

Análise do comportamento mecânico da ligação entre madeira roliça e pino metálico

Analysis of the mechanical behavior of the connection between round timber and metal bar

RESUMO

Pedro Henrique Shinohara da Silva
pedrohshinohara@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Gustavo Lacerda Dias
lacerda@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Com o aumento do uso de peças roliças de madeira em obras de engenharia como pontes, edifícios rústicos, pórticos, pergolados decorativos, dentre outros, surge a necessidade de avançar no conhecimento do comportamento mecânico das ligações aplicadas neste tipo de solução. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento mecânico da ligação entre peças roliças de madeira com pinos metálicos. Utilizando-se a NBR 7190/1997 – Projetos de Estruturas de Madeira como base normativa, foram confeccionados corpos de prova com peças roliças de madeira ligadas por parafusos, realizando os ensaios em dois ângulos das fibras da madeira em relação à carga aplicada, analisando-as quanto à sua resistência mecânica e mecanismos de ruptura. Apesar de apresentar maior capacidade de carga em relação aos ensaios de ligação normal às fibras da madeira, os resultados dos ensaios de ligação paralela foram mais dispersos e tiveram um maior número de ensaios não concluídos. O modo de ruptura de maior ocorrência foi a flexão do pino metálico na peça de madeira interna, observada em quatro ensaios. Dentre os 18 ensaios, sete não foram concluídos devido a falhas na fixação do dispositivo à máquina de ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: Floresta plantada; Modos de ruptura; Capacidade de carga.

ABSTRACT

With the increasing use of round timber in engineering works such as bridges, rustic buildings, frames, decorative pergolas, and others, there is a need to advance the mechanical behavior knowledge of the connections applied in this type of solution. This research aims to analyze the mechanical behavior of the connections between round pieces of timber with metal bars. Using NBR 7190/1997 – Wood Structure Design as a normative basis, it is intended to create test pieces with roundwood connected by screws, performing the tests at two angles of the wood fibers in relation to the applied load, analyzing them for their mechanical resistance and rupture mechanisms. Despite of having higher load capacity compared to normal fiber angle connections assays, the results of parallel connections assays were more dispersed and had a higher number of unfinished assays. The most frequent rupture mode was the flexing of the metal bar on the internal piece of wood, observed in four tests. Among the 18 tests, seven were not completed due to failures in fixing the test pieces to the testing machine.

KEYWORDS: Planted forests; Rupture mechanisms; Load capacity.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



12 CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS



11 CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS



13 AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA



INTRODUÇÃO

Entre os diversos produtos da madeira, quando comparado o uso para fins estruturais da madeira serrada e a roliça, esta mostra-se mais vantajosa em relação à sustentabilidade econômica, ambiental e social. A madeira roliça não passa por tantos processos industriais após a sua extração, resultando em menores custos, pois diminui a geração de energia, necessita de menos mão de obra e apresenta menor desperdício de recursos (BRITTO e CALIL JR., 2010).

A madeira apresenta dimensões limitadas, por isso necessita de ligações entre mais de uma peça para ser utilizada com fins estruturais (BAENA, 2015). É através dessas ligações que se formam os elementos estruturais de madeira capazes de vencer grandes vãos e resistir a grandes esforços.

A ligação por pinos metálicos é uma das mais utilizadas devido a sua grande variedade de modelos, dispensa mão de obra especializada para aplicação, baixo custo em relação aos outros conectores e apresenta as mesmas propriedades mecânicas em condições de uso diferentes (BAENA, 2015). Considerando a empregabilidade deste tipo de ligação para estruturas em madeira, este trabalho visa analisar o comportamento mecânico deste conector quando utilizado em peças de madeira roliça.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram adquiridas seis toras de madeira roliça não tratada da espécie *Eucalyptus grandis*, com diâmetros variando de 8 a 15 cm e cada uma com comprimento aproximado de 4 metros. Também foram adquiridas nove barras roscadas em aço de baixo carbono, polidas e zincadas, com 3/8" de diâmetro e 1 metro de comprimento cada, junto com 5 pares de arruela e porca.

De cada tora de madeira foram retiradas 12 peças de 25 cm cada, totalizando 72 peças para a confecção dos corpos de prova dos ensaios da ligação, excluindo-se os 30 cm das extremidades, conforme indica a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Para criar a situação de uma ligação com duas sessões de corte, foram utilizadas 3 dessas peças para compor cada corpo de prova, assim foram confeccionados 24 corpos de prova. Estes ainda foram divididos igualmente em dois lotes, o primeiro destinado aos ensaios-piloto da ligação paralela e o segundo lote para os ensaios de ligação normal.

Foi realizada a caracterização da madeira em relação ao teor de umidade, densidade básica e resistência à compressão paralela às fibras de cada uma das toras de madeira seguindo a metodologia apresentada pelo Anexo B da NBR 7190/1997. Os corpos de prova padronizados para estes ensaios foram retirados da parte central de cada uma das toras de madeira, na sua quantidade mínima indicada pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Considerando que o principal objetivo deste trabalho era observar os mecanismos de ruptura de ligações entre peças de madeira roliça, e que o dispositivo de ensaio concebido e as condições do Laboratório de Materiais da UTFPR, Câmpus Pato Branco, não possibilitaram a obtenção dos dados referentes ao deslocamento relativo entre as peças das ligações, não foi possível obter as

propriedades mecânicas de resistência e rigidez das ligações, conforme definido no Anexo C da NBR 7190/1997.

Foi necessário desenvolver um dispositivo para ser acoplado à Máquina Universal de Ensaios, de modo a permitir a fixação dos corpos de prova para ensaio das ligações. Com o objetivo de validar o dispositivo concebido, foram realizados dois ensaios experimentais da ligação paralela.

O primeiro foi realizado com corpos de prova prismáticos 5x5x15 cm e, apesar das deficiências apresentadas, os resultados trouxeram possíveis melhorias ao dispositivo. O segundo ensaio experimental (Figura 1-a) foi realizado com as extremidades descartadas das toras de madeira e se mostrou mais satisfatório que o primeiro, mas ainda apresentou algumas deficiências. O principal problema observado foi a rotação da peça central de madeira no eixo de aplicação da carga devido à geometria das peças, que não permitiram uma boa conexão entre as peças e fixação ao dispositivo. A partir destes resultados, decidiu-se por utilizar novamente esse mesmo modelo de dispositivo nos corpos de prova confeccionados para os ensaios de ligação, uma vez que estes apresentavam condições mais favoráveis.

No entanto, foi levantado um segundo modelo de ensaio no qual o corpo de prova ficaria invertido (Figura 1-b), ou seja, conectado à máquina na peça central, enquanto as peças externas seriam conectadas à máquina na própria estrutura dela através de cabos de aço. Estes cabos de aço seriam passados através de furos realizados nas extremidades das peças de madeira externas, de tal forma que “pendurassem” o corpo de prova na máquina.

Para o dispositivo utilizado nos ensaios de ligação normal às fibras foi feita uma mesclagem entre o dispositivo utilizado nos ensaios de validação e o dispositivo dos ensaios da ligação paralela (Figura 1-c). Os cabos de aço também foram utilizados para fixar as peças de madeira externas à máquina, mas a peça interna foi fixada através de barras e parafusos em suas extremidades.

Figura 1 – Configurações dos dispositivos de ensaio das ligações

a) segundo ensaio experimental



b) ensaio de ligação paralela com os cabos de aço



c) ensaio de ligação normal com os cabos de aço



Fonte: Autoria própria (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios descritos anteriormente, realizados no Laboratório de Materiais da UTFPR, Câmpus Pato Branco, serão apresentados nesta sessão.

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Como mostra a Tabela 1, todas as amostras apresentaram um teor de umidade acima de 25%, logo todo o lote pode ser considerado como de Classe de Umidade 4, segundo a NBR 7190. Para umidades acima de 20%, a norma ainda permite admitir que a resistência e a rigidez da madeira sofram pequenas variações, como é o caso das amostras ensaiadas (ABNT, 1997).

Tabela 1 – Resultados do ensaio de teor de umidade

CP	Massa Inicial (g)	Massa Seca (g)	Umidade (%)
1	27,12	17,05	59,06
2	24,23	17,02	42,36
3	17,97	12,37	45,27
4	22,46	16,00	40,38
5	23,19	18,31	26,65
6	25,33	15,21	66,54
Média			43,82
Desvio Padrão			12,97
Coeficiente de Variação			29,60%

Fonte: Autoria própria (2020).

A densidade básica média de 397,37 kg/m³ foi inferior ao menor valor encontrado por Oliveira et al. (2005) entre sete espécies diferentes de Eucalipto, que é de 490 kg/m³, mas algumas das amostras estavam dentro do intervalo cujo maior valor é de 730 kg/m³. Em comparação ao valor de densidade básica catalogada (420 kg/m³), a densidade básica média também é inferior (IPT, 2020). Os dados do ensaio de densidade básica são apresentados pela Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de densidade básica

CP	Massa seca (g)	Volume Saturado (m ³)	Densidade Básica (kg/m ³)
1	16,86	3,160E-05	533,599
2	16,99	4,846E-05	350,570
3	11,19	3,264E-05	342,790
4	15,91	4,613E-05	344,898
5	17,91	3,433E-05	521,726
6	15,46	3,481E-05	444,177
Média			397,374
Desvio Padrão			81,86
Coeficiente de Variação			20,60%

Fonte: Autoria própria (2020).

Os valores encontrados para as dimensões, força máxima aplicada e tensão em cada corpo de prova durante os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistência à compressão paralela às fibras

CP	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força máxima aplicada (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
1	50,50	50,65	8688,47	33,97
2	50,60	50,00	8428,73	33,32
3	50,15	50,20	6785,77	26,95
4	50,35	50,55	8101,77	31,83

CP	Lado 1 (mm)	Lado 2 (mm)	Força máxima aplicada (kgf)	Resistência à compressão (MPa)
5	50,35	50,35	8219,922	32,42
6	50,40	50,35	8250,48	32,51
Média				32,47
Desvio Padrão				2,29
Coefficiente de Variação				7,04%

Fonte: Autoria própria (2020).

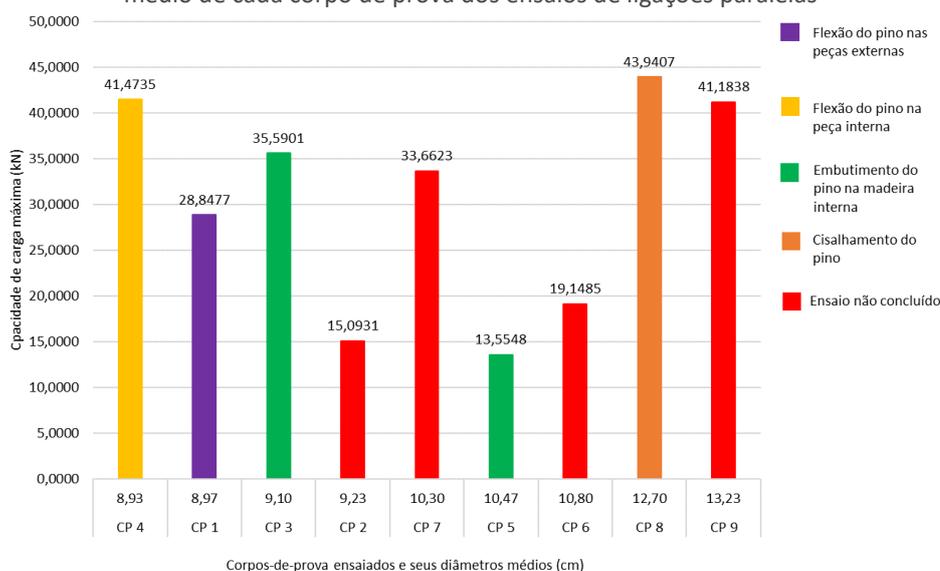
O ensaio apresentou um coeficiente de variação abaixo do valor de 18% indicado pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para resistências a solicitações normais. A resistência à compressão paralela às fibras da madeira verde de *Eucalyptus grandis* é de 26,30 MPa (IPT, 2020), um valor inferior ao que foi encontrado pela resistência média dos ensaios.

ENSAIOS DAS LIGAÇÕES

Durante a realização dos ensaios das ligações notou-se o aparecimento de rachaduras em algumas peças cortadas, salientando que o teor de umidade da madeira era elevado. Como consequência, o número de corpos de prova teve que ser reduzido, assim foram ensaiados nove corpos de prova para cada direção das fibras da madeira em relação ao eixo da carga.

No primeiro ensaio das ligações paralelas foi utilizado o dispositivo conforme a Figura 1-a. No entanto verificou-se o mesmo efeito de rotação que no ensaio experimental. Portanto, para os demais ensaios foi utilizada a configuração conforme a Figura 1-b. A relação entre a carga máxima registrada nos ensaios de ligação paralela em função do diâmetro médio das peças de madeiras, assim como os modos de ruptura observados, é ilustrada pela Figura 2.

Figura 2 – Gráfico da capacidade de carga máxima registrada em função do diâmetro médio de cada corpo de prova dos ensaios de ligações paralelas



Fonte: Autoria própria (2020).

Os ensaios dos corpos de prova 02, 06, 07 e 09 não foram concluídos devido à perda de capacidade portante das ligações na fixação com o dispositivo, ocorrendo o rompimento do cabo de aço, cisalhamento da madeira na fixação com o cabo de aço e com o pino de fixação. Os demais modos de ruptura são apresentados na Figura 3.

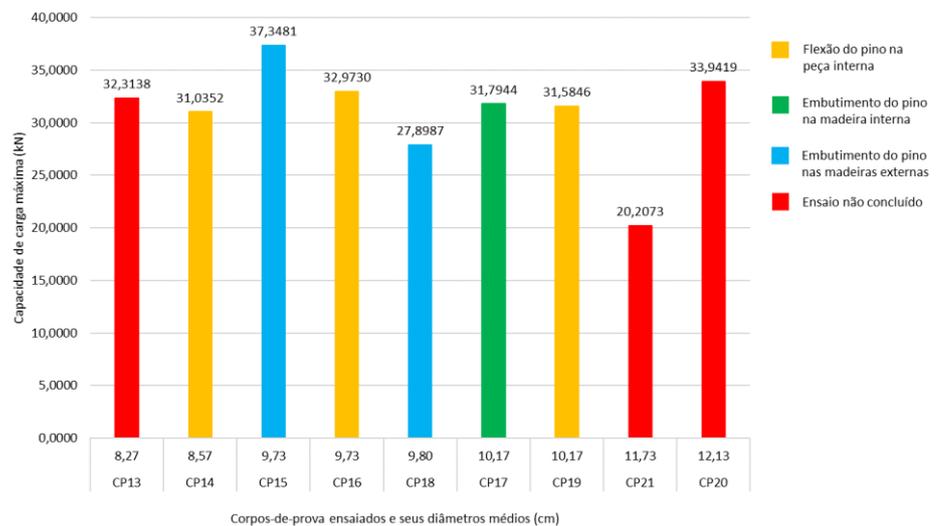
Figura 3 – Ensaios de ligação paralela



Fonte: Autoria própria (2019).

A Figura 4 ilustra a relação entre a carga máxima registrada nos ensaios de ligação normal em função do diâmetro médio das peças de madeiras, junto com os modos de ruptura observados.

Figura 4 – Gráfico da capacidade de carga máxima registrada em função do diâmetro médio de cada corpo de prova dos ensaios de ligações normais



Fonte: Autoria própria (2020).

Os ensaios dos corpos de prova 13, 20 e 21 não foram concluídos devido à perda de capacidade portante das ligações na fixação com o dispositivo, ocorrendo a rotação do corpo de prova e cisalhamento da madeira na fixação com o cabo de aço. Os demais modos de ruptura estão ilustrados na Figura 5.

Figura 5 – Ensaio de ligação normal

a) flexão do pino na peça interna



b) embutimento do pino na peça interna



c) embutimento do pino nas peças de madeira externas



Fonte: Autoria própria (2019).

Os ensaios da ligação normal apresentaram maior consistência nos seus resultados, registrando uma menor variação de capacidade de carga comparada aos ensaios da ligação paralela. No entanto, não é possível relacionar diretamente o diâmetro médio das peças e carga máxima. Nota-se que o CP-14 e o CP-18 apresentavam valores similares de diâmetro médio entre as peças e ainda assim representam os extremos dos valores de carga máxima registrada.

CONCLUSÕES

De acordo os valores de teor de umidade encontrados, a madeira de *Eucalyptus grandis* utilizada para os ensaios faz parte da Classe de Umidade 4, indicada para ambientes com umidade relativa maior que 85% durante longos períodos. O valor de densidade básica média estava abaixo dos apresentados pelas referências para diversas espécies de eucalipto, inclusive da *Eucalyptus grandis*. Os valores da resistência à compressão paralela às fibras se assemelham aos valores catalogados, sendo superior ao valor de referência para sua espécie.

A flexão do pino foi observada em certo grau em todos os ensaios de ligações, e na maioria dos ensaios a flexão do pino na peça de madeira interna foi o modo de ruptura observado, ocorrendo em quatro ensaios.

O segundo modo de ruptura com maior ocorrência foi o embutimento do pino na peça de madeira interna, que ocorreu em três casos. A densidade básica da madeira interna nestes ensaios era a menor entre as peças da ligação, justificando a sua ruptura.

Sete ensaios não puderam ser concluídos devido às falhas apresentadas pelo dispositivo de ensaios ou na fixação do corpo de prova à máquina de ensaios. Apesar da sua maior eficácia nos ensaios de ligação normal, o dispositivo desenvolvido ainda necessita de adaptações para melhor testar a ligação em si, diminuindo o efeito da aplicação da carga sob a fixação do corpo de prova e possibilitando o estudo da rigidez e resistência da ligação.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro. 1997.

BAENA, J. S. **Comparação dos critérios de dimensionamento de ligações por pinos metálicos (parafusos) em estruturas de madeira**. 2015. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

BRITTO L. D.; CALIL JR, C. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 12, n. 56, p. 57-77, 2010.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Informações sobre madeiras**. Disponível em https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=12. Acesso em 13 de agosto de 2020.

OLIVEIRA, J.T.S. et al. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto**. R. Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.