte das plantações de paricá encontram-se nos estados do Maranhão, Tocantins e Pará (ABIMCI, 2022), que fornecem matéria-prima para as indústrias de madeira compensadas da Região Nordeste do Estado do Pará (Lima *et al.*, 2022b). Esta região foi responsável por 8,51% das exportações de madeira compensada do Brasil, durante o ano de 2021 (ABIMCI, 2022).

Esta espécie apresenta propriedades adequadas para a laminação, nomeadamente baixa densidade, alta trabalhabilidade e porosidade (Silva *et al.*, 2020). A madeira de paricá possui baixa densidade (Lima *et al.*, 2022c), baixa resistência à biodegradação (Terezo *et al.*, 2017) e resistência mecânica compatível com a classe de resistência C20 (Terezo *et al.*, 2015), podendo atingir valores médios de resistência à compressão paralela às fibras de 32 MPa (Figueroa; Moraes; Maestri, 2015).

Quanto às propriedades mecânicas de LVL de paricá, o valor médio da resistência à compressão paralela às fibras foi avaliado em vários trabalhos, dos quais se destacam o menor valor de 19,80 MPa (Amorim, 2013) e o maior de 35,09 MPa (Lima *et al.*, 2023). Quanto à resistência ao cisalhamento paralelo de LVL de paricá, o menor valor constatado na bibliografia foi 1,81 MPa (Iwakiri *et al.*, 2010) e o maior de 4,42 MPa (Melo; Del Menezzi, 2015).

Elemento barra

Considera-se elemento barra como sendo o conector que está sujeito a esforços predominantemente axiais e que transferem estes ao adesivo através de tensões de cisalhamento na interface barra-adesivo. Vários estudos têm analisado o desempenho mecânico de barras de diferentes materiais, como por exemplo: cavilhas de madeira (Kaufmann; Kolbe; Vallée, 2018), polímero reforçado com fibras de vidro (Li *et al.*, 2023), polímero reforçado com fibras de carbono (Toumpanaki; Ramage, 2021), aço nervurado (Ling *et al.*, 2014) e aço rosqueado (Hunger *et al.*, 2016).

Dos materiais supracitados, as barras de aço são as mais utilizadas, uma vez que apresentam comportamento dúctil e maior resistência à tração (Parida; Johnsson; Fragiaco, 2013). Apesar das barras de aço nervurado serem mais baratas (Ling *et al.*, 2014), a sua superfície promove uma menor eficiência na transmissão de esforços na interface barra-adesivo, sendo necessários comprimentos de ancoragem longos, o que dificulta a execução e demandando equipamentos de furação mais potentes (ZHANG *et al.*, 2023). As barras de aço rosqueado possibilitam uma maior área de interface com o adesivo, o que favorece as ligações físicas e químicas com o adesivo (Tlustochowicz; Serrano; Steiger, 2011).

Adesivos

Adesivo é o elemento da ligação que tem como função transmitir os esforços do elemento barra para o elemento bloco através do seu cisalhamento. Zhang *et al.* (2023) referem que os adesivos mais utilizados em ligações com barras coladas são o epóxi (EPX), poliuretano (PUR) e o fenol-resorcinol-formaldeído (PRF). Serrano (2001) refere que o EPX apresenta maior resistência mecânica que o PUR e o PRF. Segundo Boyle, Martin e Neuner (2001), o EPX é um polímero termofixo, com alta resistência química, baixa retração durante a cura, baixa condutividade elétrica, melhor preenchimento de poros da madeira, além da estabilidade em relação à umidade e variações de temperatura entre -30 °C e 60 °C (Broughton; Hutchinson, 2001).

No contexto da construção civil, a adoção de soluções ambientalmente mais sustentáveis e de menor custo, implica no uso de adesivos estruturais de origem vegetal, como o poliuretano à base de óleo de mamona (Sugahara *et al.*, 2022). Segundo Costa *et al.* (2024), a cura deste adesivo poderá ser realizada a temperatura ambiente e não apresenta efeitos negativos na saúde humana e no meio ambiente.

Dimensionamento das ligações com barras de aço coladas

Não existe um consenso em torno das formulações numéricas para dimensionamento (Dias, 2015). No entanto, vários estudos estabeleceram formulações numéricas para dimensionamento destas ligações. Stepinac *et al.* (2013) referem que, de modo geral, a força resistente da conexão é dada pela Equação 1:

$$R_{ax,k} = \pi \times d \times l \times f_{v,k} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$R_{ax,k}$ é a força resistente da conexão (N);

d é o diâmetro do furo ou da barra (mm);

l é o comprimento de ancoragem (mm); e

$f_{v,k}$ é o parâmetro de resistência ao cisalhamento da ligação (N.mm⁻²).

Devido à falta de prescrições normativas para o dimensionamento destas ligações, Dias *et al.* (2023) realizaram a comparação entre os resultados experimentais provenientes de cinco estudos e os critérios de dimensionamento das normas NBR 7190-1 (ABNT, 2022a) e NBR 8800 (ABNT, 2008). Os autores verificaram que os resultados provenientes das formulações advindas das normas foram 39,54% a 79,52% inferiores em relação às forças de ruptura dos trabalhos analisados.

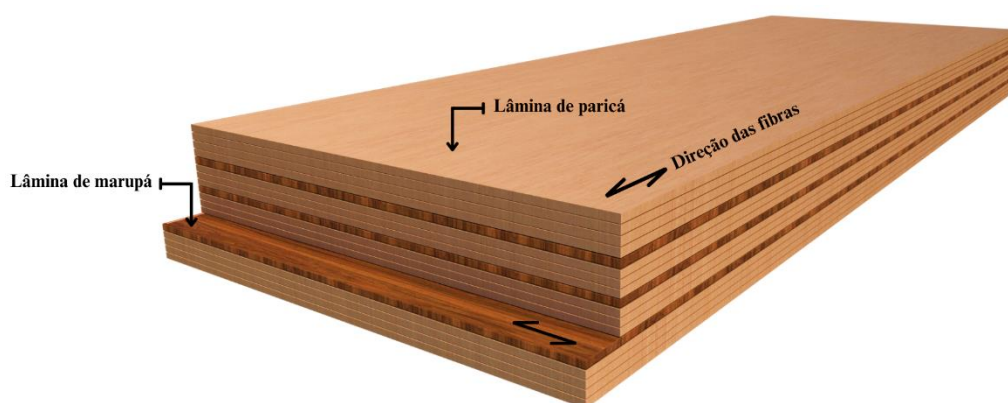
O dimensionamento das ligações com barras coladas deverá promover o tipo de ruptura com variabilidade menor da força máxima, correspondente ao escoamento da barra. Para que tal ocorra, o comprimento de ancoragem deverá tomar valores que proporcionem tensões de cisalhamento na interface madeira-adesivo inferiores às tensões normais de tração na barra.

Materiais e métodos

A campanha experimental deste trabalho consistiu na caracterização físico-mecânica da madeira compensada e do LVL, sucedida pelos ensaios de tração axial nas ligações com barras coladas. Os painéis de madeira compensada e de LVL foram fabricados e fornecidos pela ADECO Indústria e Comércio de Compensados Ltda. sediada em Dom Eliseu – PA, obtidos a partir de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby) com aproximadamente 5 anos de idade. Os painéis de madeira compensada eram compostos por 17 lâminas com espessura de 2,1 mm, totalizando 33,0 mm de espessura após lixamento. As lâminas foram coladas com adesivo fenólico (60 kg de resina Royal, 20 kg de trigo e 18 litros de água), sob temperatura de 120 °C, durante 35 minutos e com pressão de 18 MPa.

Os painéis de LVL eram compostos por 14 lâminas de madeira de paricá e 3 lâminas de madeira de marupá (*Simarouba amara*), com espessura de 2,50 mm, totalizando 34,0 mm de espessura após lixamento (Figura 3). As lâminas foram coladas com resina uréia-formaldeído (55 kg de resina Royal, 38 kg de trigo, 38 litros de água, 500 g de produto biocida Mademax Bifentrina 400PM e 1l de catalizador Royal), sob temperatura de 120 °C, durante 35 minutos e com pressão de 18 MPa. As lâminas de marupá foram orientadas na direção perpendicular às lâminas de paricá para impedir o empenamento dos painéis.

Figura 3 - Painel LVL utilizado



Os ensaios de caracterização física consistiram na determinação do teor de umidade (U) e densidade aparente (ρ_{ap}), conforme a norma NBR 7190-3 (ABNT, 2022b). Para tal, foram extraídos dos painéis um total de 60 corpos de prova, com dimensões de (50×50) mm² e espessuras de 33 e 37 mm para madeira compensada e de LVL, respectivamente. Durante a determinação do teor de umidade, os corpos de prova foram submetidos a uma temperatura de 103 ± 2 °C e as massas foram aferidas em intervalos de 24 horas, até à variação entre duas medidas consecutivas inferior a 0,5%. A aferição da densidade aparente foi realizada para as condições de teor de umidade originais dos corpos de prova e, para tal, foram obtidas as dimensões e as massas dos espécimes.

Os ensaios de caracterização mecânica consistiram na determinação da resistência à tração (f_t), para os corpos de prova de madeira compensada; resistência à tração paralela às fibras (f_{t0}), para o LVL e resistência ao cisalhamento (f_v) para ambos os produtos de madeira engenheirada. Os corpos de prova de resistência à tração da madeira compensada tinham dimensões de $(50 \times 10 \times 450)$ mm³, enquanto os corpos de prova de resistência ao cisalhamento apresentavam dimensões de $(50 \times 50 \times 34)$ mm³ com um entalhe de forma a perfazer uma área de cisalhamento de 1850 mm². Para as propriedades mecânicas do LVL, as dimensões dos corpos de prova eram: $(50 \times 10 \times 450)$ mm³ para a resistência à tração paralela às fibras e $(50 \times 50 \times 37)$ mm³ com área de cisalhamento de 1700 mm² para a resistência ao cisalhamento. Foram utilizados 30 corpos de prova por cada propriedade mecânica analisada, perfazendo um total de 120 corpos de prova.

Os ensaios de caracterização mecânica da madeira compensada e LVL foram realizados numa máquina universal de ensaios INSTRON EMIC 23-100, com célula de carga de 100 kN. Para as resistências à tração, foi adotada uma taxa de aplicação de carga crescente de 10 MPa.min⁻¹ e, para as resistências ao cisalhamento, aplicou-se um carregamento monotônico crescente de 2,50 MPa.min⁻¹, conforme a norma NBR 7190-3 (ABNT, 2022b).

Para os ensaios de tração nas ligações com barras coladas, foram confeccionados 90 corpos de prova de madeira compensada e 180 corpos de prova de LVL, ambas com seção transversal quadrada com 34 mm e 37 mm de largura, respectivamente. O comprimento de cada CP foi igual a três vezes o comprimento de ancoragem, tendo sido adotados três valores: $10d$, $12,5d$ e $15,0d$. Foram utilizadas barras de aço galvanizado rosqueado SAE 1020, com rosca UNC-20 e diâmetro (d) igual a 6,35 mm. Utilizaram-se dois adesivos para o LVL: epóxi bi-componente Compound de alta fluidez da Vedacit e resina poliuretana bi-componente (isocianato e polioli) à base de óleo de mamona (séries LVL – EPX e LVL – PUR, respectivamente). Para os corpos de prova de madeira compensada, apenas foi utilizada a resina epóxi (série PLY – EPX).

O processo de confecção dos corpos de prova das ligações (Figura 4) iniciou-se com a realização dos furos com diâmetro de 10,0 mm nas duas extremidades de cada CP, resultando numa espessura de adesivo de 1,825 mm. Após a remoção do pó de serra dos orifícios com um compressor de ar, inseriu-se o adesivo, com os componentes sendo misturados em iguais proporções. Após o preenchimento total do furo com adesivo, as barras foram introduzidas rotacionalmente no sentido horário, de forma a evitar a formação de bolhas de ar. As extremidades dos corpos de prova foram coladas com intervalo de 24 horas.

Após o processo de cura dos corpos de prova durante 7 dias, procedeu-se aos ensaios de tração das ligações na máquina universal supracitada, sob uma taxa de aplicação de carga de 50 N.s⁻¹, conforme metodologia adotada por Dias (2015). No caso dos corpos de prova de LVL com resina poliuretana à base de óleo de mamona, foi observada uma expansão do adesivo para fora do furo e formação de bolhas de dióxido de carbono (CO₂), com consequente expulsão parcial da barra rosqueada, conforme apresentado na Figura 5. Diante disso, procedeu-se à remoção do adesivo excedente antes da realização dos ensaios.

Figura 4 - Processo de confecção dos corpos de prova

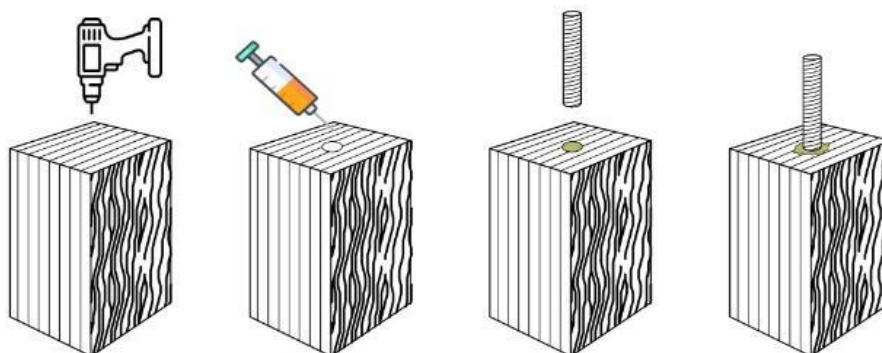
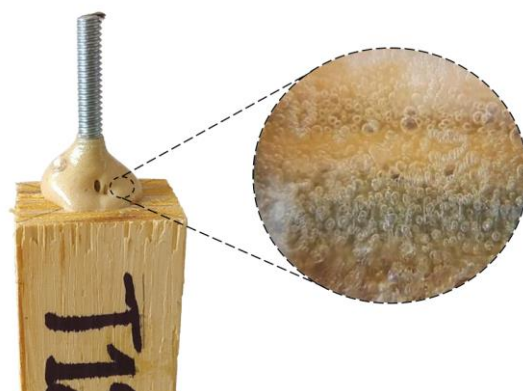


Figura 5 - Bolhas de CO₂ e expansão do adesivo poliuretano na ligação

Para verificar se as normas NBR 7190-1 (ABNT, 2022a) e NBR 8800 (ABNT, 2008) permitem o dimensionamento seguro destas ligações, procedeu-se ao cálculo dos valores de projeto das forças de ruptura de projeto conforme Dias *et al.* (2023). Consideraram-se os valores característicos das resistências mecânicas do LVL e da madeira compensada, além dos valores de k_{mod1} e k_{mod2} que proporcionam resultados mais próximos dos valores mínimos das cargas de ruptura obtidos experimentalmente.

Resultados e discussões

Os teores de umidade de LVL e de madeira compensada variaram de 9,14% a 10,87% e de 11,64% a 12,93%, respectivamente. Os valores médios foram iguais a 9,84% e 12,00%, respectivamente, para LVL e madeira compensada. Estes resultados enquadram o LVL e a madeira compensada na Classe de Umidade 1 da norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022a), estando em conformidade com a norma EN 1995 – 1: *Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings* (EUROPEAN..., 2004), que recomenda que a madeira destas ligações deve apresentar teores umidade até 20% no momento da colagem.

Os valores de densidade aparente variaram de 455,52 kg.m⁻³ a 541,20 kg.m⁻³ – para os corpos de prova de LVL – e de 437,98 kg.m⁻³ a 514,68 kg.m⁻³, para os espécimes de madeira compensada. Os valores médios de densidade aparente foram 497,82 kg.m⁻³ para o LVL e 475,21 kg.m⁻³ para a madeira compensada. O fato da densidade aparente do LVL ser superior, poderá ser explicado pela presença das lâminas de marupá, uma vez que essa espécie possui densidade aparente superior à madeira de paricá (Lima *et al.*, 2022c). Além disso, a orientação das fibras das lâminas em uma mesma direção, empregada durante o processo de fabricação do LVL, promove a penetração do adesivo nos poros da madeira, reduzindo a presença de vazios (Costa *et al.*, 2020).

O valor médio da densidade aparente do LVL encontrado neste estudo foi 3,71% maior que o resultado obtido por Costa *et al.* (2020) e 14,18% maior que o valor encontrado por Melo e Del Menezzi (2015), sendo que ambos trabalharam com painéis confeccionados com adesivo fenol-formaldeído (FF). A densidade aparente média da madeira compensada deste estudo foi 18,80% superior ao valor encontrado por Machado *et al.* (2018) para painéis madeira compensadas de paricá colados com FF e 8,00% maior que o resultado obtido por Costa *et al.* (2020) para painéis madeira compensadas de paricá colados com ureia-formaldeído (UF).

Quanto à resistência ao cisalhamento, foram encontrados valores médios de 1,71 MPa para o LVL e de 3,32 MPa para a madeira compensada. Os valores característicos foram iguais a 1,20 MPa e 2,32 MPa para o LVL e madeira compensada, respectivamente. O valor médio da resistência ao cisalhamento do LVL deste estudo foi 5,53% e 64,45% inferior aos resultados por Iwakiri *et al.* (2010) e Melo e Del Menezzi (2015) para painéis de LVL de paricá colados com FF. O valor médio de resistência ao cisalhamento da madeira compensada de paricá foi superior aos valores obtidos por Costa e Del Menezzi (2017), Machado *et al.* (2018) e Matos *et al.* (2019), os quais encontraram, respectivamente, valores iguais a 0,79 MPa, 0,90 MPa e 3,24 MPa para madeiras compensadas de paricá coladas com FF.

Conforme é possível observar na Figura 6, a madeira compensada apresentou os maiores valores de resistência ao cisalhamento comparativamente com o LVL. Este fato se deve a dois fatores: o adesivo UF apresenta resistência mecânica inferior em relação ao FF (Reis *et al.*, 2017; Matos *et al.*, 2019) e os corpos de prova de LVL utilizados na avaliação da resistência ao cisalhamento possuem superfícies de ruptura na interface da lâmina de marupá.

Os resultados de resistência à tração paralela às fibras do LVL e de resistência à tração da madeira compensada estão apresentados na Figura 7. Os corpos de prova de LVL apresentaram valores mínimo, médio, máximo e característico iguais a 20,12 MPa, 36,02 MPa, 55,32 MPa e 25,21 MPa, respectivamente. Para a madeira compensada, os valores de resistência à tração variaram de 1,50 MPa a 27,50 MPa, com média igual a 13,00 MPa e valor característico de 9,10 MPa. A superioridade dos valores de resistência à tração paralela às fibras do LVL corrobora a exposição de Dias (2018), que refere que a madeira apresenta maior resistência mecânica na direção das suas fibras.

Os tipos de ruptura e as frequências de cada tipo de ruptura do ensaio de tração estão apresentados na Figura 8 e Tabela 1, respectivamente. Foram identificados quatro tipos de ruptura dos corpos de prova, sendo que a ruptura do Tipo (a1) (cisalhamento da madeira nas imediações da interface madeira/adesivo) ocorreu em todas as séries LVL – EPX e na série PLY – EPX para comprimento de ancoragem igual a 10d. A ruptura do Tipo (a2) (cisalhamento da interface madeira-adeseivo) ocorreu apenas nos corpos de prova da série LVL – PUR. As rupturas do Tipo (b) (escoamento da barra de aço) e do Tipo (c) ocorreram em todas as séries LVL – EPX e PLY – EPX.

Na Figura 9 estão representadas as distribuições dos resultados das forças de ruptura obtidas para cada série. Os menores valores de força média de ruptura foram obtidos para a série LVL – PUR (resultados variaram de 3,66 kN até 5,64 kN), enquanto a série LVL – EPX apresentou os maiores resultados (variação de 10,43 kN a 11,72 kN). A série PLY – EPX apresentou forças médias de ruptura intermédias (variação de 8,97 kN a 10,13 kN). O mesmo comportamento foi constatado para os valores característicos das forças de ruptura.

Figura 6 - Valores de resistência ao cisalhamento do LVL e madeira compensada

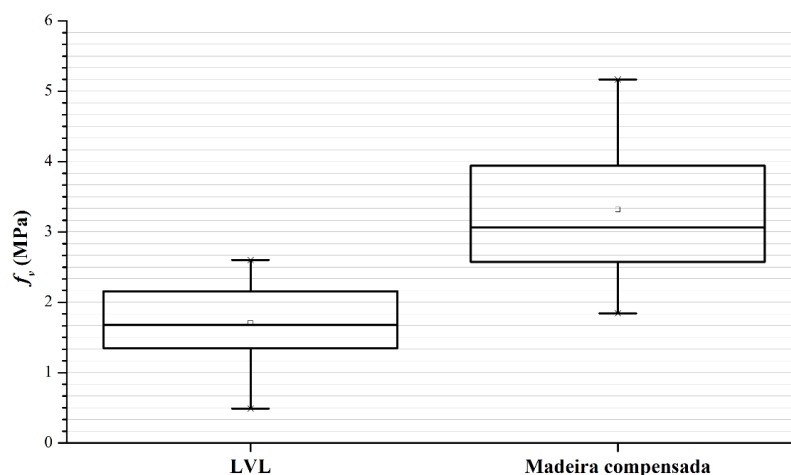


Figura 7 - Valores de resistência à tração do LVL e da madeira compensada

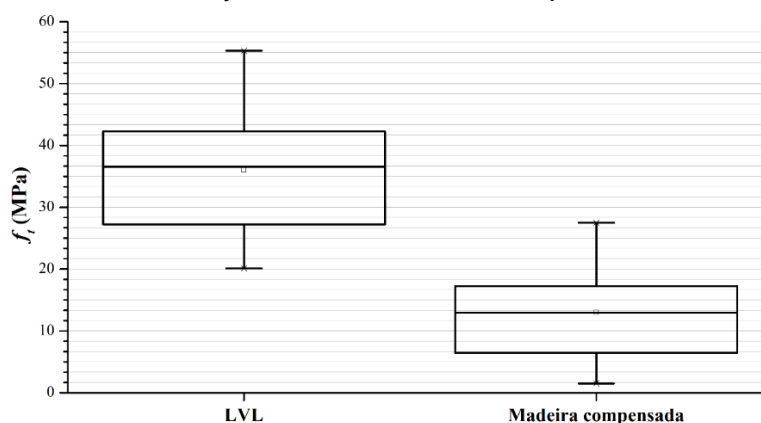


Figura 8 - Tipos de ruptura das ligações

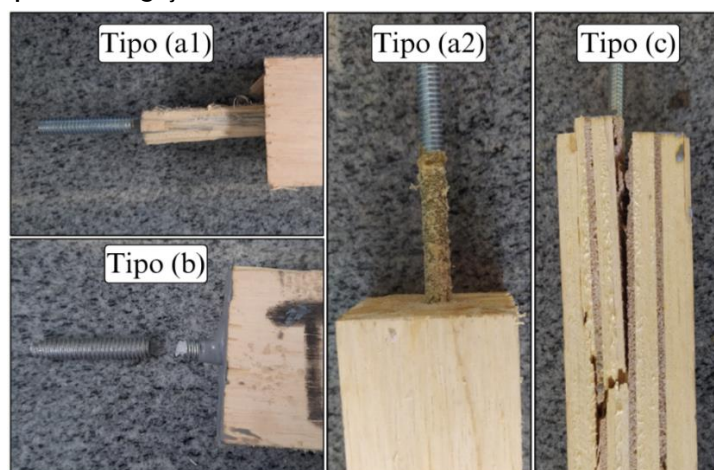
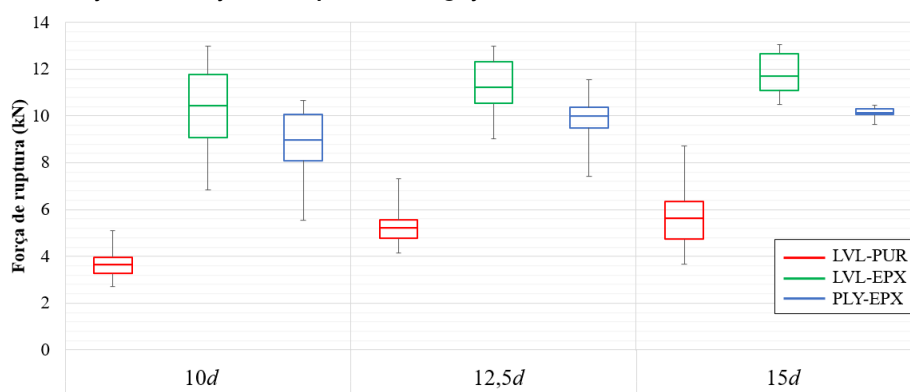


Tabela 1 - Frequência dos tipos de ruptura das ligações

Tipos de ruptura	LVL - PUR			LVL - EPX			PLY - EPX		
	10d	12,5d	15d	10d	12,5d	15d	10d	12,5d	15d
Tipo (a1)	-	-	-	90%	50%	23%	43%	-	-
Tipo (a2)	100%	100%	100%	-	-	-	-	-	-
Tipo (b)	-	-	-	7%	37%	70%	14%	81%	92%
Tipo (c)	-	-	-	3%	13%	7%	43%	19%	8%

Figura 9 - Distribuição das forças de ruptura das ligações



Para verificar a existência de diferenças estatísticas entre os resultados das forças de ruptura, realizou-se um teste *t-Student* com 95% de grau de confiança. Conforme apresentado na Tabela 2, existe diferença estatística entre cada par produto-adesivo. Apesar de, em todas as séries, o aumento do comprimento de ancoragem parecer ter uma relação direta com o incremento das forças de ruptura das conexões, o incremento da resistência não é linear (Gonzales; Tannert; Valee, 2016), o que poderá explicar a existência de diferença estatística apenas entre 10d e 12,5d em cada par produto-adesivo. De fato, quanto maior o comprimento de ancoragem, menor serão as tensões de cisalhamento na madeira e interface madeira-adesivo (Sofi *et al.*, 2021), o que explica o decréscimo da frequência das rupturas dos Tipos (a1) e (c) e o aumento do percentual da ruptura do Tipo (b), com o aumento da esbelteza da ligação (Tabela 1). Pigozzo *et al.* (2018) também verificaram o fato de as ligações com epóxi possuírem resistência mecânica superior ao poliuretano à base de óleo de mamona.

Tabela 2 - Forças de ruptura médias das ligações

Séries		Média (kN)	F_k (kN)	CV (%)	C1	C2
LVL-PUR	10d	3,66	3,15	14,84	A	a
	12,5d	5,23	4,62	14,55	A	b
	15d	5,64	4,00	20,71	A	b
LVL-EPX	10d	10,43	8,50	16,05	B	a
	12,5d	11,22	10,38	11,11	B	b
	15d	11,72	11,71	7,25	B	b
PLY-EPX	10d	8,97	6,42	16,94	C	a
	12,5d	9,98	9,27	8,83	C	b
	15d	10,13	10,75	2,06	C	b

Nota: Legenda: F_k = força característica; CV = coeficiente de variação; C1 = comparações (teste *t-Student*, com 95% de grau de confiança) entre combinações de produto engenheirado de madeira e adesivo, para um mesmo comprimento de ancoragem; C2 = comparações (teste *t-Student*, com 95% de grau de confiança) entre comprimentos de ancoragem, para uma mesma combinação de produto engenheirado de madeira e adesivo; para letras iguais em cada comparação, as médias não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Forças de ruptura experimentais e de dimensionamento

Forças	10d		12,5d		15d	
	LVL	PLY	LVL	PLY	LVL	PLY
Experimental (kN)	2,73	5,55	4,14	7,42	3,67	9,65
Dimensionamento (kN)	1,46	2,83	1,83	3,54	2,19	4,24
Diferença (%)	46,48	48,98	55,81	52,31	40,29	56,08

A ruptura do Tipo (a2) ocorreu em todos os corpos de prova da série LVL – PUR, o que sugere haver uma falha na interação físico-química entre o adesivo e a madeira, originando um desempenho mecânico inferior às séries com epóxi. Durante o período de cura do poliuretano à base de óleo de mamona, observou-se a formação de bolhas e de uma expansão volumétrica (Figura 5), o que poderá ter ocasionado a redução da resistência mecânica da ligação que, segundo Pigozzo *et al.* (2023), poderá ser devido à incorporação de CO₂ no adesivo devido às reações químicas com a umidade da madeira.

Os menores resultados experimentais das forças de ruptura de cada série foram comparados com os valores de força de ruptura calculados conforme os critérios das normas NBR 7190-1 (ABNT, 2022a) e NBR 8800 (ABNT, 2008). Conforme é possível verificar na Tabela 3, a força de ruptura de dimensionamento aumenta em função do comprimento de ancoragem da barra, sendo sempre inferiores aos menores resultados experimentais para as séries LVL – PUR, LVL – EPX e PLY – EPX. No trabalho de Dias *et al.* (2023), os valores da força de ruptura de dimensionamento – obtidos através das formulações numéricas das normas NBR 7190-1 (ABNT, 2022a) e NBR 8800 (ABNT, 2008) – também foram inferiores aos resultados experimentais (variação de 40,29% a 56,08%).

Apesar das formulações numéricas das normas NBR 7190-1 (ABNT, 2022a) e NBR 8800 (ABNT, 2008) fornecerem valores inferiores aos resultados experimentais, Tlustochowicz, Serrano e Steiger (2011) ressaltam a importância de dimensionar estas conexões considerando como critério de ruptura o escoamento da barra, devido à maior previsibilidade do desempenho mecânico do aço e à ductilidade deste tipo de ruptura. Desta forma, o comprimento de ancoragem terá que ser suficiente para garantir que a força de ruptura da ligação devido ao cisalhamento da madeira ou da interface adesivo-madeira, seja inferior à força de colapso da conexão por escoamento da barra (Myslicki *et al.*, 2019).

No caso das séries LVL – PUR, a baixa aderência verificada entre a madeira e o adesivo poderá demandar comprimentos de furação inexecutáveis, uma vez que não foram constatadas rupturas por escoamento da barra. Por conseguinte, poderá ser necessária a inclusão de prescrições normativas que delimitem os tipos de adesivos a ser utilizados neste tipo de conexões estruturais.

Conclusões

Este trabalho analisou o desempenho mecânico de ligações com barras de aço rosqueadas coladas em madeira compensada (PLY) e madeira laminada colada (LVL) de paricá. As variáveis de estudo foram o tipo de adesivo

(epóxi - EPX e poliuretano à base de óleo de mamona - PUR) e o comprimento de ancoragem ($10d$, $12,5d$ e $15,0d$). Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- (a) o aumento do comprimento de ancoragem provocou um acréscimo não linear da capacidade de carga das ligações com EPX, implicando na diminuição da quantidade de rupturas de cisalhamento nas imediações da interface adesivo-barras e no aumento no número de falhas por escoamento;
- (b) as ligações com EPX apresentaram maiores cargas de ruptura, sendo os seus valores superiores aos carregamentos de cálculo obtidos pelas normas NBR 7190-1 (ABNT, 2002a) e NBR 8800 (ABNT, 2008); e
- (c) as ligações com PUR apresentaram os menores valores de ruptura, provocado pela insuficiente interação físico-química entre o adesivo e a madeira.

Referências

- AMORIM, M. R. S. **Agrupamento de espécies madeireiras amazônicas para a produção de painéis de lâminas paralelas (LVL)**. Brasília, 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais – Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- ARANTES, L. S. *et al.* Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2022**: ano base 2021. Curitiba: ABIMCI, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1**: projeto de estruturas de madeira: parte 1: critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro, 2022a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-3**: projeto de estruturas de madeira. parte 3: métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro, 2022b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- AYANSOLA, G. S.; TANNERT, T.; VALLEE, T. Experimental Pesquisas of glued-in rod connections in CLT. **Construction and Building Materials**, v. 324, p. 126680, 2022.
- BOYLE, M. A.; MARTIN, C. J.; NEUNER, J. D. Epoxy resins. In: MIRACLE, D. B.; DONALDSON, S. L. **ASM handbook volume 21**: composites. Materials Park: ASM International, 2001.
- BROUGHTON, J. G.; HUTCHINSON, A. R. Pull-out behaviour of steel rods bonded into timber. **Materials and Structures**, v. 34, p. 100-109, 2001.
- CHANS, D. O.; CIMADEVILA, J. E.; GUTIÉRREZ, E. M. Withdrawal strength of threaded steel rods glued with epoxy in wood. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 44, p. 115-121, 2013.
- COSTA, A. A. *et al.* Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e786986089, 2020.
- COSTA, L. L. *et al.* Paineis particulados de baixa densidade produzidos com resíduos de sisal. **Ambiente Construído**, Porto Alegre v. 24, e128066, 2024.
- COSTA, M. A.; DEL MENEZZI, C. H. S. Effect of thermo-mechanical treatment on properties of parica plywoods (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Revista Árvore**, v. 41, 2017.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1052**: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin, 2004.
- DIAS, J. M. S. **Estruturas de madeira**. Salvador: Editora 2B Educação, 2018.
- DIAS, J. M. S. *et al.* Dimensionamento de ligações coladas com barras de aço e madeira segundo critérios das normas ABNT NBR 7190: 2022 e ABNT NBR 8800: 2008. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 9, p. 14740-14753, 2023.

- DIAS, J. M. S. **Ligações estruturais com barras de aço coladas com epóxi em madeiras de alta densidade**: influência dos defeitos da madeira e dos erros de produção na resistência mecânica. Salvador, 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 5**: design of timber structures: part 1–1: general rules and rules for buildings. Brussels, 2004.
- FAWCETT, D.; TOUMPANAKI, E. Combined effects of axial and lateral loading for Glued-In steel rods in laminated veneer lumber. **Structures**, v. 57, 2023.
- FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D.; MAESTRI, F. A. Temperature and moisture content effects on compressive strength parallel to the grain of paricá. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 17-27, 2015.
- GONZALES, E.; TANNERT, T.; VALLEE, T. The impact of defects on the capacity of timber joints with glued-in rods. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 65, p. 33-40, 2016.
- HARVEY, K.; ANSELL, M. P. Improved timber connections using bonded-in GFRP rods. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 6., Whistler, 2000. **Proceedings [...]** Whistler: Conference Secretariat, 2000.
- HUNGER, F. *et al.* Pull-compression tests on glued-in metric thread rods parallel to grain in glulam and laminated veneer lumber of different timber species. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, p. 379-391, 2016.
- IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis laminados unidirecionais-LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, v. 16, p. 557-563, 2010.
- JENSEN, J. L.; SASAKI, T.; KOIZUMI, A. Plywood frame corner joints with glued-in hardwood dowels. **Journal Of Wood Science**, v. 48, p. 289-294, 2002.
- JOCKWER, R.; SERRANO, E. Glued-in rods as reinforcement for timber structural elements. In: BRANCO, J.; DIETSCH, P.; TANNERT, T. (ed). Reinforcement of timber elements in existing structures. Cham: Springer, 2021.
- KAUFMANN, M.; KOLBE, J.; VALLÉE, T. Hardwood rods glued into softwood using environmentally sustainable adhesives. **The Journal of Adhesion**, v. 94, n. 11, p. 991-1016, 2018.
- KOSCHEEV, A. A.; LUKIN, M. V.; ROSHCINA, S. I. Pesquisa of glued in bars strength and deformability indexes within framework of research of wood reinforcement with cable reinforcement. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 687, 2019.
- LI, T. Y. *et al.* Mechanical behavior of glued-in GFRP rod in glulam: Experimental and analytical study. **Construction and Building Materials**, v. 400, 132812, 2023.
- LIMA, F. O. *et al.* Adição de nanopartículas em painéis engenheirados de madeira. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 2659-2667, 2022a.
- LIMA, V. S. *et al.* Avaliação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) utilizada na indústria de compensados no Estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e46911932065-e46911932065, 2022c.
- LIMA, V. S. *et al.* Avaliação geográfica e econômica das indústrias de madeira compensada no Brasil. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 4, 2022b.
- LIMA, V. S. *et al.* Caracterização física e mecânica de painéis LVL de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke)) colados com ureia-formaldeído. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 28, e20230178, 2023.
- LING, Z. *et al.* Pull-out strength and bond behavior of axially loaded rebar glued-in glulam. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 440-449, 2014.
- LUKIN, M. *et al.* Multi-span composite timber beams with rational steel reinforcements. **Buildings**, v. 11, n. 2, p. 46, 2021.
- MACHADO, J. F. *et al.* Produção de painel madeira compensada para uso exterior com madeiras de paricá e embaúba. **Revista Árvore**, v. 42, p. e420406, 2018.

- 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 madeira compensadas multilaminadas. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 124, p. 799-810, 2019.
- MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influence of adhesive type on the properties of LVL made from Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) plantation trees. **Drvna industrija**, v. 66, n. 3, p. 205-212, 2015.
- MOURA, V.; MULDER, R. A. S.; JACON, A. D. Mapeamento de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (HUBER ex. DUCKE) BARNEBY) no município de Ouro Preto do Oeste, RO. **Nativa**, Sinop, v. 5, p. 594-600, dez. 2017.
- MYSLICKI, S. *et al.* Fatigue of glued-in rods in engineered hardwood products: part I: experimental results. **The Journal of Adhesion**, v. 95, n. 5-7, p. 675-701, 2019.
- PARIDA, G.; JOHNSON, H.; FRAGIACOMO, M. Provisions for ductile behavior of timber-to-steel connections with multiple glued-in rods. **Journal of Structural Engineering**, v. 139, p. 1468-1477, 2013.
- PIGOZZO, J. C. *et al.* Análise de barras de aço ancoradas na madeira utilizando adesivos estruturais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 145-156, jan./mar. 2023.
- PIGOZZO, J. C. *et al.* Pull out strength of bonded-in steel rods perpendicularly to the grain in *Corymbia citriodora* and *Pinus oocarpa* shiede timber. **International Journal of Materials Engineering**, v. 8, n. 4, p. 70-75, 2018.
- PIGOZZO, J. C.; LAHR, F. A. R. Avaliação da resistência de ancoragem de barras de aço coladas à 45°, em vigas roliças naturais de *eucalyptus citriodora*, tratadas com CCA. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., São Pedro, 2006. **Anais [...]** São Pedro, 2006.
- PURBA, C. Y. C. *et al.* The influence of veneer thickness and knot proportion on the mechanical properties of laminated veneer lumber (LVL) made from secondary quality hardwood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 77, n. 3, p. 393-404, 2019.
- REIS, M. F. C. *et al.* Effect of the addition of nanoclay (Na⁺ montmorillonite) on the urea formaldehyde adhesive in wood bonded joints of *Eucalyptus* sp. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 11, n. 12, p. 51-56, 2017.
- SERRANO, E. Glued-in rods for timber structures an experimental study of softening behaviour. **Materials and structures**, v. 34, p. 228-234, 2001.
- SILVA, J. G. M. *et al.* Influence of anatomy on the adhesion performance of four wood species. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e31942727-e31942727, 2020.
- SOFI, M. *et al.* Bond strength of GiR in cross-laminated timber: a preliminary study. **Construction and Building Materials**, v. 301, 123864, 2021.
- STEIGER, R.; GEHRI, E.; WIDMANN, R. Pull-out strength of axially steel rods bonded in glulam parallel to the grain. **Materials and Structures**, v. 40, p. 69-78, 2007.
- STEPINAC, M. *et al.* Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards. In: CONFERENCE OF CIB-W18-TIMBER STRUCTURES OF THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION, 46., Vancouver, 2013. **Proceedings [...]** Vancouver, 2013.
- SUGAHARA, E. *et al.* Comparative study of plywood boards produced with castor oil-based polyurethane and phenol-formaldehyde using *Pinus taeda* L. veneers treated with chromated copper arsenate. **Forests**, v. 13, n. 7, p. 1144, 2022.
- TEREZO, R. F. *et al.* Propriedades da madeira de paricá em diferentes idades para uso estrutural. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 3, 2015.
- TEREZO, R. F. *et al.* Resistência da madeira tratada de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) ao ataque de cupins. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 3, p. 187-193, 2017.
- TLUSTOCHOWICZ, G.; SERRANO, E.; STEIGER, R. State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods. **Materials and Structures**, v. 44, p. 997-1020, 2011.
- TOUMPANAKI, E.; RAMAGE, M. H. Glued-in CFRP and GFRP rods in block laminated timber subjected to monotonic and cyclic loading. **Composite Structures**, v. 272, p. 114201, 2021.

VIDAURRE, G. B. *et al.* Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood. **Revista Árvore**, v. 42, n. 1, p. 1-9, 2018.

YAN, Y. *et al.* The effect of depth and diameter of glued-in rods on pull-out connection strength of bamboo glulam. **Journal of Wood Science**, v. 62, n. 1, p. 109-115, 2016.

ZHANG, H. *et al.* Research status of glued-in rods connections in wood structures. **Journal of Building Engineering**, v. 65, p. 105782, 2023.

ZHANG, X. *et al.* Experimental performance of threaded steel glued into laminated bamboo. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 118780, 2020.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Grupo Arboris pela confecção e cedência dos painéis de madeira compensada e de LVL, assim como às instituições que financiaram esta pesquisa através da concessão de bolsas, nomeadamente Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL.

João Miguel Santos Dias

Conceitualização, Pesquisa, Análise de dados, Metodologia, Recebimento de financiamento, Validação de dados e experimentos, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original.

Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção | Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão | Rua Topázio, 100, Vila São Francisco | Açailândia - MA - Brasil | CEP 65930-000 | Tel.: (99) 99203-1756 | E-mail: joao.dias@uemasul.edu.br

Vinícius de Sousa Lima

Pesquisa, Metodologia, Redação do manuscrito original.

Laboratório de Madeiras | Universidade Federal da Bahia | Rua Aristides Novis, 2, Federação | Salvador - BA - Brasil | CEP 40170-160 | Tel.: (99) 99176-0180 | E-mail: limavinicius@ufba.br

Maria Gabriela Sales da Silva

Pesquisa, Metodologia, Redação do manuscrito original.

Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção | Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão | Tel.: (99) 98458-6981 | E-mail: mariasilva.2020006807@uemasul.edu.br

Sandriel Lima Nascimento

Pesquisa, Metodologia, Redação do manuscrito original.

Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais | Universidade Federal do Maranhão | Av. da Universidade, s/n, Dom Afonso Felipe Gregory | Imperatriz - MA - Brasil | CEP 65915-240 | Tel.: (99) 99195-3404 | E-mail: sandriel.10@hotmail.com

Marcos Antonio Siviero

Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Grupo Arboris | Rua Gonçalves Dias, 919, Centro | Dom Eliseu - PA - Brasil | CEP 68633-000 | Tel.: (94) 98173-2300 | E-mail: m.s@grupoarboris.com.br

Sabrina Benmuyal Vieira

Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Grupo Arboris | Tel.: (91) 99933-9829 | E-mail: sabrina.benmuyal@grupoarboris.com.br

Agust Sales

Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Validação de dados e experimentos.

Grupo Arboris | Tel.: (91) 98815-9527 | E-mail: agust.sales@grupoarboris.com.br

Rita Dione Araújo Cunha

Análise de dados, Supervisão, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Laboratório de Madeiras | Universidade Federal da Bahia | Tel.: (71) 99261-5050 | E-mail: ritadi@uol.com.br

Sandro Fábio César

Análise de dados, Supervisão, Design da apresentação de dados, Redação - revisão e edição.

Laboratório de Madeiras | Universidade Federal da Bahia | Tel.: (71) 99142-8284 | E-mail: sfcesarpaz@uol.com.br

Editores: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros e Julio Cesar Molina**

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.