

## INFLUÊNCIA DA ROTAÇÃO DA CAVILHA NA RESISTÊNCIA DA SUPERFÍCIE SOLDADA DE LIGAÇÕES PINUS-ITAÚBA

Ana Carolina Costa Viana<sup>1\*</sup>; Luisa Gabriela da Costa Peres<sup>1</sup>; Poliana Dias de Moraes<sup>1</sup>; Walter Lindolfo Weingaertner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil.

\* e-mail do autor correspondente: [anacarolviana@outlook.com](mailto:anacarolviana@outlook.com)

**Resumo:** O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da rotação da cavilha no desempenho mecânico de ligações de pinus soldadas por fricção rotativa com cavilhas de itaúba. Os corpos de prova compreenderam cavilhas de itaúba (*Mezilaurus itauba*) de 10 mm de diâmetro soldadas a taxa de avanço de 400 mm.min<sup>-1</sup> e rotações de 1000 e 1500 rpm, em pré-furos de dois estágios (8 e 7 mm de diâmetro), usinados em substratos de pinus (*Pinus taeda*). Eles foram ensaiados à tração, para determinar a tensão de cisalhamento da superfície soldada. Os resultados revelaram que rotações entre 1000 e 1500 rpm apresentam potencial para a soldagem de cavilhas de itaúba em substratos de pinus.

**Palavras-chave:** *Pinus taeda*; *Mezilaurus itauba*; Soldagem da madeira por fricção rotativa; Rotação da cavilha

## INFLUENCE OF DOWEL ROTATION ON WELDED SURFACE STRENGTH OF PINE-ITAUBA JOINTS

**Abstract:** The aim of this research is to evaluate the influence of dowel rotation on mechanical performance of pine joints welded by rotary friction with itauba dowels. The specimens consisted of itauba (*Mezilaurus itauba*) dowels with 10 mm in diameter welded at a feed rate of 400 mm.min<sup>-1</sup> and rotations of 1000 and 1500 rpm, into two-stage pre-drilled holes (8 and 7 mm in diameter), machined in pine (*Pinus taeda*) substrates. They were tensile tested, to determine the welded surface shear stress. The results revealed that rotations between 1000 and 1500 rpm have potential for the welding of itauba dowels in pine substrates.

**Keywords:** *Pinus taeda*; *Mezilaurus itauba*; Wood welding by rotary friction; Dowel rotation

### 1. INTRODUÇÃO

A rotação da cavilha é um parâmetro característico do processo de soldagem da madeira por

fricção rotativa [1]. Ela influencia no desempenho mecânico da ligação soldada, pois contribui para a geração de calor na interface de soldagem, promovendo a fusão dos polímeros da madeira nessa região [1]. De acordo com [2], a rotação deve ser controlada, a fim de evitar a fusão insuficiente dos polímeros da madeira ou a carbonização excessiva da interface de soldagem, que podem prejudicar a qualidade da ligação soldada.

Para a soldagem por fricção rotativa (SFR) das madeiras de origem norte-americana e australiana, como *Acer saccharum*, *Betula alleghaniensis*, *Corymbia maculata*, *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus saligna* e *Tectona grandis*, os melhores resultados de resistência mecânica foram obtidos para rotações entre 1000 e 1500 rpm [1-3]. Para a SFR de madeiras nativas ou plantadas no Brasil, como *Pinus elliotti*, *Pinus taeda*, *Eucalyptus* spp. e *Mezilaurus itauba*, as rotações adotadas foram de 1000 e 1730 rpm [4; 5]. Contudo, verifica-se a necessidade de avaliar a influência da rotação da cavilha no desempenho mecânico dessas madeiras, quando soldadas por fricção rotativa, a fim de obter os melhores resultados de resistência mecânica da ligação soldada.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da rotação das cavilhas, inseridas a 1000 e 1500 rpm, no desempenho mecânico de ligações de pinus soldadas por fricção rotativa com cavilhas de itaúba, a partir da determinação da resistência mecânica da superfície soldada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Amostras e corpos de prova

A amostra era composta de 2 grupos (A e B) com 5 corpos de prova cada, formados pelo substrato de madeira de pinus (*Pinus taeda*) e pela cavilha de madeira de itaúba (*Mezilaurus itauba*), com densidades aparentes médias de 606 e 824 kg.m<sup>-3</sup> (12% de teor de umidade), respectivamente. As cavilhas eram lisas, de 80 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro. Os substratos eram compostos de duas peças (A' e A'') de 63,5 mm × 25 mm × 50 mm (Figura 1), cujas dimensões foram adaptadas de [6] para ensaio de tração normal às fibras da madeira. Nas peças A' e A'', foram usinados pré-furos de 8 e 7 mm de diâmetro, respectivamente, no plano radial-tangencial do substrato, perpendicular às fibras e tangencialmente aos anéis de crescimento.

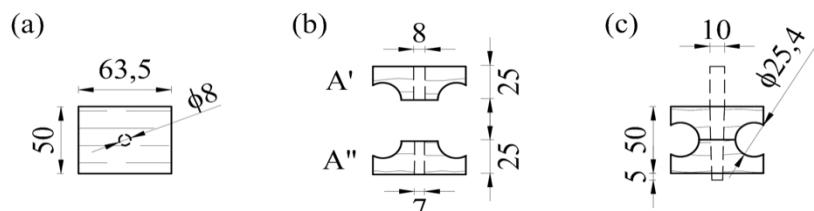


Figura 1: Dimensões dos corpos de prova (mm) (a) vista superior; (b) vista frontal; (c) vista frontal após a

## 2.2 Processo de soldagem por fricção rotativa (SFR)

No processo de SFR, as cavilhas foram soldadas nos pré-furos dos substratos a 55 mm de profundidade, usando um centro de usinagem comandado numericamente. A taxa de avanço das cavilhas foi de  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  [5] e a rotação foi de 1000 (Grupo A) e 1500 (Grupo B) rpm [1-3; 5]. Após a SFR, os corpos de prova foram armazenados a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e à umidade relativa de  $60 \pm 5\%$  [7] por 7 dias, para que recuperassem o teor de umidade perdido durante o processo. Posteriormente, eles foram submetidos a ensaios mecânicos de tração.

## 2.3 Ensaio mecânico de tração

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração, a fim de determinar a tensão de cisalhamento da superfície soldada. Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios de tração, pela aplicação de uma força de tração perpendicular às fibras da madeira do substrato e paralela às fibras da madeira da cavilha. A força foi aplicada até o arrancamento da cavilha e registrada por meio do sistema de aquisição de dados do equipamento. O carregamento aplicado no corpo de prova foi monotônico crescente, decorrente do deslocamento da travessa do equipamento a uma taxa de  $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , na qual estão embutidas as deformações do dispositivo.

### 2.3.1 Determinação da tensão de cisalhamento da superfície soldada

A tensão de cisalhamento da superfície soldada foi determinada a partir da força máxima verificada no ensaio de tração dos corpos de prova. Portanto, ela foi expressa pela razão entre a força máxima e a área da interface soldada da peça A'', que corresponde à região em que a ligação se rompe (Equação 1) [2].

1)

sendo  $\sigma$  a tensão de cisalhamento da superfície soldada, em MPa;  $F_{\max}$  a força máxima, em N;  $A$  a altura da peça A'', em mm; e  $r$  os raios da cavilha nas extremidades da peça A'', em mm.

## 2.4 Análise estatística

Os resultados relativos à tensão de cisalhamento da superfície soldada foram analisados estatisticamente [8]. A variável independente foi a rotação (1000 e 1500 rpm) da cavilha e a variável dependente foi a tensão de cisalhamento da superfície soldada. Inicialmente, foi verificada

a normalidade e a homogeneidade dos dados referentes à variável dependente [8], a partir dos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente, ambos com 5% de significância [8]. A avaliação da influência da rotação da caviga, na resistência da superfície soldada, consistiu em aplicar o teste-t de Student para amostras independentes [8], visto que os dados eram normais e homogêneos, considerando 5% de significância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de tensão de cisalhamento da superfície soldada, referentes aos corpos de prova dos grupos A e B, são apresentados na Tabela 1. As tensões de cisalhamento médias e os coeficientes de variação são 1,58 (19%) e 1,67 (31%) MPa, respectivamente.

Tabela 1: Tensão de cisalhamento dos corpos de prova SFR

Grupo	Tensão de cisalhamento (MPa)				
A	1,99	1,73	1,59	1,27	1,32
B	1,87	2,27	1,25	1,96	1,01

O teste-t de Student para comparação de médias de dois grupos independentes [8], revela que não existe diferença estatisticamente significativa entre as médias da tensão de cisalhamento dos grupos A e B (valor-p = 0,741). Isso indica que adotar rotações de 1000 ou 1500 rpm não influencia na resistência da superfície soldada, uma vez que a média do Grupo B (1500 rpm) é apenas 3% superior à obtida para o Grupo A (1000 rpm).

[1] e [2] relataram resultados de resistência mecânica superiores ( $7,7 \pm 0,2$  e  $7,3 \pm 0,6$  MPa) ao soldarem a madeira *Acer saccharum* ( $655,4 \text{ kg.m}^{-3}$ ) com rotações de 1500 e 1000 rpm, respectivamente. [1] adotaram taxa de avanço entre 225 e 450 mm/min e [2] de 1500 mm/min. A *Acer saccharum* é uma folhosa, assim como a itaúba ( $824 \text{ kg.m}^{-3}$ ), mas com densidade inferior. Mesmo assim, os resultados obtidos por esses autores foram superiores aos desta pesquisa, provavelmente, porque as cavigas foram soldadas em substratos compostos de uma peça de madeira.

[3] obtiveram os melhores resultados de resistência mecânica ( $1,2 \pm 0,8$  e  $3,4 \pm 0,4$  MPa) ao soldarem as madeiras folhosas *Tectona grandis* ( $598 \text{ kg.m}^{-3}$ ) e *Eucalyptus saligna* ( $784 \text{ kg.m}^{-3}$ ), com rotações de 1415 rpm e 1230 rpm, respectivamente. A primeira possui densidade similar ao pinus ( $606 \text{ kg.m}^{-3}$ ), conífera, e resistência mecânica média semelhante às desta pesquisa, porém, para substratos compostos de uma peça. A última possui densidade similar à itaúba ( $824 \text{ kg.m}^{-3}$ ), folhosa.

Considerando os resultados de tensão de cisalhamento apresentados nesta pesquisa, verifica-se que rotações entre 1000 e 1500 rpm apresentam potencial para a soldagem de cavilhas de itaúba em substratos de pinus, assim como é obtido para a SFR de madeiras norte-americanas e australianas.

#### 4. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi avaliada a influência da rotação da cavilha no desempenho mecânico de ligações de pinus soldadas por fricção rotativa com cavilhas de itaúba. A amostra era constituída de 2 grupos com 5 corpos de prova cada, formados por cavilhas de 10 mm de diâmetro soldadas a taxa de avanço de  $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  e rotações de 1000 (Grupo A) e 1500 (Grupo B) rpm, em pré-furos de dois estágios (8 e 7 mm de diâmetro), usinados nos substratos. Os resultados revelaram que rotações entre 1000 e 1500 rpm apresentam potencial para a soldagem de cavilhas de itaúba em substratos de pinus. Contudo, mais estudos devem ser realizados, a fim de avaliar outras faixas de rotação.

#### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Rodriguez, G.; Diouf, P.; Blanchet, P.; Stevanovic, T. Wood-dowel bonding by high-speed rotation welding — Application to two Canadian hardwood species. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2010; 1423-1436.
- [2] Belleville, B.; Stevanovic, T.; Pizzi, A.; Cloutier, A.; Blanchet, P. Determination of optimal wood-dowel welding parameters for two North American hardwood species. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2013; 27 (5-6): 566-576.
- [3] Belleville, B.; Ozarska, B.; Pizzi, A. Assessing the potential of wood welding for Australian eucalypts and tropical species. *European Journal of Wood Products*. 2016; 74: 753-757.
- [4] Schneid, E.; Moraes, P.D. União de peças de madeira por meio da técnica de soldagem por fricção rotacional. In: XV EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Curitiba, Brasil. 2015.
- [5] Viana, A.C.C.; Moraes, P.D.; Weingaertner, W.; Zaniboni, P.A.N.; Prando, T. Soldagem das madeiras de pinus e de itaúba por fricção rotativa. *Revista Principia*. 2021; 57: 63-75.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- [7] International Organization for Standardization. ISO 13061-17: physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens. Geneva, 2017.
- [8] Field, A.; Miles, J.; Field, Z. *Discovering Statistics Using R*. London: SAGE, 2012.