

PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA ÚMIDA E A 12% DE UMIDADE DE UM CLONE DE *Eucalyptus saligna* Smith SOB O EFEITO DO ESPAÇAMENTO E DA ADUBAÇÃO

BENDING PROPERTIES OF GREEN AND AIR DRIED WOOD OF A CLONE OF *Eucalyptus saligna* Smith GROWN IN DIFFERENT TREE SPACING AND FERTILIZATION

Clovis Roberto Haselein¹ Rute Berger² Márcio Goulart³ James Sthal³ Rômulo Trevisan³
Elio José Santini⁴ Merielen de Carvalho Lopes⁵

RESUMO

Neste trabalho, foram investigadas as propriedades de flexão estática da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. A madeira foi retirada da primeira tora de árvores procedentes de unidades experimentais da Klabin-Riocell com idade de, aproximadamente, 10 anos. As unidades foram estabelecidas com três diferentes espaçamentos (3 x 2, 3 x 3 e 3 x 4 m) e duas doses de adubação (400 ou 800 kg/ha). Trinta árvores (cinco por parcela) foram utilizadas nos ensaios. Os corpos de prova, confeccionados segundo a ASTM D143-93 (1995), foram testados após condicionados em câmara climatizada a 20°C e 65% de umidade relativa ou após armazenamento em água. Os resultados indicaram valores 1,296 e 1,4 vezes maiores da madeira seca em relação à verde, para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) respectivamente. Houve aumento da massa específica (ME), do MOR e do MOE com o espaçamento e com a adubação.

Palavras-chave: flexão estática, *Eucalyptus saligna*, espaçamento, adubação.

ABSTRACT

The bending properties of a *Eucalyptus saligna* Smith clone were studied. Thirty trees, with age of approximately ten years, coming from Klabin-Riocell forests were used in the tests. The specimens, manufactured following ASTM D143-94 (1995), were tested in two series: after conditioning in standard room (20°C and 65% relative humidity) or after water soaking. The results indicated values 1,296 and 1,4 times larger for air-dried when compared to moist wood, for bending stiffness and strength, respectively. Wood density, modulus of rupture and elasticity increased with fertilization and tree spacing.

Key words: bending, *Eucalyptus saligna*, tree spacing, fertilization.

INTRODUÇÃO

Tem crescido a importância do gênero *Eucalyptus*, no Brasil, nos últimos anos; contudo, são poucas as informações sobre as propriedades mecânicas dessa madeira, em especial daquela oriunda de reflorestamentos. Nem sempre métodos compatíveis de determinação das propriedades são utilizados. Muitas determinações ainda são feitas utilizando carregamento constante em vez de velocidade do cabeçote de aplicação de carga constante. Da mesma forma, várias vezes as condições de equilíbrio não são observadas.

Abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), para cada tipo de esforço, há uma diminuição da resistência mecânica com o aumento do teor de umidade. Segundo Freitas (1982), a resistência à compressão

1. Engenheiro Florestal, PhD., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). haseleic@ccr.ufsm.br
2. Engenheira Florestal, MSc., Técnica da Empresa Klabin-Riocell S.A., Rua São Geraldo, 1680, CEP 92500-000, Guaíba (RS). riocell@riocell.com.br
3. Acadêmicos do Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS).
4. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). santinie@ccr.ufsm.br
5. Engenheira Florestal, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). ppgef@ccr.ufsm.br

paralela é a mais afetada, e a resistência à flexão, sobretudo o MOR diminui consideravelmente, enquanto que o MOE diminui menos. O coeficiente também não é constante para diferentes espécies de madeira além de não ser constante para diferentes propriedades.

Uma relação simples negativa exponencial ajusta-se aos dados razoavelmente bem:

$$S = Ae^{-BU}$$

Em que: σ = resistência (ou outra propriedade mecânica); U = teor de umidade (%) e A , B são constantes.

A transformação logarítmica resulta na tradicional equação linear:

$$\ln S = \ln S_t + \frac{U_t - U}{U_p - U_{12}} \ln \frac{S_{12}}{S_v}$$

O USDA (1987) sugere que valores para teores de umidade intermediários entre madeira seca e madeira verde sejam estimados baseados na seguinte relação:

$$S = S_{12} \left(\frac{S_{12}}{S_v} \right)^{\left(\frac{12-U}{U_p-12} \right)}$$

Em que: σ_{12} = é a propriedade a 12% de umidade; σ_v = a propriedade da madeira verde; U = o teor de umidade; U_p = teor de umidade de intersecção entre uma linha horizontal representando a resistência da madeira verde e uma linha inclinada, representando o logaritmo da relação entre resistência e umidade (Esse teor de umidade geralmente é inferior ao PSF. O autor sugere o emprego de U_p igual a 25% para aquelas madeiras cujo ponto de intersecção não seja conhecido).

A determinação da relação é baseada em continuidade e homogeneidade do material; é importante manter uma distribuição uniforme de umidade através do corpo de prova durante o teste. De outra forma, o estado de esforço dentro do corpo de prova irá variar de ponto a ponto e conseqüentemente modificará os resultados dos testes (Bodig e Jayne, 1982).

A variação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus citriodora* com a umidade foi investigada por Ballarin e Ribeiro (1998). Aparentemente, a madeira testada foi armazenada à sombra para secagem e os testes feitos após a madeira atingir um peso determinado, sem condição de equilíbrio. Da mesma forma, foi utilizado carregamento constante, em vez de velocidade constante, o que é geralmente necessário para um material que apresente comportamento reológico, como a madeira. O ponto de intersecção encontrado foi de, aproximadamente, 20,4% de umidade. Já o valor encontrado para a razão madeira seca/madeira verde foi de 1,44, bem abaixo dos valores citados por Bodig e Jayne (1982) para essa propriedade.

Lima et al. (1986) estudaram a influência da variação no teor de umidade da madeira de *Eucalyptus saligna*, com 40 anos de idade, nas propriedades mecânicas da madeira, abaixo do PSF. O ponto de intersecção encontrado foi de 31% de umidade. Infelizmente, os valores das propriedades da madeira acima do PSF não foram informados.

Ondimu e Gumbe (1997) concluíram que a madeira de *Eucalyptus saligna* é um bom material estrutural. Os autores salientam também que os valores para as propriedades mecânicas da madeira em tamanhos estruturais são menores do que aqueles da madeira livre de defeitos.

Existe uma estreita relação entre massa específica da madeira e as propriedades mecânicas. Dessa forma, qualquer fator que cause alteração na primeira irá produzir efeitos nas últimas. Brasil e Ferreira (1971) afirmam que a massa específica básica da madeira de *Eucalyptus* não é afetada pelo espaçamento, o que é confirmado por Brasil (1972), Vital et al. (1981), Vital e Della Lucia (1987) e Garlet (1994), entre outros. Por outro lado, Garcia et al. (1991), concluíram que a massa específica básica mostra tendências de diminuir com o aumento do espaçamento, enquanto Berder (2000) encontrou aumento significativo da densidade básica com o aumento do espaçamento.

Raymond e Muneri (2000) constataram que a adição de nitrogênio e fósforo em plantações de *Eucalyptus globulus* provocaram mudanças nas propriedades da madeira mesmo na ausência de respostas no crescimento, indicando que tais mudanças não foram provocadas por diferenças na taxa de crescimento das árvores.

O objetivo do presente trabalho foi investigar a diferença de resistência e de elasticidade à flexão da madeira de *Eucalyptus saligna* quando testada úmida ou seca ao ar bem como o efeito do espaçamento de plantio e da dosagem de adubação nas referidas propriedades.

MATERIAL E MÉTODOS

O material para o presente estudo foi coletado em um experimento clonal de *Eucalyptus saligna* Smith, pertencente à Klabin-Riocell, e localizado em Barra do Ribeiro, RS. O experimento foi estabelecido em 1988, com três espaçamentos (3x2, 3x3 e 3x4 m) e duas doses de adubação (400 e 800 kg/ha aplicados a lanço). A fertilização foi feita com adubo de nome comercial FOSNAP (fosfato natural ativado).

Cinco árvores de cada tratamento, totalizando trinta árvores, foram abatidas para realização do presente estudo. Destas foi retirada a primeira tora, com 2,5 metros de comprimento, com base no DAP (1,30 m), para confecção dos corpos de prova. As toras foram levadas à serraria onde foi retirado um pranchão central, incluindo a medula de, aproximadamente, 8 cm de espessura. As pranchas foram deixadas para secar à sombra, em local coberto e, então, transformadas em corpos de prova de 2,5 x 2,5 x 41 cm, para realização dos testes de flexão estática.

Os corpos de prova foram, em seguida, medidos e pesados e, destes, três de cada árvore, retirados ao acaso, foram imersos num tanque com água por, aproximadamente, três meses. Após esse período, foram então testados úmidos, em máquina universal de ensaios, hidráulica, marca Amsler, com capacidade para 20 toneladas e dotada de sistema automatizado de aquisição de dados. Os testes de flexão estática foram realizados segundo as recomendações da ASTM D143-94 (1995). Foram retiradas amostras de cada corpo de prova após os ensaios para determinação do teor de umidade da madeira durante os testes.

Os resultados foram analisados pelo teste de médias e regressão e comparados com aqueles determinados por Rute (2000) com a madeira estabilizada a 12% de umidade, utilizando o mesmo material do presente trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados da análise de variância para ME, MOR e MOE em função do estado de umidade. Bodig e Jayne (1982), citam valores da razão madeira seca (12% de umidade) para madeira verde de folhosas variando de 1,11 até 1,53 para MOE e de 1,32 até 2,10 para MOR. Dessa forma, os resultados encontrados estão situados dentro desses limites. Algumas espécies citadas pelos autores, que apresentam valores similares aos do presente trabalho, são nogueira pecan (*Carya illinoensis*, 1,26 e 1,4), bigleaf maple (*Acer macrophyllum*, 1,32 e 1,45) e honeylocust (*Gleditsia triacanthos*, 1,27, 1,44), respectivamente, para MOE e MOR.

TABELA 1: Massa específica (ME), módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em função do estado de umidade.

TABLE 1: Density (ME), modulus of elasticity (MOE) and rupture (MOR) as a function of wood moisture content.

Estado de umidade	N. de corpos de prova	Massa específica ² (g/cm ³)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
12%	245	0,435 a ¹	94500 a	735,69 a
Úmida	90	0,434 a	72900 b	525,23 b
Razão propriedade 12%/Úmida	-	-	1,296	1,400

Em que: ¹Letras diferentes na mesma coluna denotam diferenças estatísticas significativas pelo teste Least Significant Difference (LSD) de Fisher a um nível de confiança de 95%; ²Razão entre massa seca e volume a 12% de umidade.

Mediante análise de regressão (Tabela 2), pode-se notar que tanto a dose de adubação quanto o

espaçamento produziram efeitos significativos a 95% de probabilidade nas propriedades investigadas. Interação negativa entre os fatores também foi significativa em relação a ME e MOE.

TABELA 2: Equações ajustadas para ME, MOR e MOE em função da dose de adubo e do espaçamento para madeira verde (Tu >> PSF).

TABLE 2: Adjusted equations for density (ME), bending modulus of rupture (MOR) and elasticity (MOE) as a function of fertilization and tree spacing for green wood (moisture content well above fiber saturation point).

Propriedade	Equação Ajustada	F	P	Syx	R ² Aj
ME (g/cm ³)	$ME = 0,263 + 2,2E - 4 d$ $+ 0,015 e - 1,9E - 5 de$	8,33	<0,01	0,024	19,82
MOR (kgf/cm ²)	$MOR = 375,32 + 0,09 d$ $+ 9,83 e$	14,61	<0,01	45,92	23,42
MOE (kgf/cm ²)	$MOE = 10148 + 83,61 d$ $+ 6627 e - 8,53 de$	3,08	0,03	10942	6,55

Em que: δ = dose de adubo; ε = espaçamento; ME = massa específica (razão entre massa a 0% e volume a 12% de umidade); MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade.

O coeficiente de determinação das equações ajustadas, tanto para MOR quanto para MOE em função da ME, foram baixos (Figuras 1 e 2), quando comparados aos normalmente relatados entre essas propriedades e a massa específica. Talvez o pequeno intervalo de variação das propriedades estudadas não tenha possibilitado uma boa correlação. Para o MOE, a diferença entre madeira verde e seca manteve-se constante com ME; já para o MOR há um pequeno aumento da diferença com ME. Possivelmente, isso se deve ao número limitado de dados e não seja uma tendência real.

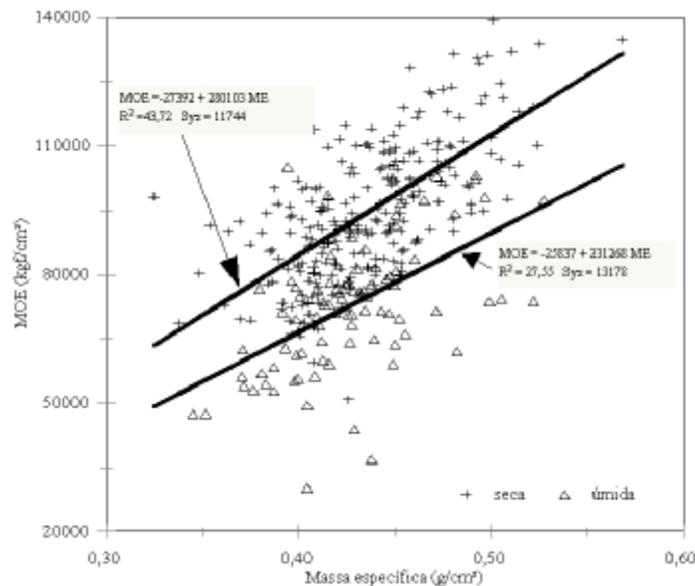


FIGURA 1: Módulo de elasticidade em função da massa específica (razão entre massa seca e volume a 12% de umidade) para madeira testada seca (12% de umidade, (Berger, 2000)) e úmida (saturada em água).

FIGURE 1: Modulus of elasticity as a function of density (ovendry mass and volume at 12% moisture content) for wood tested in dry condition (12% moisture content, (Berger, 2000)) and wet (green condition).

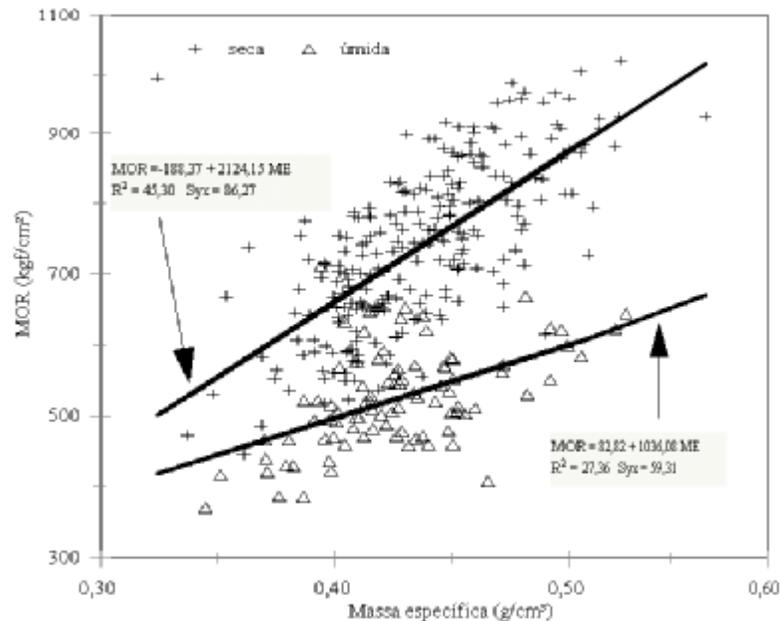


FIGURA 2: Módulo de ruptura em função da massa específica (razão entre massa seca e volume a 12% de umidade) para madeira testada seca (12% de umidade, (Berger, 2000)) e úmida (imersa em água).

FIGURE 2: Modulus of rupture as a function of density (oven-dry mass and volume at 12% moisture content) for wood tested in dry condition (12% moisture content, (Berger, 2000)) and wet (green condition).

CONCLUSÕES

Nos testes de flexão estática realizados para madeira de *Eucalyptus saligna* o MOE da madeira úmida foi 1,29 menor do que da madeira a 12% de umidade. Já para o MOR, o valor encontrado foi 1,4 vezes menor para a mesma relação.

O espaçamento e a dose de adubo afetaram tanto a ME como o MOE e o MOR da madeira úmida. Quanto maior o espaçamento e a dose de adubo, maiores os valores dessas propriedades.

Estudos adicionais são necessários para determinação das propriedades mecânicas da madeira de eucalipto, especialmente o ponto de intersecção entre madeira verde e madeira seca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM. American Society for Testing and Materials. **Standard methods of testing small clear specimens of timber:** D 143 – 94. Philadelphia, PA, 1995.

BALLARIN, A.W.; RIBEIRO, A.B. Variação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira de *E. citriodora* com a umidade. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998, v. 3, p. 229-240.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** 2000. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982. 712p.

- BRASIL, M.A.M., FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw, *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden aos 5 anos de idade, em função do local e do espaçamento. **IPEF**, v. 2, n. 3, p. 129-49, 1971.
- BRASIL, M.A.M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propinqua* Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento**. 1972. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- FREITAS, A. Potencial de utilização de madeiras em construções. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 1., 1982. **Anais...** São Paulo: IPT, 1982, 1459p.
- GARCIA, C.H.; CORRADINE, L., ALVARENGA, S.F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, 8p, 1991.
- GARLET, V.N. **Influência do espaçamento das árvores de *Eucalyptus grandis* na qualidade da madeira para produção de polpa celulósica kraft**. 1994. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LIMA, J.T.; DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith. **Revista Árvore**, v. 10, n. 1, p. 27-43, 1986.
- ONDIMU, S.; GUMBE, L.O. Mechanical properties of blue-gum timber. **Landwards**, v. 4, n. 52, p. 24-26, 1997.
- RAYMOND, C.A.; MUNERI, A. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globulus*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 1, n. 30, p. 136-144, 2000.
- USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Forest Service. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Washington: Department of Agriculture, 1987. 466p.
- VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.
- VITAL, B.R.; PEREIRA, A.R.; DELLA LUCIA, R.M. Influência do espaçamento na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 30 meses de idade. **Revista Árvore**, v. 5, n. 2, p. 210-217, 1981.