

**PROPRIEDADES DE FLEXÃO ESTÁTICA DA MADEIRA DE *Carya illinoensis*  
EM DUAS CONDIÇÕES DE UMIDADE**

Diego Martins Stangerlin<sup>1</sup>, Rafael Rodolfo de Melo<sup>2</sup>,  
Darci Alberto Gatto<sup>3</sup>, Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori<sup>4</sup>

**Resumo:** O presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades de flexão estática (elasticidade e resistência) da madeira de *Carya illinoensis* sob duas condições de umidade e verificar a precisão da estimativa dessas propriedades por meio da massa específica aparente. Para tanto, foram abatidas cinco árvores adultas nas regiões fisiográficas da Depressão Central e Encosta Superior do Nordeste, ambas no Estado do Rio Grande do Sul. De cada árvore, foram retiradas toras de 2,5 m de comprimento, partindo da base, que foram desdobradas para a confecção de corpos-de-prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm, sendo a maior dimensão no sentido axial. Os ensaios de flexão estática foram realizados com a madeira saturada em água (madeira verde) e ao teor de umidade de equilíbrio de 12% (madeira seca). Os resultados obtidos indicam que a presença de água na madeira reduz substancialmente os valores de elasticidade e resistência. Além disso, o uso da massa específica aparente é adequado para estimativa das propriedades de elasticidade e resistência da madeira de *Carya illinoensis*, tanto para a madeira seca a 12% de umidade quanto para a condição de saturação em água.

**Palavras-chave** qualidade da madeira; propriedades mecânicas; módulo de elasticidade; módulo de ruptura.

---

<sup>1</sup> Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor Assistente do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) - Campus de Sinop. Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Setor Industrial, CEP: 78550-000 - Sinop, MT. < stangerlin@ufmt.br >

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, M.Sc., Professor Assistente do Campus Professora Cinobelina Elvas, Universidade Federal do Piauí. Bom Jesus, PI. < rrmelo2@yahoo.com.br >

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas, RS. < darcigatto@yahoo.com >

<sup>4</sup> Acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Industrial Madeireira, DEA-UFPEL. < pedrocademartori@gmail.com >

## STATIC BENDING PROPERTIES OF *Carya illinoensis* WOOD IN TWO MOISTURE CONTENT CONDITIONS

**Abstract:** This work aimed to determinate static bending properties (elasticity and strength) of *Carya illinoensis* wood in two moisture conditions through of density. For this, five adult trees were felled in the physiographic regions of the Central Depression and the Upper Slopes of the Northeast regions, both in the state of Rio Grande do Sul. For each tree, were removed logs with 2.5 m of length to realize sawing and, later, specimen production with dimension of 2.5 x 2.5 x 41 cm, high dimension to axial direction. The static bending tests were realized with the wood saturated with water (green wood) and the equilibrium moisture content of 12% (dry wood). The results indicate that the presence of water in the timber substantially reduces the values of elasticity and strength. Furthermore, the use of the density is adequate to estimate elasticity and strength properties of *Carya illinoensis* wood, both dry wood at 12% moisture content as to the condition of water saturation.

**Keywords:** wood quality; mechanical properties; modulus of elasticity; modulus of rupture.

### 1 INTRODUÇÃO

A eficiente utilização de um material, principalmente para fins estruturais, está condicionada ao conhecimento de suas propriedades físico-mecânicas, tanto no que se refere aos aspectos de segurança, quanto aos de economicidade. Dessa forma, a madeira merece especial destaque, em razão da grande variabilidade que suas propriedades apresentam em comparação com as de outros materiais, da sua adequabilidade a inúmeras utilizações e da enorme variedade de espécies existentes (LISBOA et al., 1993).

Para avaliação dos usos de determinada madeira é necessário que se conheça as propriedades físico-mecânicas, pois isto permite compará-la com outras madeiras de propriedades conhecidas, e por analogia indicar as provas adicionais necessárias para conhecer sua utilização (STANGERLIN et al., 2008).

Dentre os ensaios mecânicos realizados para avaliação da qualidade da madeira pode-se destacar a flexão estática. Segundo Moreschi (2010), a propriedade mecânica de flexão estática se refere ao comportamento que a madeira possui ao ser submetida a uma

carga aplicada em sua face tangencial, com o objetivo de provocar seu flexionamento. Para fins práticos, a madeira, até determinado ponto, apresenta uma característica elástica, onde se cessarmos a força que a deforma, ela ainda apresenta capacidade de voltar ao seu estado original. A partir do ponto em que a madeira deixa de ser elástica, ela passa a ser plástica. Ou seja, ela não apresenta mais a capacidade em retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada.

Diversos fatores podem influenciar as propriedades mecânicas, dentre as quais se pode citar: a forma e as dimensões das peças, o ângulo de inclinação das fibras, a massa específica, o teor de umidade, a temperatura, as propriedades anatômicas, a composição química e a deterioração do material.

O conteúdo de umidade nas árvores, dependendo, principalmente, da espécie e tipo de madeira, pode ser bastante elevado. Em geral, logo após o abate da árvore, a madeira apresenta teores de umidade que podem oscilar entre 40 e 140%. A presença de água na madeira altera substancialmente os valores de resistência mecânica da mesma. Segundo Freitas (1982), para cada tipo de esforço mecânico há uma diminuição da resistência com o aumento do teor de umidade, até que o ponto de saturação das fibras seja atingido.

Conforme Kollmann (1959), Panshin; De Zeeuw (1980) e Vital (1984) a massa específica é uma das variáveis que fornece mais informações sobre uma dada espécie, visto que influencia significativamente diversas propriedades, sendo utilizada para qualificação das madeiras.

A massa específica é uma medida da quantidade de parede celular presente em uma determinada espécie de madeira. Uma vez que a massa específica da parede celular é aproximadamente constante, independente da espécie florestal, a porosidade é que irá determinar em grande parte a massa específica da madeira. Quanto maior o volume de espaços vazios (poros) menor será a massa específica e vice-versa.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades de flexão estática (elasticidade e resistência) da madeira de *Carya illinoensis* sob duas condições de umidade (saturada e seca a 12%), e verificar a precisão da estimativa dessas propriedades por meio da massa específica aparente.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram selecionadas cinco árvores adultas com bom fuste e diâmetro a altura do peito (DAP) superior a 30 cm. A seleção das árvores foi realizada em duas regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul, sendo elas a Depressão Central e a Encosta Superior do Nordeste, de forma a contemplar as principais variações de solo e clima.

O material foi selecionado pela extração ao acaso, conforme norma American Society for Testing and Materials - ASTM D5536-94 (1995) em plantios homogêneos de nogueira-pecã. De cada árvore, retirou-se a primeira tora de 2,5 m de comprimento, partindo da base, sendo as mesmas, posteriormente, transportadas para serraria particular.

Na serraria, cada tora foi desdobrada em serra-de-fita retirando-se um pranchão central de 8 cm de espessura, a partir do qual foram confeccionados dez corpos-de-prova com dimensões de 2,5 x 2,5 x 41 cm, com maior dimensão no sentido axial, totalizando 50 corpos-de-prova por espécie em estudo.

Após a confecção, os corpos-de-prova foram encaminhados ao Laboratório de Tecnologia da Madeira (LTM), pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). Dividiu-se o total de corpos-de-prova, por espécie, em dois grupos de 25 corpos-de-prova cada. O primeiro grupo, denominado madeira seca, foi armazenado em câmara climatizada, com temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%, até atingirem umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%. Por sua vez, o segundo grupo, denominado madeira verde, foi submetido a imersão em água até ser atingida a máxima absorção – ponto de saturação das fibras (PSF).

Após a climatização e saturação dos corpos-de-prova determinaram-se a massa e as dimensões, para cada condição de umidade, com auxílio de balança eletrônica e paquímetro digital, respectivamente, com precisões de 0,01 g e 0,01 cm. Por meio da relação entre massa e volume foi determinada a massa específica aparente a 12% e saturada.

Para caracterização das propriedades de flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura), os corpos-de-prova saturados em água (madeira verde) e estabilizados ao teor de umidade de equilíbrio de 12% (madeira seca) foram submetidos a ensaios mecânicos em máquina universal de ensaios, de modo a atender as prescrições da norma ASTM D143-94 (1995).

Os resultados foram analisados com auxílio de pacote estatístico, para tanto se realizou a comparação das médias da massa específica aparente e dos módulos de elasticidade e de ruptura, nas duas condições de umidade, pelo teste de Least Significant Difference (LSD) de Fisher a 5% de probabilidade. Além disso, foram estimados os módulo de elasticidade e de ruptura em função da massa específica aparente, por meio de análise de regressão linear.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 1 verifica-se o teste de médias entre o módulo de elasticidade, módulo de ruptura e a massa específica dos corpos-de-prova submetidos as duas condições de umidade.

De modo geral, a presença de água na madeira reduziu substancialmente os valores de elasticidade e resistência, já que as médias apresentadas pelos corpos-de-prova submetidos as duas condições de umidade diferiram significativamente entre si a 5%, pelo teste de LSD de Fischer. A alteração dos valores de elasticidade e resistência ocorre de forma distinta, em termos de magnitude, para cada tipo de ensaio mecânico, sendo que, normalmente, há uma diminuição das propriedades com o aumento do teor de umidade, até que o ponto de saturação das fibras seja atingido. Segundo Trevisan et al. (2003) e Lima et al. (1986) a única exceção que se tem são nos ensaios mecânicos de tração perpendicular as fibras, em que não são observadas diferenças significativas nas propriedades mecânicas da madeira verde e seca.

Os valores da razão (madeira seca/madeira úmida) encontrada para os módulos de elasticidade e de ruptura foram de 1,43 e 1,63, respectivamente. Para a mesma espécie, Bodig; Jayne (1982) encontraram valores da razão de 1,26 (módulo de elasticidade) e 1,4 (módulo de ruptura). Apesar das diferenças, pode-se observar uma mesma tendência, sendo a razão das propriedades (madeira seca/madeira úmida) maior para o módulo de ruptura em comparação ao módulo de elasticidade.

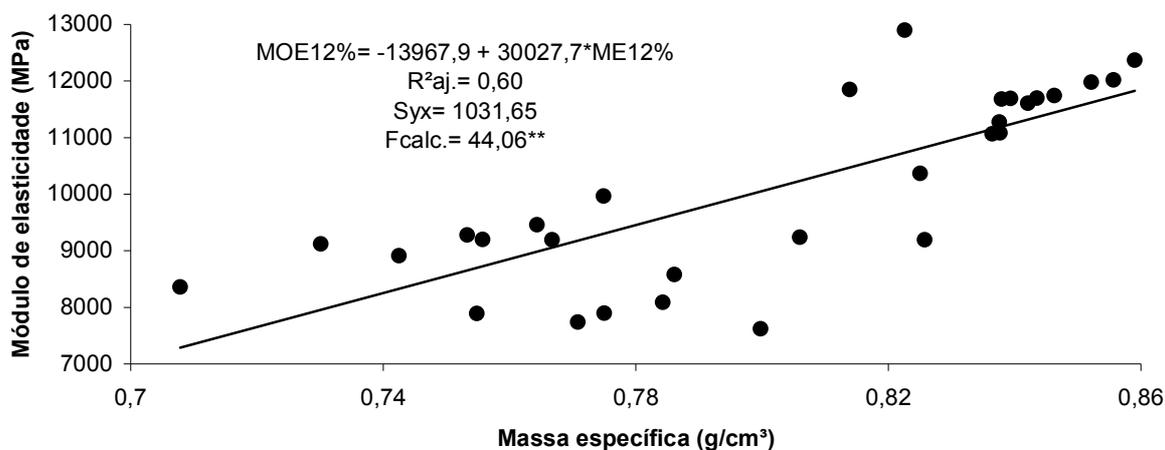
**Tabela 1.** Valores médios e desvio padrão da massa específica aparente e dos módulos de elasticidade e de ruptura da madeira de nogueira-pecã ao teor de umidade de equilíbrio de 12% e saturada em água.

**Table 1.** Medium values and standard deviation of density, modulus of elasticity and modulus of rupture of nogueira-pecã wood at 12% equilibrium moisture content and saturated in water.

Espécie	12%	Saturada em água
MOE	10101,65 (1626,19) a	7052,13 (727,59) b
MOR	82,96 (9,10) a	50,73 (9,57) b
ME	0,80 (0,04) b	1,16(0,03) a

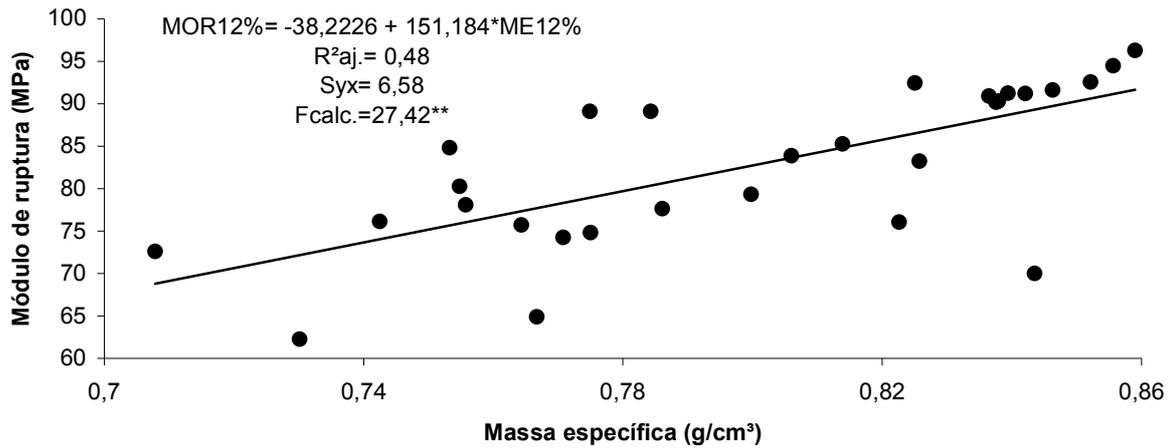
Em que: MOE= módulo de elasticidade (MPa); MOR= módulo de ruptura (MPa); ME= massa específica aparente ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ). Médias seguidas na horizontal por uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste LSD de Fischer ( $p \geq 0,05$ ). Valor entre parênteses refere-se ao desvio padrão.

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 são apresentadas as regressões lineares, bem como os parâmetros estatísticos gerados para estimativa dos módulos de elasticidade e de ruptura em função da massa específica aparente ao teor de umidade de equilíbrio de 12% e saturada em água.



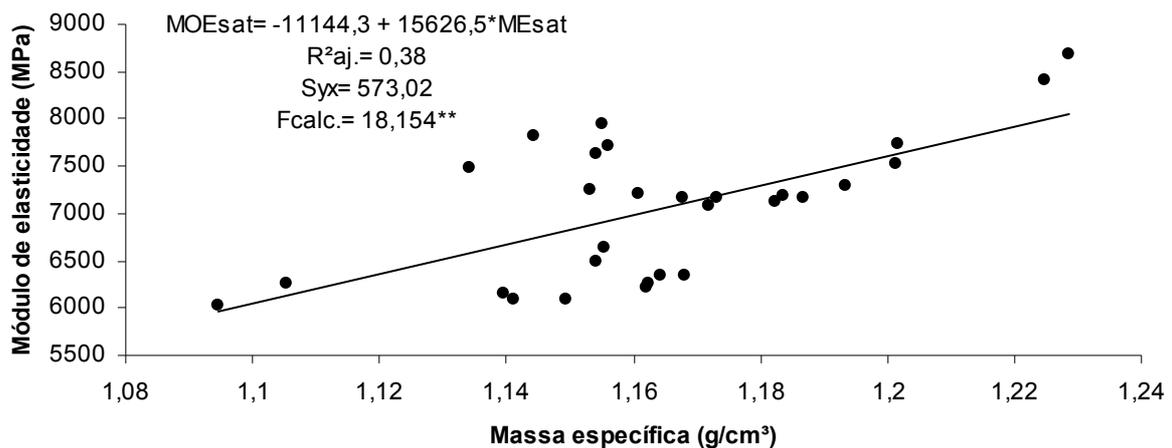
**Figura 1.** Modelo estatístico para estimativa do módulo de elasticidade em função da massa específica aparente ao teor de umidade de equilíbrio de 12%.

**Figure 1.** Statistical model to estimate modulus of elasticity as a function of density at 12% equilibrium moisture content.



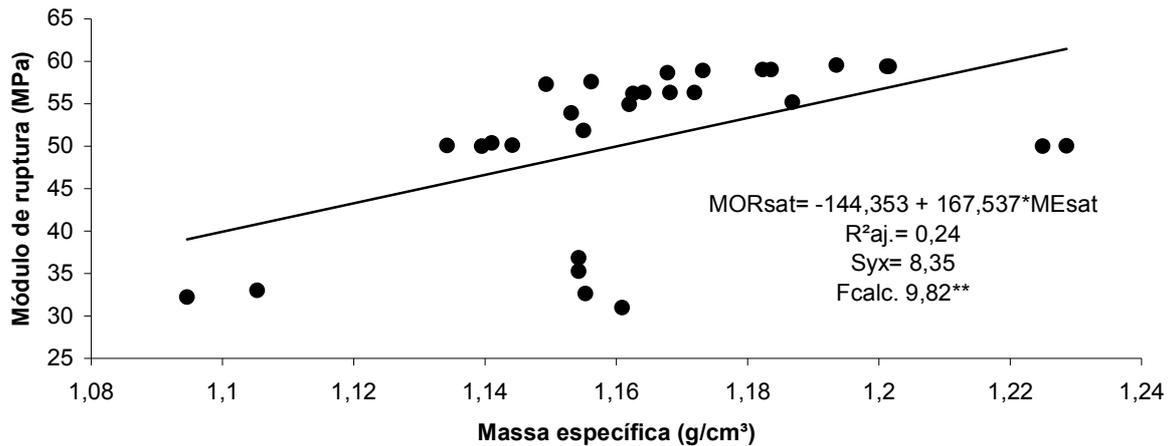
**Figura 2.** Modelo estatístico para estimativa do módulo de ruptura em função da massa específica aparente ao teor de umidade de equilíbrio de 12%.

**Figure 2.** Statistical model to estimate modulus of rupture as a function of density at 12% equilibrium moisture content.



**Figura 3.** Modelo estatístico para estimativa do módulo de elasticidade em função da massa específica saturada em água.

**Figure 3.** Statistical model to estimate modulus of elasticity as a function of density saturated in water.



**Figura 4.** Modelo estatístico para estimativa do módulo de ruptura em função da massa específica saturada em água.

**Figure 4.** Statistical model to estimate modulus of rupture as a function of density saturated in water.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que os melhores ajustes das regressões lineares, considerando as condicionantes avaliadas, foram para a estimativa dos módulos de elasticidade e de ruptura da madeira ao teor de umidade de 12%. Comportamento semelhante ao observado por Vivian et al. (2010) ao analisar a estimativa dos módulos de elasticidade e de ruptura para a madeira de *Peltophorum dubium*. Segundo Bodig; Jayne (1982) é de fundamental importância manter uma distribuição uniforme de umidade através do corpo-de-prova durante testes mecânicos, visto que o estado de esforço dentro do corpo-de-prova irá variar de ponto a ponto e conseqüentemente modificará os resultados dos testes.

Apesar das equações ajustadas, tanto para o módulo de elasticidade quanto para o módulo de ruptura em função da massa específica aparente serem significativas ao nível de 1%, pode-se observar que os coeficientes de determinação foram baixos, quando comparados aos registrados, normalmente, na literatura (DIAS; LAHR, 2004). Da mesma maneira como observado por Haselein et al. (2002), a possível explicação para tal resultado talvez seja o baixo intervalo de variação das propriedades estudadas, sendo assim não possibilitando uma boa correlação.

## 4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- As propriedades de flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura) apresentam tendência de redução com o acréscimo de umidade.
- O uso da massa específica aparente pode ser um bom indicador das propriedades mecânicas da madeira. No entanto, seu emprego deve ser realizado de modo cauteloso, visto que com o aumento do conteúdo de umidade ocorre uma redução na precisão de ajuste de modelos para predição das propriedades mecânicas.

## 5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-143**: Standard methods for conducting machining tests of wood and wood base materials. Philadelphia, 1995, p. 226-245.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-5536**: Standard practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties. Philadelphia, 1995, p. 605-613.

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

DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.65, p.102-113. 2004.

FREITAS, A. Potencial de utilização de madeiras em construções. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 1., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT, 1982.

HASELEIN, C.R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E.J.; LOPES, M.C. Propriedade da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.2, p.147-152. 2002.

LISBOA, C.D.J.; MATOS, J.L.M.; MELO, J.E. **Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas**. Brasília: Ibama, 1993. (Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Floresta, 1).

KOLLMANN, F. **Tecnología de la madeira y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.

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**, Viçosa, v.10, n.1, p.27-43. 1986.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, 2010. 176 p.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4.ed. New York: Mc. Graw Hill, 1980. 722p.

STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; SANTINI, E.J.; GATTO, D.A.; DOMINGUES, J.M.X.; CALEGARI, L.; MULLER, M.T. Avaliação da resistência ao impacto para as madeiras de *Eucalyptus botrioides* e *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 10., 2008, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2008. p.1-7.

TREVISAN, R.; STAHL, J.; HASELEIN, C.R.; LOPES, M.C.; ROSSO, S. Comparação entre as propriedades mecânicas da madeira verde e seca de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 9., 2003, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2003. p.1-6.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: Boletim Técnico SIF, 1984. 21p.

VIVIAN, M.A.; MODES, K.S.; BELTRAME, R.; MORAIS, W.C.; SOUZA, J.T.; MACHADO, W.G.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R. Resistência da madeira de canafistula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) ao PSF e a umidade de equilíbrio. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.1, n.1, p.12-25. 2010.