

INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DAS TORAS NA SECAGEM AO AR LIVRE DE
Eucalyptus globulus Labill

Anderson Pertuzzatti¹, Rômulo Trevisan², Tamires Fioresi¹, Jéssica Emília Rabuske³, Andréia Vanize Trautenmüller³, Cristiane Isabel da Motta³, Camila Carelli Netto⁴

Resumo: Este trabalho objetivou avaliar a influência do diâmetro das toras de *Eucalyptus globulus* Labill na secagem ao ar livre, que foi realizada no município de Encruzilhada do Sul – RS, entre agosto de 2011 e abril de 2012. Para tanto, foram colhidas 32 árvores, das quais foram utilizadas apenas as primeiras toras, de 2,20 m de comprimento, que foram distribuídas em quatro classes de diâmetro (5-10, 10-15, 15-20 e 20-25 cm). Após a determinação da umidade inicial, o acompanhamento da secagem foi realizado por pesagens periódicas das toras de 15 em 15 dias. Os dados foram submetidos à análise de regressão utilizando o pacote estatístico “*Statistical Analysis System*” (SAS, 1993) no qual foi aplicado o procedimento de seleção de variáveis – *Stepwise*. O diâmetro influenciou na secagem, visto que as toras pertencentes às menores classes apresentaram teor de umidade final inferior às de maior diâmetro. O período de 230 dias de secagem foi suficiente para atingir o PSF em todos os diâmetros.

Palavras-chave: Secagem natural; madeira; umidade; condições climáticas.

INFLUENCE OF LOGS DIAMETER IN AIR DRYING OF *Eucalyptus globulus* Labill

Abstract: This study aimed to evaluate the influence of logs diameter in the air-drying of *Eucalyptus globulus* Labill, in the town of Encruzilhada do Sul - RS, between August 2011 and April 2012. There were harvested 32 trees, of which were used only the first logs, of 2.20 m length, which were shared into four diameter classes. Thereafter, it was estimated the initial moisture content of logs, and the air drying monitoring was accomplished by periodic

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria - CESNORS - Campus Frederico Westphalen/RS, <andersonpertuzzatty@hotmail.com>, <tamires_fioresi@yahoo.com.br>.

² Engenheiro Florestal, Dr., Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Educação Superior Norte - RS, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 98.400-000, Frederico Westphalen, (RS), <romulo_trevisan@ufsm.br>.

³ Engenheira Florestal, Graduada, Centro de Educação Superior Norte - RS, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 98.400-000, Frederico Westphalen, (RS), <jessicarabuske@gmail.com>, <deianize@yahoo.com.br>, <jessicarabuske@gmail.com>.

⁴ Engenheira Florestal, MSc., Terras Verdes Florestadora Ltda., CEP 96.610-000, Encruzilhada do Sul, (RS), <camila.netto@terrasverdes.com.br>.

weighing, from 15 to 15 days. The data were subjected to regression analysis using the statistical package "Statistical Analysis System" (SAS, 1993) in which the procedure was applied variable selection - Stepwise. The diameter influence on drying, since the logs belonging to the classes showed lower final moisture content lower than those of larger diameter. The period of 230 days drying was sufficient to achieve the PSF for all diameters.

Keywords: Natural drying; moisture content; wood; climatic conditions.

1 INTRODUÇÃO

A madeira sempre ocupou um lugar de destaque dentre os diversos materiais utilizados pelo homem, justificando a busca de novas técnicas de colheita, desdobro e secagem que buscam aumentar o aproveitamento da matéria-prima. Destaca-se que a decisão do uso da madeira é influenciada por resistência mecânica, umidade final e características do ambiente que a mesma será exposta (ROSSO, 2006).

A secagem é o balanço dinâmico entre a transferência de calor da corrente de ar para a superfície da madeira e a transferência de umidade da madeira para a corrente de ar (HART, 1966; KLITZKE, 2003; SANTOS et al., 2003).

A secagem da madeira é o processo de remoção de água, a fim de levá-la a uma umidade final pré-definida, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável para o uso a que se destina (MARTINS, 1988).

O processo de secagem é influenciado por uma série de fatores, tanto relacionados com o ambiente, como intrínsecos à própria madeira. Como exemplo, pode-se citar a espécie, umidade inicial, diferença de lenhos, densidade e espessura das peças. Dentre os fatores inerentes ao ambiente, encontram-se a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e potencial de secagem (PONCE; WATAI, 1985) e, por essas razões, torna-se difícil prever a duração do ciclo e os resultados desse processo.

A secagem ao ar livre é um método bastante adotado no Brasil, que exige investimento relativamente baixo, porém possui ciclos longos. O mesmo consiste em expor a madeira às condições do ambiente para que, pela ação dos ventos, umidade relativa e temperatura ambiente, seja eliminado o máximo da água existente no material. Assim, é um método dependente das condições atmosféricas. Particularmente, na região Sul do país, o processo é mais favorável no período da primavera/verão, quando temperatura e insolação são mais intensas e observam-se menor umidade relativa e precipitação (SANTINI, 1992). Esse processo

muitas vezes é utilizado como pré-secagem, realizando-se a fase final em câmaras, como também, para secagem completa, dependendo do seu uso (PONCE; WATAI, 1985).

O processo de secagem ao ar livre é rápido no início, quando o material está perdendo água livre (JANKOWSKY, 1990). Uma madeira pode ter sua umidade reduzida em mais de 50 pontos percentuais nas três semanas iniciais de secagem ao ar livre, reduzindo-se essa taxa nas semanas subsequentes (PONCE; WATAI, 1985). A tendência é que, com o tempo, o material atinja a umidade de equilíbrio, que é dependente da temperatura e da umidade relativa do local (LIMA; MENDES, 1995; ROSSO, 2006).

Segundo Seixas et al. (2005), estudando o balanço energético e econômico do descascamento de toras de *Eucalyptus grandis* aos oito anos de idade, foi observado que, após 182 dias de secagem, a umidade média passou de 132% para 49% de toras com casca e de 108% para 38% de toras sem casca.

Gatto et al. (2003), trabalhando com toras de *Eucalyptus spp* destinadas à carbonização secando ao ar livre durante 80 dias, no Rio Grande do Sul, observaram que o teor de umidade não variou significativamente entre as diferentes posições de amostragem das toras para controle de umidade (região inferior, central e superior da pilha), sendo especificamente influenciado pelo tempo de exposição das toras às condições ambientais. Ao final do período de secagem, a umidade das toras encontrava-se bem superior ao ponto de saturação das fibras, em torno de 70%, representando maior custo de transporte de madeira e menor rendimento gravimétrico.

Haja vista a importância da secagem da madeira, o presente trabalho visa identificar o período necessário para que todas as toras de *Eucalyptus globulus* Labill atinjam o ponto de saturação das fibras (PSF), a fim de obter menor custo com o transporte do material, visto que essas toras serão conduzidas para uma indústria de painéis.

Embora na literatura sejam encontrados vários estudos relacionados à secagem da madeira, tais esforços concentram-se mais na madeira serrada, principalmente no processo artificial e, secundariamente, no processo natural ou ao ar livre. Neste contexto, este trabalho foi executado com o objetivo de avaliar a influência do diâmetro na secagem ao ar livre de toras de *Eucalyptus globulus* Labill, realizado no município de Encruzilhada do Sul, RS.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 32 árvores de *Eucalyptus globulus* com 14 anos de idade. O plantio pertence à empresa Terras Verdes Florestadora Ltda. e está

localizado no município de Encruzilhada do Sul, RS (30°32'S, 52°31'W, 432 m de altitude) com espaçamento inicial de plantio de 3,0 x 2,0 m.

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, caracterizado por verão quente e sem déficit hídrico, com temperatura média anual de 17,3°C e precipitação média igual a 1.500 mm anuais (FIOR et al., 2010). Na Tabela 1 são apresentados os dados meteorológicos do período de estudo.

Tabela 1. Condições climáticas de Encruzilhada do Sul, RS (26 de agosto de 2011 a 13 de abril de 2012).

Table 1. Climatic conditions of Encruzilhada do Sul, RS (August 26th, 2011 to April 13th, 2012).

Variáveis climáticas	2011					2012			
	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
Precipitação (mm)	37,4	75,8	192,6	47,4	71,1	65,9	169,4	54,9	83,4
Temperatura (°C)	12,8	15,5	17,8	20,6	21,1	23,7	25,4	22,4	20,3
Umidade relativa (%)	78	70	73	64	66	66	70	66	71

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012)

As árvores-amostra foram selecionadas em função de quatro classes de diâmetro a 1,30 m do solo (DAP – diâmetro à altura do peito) previamente estabelecidas, sendo denominadas de classe 1 (5-10 cm), classe 2 (10-15 cm), classe 3 (15-20 cm) e classe 4 (20-25 cm). Depois, as árvores foram colhidas e seccionadas, das quais, a primeira tora com casca, de 2,20 m de comprimento, foi selecionada e identificada para a secagem ao ar livre no próprio local de colheita. Cabe salientar que as toras foram acondicionadas sem a separação por classes de diâmetro na pilha, como pode ser observado na Figura 1.



Figura 1. Aspecto da pilha de *Eucalyptus globulus* Labill no local de colheita.
Figure 1. Cell aspect of *Eucalyptus globulus* Labill at the sampling.

Da tora amostra foi retirado um disco de cada extremidade com aproximadamente 3 cm de espessura. O material, depois de identificado, foi pesado no próprio local com uma balança digital de 0,01 g de precisão, acondicionado em saco plástico e enviado ao Laboratório de Tecnologia de Madeira do Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul (CESNORS-UFSM) em Frederico Westphalen.

Os discos foram secos em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante para determinação da umidade inicial conforme a Norma NBR11941/2003, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003). Foi considerada como estimativa da umidade inicial de cada tora a média dos dois discos correspondentes, conforme metodologia proposta por Rasmussen (1961). A umidade inicial foi obtida para todos os discos a partir da Equação 1.

$$U_i = ((M_u - M_s) / M_s) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: U_i : umidade inicial (%); M_u : massa úmida (g); M_s : massa anidra (g).

Após a obtenção da umidade inicial, foi determinada a massa inicial das toras através de pesagens individuais com o auxílio de uma balança mecânica com capacidade de 300 kg e precisão de 0,2 kg. Em seguida, foi possível estabelecer, com pesagens periódicas a cada 15 dias, a variação da umidade das toras até que todas as classes atingissem o ponto de saturação das fibras (30%), conforme a Equação 2.

$$U_a = M_a \times ((U_i + 100)/M_u) - 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: U_a : umidade atual (%); M_a : massa atual da tora (kg); U_i : umidade inicial média estimada a partir dos discos (%); M_u : massa úmida inicial da tora (kg).

Os dados amostrados foram submetidos à análise de regressão utilizando o pacote estatístico “*Statistical Analysis System*” (SAS, 1993) no qual foi, primeiramente, aplicado o procedimento de seleção de variáveis – *Stepwise*. O modelo foi definido pela umidade (U), em porcentagem, em função do tempo de secagem (t), em dias, pela Equação 3.

$$U = f(t; 1/t; t^2; 1/t^2; \ln t; \sqrt{t}) \quad (\text{Equação 3})$$

O melhor modelo foi selecionado quanto às condicionantes da regressão com base no coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), coeficiente de variação (CV), erro padrão da estimativa (S_{xy}) e análise da distribuição dos resíduos.

Após esse procedimento, no modelo escolhido para descrever a umidade das toras em função do tempo de secagem foram adicionadas variáveis *Dummy*, que assumiram valores de 0 e 1, conforme a classe de diâmetro, da seguinte forma: $D_i = 1$, se a árvore estivesse presente na classe de diâmetro i ; e $D_i = 0$, se a árvore não estivesse presente na classe de diâmetro i .

Com esse método, foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para as quatro classes de diâmetro estudadas, valendo-se de uma regressão linear múltipla representada pelas variáveis independentes descritas na Equação 4.

$$U = f(X; D_i; D_i.X) \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: U: umidade da tora, em porcentagem; X: tempo de secagem selecionado pelo procedimento *Stepwise* de regressão, em dias; D_i : *Dummy* (classes de diâmetro, em que $i = 1, 2, 3$ e 4); $D_i.X$: interação entre as variáveis D_i e X

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma geral, observou-se que a média das quatro classes de diâmetro das toras foi de 125% de umidade no início do processo e que após 230 dias de secagem, a classe 4 (maior diâmetro) atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF). Destaca-se também que as classes 1, 2 e 3 atingiram o PSF com 190, 215, 225 dias de secagem, respectivamente. Já em um estudo realizado por Barros (2006), que analisou a secagem ao ar livre de toras sem casca de

Eucalyptus grandis com 11 anos de idade, com comprimento de 2,30 m, o autor verificou que as toras atingiram umidade média de 40% após 60 dias de exposição às condições ambientais, partindo de uma umidade inicial de 106%.

A equação de regressão selecionada ($U = 131,62 - 6,966\sqrt{t}$) para estimar a variação da umidade (U) com o tempo de secagem (t) apresentou coeficiente de variação igual a 22,2%, coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) de 0,81 e erro padrão da estimativa de $\pm 13,6\%$.

Com base no modelo selecionado, os resultados de umidade em função do tempo de secagem foram então relacionados com as respectivas classes de diâmetro e submetidos à análise de regressão com o emprego de variável *Dummy* (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância da regressão reajustada com variável *Dummy* (tipo SS1) da umidade do *Eucalyptus globulus* em função das classes de diâmetro.

Table 2. Analysis of variance of readjusted regression with *dummy* variable (type SS1) of *Eucalyptus globulus* moisture content related to diameter classes.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Modelo	7	51118,04*
\sqrt{t}	1	345560,16*
D1	1	6103,59*
D2	1	11,90 ^{ns}
D3	1	149,44 ^{ns}
D4	0	-
D1. \sqrt{t}	1	210,20 ^{ns}
D2. \sqrt{t}	1	2892,73*
D3. \sqrt{t}	1	2898,27*
D4. \sqrt{t}	0	-
Erro	428	160,43
Total	435	-

Em que: t: tempo de secagem, em dias; D_i: classe de diâmetro i (*Dummy*); *: significativo em nível de 5% de probabilidade; ns: não significativo.

A equação selecionada não pode ser utilizada para todas as classes de diâmetro, pois a *Dummy* D₁ empregada para verificar a influência da classe 1 (5-10 cm) no tempo de secagem foi significativa em nível de 5% de probabilidade (Tabela 2). Na mesma tabela, verifica-se, ainda, que a interação D3. \sqrt{t} e D2. \sqrt{t} foi significativa entre as classes de diâmetro e o tempo de secagem.

Com o objetivo de verificar as diferenças de umidade existentes entre as classes de diâmetro, as curvas de secagem foram plotadas ajustando-se à equação selecionada pelo

procedimento *Stepwise*. Os valores de umidade são mostrados na Figura 1 e foram estimados, para as quatro classes de diâmetro, pela equação: $TU = 134,1659 - 6,8796\sqrt{t} - 9,4856D1 - 0,2618(D2 \cdot \sqrt{t}) - 0,5994(D3 \cdot \sqrt{t})$, em que: TU = teor de umidade, %; t = tempo de secagem, dias; D1 = variável *Dummy* correspondente à classe 1 (5-10 cm); $D1 \cdot \sqrt{t}$ = interação tratamento (*Dummy*) com a variável \sqrt{t} ; $D3 \cdot \sqrt{t}$ = interação tratamento (*Dummy*) com a variável \sqrt{t} .

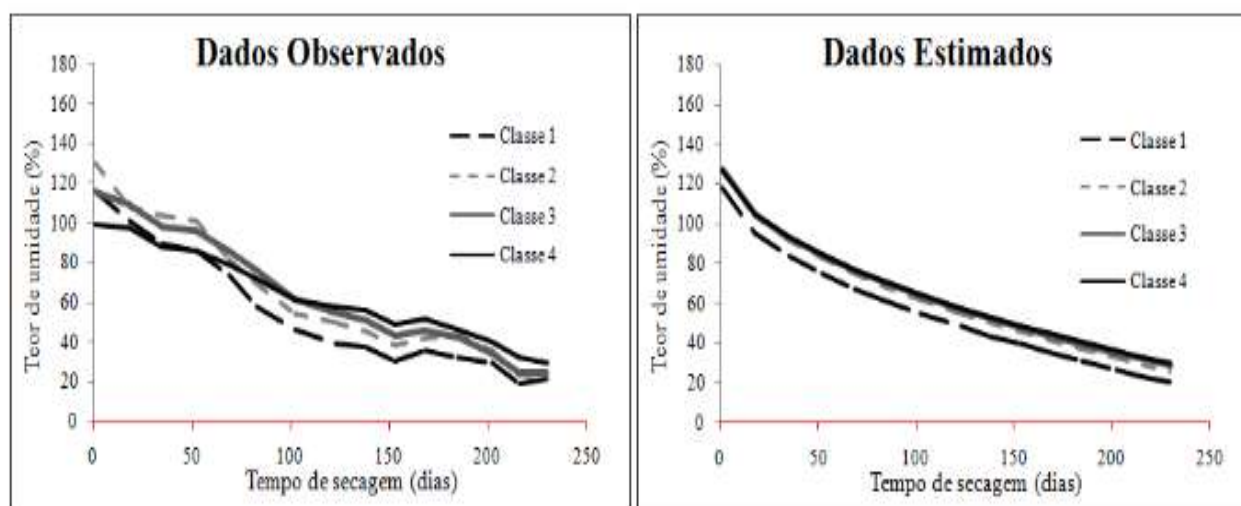


Figura 2. Curvas de secagem de toras de *Eucalyptus globulus* de acordo com a classe de diâmetro.

Figure 2. Drying curves of *Eucalyptus globulus* logs according to the diameter class.

Analisando-se a Figura 2, observou-se que as classes de diâmetro influenciaram na umidade final das toras, visto que a classe 1 (5-10 cm) apresentou a menor média (20,3%) e a classe 4 (20-25 cm) a maior (29,8%). Esses resultados concordam com os estudos de Vital et al. (1985), no qual é afirmado que o período de 90 dias de secagem de toras ao ar livre não é suficiente para atingir o PSF.

Diferentes comportamentos de secagem, para toras com diferentes diâmetros, também foram constatados por Vital et al., (1985), em que aquelas de menores diâmetros, apresentaram menores valores de umidade (16% a 27%) que toras de maiores diâmetros (acima de 50%), decorridos 175 dias de secagem ao ar livre. Visto que a secagem ao ar livre sofre influência das condições climáticas do local, além dos fatores inerentes à própria madeira.

A secagem do *Eucalyptus globulus* apresentou poucas oscilações na umidade entre os períodos de estudo. Ressaltando que ocorreram algumas oscilações entre perda e ganho de umidade no decorrer das medições em função da ocorrência de precipitações pluviométricas. Conforme Ferreira et al. (1983), as maiores taxas de secagem de toras de *Eucalyptus saligna* foram verificadas na primeira semana após a colheita, e a umidade tendeu a valores constantes

a partir da quarta semana. Evidentemente, a secagem natural depende das condições ambientais que as pilhas ficaram sujeitas, nos quais elevados valores de umidade relativa podem prolongar o período de secagem e vice e versa.

4 CONCLUSÃO

As classes de diâmetro influenciaram a secagem de toras de *Eucalyptus globulus* Labill, visto que as de menores diâmetros apresentaram teores de umidade inferiores no final do processo quando comparadas às de maiores diâmetros. A secagem ao ar livre por 230 dias foi suficiente para que todas as toras atingissem o PSF.

5 AGRADECIMENTOS

À Empresa Terras Verdes Florestadora Ltda. pela colaboração para a realização deste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: Madeira-determinação da densidade básica. Rio de Janeiro. ABNT, 2003 6p.

BARROS, M.V. **Fator de cubicação para madeira empilhada de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, com toretes de dois comprimentos, e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente**. 2006. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

FERREIRA, M. C.; SARAIVA FILHO, J. C.; FERNANDES, P. S. Variação da umidade da madeira de eucalipto estocada em pátios industriais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, 1982, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1983. p.779 -781.

FIOR, C. S.; RODRIGUES, L. R.; CALIL, A. C.; LEONHARDT, C.; SOUZA, L. dos S. de; SILVA, V. S. da. Qualidade fisiológica de sementes de guabijuzeiro (*Myrcianthes pungens* (Berg) Legrand – Myrtaceae) em armazenamento. **Árvore**, Viçosa, v.34, n.3, p.435-442, 2010.

GATTO, D. A.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; DURLO, M. A. Características da lenha produzida na região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.2, p.7-16, 2003.

HART, C. A. **The drying of wood**. Raleigh: North Carolina Agriculture Extension Service, 1966. 24 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 12 jul 2012.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 13 p.

KLITZKE, R. J. **Secagem da madeira**. Curitiba: UFPR, 2003. 98 p.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades do Estado de Minas gerais. **Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 272-276, 1995.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: Gutenberg, 1988. 56p.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Secagem da madeira**. Brasília: Instituto de Pesquisa Tecnológica, 1985. 72p.

RASMUSSEN, E. F. **Dry kiln operator's manual**. Madison: USDA, 1961. 188 p.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional**. 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SANTINI, E. J. Métodos usuais de secagem da madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DA MADEIRA, 1, 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Centro de Pesquisas Florestais/UFMS, 1992, p. 47-59.

SANTOS, G. R. V.; JANKOWSKY, I. P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.214-220, 2003.

SEIXAS, F.; BAUCH, S.C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. Revista **Scientia forestalis**, Piracicaba, n.67, p. 37-43, abr.2005. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr67/cap04.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2013.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; VALENTE, O. F. Estimativa do teor de umidade de lenha para carvão em função do tempo de secagem. **Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 1, p. 10-27, 1985.