

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE COLUNAS DE MADEIRA LAMINADA PREGADA DE PINHO DO PARANÁ

**FERNANDO ROBERTO ROCKENBACH^{1*}, EVERALDO PLETZ²,
KELYN SCHENATTO³; KEILA SCHENATTO⁴**

¹Acadêmico de Engenharia Civil, UDC, Foz do Iguaçu-PR, fe_rockenbach@hotmail.com

²Doutor em Engenharia de Estruturas, UDC, Foz do Iguaçu-PR, pletz@uel.br

³Mestre em Engenharia Agrícola, UTFPR, Santa Helena-PR, kschenatto@utfpr.edu.br

⁴Acadêmica de Engenharia Agrônômica, UDC, Foz do Iguaçu-PR, keilaschenatto@hotmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Devido à preocupação com o meio ambiente e as leis contra o desmatamento ilegal, é comum optar-se pelo uso da madeira proveniente dos reflorestamentos implantados nas regiões sul e sudeste, para utilização na construção civil. A utilização de peças compostas de madeira vem aumentando ao longo do tempo como forma de enfrentar a necessidade crescente de peças com maiores dimensões, a partir da disponibilidade de peças de madeira de pequenas dimensões, isto se dá por decorrência natural do crescimento da conscientização sobre a importância da racionalização do uso da madeira. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da densidade de pregos em colunas de madeira laminada pregada de Pinho do Paraná, com seção transversal quadrada, medindo 4,5x4,5cm e comprimento 98cm. Para isto, foi realizada a definição do arranjo estrutural, em seguida o desdobro, classificação e caracterização mecânica do material. Na sequência foi realizada a montagem dos 4 (quatro) protótipos com pregos espaçados a cada 5, 10, 15, 20cm, levando em conta o módulo de elasticidade de cada lamela e verificando a excentricidade e deslocamento transversal. Os resultados deste trabalho comprovaram a influência da densidade de pregos na capacidade portante das colunas de MLP e demonstraram que a madeira de pinheiro utilizada de forma correta pode ter uma alta rigidez e resistência estrutural, assim viabilizando seu uso para construção de pilares.

PALAVRAS-CHAVE: Peças compostas; resistência; viabilidade.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF NAILED LAMINATED TIMBER COLUMNS OF PARANA PINE

ABSTRACT: Because of concern about the environment and the laws against illegal logging, it is common to opt for the use of timber from reforestation deployed in the south and southeast regions, for use in construction. The use of built-up timber elements has been increasing over time as a way to address the growing need for larger structural elements, from the availability of small pieces of wood, that is of a natural result of the awareness growth on importance of rational use of wood. The objective of this study is to evaluate the influence of the number of nails used in the assembling of nailed laminated timber columns of Paraná Pine, with square cross section, measuring 4,5x4,5cm and length 98cm. For this, the definition of structural arrangement was performed, and then the sawing, classification and mechanical characterization of the material. In sequence was held assembly of 4 (four) prototypes with nails spaced of 5, 10, 15, 20cm, taking into account the modulus of elasticity of each slide and checking the eccentricity and transverse displacement. The results of this study demonstrated that there is a great influence of the number of nails on the bearing capacity of the NLT columns, and showed that the Paraná pine wood when correctly used can present a high structural stiffness and strength, making it a viable technical option for columns.

KEYWORDS: Built-up elements; strength; viability.

INTRODUÇÃO

O pinheiro é utilizado na fabricação de fôrmas para concreto, ripas, partes secundárias de estruturas, forros, lambris, rodapés, guarnições, instrumentos musicais, molduras para quadros, brinquedos, utensílios domésticos e artigos de esportes, uma vantagem é que esta madeira é legalizada, apresenta coloração uniforme, facilmente torneada e plainada e obtém um ótimo desempenho em tratamentos de preservação (Aquino, 2005).

A otimização dos métodos construtivos é muito importante para a construção civil, pois acabam surgindo novas técnicas que geram soluções para os problemas enfrentados no dia-a-dia, assim melhorando o uso e o desempenho dos mesmos. A utilização da madeira laminada pregada na execução de pilares consiste em dar mais alternativas para a construção civil de forma sustentável (Recco, 2015). Este trabalho teve como objetivo realizar análises experimentais em colunas de madeira laminada pregada a partir do Pinho do Paraná, a fim de avaliar a influência da densidade de pregos em seu desempenho estrutural e demonstrar sua capacidade portante, com isto demonstrar que esta madeira pode ser empregada normalmente na construção de colunas para edificações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da análise experimental foi necessário primeiramente definir as ligações das colunas de MLP e a bitola dos pregos a serem utilizados. Foram construídas 24 (vinte e quatro) colunas ao total e sua variável é a densidade de pregos, assim constituiu-se 04 (quatro) modelos de colunas de madeira laminada pregada com 06 (seis) repetições para cada análise.

A madeira utilizada para realização dos ensaios foi a Araucária angustifólia mais conhecida como Pinheiro, obtida no município de Medianeira - PR. Após obter a madeira bruta seguiu-se para o beneficiamento da mesma na fábrica da Pisossul engenharia esportiva, que se localiza na cidade de Santa Terezinha de Itaipu - PR. A madeira foi examinada visualmente garantindo a isenção de defeitos, tais como, nós, empenamento, rachaduras, perfurações e com ocorrência de organismos xilófagos ou fungos. Em laboratório foram determinadas as principais propriedades mecânicas das peças que compõem as colunas de madeira laminada pregada - MLP, peso específico aparente e módulo de elasticidade e resistência à compressão paralela às fibras conforme Figura 1.

Figura 1. Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.



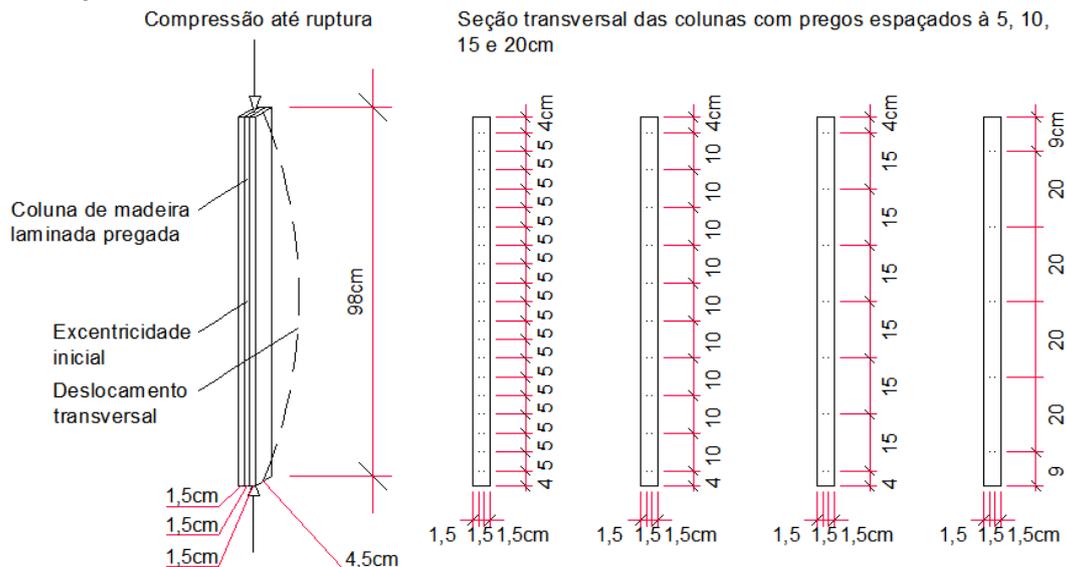
Fonte: Rockenbach, (2016).

Para idealização do modelo estrutural de coluna de madeira laminada pregada (MLP) proposto, adotou-se o comprimento de 98 cm com seção transversal quadrada de 4,5 cm de lado, isso determinado pela relação com a sua esbeltez igual a 75,44 sem considerar a influência dos pregos em sua esbeltez relativa. Os espaçamentos adotados foram de 5,10,15 e 20cm, tendo em conta a NBR 7190/97 que para idealização do modelo estrutural de coluna de madeira laminada pregada (MLP) proposto, adotou-se o comprimento de 98cm com seção transversal quadrada de 4,5cm de lado, isso define os espaçamentos mínimos para a execução dos modelos.

A classificação mecânica para determinação do módulo de elasticidade foi essencial para compor as colunas de MLP, os resultados obtidos variaram de 11.408,84 MPa à 19.121,66 MPa sendo considerado os valores médios entre 13.479,66 à 16.154,77 MPa, entretanto com a finalidade de fazer uma homogeneização das amostras levando em conta seu módulo de elasticidade, foi realizado um esquema de montagem, onde as peças com MOEs acima e abaixo da média foram colocados entre as lamelas de madeira na composição das colunas.

Para montagem das colunas, primeiramente foram sendo agrupadas de acordo com a homogeneização do módulo de elasticidade anteriormente feito. Após foi realizada a marcação de caneta onde os furos seriam feitos utilizando trena, esquadro e uma chapa de ferro como régua, então as lamelas de madeira foram colocadas uma sobre a outra e com o auxílio do esquadro deixando-as mais retilíneas possíveis. Foram feitos os dois primeiros furos sendo pregados logo em seguida para que não houvesse problema de mover as peças de lugar, assim continuando o processo de alinhamento, furação e pregagem até o fim da peça. A Figura 2 demonstra as variáveis atuantes nas colunas: compressão exercida pelo equipamento durante o ensaio destrutivo, excentricidade inicial do conjunto e deslocamento transversal em decorrência da aplicação de carga. Sendo ainda representado os 4 (quatro) modelos constituídos, com pregos espaçados a cada 5, 10, 15 e 20cm.

Figura 2. Layout do ensaio.



Fonte: Rockenbach, (2016).

Com os dados de resistência (kgf) obtidos com a variação dos espaçamentos entre pregos, foi realizada a análise estatística dos dados por tratamento (espaçamento 5, 10, 15 e 20 cm). A classificação do CV foi conforme Gomes & Garcia (2002) propõem, sendo considerado baixo (homocedasticidade) quando $CV \leq 10\%$, médio quando $10\% < CV \leq 20\%$, alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto (heterocedasticidade) quando $CV > 30\%$ e para verificar a normalidade dos dados aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância.

Para verificar se as médias de resistência com a variação dos espaçamentos possuem diferença significativa para população foi realizado o teste de comparação de médias (ANOVA) e para analisar quais médias são consideradas iguais a 5% de significância foi aplicado o teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme é apresentado na Tabela 1, apesar de nenhum dos tratamentos apresentar homocedasticidade, a coluna constituída com espaçamento entre os pregos de 10cm foi a que teve dados mais homogêneos, com Coeficiente de Variação (CV) 13,92%.

De acordo com a classificação de Gomes & Garcia (2002), os tratamentos com espaçamentos 10 e 20cm possuem média variação entre os dados com CV 13,92% e 16,92%, enquanto os espaçamentos 5 e 15cm têm alta variação dos dados com CV 21,6% e 22,45%, respectivamente.

As médias das amostras avaliadas em cada grupo de colunas com densidade de pregos 5, 10, 15 e 20cm (Tabela 1), apresentaram resistência crescente com a diminuição do espaçamento entre os pregos. Ao reduzir o espaçamento de 20 para 15cm aumentou-se 40% o número de pregos sendo que o ganho de resistência foi de 47,34%, já do espaçamento 15 para o 10cm a resistência obteve apenas 9,22% a mais enquanto a quantidade de pregos foi aumentada em 42,85% e finalmente do espaçamento 10 para o 5cm o ganho de resistência foi de aproximadamente 65,42% com um aumento de 90% do número de pregos.

Tabela 1. Estatística Descritiva da Resistência (kgf), para cada um dos espaçamentos (cm)

Variedade	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DP	Variância	CV(%)
Esp. 5	3758	5702	5650	7238	1231,80	1517331,4	21,60
Esp. 10	3008	3447	3363	4266	479,76	230169,1	13,92
Esp. 15	2226	3156	2956	4008	708,31	501709,5	22,45
Esp. 20	1840	2142	2050	2804	362,54	131432,7	16,92

Esp. – Espaçamento; D.P – Desvio Padrão; C.V – Coeficiente de Variação.

A tabela 2 apresenta os valores médios obtidos de resistência das colunas, pode-se observar que as colunas com espaçamento de 5 cm mesmo obtendo um índice de esbeltez em torno de 73 apresentaram uma média de 28,27 MPa, considerado alto pelo fato que a madeira perde rigidez quando é realizado o processo de composição de elementos, esse valor se aproximou do valor de 30 MPa que a NBR 7190 apresenta para compressão paralela às fibras desta espécie.

Tabela 2. Estatística Descritiva da Resistência (MPa), para cada um dos espaçamentos (cm)

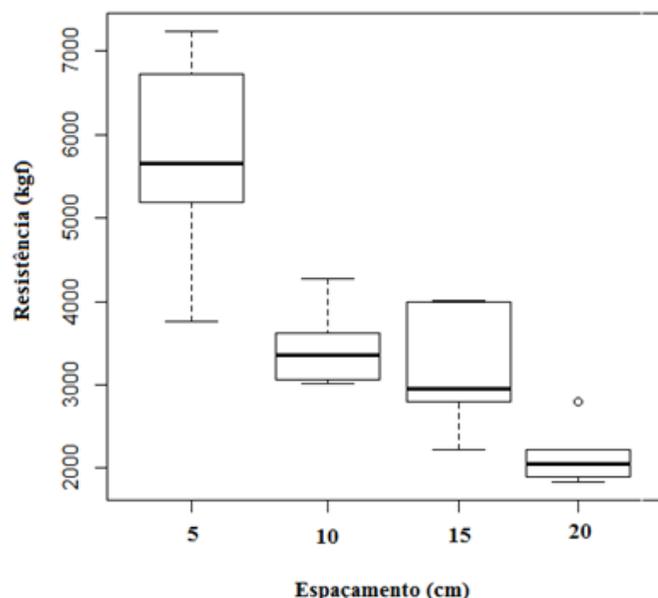
Variedade	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DP	Variância	CV(%)
Esp. 5	18,62	28,27	28,04	35,92	6,02	36,30	21,31
Esp. 10	14,91	17,18	16,82	21,10	2,35	5,52	13,67
Esp. 15	11,08	15,79	14,73	20,32	3,69	13,59	23,35
Esp. 20	9,12	10,59	10,16	13,82	1,80	3,24	16,99

D.P – Desvio Padrão; C.V – Coeficiente de Variação.

Por meio do gráfico de boxplot apresentado na Figura 3 pode ser obtido uma análise visual da dispersão dos dados, assimetria e incidência ou não de pontos discrepantes no conjunto de dados.

Observa-se que para os resultados das amostras, apenas as colunas com espaçamento entre pregos de 20cm apresentou incidência de dados discrepantes, enquanto o tratamento com espaçamento de 5cm apresentou maior dispersão entre os valores mas com resistência superior aos demais.

Figura 3. Gráfico boxplot para cada um dos espaçamentos



Fonte: Rockenbach, (2016).

Aplicando o teste de normalidade de Shapiro-Wilk nos dados das resistências obtidas das amostras de coluna de MLP pesquisadas, obteve-se p-valor = 0.1271, portanto, como p-valor (0.1271) \geq 0.05 conclui-se que os dados possuem distribuição normal de probabilidade a 95% de confiança.

Assim, como os dados foram considerados normais segundo o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, procedeu-se com a Análise de Variância (ANOVA) dos dados. Conforme é mostrado na Tabela 3 como p-valor ($1.1877e-06$) < 0.05 , então com 95% de confiança conclui-se que pelo menos um dos espaçamentos entre pregos pesquisados está influenciando no aumento da resistência das colunas.

Tabela 3. Análise de Variância (ANOVA)

Fonte de variação	gl	S.Q.	Q.M.	p-valor
Tratamento	3	40577389	13525796	1.1877e-06
Resíduo	20	11903213	595161	
Total	23	52480602		

Como a ANOVA foi significativa a 95% de confiança, procedeu-se com a comparação de médias por meio do teste de Tukey apresentado na tabela 4, para avaliar o efeito do espaçamento dos pregos na resistência das colunas de MLP e com 95% de confiança para população conclui-se que os espaçamentos 10 e 15 apresentaram médias iguais a 5% de significância e os espaçamentos 15 e 20 também apresentaram médias estatisticamente iguais. As demais comparações entre os espaçamentos apresentaram médias diferentes a 95% de confiança para população, comprovando estatisticamente que o espaçamento dos pregos influencia na resistência das colunas de madeira laminada pregada - MLP.

Tabela 4. Teste de Tukey a 5% de significância

Espaçamento	Média	
Esp. 5	5701.833	a
Esp. 10	3446.667	b
Esp. 15	3155.667	bc
Esp. 20	2142.333	c

CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho comprovaram a influência da densidade de pregos na capacidade portante das colunas de madeira laminada pregada - MLP, e demonstraram que a madeira de pinheiro utilizada de forma correta pode ter uma alta capacidade portante, assim viabilizando seu uso para construção de pilares.

Foi concluído por meio do teste de comparação de médias que as colunas com maior densidade de pregos apresentaram melhor resultado de resistência à compressão nos ensaios, apresentado diferença significativa com as demais densidades.

REFERÊNCIAS

- Aquino, F. M. Cultivo da Araucaria angustifolia: Viabilidade econômico-financeira e alternativas de incentivo. 2015. Disponível em: http://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/IS%20200501Cultivo%20da%20araucaria%20SC.pdf. Acesso em: 16 de Junho 2016.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- Gomes, F. P.; Garcia, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. Piracicaba: FEALQ, 2002. v. 11, p. 21.
- Recco, E. G. Análise experimental do sistema de cobertura caibro treliçado em MLP (Madeira Laminada Pregada) utilizando madeira serrada de *Pinus spp.* Londrina: UEM, 2015. 128p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo).
- Rockenbach, F. R. Análise experimental de colunas de madeira laminada pregada de Pinho do Paraná. 2016. 90 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, Foz do Iguaçu, 2016.