

Recebido: 07-12-2015 Aceito: 29-03-2016

Efeito do teor de umidade e da direção de carregamento na resistência de ligações pregadas em madeiras de reflorestamento

Carolina Nogueira Xavier^{1*}, Alexandre Miguel do Nascimento¹, Lorena Alves Carvalho Nascimento², Marcelly Alves da Silva¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Departamento de Produtos Florestais, UFRRJ.

²Toulan School of Urban Studies and Plannin, Portland State University – EUA.

RESUMO O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da direção de carregamento (paralelo e perpendicular às fibras) e do teor de umidade na resistência da ligação pregada nas madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata*. Além disso, averiguar se os resultados experimentais se ajustam às resistências de cálculo. Para tal, determinou-se a densidade básica, o teor de umidade, a resistência à compressão paralela, a resistência ao embutimento e a resistência paralela e perpendicular da ligação às fibras da madeira. Todos os ensaios foram realizados segundo a norma brasileira vigente para estruturas de madeira. A madeira foi oriunda de árvores das espécies *C. citriodora* e *E. pellita*, com 17 anos de idade e *E. paniculata* com aproximadamente 60 anos. Os resultados demonstraram que não há equivalência entre a resistência à compressão e a resistência ao embutimento para as madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita*, enquanto que na madeira de *Eucalyptus paniculata* essa equivalência foi verificada. Na madeira de *Eucalyptus pellita* houve a maior redução de resistência, quando carregada na direção perpendicular às fibras. O fator de correção de resistência, da madeira na condição úmida para condição seca com 15% de umidade foi 0,9, diferente do valor 0,8 proposto pela norma brasileira.

Palavras-chave: Ligações estruturais; madeira de eucalipto; resistência; embutimento.

Effect of moisture content and direction of loading in the resistance of nailed connections in reforested wood

ABSTRACT The objective of this research was to evaluate the influence of both loading direction (parallel and perpendicular to fibers) and moisture content in the resistance of nailed connections in *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus paniculata* woods; and to verify if experimental results are according to the resistance calculation. Basic density, moisture content, parallel compression strength, embedment strength and strength in parallel and perpendicular directions to the fibers of woods were determined. All tests were performed according to current Brazilian standard for wood structures. The wood samples were cut from trees of *C. citriodora* and *E. pellita* with 17 years old and *E. paniculata* with around 60 years old. Results did not show equivalence between compression strength and embedment strength for *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus pellita*. On the other hand, *Eucalyptus paniculata* wood presented this equivalence. *Eucalyptus pellita* wood presented the highest resistance reduction when loaded perpendicularly to the fibers. Factor of resistance correction was 0.9, which differed from the factor of correction established by the Brazilian standard (0.8) for wood in wet conditions with 15% of moisture content.

Keywords: Structural connections; *Eucalyptus* wood; Strength; embedment.

Introdução

A ligação é o ponto mais crítico no elemento estrutural, assim é imprescindível o estudo destas ligações para garantir a segurança da estrutura. Os pinos metálicos são elementos

que podem ser empregados na ligação, sendo pregos e parafusos os mais comumente utilizados. Desse modo, para este estudo, utilizou-se a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 (ABNT, 1997), para a realização dos ensaios.

De acordo com Oliveira; Dias (2005), o comportamento da ligação está relacionado com a espessura da peça de madeira, o diâmetro do pino, a resistência ao embutimento e a tensão de escoamento do pino. Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência da ligação pode ser de duas maneiras: pela flexão do pino metálico ou pelo embutimento do elemento de ligação na madeira.

Segundo Stamato; Calil Júnior (2002), o embutimento representa as tensões que surgem do contato entre o pino e a madeira na ligação, podendo ocorrer no momento da cravação do elemento de ligação ou na atuação de uma força externa e, dessa forma, tendendo a embutir o pino na madeira. A NBR 7190 (ABNT, 1997) define a resistência de embutimento (f_e) pela razão entre a força (F_e) que causa a deformação específica residual de 0,2% e a área de embutimento do pino. Para tal, a força que causa a deformação é determinada a partir do diagrama tensão x deformação específica. A mesma norma ainda sugere que na ausência do valor experimental de resistência ao embutimento, pode-se adotá-lo como igual à resistência a compressão paralela às fibras. Porém, existem alguns trabalhos (ALMEIDA et al., 2014a; ALMEIDA et al., 2014b) que não validam essa relação entre a resistência à compressão e a resistência ao embutimento proposta pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Almeida et al. (2014a) verificaram que para a madeira de *Pinus oocarpa*, a resistência de embutimento e a resistência à compressão não são equivalentes na direção paralela às fibras. Almeida et al. (2014b) concluíram que a madeira de *Pinus taeda*, na direção paralela às fibras se ajusta a equivalência proposta pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Por outro lado, a equação descrita pela NBR 7190 não é eficiente na direção perpendicular às fibras.

Os diferentes resultados encontrados por Almeida et al. (2014a; 2014b) em relação aos indicados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) chamam atenção ao fato de que outros fatores

podem estar relacionados à resistência da ligação, visto que a madeira é um material altamente heterogêneo. Um exemplo disto é a presença de madeira juvenil que pode comprometer a resistência da ligação. De acordo com Vidaure et al. (2011), peças estruturais que possuem madeira juvenil apresentam classes de resistências inferiores e que as diferenças entre as propriedades da madeira juvenil e adulta é um fator relevante ao considerar o uso da mesma. Estudos realizados por Bendtsen; Senf (1986); Kretschmann; Bendtsen (1992); Kretschmann (1997); Mcalister et al. (1997); Evans et al. (2000) comprovaram que os módulos de elasticidade, as resistências à compressão paralela e normal, a flexão estática e a tração paralela são fortemente afetadas pela presença de madeira juvenil. A madeira juvenil possui valores de resistência inferiores comparados aos da madeira adulta. Este fato não é levado em consideração na NBR 7190 (ABNT, 1997).

Portanto, tendo em vista que a ligação é o local mais crítico de uma estrutura, seu estudo é de enorme importância para a segurança. Dessa forma, faz-se necessário a avaliação de alguns fatores que influenciam na resistência da ligação pregada em madeira, a qual é altamente heterogênea e que é afetada por fatores, tais como teor de umidade, idade da árvore, direção de carregamento e espécie. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a resistência de ligação pregada em madeira de três espécies com diferentes idades, verificando a influência da direção do carregamento e do teor de umidade. Além disso, objetivou-se averiguar se os resultados experimentais se ajustam as resistências de cálculo estabelecidas pela NBR 7190.

Material e Métodos

Procedência, caracterização e preparação do material

As madeiras utilizadas no estudo foram provenientes de árvores das espécies *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata*. Sendo as duas primeiras espécies com idade de 17 anos e a última com aproximadamente 60 anos de idade. As árvores foram coletadas no município de Seropédica, Rio de Janeiro (22°44'29"S e 43°42'19"O).

Após o desdobro, foram escolhidas aleatoriamente, por espécie, nove peças com dimensões de 6,5 cm x 6,5 cm x 3,0 m e sete peças com dimensões de 6,5 cm x 12,5 cm x 3,0 m, destinadas à secagem em estufa, até atingir umidade média de 15%. As demais peças foram mantidas imersas em água para garantir a sua saturação. As peças possuíam madeira de cerne e alburno com predominância de cerne, para *Eucalyptus pellita* e *Corymbia citriodora*, e quase totalidade de cerne para a espécie *Eucalyptus paniculata*. As peças com presença de defeitos de rachadura e nós foram descartadas.

Propriedades físicas

A determinação do teor de umidade e da densidade básica da madeira, foi realizada em 10 corpos de prova, para cada teste e espécie e os ensaios realizados segundo a NBR 7190 (ABNT,1997).

Determinação da resistência à compressão e ao embutimento na direção paralela

A resistência a compressão paralela às fibras foi determinada a partir de 6 corpos-de-prova secos a 15% de umidade para cada espécie, de acordo com as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os ensaios de embutimento foram realizados em 6 corpos de prova para cada espécie, na condição seca, para cada espécie, totalizando 18 corpos-de-prova com 25 mm de espessura e eixo de aço com superfície lisa com 10 mm de

diâmetro, gerando uma área de tensão de 25 mm². Os ensaios basearam-se na norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Para os valores de cálculo, foram utilizados os valores de k_{mod2} e k_{mod3} iguais a 1, e $k_{mod1} = 0,9$ uma vez que os testes foram feitos para peças de madeira selecionadas, na condição de 15% de umidade e na condição saturada e pequeno tempo de carregamento. Foram utilizadas as Equações 1, 2 e 3, para o cálculo da resistência à compressão paralela às fibras, resistência ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras, respectivamente.

$$f_{c0d} = k_{mod1}k_{mod2}k_{mod3} \frac{f_{c0k}}{\gamma_c} \quad \text{Equação 1}$$

$$f_{e0d} = k_{mod1}k_{mod2}k_{mod3} \frac{f_{e0k}}{\gamma_c} \quad \text{Equação 2}$$

$$f_{e90d} = 0,25.f_{e0d} \cdot \alpha_e \quad \text{Equação 3}$$

Onde: f_{c0d} é a resistência de cálculo da madeira à compressão paralela; f_{e0d} é a resistência de cálculo da madeira ao embutimento paralelo às fibras; f_{e90d} é o valor de cálculo ao embutimento perpendicular às fibras; α_e é coeficiente para teste de ligação perpendicular às fibras (neste caso $\alpha_e=2,5$); f_{c0k} e f_{e0k} são os respectivos valores característicos à compressão e embutimento, assumidos como 0,7 dos respectivos valores médios e $\gamma_c= 1,4$.

Determinação da resistência da ligação paralela e perpendicular

Para o estudo de ligações pregadas, foram utilizados 21 corpos-de-prova, oriundos de lotes homogêneos. Na direção paralela às fibras, com teor de umidade de 15%, foram utilizados 7 corpos-de-prova para cada condição. O mesmo número de corpos-de-prova foi utilizado no ensaio na direção

perpendicular às fibras com teor de umidade de 15%. Em cada condição citada acima, um destes corpos-de-prova foi utilizado para determinar a carga limite das ligações.

A dimensão dos corpos de prova obedeceu às orientações estabelecidas na NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo utilizados pregos, como elemento de ligação, com bitola comercial de 19x33, cujas dimensões reais eram de 3,9 mm para o diâmetro e 76 mm para o comprimento. Foram usados 4 pregos em cada interface totalizando 8 pregos, gerando assim 8 seções de corte (Figura 1).

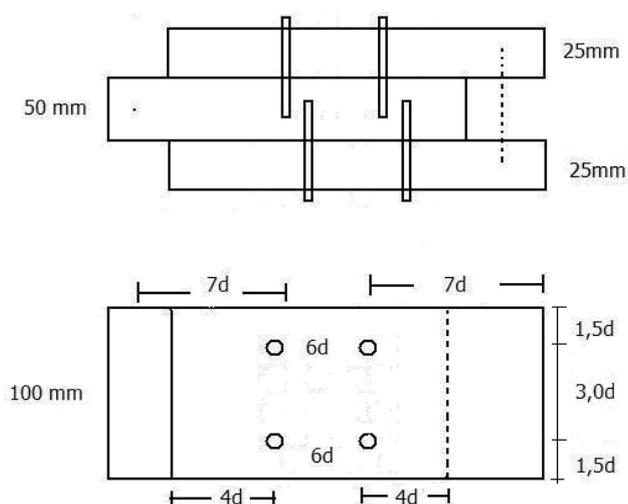


Figura 1. Desenho Esquemático da ligação pregada paralela às fibras, com as distâncias mínimas, baseada na NBR 7190 (ABNT, 1997), onde d é o diâmetro do elemento de ligação.

Figure 1. Schematic diagram of nailed parallel connection to the fibers, with the minimum distances based on the NBR 7190 (ABNT, 1997), in which d is the diameter of the connection element.

Para introdução dos pregos, foi realizada uma pré-furação, conforme a recomendação da NBR 7190 (ABNT, 1997), com brocas de diâmetro igual à 9/64" (3,57 mm), em furadeira vertical de bancada. Ao invés de usar martelo para união das partes de madeira, usou-se uma prensa hidráulica, de modo a garantir uma maior uniformidade no processo de inserção dos pregos.

Como a peça central de madeira tinha 50 mm de espessura e as laterais 25 mm e, considerando a relação existente entre

o valor de escoamento característico do aço e os valores de resistência ao embutimento de cálculo, chegou-se as seguintes constatações:

Ligação com madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* valor de $\beta < \beta_{\text{limite}}$, logo

$$R_d = 0,4 \cdot f_{ed} \cdot b \cdot d \quad \text{Equação 4}$$

Ligação com madeira de *Eucalyptus paniculata*, valor de $\beta > \beta_{\text{limite}}$, logo

$$R_d = 0,5d^2 \sqrt{f_{yd} f_{ed}} \quad \text{Equação 5}$$

Onde: d é o diâmetro do elemento de ligação; f_{yd} é o limite de escoamento de cálculo do aço do prego ($f_{yd} = 581,8$ MPa) e f_{ed} é a resistência ao embutimento de cálculo.

Para realização dos testes mecânicos, foi utilizada uma máquina universal de ensaios com capacidade de 300 kN e para determinação das deformações foi usado LVDT (*linear variable differential transformer*), com curso de 100 mm e precisão de 0,01 mm. A taxa de carregamento foi de 10 MPa/min para os ensaios de resistência na compressão paralela as fibras, embutimento paralelo as fibras e de resistência da ligação.

A determinação da carga limite foi feita através de carregamentos e descarregamentos sucessivos da amostra, até que fosse alcançada deformação específica residual total de 5% do valor de L_0 , sendo o comprimento da base da medida, seguindo as recomendações da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Análise estatística

As comparações entre as médias das resistências ao embutimento e a compressão da madeira paralela as fibras, entre as três espécies florestais, foram feitas pelo teste "t" ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para a variável dependente, resistência da ligação, foi avaliada sua distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e heterocedasticidade das variâncias pelo teste de Levene, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Após o atendimento dos pressupostos, a análise de variância foi aplicada. Testou-se o efeito das diferentes espécies, a direção do carregamento e o teor de umidade na resistência da ligação, e assim como, se houve ajuste entre os resultados experimentais e as resistências de cálculo esperadas. Para comparação entre as médias, foi utilizado o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Resultados e Discussão

A densidade básica da madeira das espécies *C. citriodora* e *E. pellita* foi similar, visto que foram oriundas de árvores com a mesma idade (17 anos). Enquanto isso, a densidade bá-

sica da madeira de *E. paniculata* apresentou valor mais elevado, sendo a idade um fator que contribuiu para tal, visto que a madeira de *E. paniculata* foi proveniente de indivíduos arbóreos com idade aproximada de 60 anos (Tabela 1).

O teor de umidade na condição úmida foi maior naquelas espécies com menor densidade, sendo idêntico para *C. citriodora* e *E. pellita* (Tabela 1).

Observa-se na Tabela 2 que as propriedades mecânicas na compressão e no embutimento são estatisticamente distintas para as espécies de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* e iguais para *Eucalyptus paniculata*. Isto está em desacordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) que propõe que a resistência de cálculo à compressão (f_{cd}) pode ser considerada igual à resistência de cálculo ao embutimento (f_{ed}). Ressalta-se que as madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* possuíam 17 anos de idade, enquanto que a madeira de *Eucalyptus paniculata* possuía em torno de 60 anos.

Tabela 1. Valores médios de teores de umidade e densidade básica da madeira das três espécies de *Eucalyptus*.

Table 1. Average values of moisture content and basic density of wood from three *Eucalyptus* species.

	Espécies			
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus paniculata</i>	<i>Eucalyptus pellita</i>	
Umidade (%)	Seca*	14,9 (1,42)	15,0 (1,38)	15,5 (1,08)
	Saturada	85,7 (8,03)	59,4 (3,03)	87,5 (6,02)
Densidade básica (g.cm ⁻³)		0,64 (5,38)	0,82 (1,50)	0,64 (3,17)

*secas em estufa e climatizadas em ambiente com umidade relativa de 65% e temperatura de 20+/- 2°C. Valores entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

Tabela 2. Valores médios das resistências à compressão e ao embutimento paralelo às fibras e os valores de cálculo para o embutimento paralelo e perpendicular às fibras e a compressão paralela, para madeira na condição seca.

Table 2. Average values of strength of compression parallel to the fibers, embedment both parallel and perpendicular to the fibers and compression parallel to the fibers for dry wood.

Resistência mecânica da madeira e valor de cálculo	Resistências (MPa)		
	Espécies		
	<i>Corymbia citriodora</i>	<i>Eucalyptus paniculata</i>	<i>Eucalyptus pellita</i>
f_{e0}	46,3 ^a (17,9)	75,3 ^a (17,9)	45,2 ^a (20,4)
f_{c0}	58,0 ^b (15,0)	72,0 ^a (14,3)	60,0 ^b (12,1)
f_{ed0}	20,8	33,9	20,3
f_{cd0}	26,1	32,4	27,0
f_{ed90}	13,0	21,2	12,7

Onde: f_{c0} é a resistência da madeira à compressão paralela; f_{e0} é a resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras; f_{cd0} é o valor de cálculo ao embutimento paralelo às fibras; f_{cd90} é o valor de cálculo à compressão paralela às fibras; f_{ed90} é o valor de cálculo ao embutimento perpendicular às fibras. Valores entre parênteses são os coeficientes de variação (%). Letras minúsculas distintas, na mesma coluna, revelam diferenças estatísticas, pelo teste “t”, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Segundo Forest Products Laboratory (2010), a razão entre os valores da madeira madura e juvenil para módulo de ruptura, resistência à tração e módulo de elasticidade estão na faixa de 1,1-2,0, 1,05-2,00 e 1,33-2,22, respectivamente. Observa-se que maiores diferenças entre madeira juvenil e madeira adulta ocorrem para propriedade de rigidez (módulo de elasticidade) ao invés da resistência. O módulo de elasticidade é determinado em função da deformação específica que a madeira sofre quando está sobre determinado nível de tensão, do mesmo modo que a determinação da resistência ao embutimento, que é definida pela deformação residual específica.

Isso pode explicar as diferenças entre os valores de resistência à compressão paralela e ao embutimento para as espécies de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* com 17 anos de idade, pois teriam predominância ou totalidade de madeira juvenil. No estudo de Palma et al. (2010) com

Corymbia citriodora com 29 anos de idade, a madeira juvenil está presente até a metade do raio da espécie, sendo a outra metade, mais externa, pertencente a madeira adulta. Calonego et al (2005), analisando a transição entre madeira juvenil e adulta, observaram em *Corymbia citriodora*, aos 32 anos de idade, que a porção de madeira juvenil equivale até 36% do volume da tora.

Vale ressaltar que os critérios para determinação de resistência ao embutimento e compressão paralela são distintos, uma vez que para o embutimento, a resistência está associada à rigidez ou deformação do material e na compressão paralela, a resistência é determinada por si própria e sua ruptura. Os valores de resistência das ligações experimentais de cálculo constam na Tabela 3.

A resistência experimental (R_{exp}) é aquela obtida através dos ensaios de resistência da ligação, onde há uma deformação residual. A resistência de cálculo (R_d) é estimada

Tabela 3. Valores médios das resistências experimentais e de cálculo das ligações pregadas na direção paralela e perpendicular às fibras para os três tipos de madeira, na condição seca e saturada.

Table 3. Average values of experimental resistances calculation of nailed connections in the parallel and perpendicular direction to the fibers for the three types of wood, in dry and wet condition.

Direção	Umidade	Espécie	Resistência da ligação - kN		Razão
			R_d	R_{exp}	R_d/R_{exp}
Paralela	seca	<i>Corymbia citriodora</i>	6,7	14,2	0,47
		<i>Eucalyptus paniculata</i>	8,5	20,0	0,43
		<i>Eucalyptus pellita</i>	6,6	17,0	0,39
					$\bar{X} = 0,43$
Perpendicular	seca	<i>Corymbia citriodora</i>	5,3	12,3	0,43
		<i>Eucalyptus paniculata</i>	6,8	17,9	0,38
		<i>Eucalyptus pellita</i>	5,2	12,5	0,43
					$\bar{X} = 0,41$
Paralela	saturada	<i>Corymbia citriodora</i>	4,8	13,2	0,36
		<i>Eucalyptus paniculata</i>	6,1	19,3	0,32

Eucalyptus pellita

4,7

14,8

0,32

 $\bar{X} = 0,33$

Onde: R_d são as resistências de cálculo para 8 seções de corte, paralela e perpendicular às fibras. R_{exp} são as resistências experimentais quando a ligação é paralela e perpendicular às fibras.

através das equações 4 e 5 visando a segurança estrutural. Portanto, a razão entre a resistência de cálculo e experimental mostra o distanciamento dessas resistências. Nesse sentido, valores inferiores para essa razão indicam um maior distanciamento entre a resistência de cálculo e a experimental e, dessa forma, a segurança estrutural é garantida.

Para as três espécies estudadas nas duas diferentes direções e teores de umidade, a razão entre as resistências de cálculo e experimental é inferior à 0,47 (Tabela 3), o que é positivo visando a segurança da estrutura.

As análises de variância dos valores experimentais da resistência das ligações pregadas estão na Tabela 4, onde constam as verificações dos efeitos dos fatores testados: madeira das espécies, teor de umidade e direção do carregamento em relação às fibras da madeira e suas interações.

Observa-se que o efeito das espécies, da umidade e da direção do carregamento foi significativo e, quanto as interações, apenas espécie*direção foi significativa. A umidade afeta significativamente a resistência da ligação pregada de forma aditi-

Tabela 4. Resultado das análises de variâncias e os respectivos efeitos das madeiras das espécies, do teor de umidade, da direção de carregamento e as respectivas interações, na resistência experimental das ligações pregadas.

Table 4. Results of analysis of variance, the effects of wood species, moisture content, loading direction and their respective interactions in the experimental resistance of nailed connections.

Fonte de variação	QM	F	P
Madeira das Espécies	109,559	104,396	0,0000
Teor de Umidade	14,583	13,896	0,0008
Espécies*Umidade	1,987	1,893	0,1681
Resíduo	1,049		
Fonte de variação	QM	F	P
Madeira das Espécies	104,658	98,89	0,0000
Direção de carregamento	73,402	69,356	0,0000
Espécies*direção	6,382	6,03	0,0063
Resíduo	1,058		

Onde: QM é o quadrado médio, F é valor de estatística, e P é o nível de probabilidade. Testes Kolmogorov-Smirnov e de Levene, ao nível de 5% de probabilidade de erro, indicaram que os dados possuíam distribuição normal e variâncias homogêneas, respectivamente.

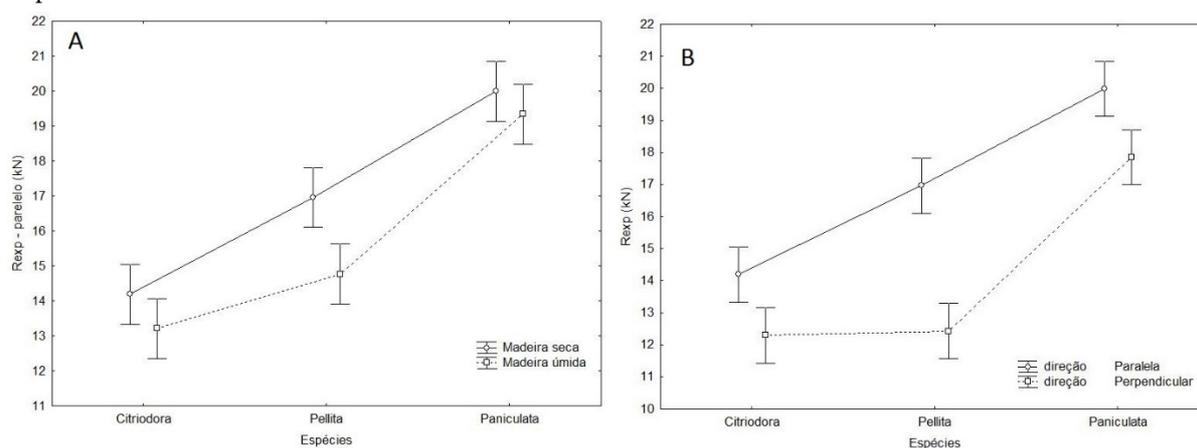


Figura 2. Resistências das ligações experimentais pregadas em função das espécies, da umidade (A) e da direção do carregamento (B).

Figure 2. Resistances of experimental nailed connections as a function of species, moisture content (A) and the direction of loading (B).

va ao fator espécie, uma vez que a interação não foi significativa (Figura 2A).

O efeito da umidade não foi significativo para a madeira de *Eucalyptus paniculata*, mas significativo para as madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita*. (Tabela 5). Na condição de madeira úmida, não houve diferença significativa entre as resistências das ligações feitas com madeira de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita*, o que não ocorreu quando a madeira estava na condição seca. *Eucalyptus pellita* foi mais afetado pela umidade do que o *Corymbia citriodora*, apesar das duas espécies terem os mesmos valores médios de densidade básica.

Em relação à direção do carregamento, observa-se que o efeito foi significativo, assim como a interação direção x espécie (Tabela 4), mostrando alguma dependência entre os dois

fatores. Pode ser visto na Figura 2B, na condição de ensaio perpendicular às fibras, que a resistência da espécie *Eucalyptus pellita* e *Corymbia citriodora*, não diferem, e o mesmo não ocorre na direção do carregamento paralelo às fibras (Tabela 5).

As madeiras ensaiadas na condição úmida apresentaram razão média entre a resistência da madeira úmida e a madeira seca a 15% de umidade de 0,92. A NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece um k_{mod2} igual a 0,8 para corrigir a resistência da condição seca para condição úmida, valor este diferente do encontrado neste estudo. Dessa forma, a redução da resistência pelo efeito da umidade foi inferior ao esperado. Quanto a direção de carregamento, a madeira de *Eucalyptus pellita* apresentou a maior redução de resistência quando ensaiada na direção perpendicular (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios das resistências experimentais e os respectivos coeficientes de variações para as três espécies.

Table 5. Average values of experimental strengths and their respective coefficients of variations for three species.

Efeito da umidade nas ligações paralelas				
Espécies	R _{exp} seca	R _{exp} úmida	R _{exp} médio	R _{exp} úmida/R _{exp} seca
<i>Eucalyptus paniculata</i>	20,0 a A (5,39)	19,3 a A (4,04)	19,7 a	0,97
<i>Eucalyptus pellita</i>	17,0 b A (6,54)	14,8 b B (7,53)	15,9 b	0,87
<i>Corymbia citriodora</i>	14,2 c A (5,56)	13,2 b B (5,15)	13,7 c	0,93
Média	17,1 A	15,8 B		0,92
Efeito da direção do carregamento na madeira seca				
Espécies	R _{exp} paralela	R _{exp} perpend.	R _{exp} médio	R _{exp} paralela/R _{exp} perpend
<i>Eucalyptus paniculata</i>	20,0 a A (5,39)	17,9 a B (3,95)	18,9 a	0,90
<i>Eucalyptus pellita</i>	17,0 b A (6,54)	12,4 b B (7,55)	14,7 b	0,73
<i>Corymbia citriodora</i>	14,2 c A (5,56)	12,3 b B (3,65)	13,2 c	0,87
Média	17,0 A	14,2 B	15,6	0,83

Onde: $R_{\text{exp seca}}$ e $R_{\text{exp úmida}}$ são as resistências experimentais da madeira seca e úmida, respectivamente. $R_{\text{exp paralela}}$ e $R_{\text{exp perpend.}}$ são as resistências experimentais da madeira paralela e perpendicular às fibras, respectivamente. $R_{\text{exp médio}}$ é a resistência experimental média ou entre umidades ou entre direções de carregamento. Médias seguidas por letras minúsculas distintas mostram diferenças significativas na mesma coluna, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, e por letras maiúsculas, na mesma linha. Valores entre parênteses são os coeficientes de variação.

Conclusões

A direção de carregamento afetou a resistência da madeira nas três espécies estudadas, onde a direção perpendicular é aquela que apresenta valores inferiores de resistência.

O teor de umidade não influenciou a resistência na madeira de *Eucalyptus paniculata*. Porém, nas madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita*, o teor de umidade influenciou na resistência, sendo as amostras na condição úmida as que apresentaram menores valores de resistência.

Nas madeiras das espécies de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita*, oriundas de árvores com 17 anos de idade, os valores de resistências ao embutimento e resistências na compressão não são equivalentes, sendo a resistência ao embutimento inferior. Para a espécie de *Eucalyptus paniculata*, aos 60 anos de idade, os valores de embutimento e de compressão se equivalem. Este fato provavelmente é atribuído à idade da árvore e a relação entre madeira juvenil e adulta.

As resistências de cálculo se ajustam aos valores de resistência experimental.

Referências

ALMEIDA, D. H. De; SCALIANTE, R. de M.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; MOLINA, J. C. M.; CALIL JUNIOR, C. Comparação das resistências ao embutimento paralelo às fibras de madeiras de *Pinus oocarpa*, cumaru e *Pinus taeda*. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 113-119, 2014a.

ALMEIDA, D. H. De; FERRO, F. S; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L ; LAHR, F. A. R; MOLINA, J. C. M.; CALIL JUNIOR, C. Comparação entre valores de ensaios experimentais e calculados da resistência ao embutimento da

madeira de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.2, p.347-352, 2014b.

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

BALLARIN, A.W.; LARA PALMA, H.A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.371-380, 2003.

BENDTSEN, B.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and Loblolly Pine. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 18, n. 1, p. 21-38, 1986.

CALONEGO F. W, SEVERO, E.T.D. E ASSI, P.P. Mensuração do comprimento das fibras para a determinação da madeira juvenil em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis** n. 68, p.113-121, 2005.

EVANS II, J.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v.50, n.7/8, p.75-87. 2000.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook - Wood as an engineering material**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

KRETSCHMANN, D.E.; BENDTSEN, B.A. Ultimate tensile stress and modulus of elasticity of fastgrown plantation loblolly pine lumber. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.24, n.2, p.189-203, 1992.

KRETSCHMANN, D.E. Effect of juvenile wood on shear parallel and compression perpendicular-tograin strength for loblolly pine. In: CTIA/IUFRO INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1997, Quebec. **Proceedings...** Quebec: Forintek Canada, 1997. p.23-30.

McALISTER, R.; CLARK, A.; SAUCIER, J. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40. **Forest Products Journal**, Madison, v.47, n.7/8, p.107-9. 1997.

OLIVEIRA M. A. M.; DIAS A. A. Ligações com pinos metálicos em estruturas de madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 7, n. 26, p.33-64, 2005.

PALMA, H. A. L., LEONELLO, E. C., BALLARIN, A. W. Demarcação da madeira juvenil e adulta de *Corymbia citriodora*. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 141-148, . 2010.

STAMATO, G. C.; CALIL JÚNIOR. C. Resistência ao embutimento da madeira compensada. **Caderno de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, SP, v. 04, n. 18, p 49 – 76, 2002.

VIDAURRE G, LOMBARDI LR, OLIVEIRA JTS, ARANTES MDC. Lenho Juvenil e Adulto e as Propriedades da Madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 18, n.4, p.469-480, 2011.