



Relação entre resistência e densidade em madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus* sp.

Bruno Monteiro Balboni¹; Alessandra Silva Batista¹; Rafael de Aguiar Rodrigues²; José Nivaldo Garcia¹

¹ Laboratório de Engenharia da Madeira / Universidade de São Paulo; ² Laboratório de Tecnologia da Madeira / Universidade Federal do Oeste do Pará

Resumo: No futuro, a tendência é de que o principal tipo de madeira ofertada seja juvenil, e entender suas características é extremamente relevante para um uso adequado deste material. Amostras de madeira de árvores de 25 anos (amostradas na porção mais distal do cerne) e de 6 anos, de diversas espécies de *Eucalyptus* sp. foram ensaiadas na compressão paralela às fibras e tiveram sua densidade aferida. Dados de madeira nativa do mesmo gênero provindos da literatura foram utilizados para devida comparação. A madeira adulta se mostrou similar em densidade e resistência em relação à madeira nativa, já a madeira juvenil foi inferior em ambas as propriedades, ainda que a resistência tenha apresentado uma queda maior do que a densidade, resultando em uma resistência específica menor. As características da madeira juvenil afetam a resistência específica, mas não a proporção em que a resistência é influenciada pela densidade.

Palavras-chave: resistência específica, compressão paralela, floresta plantada.

Relationship between strength and density in juvenile and mature *Eucalyptus* sp. woods

Abstract: In the future, the trend is that the main type of wood supplied to the market will be juvenile wood, and to understand its properties is highly relevant to the adequate use of this material. Timber specimens from 25-years-old trees (sampled in the heartwood closest to the bark) and 6-years-old from many *Eucalyptus* sp. species were tested under compression load parallel to grain and had their specific mass measured. Literature data from native wood from the same genus were used for proper comparisons. Adult wood was similar in density and strength in relation to native wood, and juvenile wood had lower properties, although strength had a higher decrease in relation to adult wood than density, resulting in a lower specific strength. The juvenile wood features affected specific strength, but not the proportion of resistance that is influenced by density.

Keywords: specific strength, compression parallel to grain, planted forest.

1. INTRODUÇÃO

A madeira juvenil é formada pelo meristema cambial ainda imaturo (Zobel & Sprague, 1998), e embora tenha sido alvo de diversos estudos nas regiões temperadas, as espécies tropicais ainda não receberam a devida atenção (Vidaurre et al. 2011).

Em relação ao material adulto, a madeira juvenil possui células de menores dimensões, fibras de menor comprimento, parede celular mais delgada (Trevisan et al., 2017) e maior ângulo microfibrilar (Vaněrek et al., 2017), características que a fazem apresentar menores valores de densidade e resistência (Missanjo & Matsumura, 2016).

Ainda que suas características sejam limitantes para sua utilização, é extremamente necessário que as propriedades da madeira juvenil de espécies tropicais sejam compreendidas, já que, toda a madeira proveniente de florestas plantadas de rápido crescimento é juvenil (Senft & Bendtsen, 1984) e a tendência é de que, no futuro, esse seja o principal tipo de madeira ofertado (Zobel & Sprague, 1998).

Com isso, o objetivo do presente estudo é avaliar a relação da resistência à compressão paralela com a densidade da madeira juvenil frente à madeira adulta de origem plantadas e nativa em *Eucalyptus* sp.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas árvores de plantios com 25 anos de 15 espécies de eucalipto (*E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. saligna*, *E. maculata*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. phaeotricha*, *E. propinqua*, *E. pyrocarpa*, *E. resinífera*, *E. tereticornis*, *E. torelliana* e *E. urophylla*) e de plantios voltados para a produção de polpa celulósica com 6 anos de idade de *Eucalyptus* sp. de diversos talhões (clones e variedades distintas). Os plantios mencionados são provenientes da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP. As amostras foram coletadas sempre da primeira tora, com 2,5 m de comprimento.

As amostras das árvores de 25 anos (madeira adulta) foram tomadas na porção do cerne mais próxima à casca. Já as amostras das árvores de 6 anos (madeira juvenil) foram tomadas em qualquer posição, desde que não contivesse medula ou outros defeitos.

Os ensaios de compressão paralela às fibras foram conduzidos seguindo a norma brasileira NBR7190 (ABNT, 1997), sendo que os mesmos corpos de prova foram utilizados para a aferição da densidade, ao atingir o equilíbrio higroscópico em sala de aclimação a 25° e 65% de umidade

relativa do ar, visando o equilíbrio de umidade dos corpos de prova a 12%. Logo após a obtenção da densidade, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão paralela em máquina universal de ensaios PAVitest com capacidade de carga de 300kN do Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeiras e Derivados da ESALQ/USP.

Dados de 61 espécies de *Eucalyptus* sp. nativas da Austrália, obtidos em Bolza & Kloot (1963) configuram o tratamento denominado madeira nativa.

Pela razão da resistência à compressão paralela com a densidade, calculou-se a resistência específica de cada corpo de prova.

A normalidade dos dados foi analisada por meio do método gráfico quantil-quantil, que compara as distribuições de probabilidade. Em virtude dos dados violarem os pressupostos teóricos do modelo paramétrico, foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a nível de significância de 5%.

Quatro modelos lineares foram propostos relacionando resistência à compressão paralela com densidade aparente a 12% de umidade. O modelo I é aquele em que não há diferenciação entre os 3 tipos de madeira avaliados; os modelos II, III e IV possuem diferenciação entre os tipos de madeira sendo que no II as retas possuem o mesmo intercepto (β_0) e diferentes inclinações (β_1), no III possuem diferentes interceptos e a mesma inclinação e, no modelo IV, as retas possuem interceptos e inclinações diferentes.

Para todas as análises de dados e geração de gráficos foi utilizado o software 'R' (R Development Core Team, 2019).

3. RESULTADOS

Como se pode observar na figura 1, os valores de densidade e resistência à compressão paralela da madeira adulta não diferiram dos reportados para a madeira nativa ($p = 0,1246$ e $p = 0,0645$, respectivamente). Já a madeira juvenil foi significativamente inferior tanto à madeira nativa quanto à madeira adulta ($p = 0,0000$ em todas as comparações).

Os parâmetros dos quatro modelos avaliados são apresentados na tabela 1 e, a figura 2 expõe graficamente os modelos MI e MIII e suas respectivas curvas.

A partir da razão entre resistência à compressão paralela e densidade a 12% de umidade, obteve-se a resistência específica (figura 3), em que as madeiras nativa e adulta não diferiram entre si ($p = 0,3625$), no entanto ambas foram diferentes da madeira juvenil ($p = 0,0000$ em ambos os casos).



Os valores médios das variáveis analisadas e seus respectivos desvios padrões dos 3 tratamentos são apresentados na tabela 2 juntamente com o valor característico e classe de resistência das madeiras juvenil e adulta.

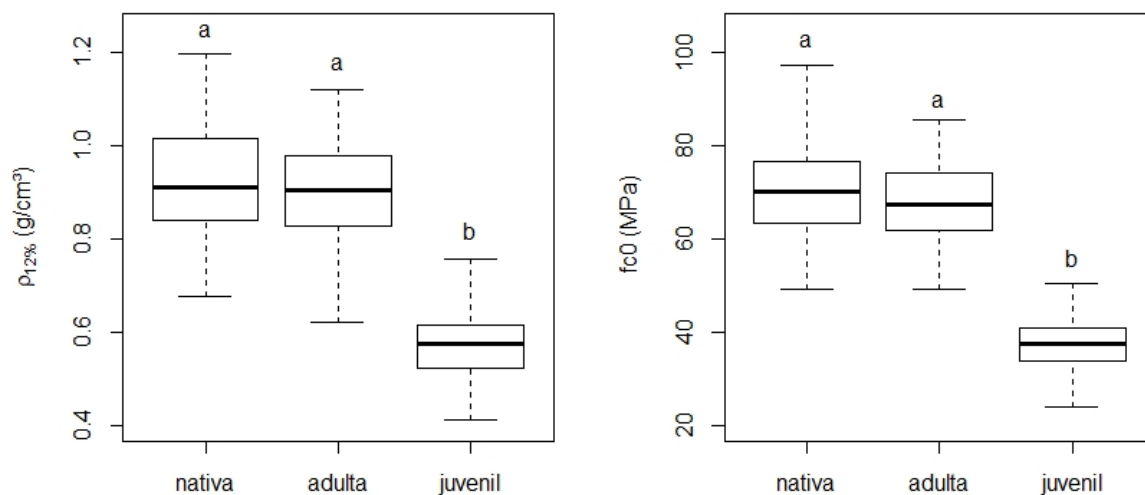


Figura 1. Densidade aparente a 12% de umidade (esquerda) e resistência à compressão paralela (direita) por tipo de madeira avaliada. Letras diferentes representam diferença a nível de significância de 5% no teste de Kruskal-Wallis

Tabela 1. Coeficientes linear (β_0), angular (β_1) e de determinação (R^2) das curvas dos modelos de 1 a 4 da resistência à compressão paralela pela densidade aparente a 12% de umidade

modelo	curva	β_0	β_1	R^2
I	geral	-7,927	83,167	0,8586
	nativa		62,087	
II	adulta	13,144	60,929	0,8942
	juvenil		42,181	
III	nativa	18,086		0,8963
	adulta	16,824	56,886	
IV	juvenil	4,569		0,8957
	nativa	19,095	55,799	
	adulta	16,527	57,217	
	juvenil	4,220	57,495	

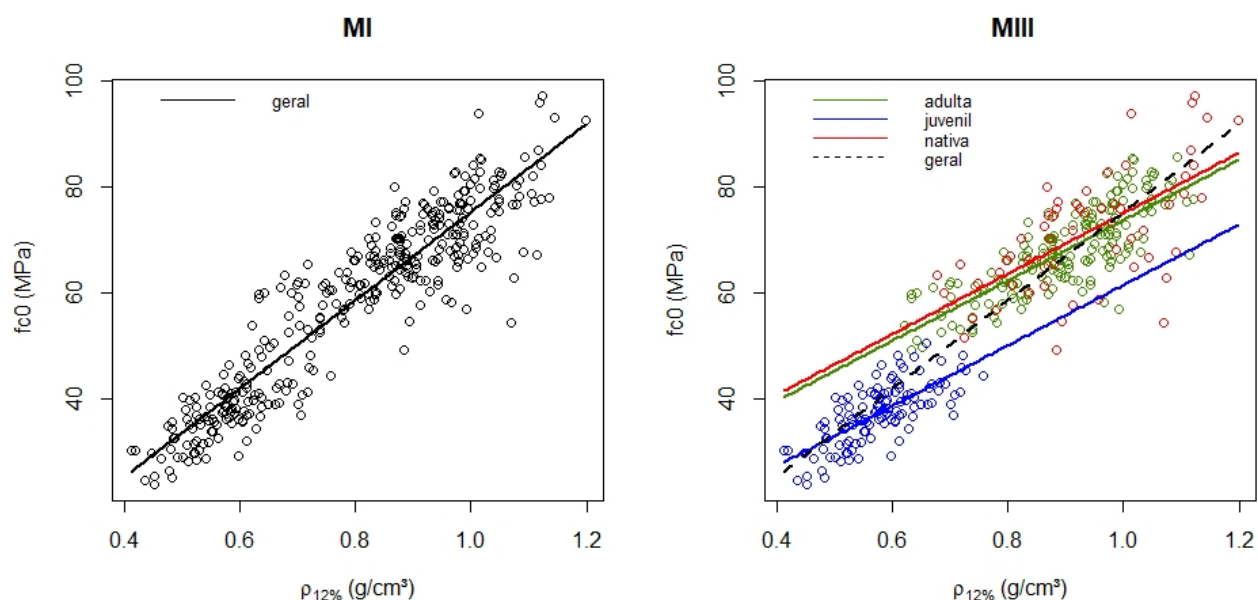


Figura 2. Modelo I (esquerda), em que não há diferenciação entre os tipos de madeiras avaliados, representado pela curva preta; e Modelo III (direita), representado pelas curvas adulta (verde), juvenil (azul) e nativa (vermelha), adicionado da curva geral do modelo I (preto tracejado) para comparação visual

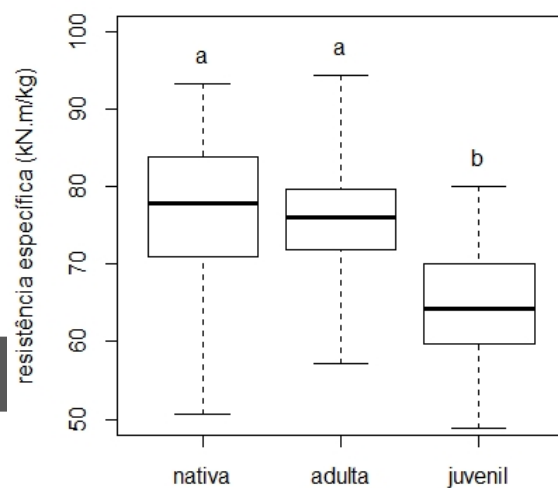


Figura 3. Resistência específica na compressão paralela por tipo de madeira avaliada. Letras diferentes representam diferença a nível de significância de 5% no teste de Kruskal-Wallis



Tabela 2. Médias das variáveis analisadas seguidas do desvio padrão em parêntesis, seu valor característico e a classe de resistência correspondente

madeira	n	$\rho_{12\%}$	f_{c0}	$f_{c0}/\rho_{12\%}$	f_{c0k}	classe de resistência
nativa	61	0,928 (0,131)	70,89 (11,21)	76,81 (9,40)	-	-
adulta	178	0,897 (0,113)	67,86 (8,12)	75,97 (6,13)	54,31	C40
juvenil	119	0,574 (0,072)	37,21 (5,73)	64,94 (7,06)	28,03	C20

4. DISCUSSÃO

As variâncias dos três tratamentos foram similares, porém maior para a madeira nativa, o que era esperado pelas condições heterogêneas em que as árvores cresceram.

Os valores de densidade e resistência apresentam um padrão em comum: as madeiras nativa e adulta são similares, com valores superiores à madeira juvenil. Este padrão é um indicativo de que a menor resistência da madeira juvenil se deve à sua densidade inferior, uma relação vastamente discutida na literatura para madeira de uma forma geral (Missanjo & Matsumura, 2016; Zhang, 1997) e também para outros materiais lignocelulósicos (Balboni et al., 2019).

O alto valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8586$) do modelo I fortalece a hipótese de que a madeira juvenil é menos resistente por ser menos densa. No entanto, o modelo III foi o que apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8963$), justamente aquele em que as 3 curvas possuem o mesmo coeficiente angular (β_1). Ainda que o modelo IV tenha um R^2 muito próximo, o menor número de parâmetros do modelo III (5) o favoreceria frente ao modelo I (7), ainda que apresentassem o mesmo R^2 (Brunham & Anderson, 2001).

O modelo normalmente abordado na literatura é o modelo I, em que não há diferenciação entre madeira juvenil e adulta, provavelmente devido às dificuldades de se identificar e segregar madeira adulta de madeira juvenil. Na figura 2, percebe-se que ao se adotar o modelo I a influência da densidade na resistência é superestimada, e para se calcular a resistência a partir da densidade, madeiras juvenis mais densas teriam sua resistência superestimada, e madeiras adultas menos densas, teriam sua resistência subestimada.

Interpretando os coeficientes lineares (β_0) das curvas do modelo III, nota-se que as madeiras nativa e adulta não apresentam diferença em termos de resistência, já a madeira juvenil apresenta resistência inferior, concordando com o exposto na figura 1. Já o fato de os coeficientes angulares (β_1) serem idênticos, mostra que, embora a madeira juvenil seja menos resistente, a relação da resistência com a densidade é a mesma. As características da madeira juvenil, apesar de reduzirem a resistência, como também reportado por Knapic et al. (2018), não afetam a proporção de ganho de

resistência com o aumento de densidade.

Ao se analisar a resistência específica das 3 madeiras avaliadas (figura 3), percebe-se que a madeira juvenil não segue a proporção das madeiras adulta e nativa. Para uma mesma densidade, a madeira juvenil possui menos resistência quando comparada à madeira adulta.

Nem por isso, a madeira juvenil deve ser descartada para usos em que há exigência mecânica. Nos últimos anos, têm surgido relatos sobre o uso de madeira juvenil de *Eucalyptus* sp. em situações de exigência a esforços mecânicos. Liao et al. (2017) utilizaram eucaliptos de 6 a 12 cm de diâmetro na fabricação de painéis de madeira laminada cruzada e encontraram propriedades similares aos dos produtos do mercado. Crafford & Wessels (2016) propõem o uso de madeira de *E. grandis* de 8 anos para a composição de elementos estruturais para telhados, sendo estes já explorados comercialmente na África do Sul.

Ao se adotar o critério da NBR7190, a madeira juvenil avaliada se enquadra na classe de resistência C20 e a madeira adulta na classe C40, ambas com valores característicos (f_{c0k}) bastante próximos à categoria superior, C30 e C60, respectivamente (tabela 2). Uma seleção genética voltada para densidade e resistência à compressão paralela as colocariam nas classes superiores de forma relativamente rápida, já que, ambas são características altamente herdáveis, como relatado por Marco de Lima et al. (2019) para *E. grandis*.

No entanto, as classes de resistência foram criadas para se eliminar a necessidade de se proceder com toda a caracterização mecânica da madeira, para que, assim, ela possa ser utilizada e estas relações não são bem conhecidas na madeira juvenil. O próximo passo para a compreensão deste material deve ser o estudo destas relações para se analisar se seu enquadramento nas classes de resistência da NBR7190 é apropriado.

Adicionalmente, a porção de madeira juvenil nas árvores costuma vir acompanhada de outros atributos indesejáveis, como desvio de grã, nós e madeira de reação (Derikvand et al., 2017) características estas que, juntamente com a relação entre as propriedades físicas e mecânicas, devem ser avaliadas para que uma ampla utilização da madeira juvenil seja possível, pensando-se em produtos além daqueles de madeira reconstituída, como papel, MDF, OSB, MDP, HDF, entre outros.

5. CONCLUSÕES

A madeira juvenil é menos densa e menos resistente que a madeira adulta, sendo esta última similar à madeira nativa. No entanto, a diferença de resistência é maior do que a de densidade,

resultando numa menor resistência específica para a madeira juvenil.

As características da madeira juvenil afetam a resistência específica, mas não a proporção em que a resistência é influenciada pela densidade.

Estudos sobre as relações entre as propriedades físicas e mecânicas, assim como as propriedades dos defeitos, podem estimular a ampla utilização da madeira juvenil para produtos não reconstituídos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Dra. Rafaela Naves pelo auxílio na proposição e avaliação dos modelos matemáticos.

7. REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107p.

Balboni BM, de Sousa JTR, Ferreira MA, Rodrigues RA, Macedo AB. Residue of açai berry (*Euterpe oleracea*) management as a source of lignocellulosic material. Eur. J. Wood Prod. (2019) 77: 509. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01417-8>

Bolza E, Kloot NH. The mechanical properties of 174 Australian timbers. Melbourne : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Division of Forest Products technological paper no. 25. Australia, 1963 112 p.

Burnham KP, Anderson DR. Kullback-Leibler information as a basis for strong inference in ecological studies. Wildlife research 28.2, 2001: 111-119.

Crafford PL, Wessels CB. The potential of young, green finger-jointed *Eucalyptus grandis* lumber for roof truss manufacturing. Southern Forests: a Journal of Forest Science, n. Sterley 2012, p. 1–11, 2016.

Derikvand M et al. What to Do with Structurally Low-Grade Wood from Australia's Plantation *Eucalyptus*? Building Application v. 12, n. 1, p. 4–7, 2017.

Knapic S, Grahn T, Lundqvist S, Pereira H. Juvenile Wood Characterization of *Eucalyptus botryoides* and *E. maculata* by using SilviScan. BioResources 13(2), 2342-2355. 2018.

Liao Y, et al. Feasibility of manufacturing cross-laminated timber using fast-grown small diameter eucalyptus lumbers. Construction and Building Materials, v. 132, p. 508–515, 2017.

Marco de Lima B, Cappa EP, Silva-Junior OB, Garcia C, Mansfield SD, Grattapaglia D. Quantitative genetic parameters for growth and wood properties in *Eucalyptus "urograndis"* hybrid using near-infrared phenotyping and genome-wide SNP-based relationships. PLoS ONE 14(6):

e0218747, 2019.

Missanjo, E.; Matsumura, J. Wood Density and Mechanical Properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. *Forests*, 2016, 7, 135.

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2019.

Senft JF, Bendtsen BA, Juvenile wood: Processing and structural products considerations. Utilization of the changing wood resource in the southern United States: Proceedings of a symposium; 1984: 102-108.

Trevisan R, Rosa M, Haselein, CR, Santini EJ, Gatto DA. Dimensões das fibras e sua relação com a idade de transição entre lenho juvenil e adulto de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Ciência Florestal*, v. 27, n. 4, p. 1385-1393, dez. 2017.

Vaněrek J, Martinek R, Čada P, Kuklík P. The Influence of Microfibril Angle on the Wood Stiffness Parameters, *Procedia Engineering*, Volume 195, p. 259-264, 2017.

Vidaurre, G; Lombardi, LR; Oliveira, JTS; Arantes, MD. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. *Floresta e Ambiente*, 18 (4):.469-480, 2011.

Zhang SY. Wood specific gravity-mechanical property relationship at species level. *Wood Science and Technology* 31 p. 181-191, 1997

Zobel BJ, Sprague JR. Juvenile Wood in Forest Trees. Berlin: Springer, 1998.