

## ESTIMATIVA DO TEMPO DE AQUECIMENTO DE TORAS DE *Eucalyptus grandis* EM ÁGUA QUENTE.

CONEGLIAN, Ademilson

Docente do curso de Engenharia Florestal da FAEF, Garça/SP.

SEVERO, Elias Taylor Durgante

CALONEGO, Fred Willians

BORTOLETTO JUNIOR, Geraldo

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi adequar o modelo geral de determinação do tempo de aquecimento de toras, proposto por Steinhagen et al. (1980), para a madeira de *Eucalyptus grandis*. Para tanto, foram coletadas toras de 30 a <35cm de diâmetro de árvores de *E. grandis* provenientes do Horto Florestal de Manduri-SP, pertencente ao Instituto Florestal de São Paulo. Em cada uma das toras foi inserido um termopar próximo ao rolo-resto, na superfície e posição intermediária. Posteriormente, as toras foram aquecidas em água à 85°C de temperatura. Um coletor de dados registrou as temperaturas, no interior do material, durante o tratamento térmico. Conclui-se que o modelo de Steinhagen et al. (1980) não pode ser diretamente aplicado para a espécie em estudo e propõem-se fatores de correções para a utilização do modelo geral de determinação do tempo de aquecimento de toras, desenvolvido por Steinhagen et al. (1980), para a madeira de *Eucalyptus grandis*.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento em água, *Eucalyptus grandis*, termopares.

## HEATING TIMES ESTIMATE OF *Eucalyptus grandis* LOGS IN HEAT WATER.

### ABSTRACT

The aim this study was adjusted the general model of determination of the logs heating time, proposed for Steinhagen et al. (1980), for *Eucalyptus grandis* wood. In order to do it so, were collected logs with diameter of 30 at <35 cm, of tree of *Eucalyptus grandis* provided from Horto Florestal, Manduri, São Paulo. In each logs was inside thermocouples in its core radius and surface and intermediary position. The logs were heated in water at 85°C of temperature. The datalogger to record temperatures during the

thermal treatment. Concluded that the Steinhagen et al. (1980) model can't to be direct applied for the kind in study and are proposed corrections factors for utilization of the general model of logs heating time, development for Steinhagen et al. (1980), for *Eucalyptus grandis* wood.

KEY-WORD: water heating, *Eucalyptus grandis*, thermocouple.

## 1. INTRODUÇÃO

Como a madeira de eucalipto se apresenta como uma solução para a indústria dos serrados e laminados, estudar esse material é um fato inevitável e imprescindível para a produção de peças e laminas com qualidade.

Uma inovação tecnológica para o incremento da qualidade do desdobro, do desenrolo, da secagem e para minimizar as perdas de matéria-prima é o aquecimento de toras pela aplicação de vapor ou água quente por determinado tempo, com o intuito de fornecer calor e plasticizar o material e obter o alívio das tensões de crescimento (CHAFE, 1979; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; KUBLER, 1987; MEDINA, 1986 e STEINHAGEN e ROZAS 1998).

Rozas Mellado (1993), estudando a madeira de *Eucalyptus grandis*, com os mesmos propósitos, confirmou que o tratamento de vaporização das toras, previamente aneladas, foi efetivo na liberação das tensões de crescimento. Para tanto, o autor recomendou a vaporização das toras durante 18 horas a uma temperatura de 90°C.

Skolmen (1967), obteve reduções, de cerca de 50%, das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna*, com diâmetro de 15-20 cm, após um tratamento de 24 horas em água quente. Severo (1998), concluiu que a vaporização das toras de *Eucalyptus dunnii*, durante 20 horas, proporcionou uma redução significativa na ordem de 50% das tensões de crescimento.

Segundo o FOREST PRODUCTS LABORATORY (1989), a madeira submetida ao aquecimento com temperatura de 82°C pode até reduzir em cerca de 90% ou mais os efeitos da liberação das tensões de crescimento. Caso as toras sejam aquecidas com comprimentos longos e então seccionadas, o novo topo desenvolverá rachaduras com menores dimensões.

Madeiras com massa específica média em torno de 0,55 g/cm<sup>3</sup> podem ser laminadas, necessitando de um tempo aquecimento aproximado de 11 horas, para que o

rolo-resto atinja uma temperatura de 71°C desde que a temperatura do meio esteja próxima de 80°C (KOLLMANN, 1975).

Entretanto, Langrish e Walker (1993) afirmam que o conhecimento das propriedades térmicas da madeira é de fundamental importância para se estimar o tempo de aquecimento de toras.

Steinhagen et al. (1980), desenvolveram um método para a determinação do tempo de aquecimento levando em consideração as propriedades térmicas e físicas da madeira, características anatômicas, dimensões das toras, temperatura de aquecimento, temperatura desejada e temperatura do meio ambiente, como mostram as Equações 1 e 2.

$$t' = \frac{F * R^2}{D^2} \quad (\text{Eq.1})$$

sendo:

t' - tempo de aquecimento das toras, horas;

F - número de Furier (em função das temperaturas inicial e desejada das toras e da temperatura do meio aquecedor), adimensional;

R - raio médio das toras, m;

D - difusividade térmica média das toras, m<sup>2</sup>.h<sup>-1</sup>.

$$D = d * F_a \quad (\text{Eq.2})$$

sendo:

d - difusividade térmica (em função da temperatura inicial e da desejada nas toras), m<sup>2</sup>.h<sup>-1</sup>;

F<sub>a</sub> - fator de ajuste (em função do teor de umidade e da massa específica básica das toras), adimensional.

Steinhagen et al. (1987) desenvolveram um programa de computador denominado LOG-HEAT e chegaram à conclusão de que este programa é mais prático

que os métodos anteriores para determinar o tempo de aquecimento de toras e o consumo de energia durante o processo.

Rozas Mellado (1993), Severo (1998) e Tejada et al. (1997) salientaram a necessidade da realização de estudos específicos sobre o tempo de aquecimento de toras, visando definir, com exatidão, os limites de tempo e temperatura de aquecimento.

Esse trabalho teve como objetivo adequar o modelo geral de determinação do tempo de aquecimento de toras, proposto por Steinhagen et al. (1980), para toras de *Eucalyptus grandis* durante a sua imersão em água quente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo utilizaram-se toras de *Eucalyptus grandis* com 32 anos de idade, provenientes da Floresta Estadual de Santa Bárbara, pertencente Instituto Florestal, localizada no município de Santa Bárbara-SP. A coleta do material envolveu o abate ao acaso de 3 (três) árvores. Desse material, utilizamos somente as toras agrupadas na classe de diâmetro de 30 a <35 cm.

### 2.1 Coleta do Material

Os fustes foram traçados a cada 1,4m de comprimento e para evitar rachaduras. As toras foram aneladas a 20cm de cada uma das suas extremidades numa profundidade aproximada de 1/3 do raio, conforme a metodologia proposta por Sales (1986) e Kubler (1987). O comprimento final das toras foi de 1,10m após o descarte da região anelada.

Entre as toras foram retirados discos de 5cm de espessura. Todo o material foi identificado e os discos armazenados em sacos plásticos para a determinação do teor de umidade e da massa específica básica do material. Para a verificação dessas variáveis utilizou-se uma balança de precisão de 0,01g e uma estufa elétrica regulada com temperatura de  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

A massa específica básica foi determinada pelo método de pesagem através da equação 3:

$$Meb = \frac{Ms}{Msat - Msi} \quad (\text{Eq.3})$$

sendo:

Meb - massa específica básica, g/cm<sup>3</sup>;

Ms - massa seca em estufa a 103±2°C até o peso constante, g;

Msat - massa saturada, g;

Msi - massa imersa, g.

O teor de umidade inicial com base em massa seca foi determinado pelo método da estufa e através do uso da equação 4:

$$U\% = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100 \quad (\text{Eq.4})$$

Sendo:

U% - teor de umidade da madeira, %;

Mu - massa úmida, g;

Ms - massa seca em estufa a 103±2°C até o peso constante, g.

## 2.2 Determinação do tempo de aquecimento de toras em água quente

Em cada uma das toras foram realizados furos para a perfeita acomodação dos termopares. Cada tora recebeu 3 (três) termopares, sendo um a uma profundidade equivalente a superfície da tora, outro acomodado próximo ao rolo resto e outro numa posição intermediária entre os citados anteriormente.

Depois da acomodação dos sensores, os orifícios foram vedados com camadas de: serragem, retirada do próprio furo no momento da furação; silicone, material resistente a temperaturas e umidades elevadas; resina durepox, isolante térmico; e uma película de silicone, resistente à umidade, ao choque mecânico e à temperatura. Cada material foi aplicado durante um intervalo de 24 horas, permitindo dessa maneira, a secagem e fixação dos isolantes na madeira.

O comportamento da temperatura foi monitorado pelos termopares acoplados a uma base coletora de dados (Datalogger Micrologger CR10), durante todo o processo de aquecimento em água.

### 2.3 Aquecimento das toras

As toras foram submetidas ao tratamento térmico à 85°C de temperatura por um período necessário para que a superfície do rolo resto atingisse 80°C. Para tanto, foi utilizado um tanque de aço, pertencente ao Laboratório de Laminação (USP-ESALQ) com as seguintes dimensões 1,49m x 1,18m x 84cm equivalente à 1,53m<sup>3</sup> e com resistências elétricas como fonte geradora de calor.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme sugerido por Rozas Mellado (1993), Severo (1998) e Tejada et al. (1997) desenvolveu-se neste estudo um fator de correção de forma a permitir a utilização do modelo proposto por Steinhagen et al. (1980) para definir, com exatidão, o tempo de aquecimento em água para toretes de *E. grandis*, com massa específica básica 0,6g/cm<sup>3</sup> e 75% de teor de umidade com base em massa seca.

Para cada ganho de 1°C de temperatura, em cada uma das três profundidade de acomodação dos termopares nos toretes, determinou-se o tempo de aquecimento pelo modelo geral de Steinhagen et al. (1980) e coletou-se, conforme metodologia proposta neste estudo o tempo real de aquecimento.

Em seguida, com os dados logaritimizados do tempo obtido por Steinhagen e do tempo real de aquecimento aplicou-se o modelo de regressão em função da tendência observada dos pares de dados. Esta operação foi realizada para cada profundidade de acomodação dos termopares, como mostra a Figura 1. Para as três profundidades, optou-se pela escolha de um modelo linear crescente ( $Y=a+b*X$ ).

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos dos modelos ajustados para se calcular o tempo real de aquecimento dos toretes de *Eucalyptus grandis*.. Neste caso os

coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para os termopares inseridos na superfície, no rolo resto e o intermediário foram, respectivamente, 92,41%; 99,49% e 98,58%.

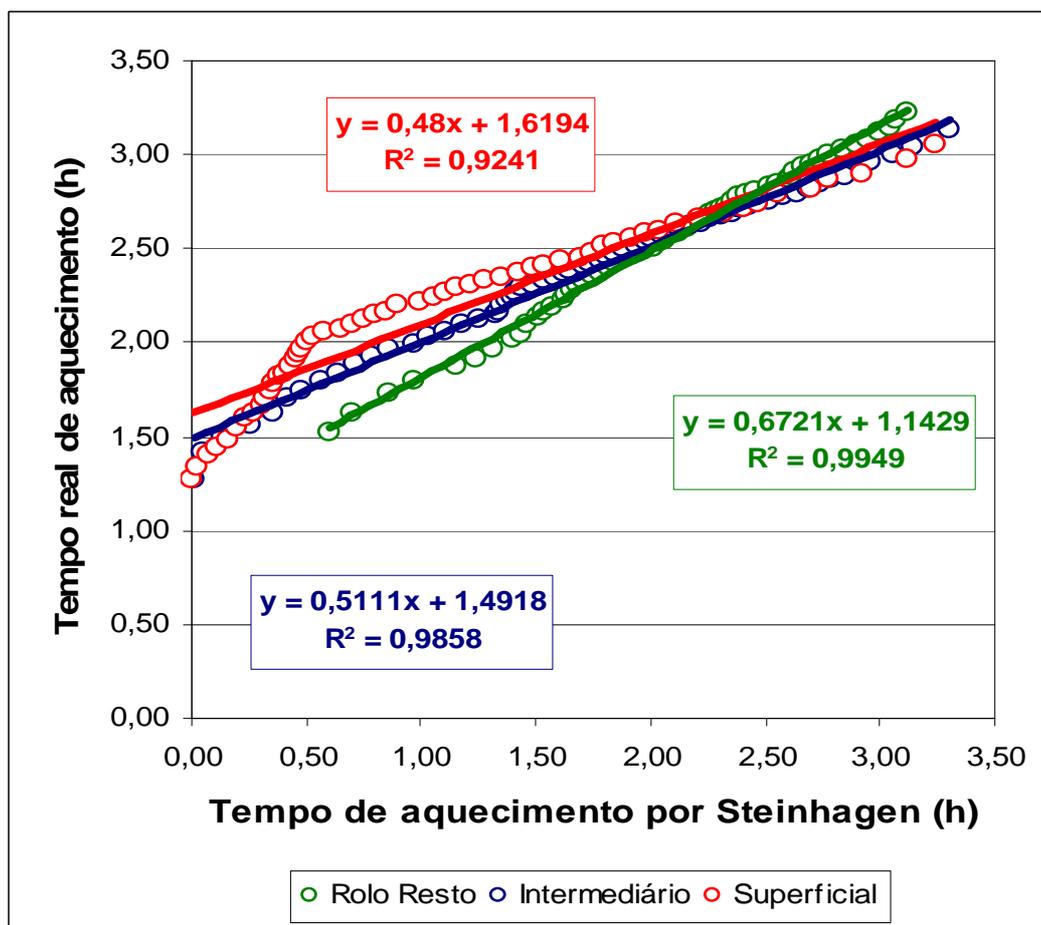


Figura 1: Relação entre o tempo de aquecimento em água quente, da madeira de *Eucalyptus grandis*, determinado pelo modelo Steinhagen e o real.

Através do desenvolvimento matemático dos modelos gerados em função das análises de regressão, obtiveram-se as equações propostas para a determinação do tempo de aquecimento de toras de *E. grandis*, para cada profundidade conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Equações propostas para determinação do tempo de aquecimento de toras de *Eucalyptus grandis*

Posição do termopar (cm)	Modelo		T°C na tora (°C)	Tempo de aquecimento pelo modelo	
	de Steinhagen	proposto		de Steinhagen	proposto
Rolo Resto		$T = e^{(1,1429 + 0,6721 * Lnt')}$	62	11h	15h43
Intermediário	$t' = \frac{F * R^2}{D^2}$	$T = e^{(1,4918 + 0,5111 * Lnt')}$	70	11h	15h08
Superficial		$T = e^{(1,6194 + 0,4800 * Lnt')}$	77	11h	15h57

onde: t' - tempo de aquecimento de toras por Steinhagen et al. (1980), horas; F - número de Furier, adimensional; R - raio médio das toras, m; D - difusividade térmica média das toras, m<sup>2</sup>.h<sup>-1</sup>; e T - tempo de aquecimento de toras pelo modelo proposto.

Verifica-se que o tempo de aquecimento obtido experimentalmente, para que os toretos atinjam a temperatura desejada, foi de 4h43min, 4h08min e 4h57min superior ao obtido pela aplicação do modelo geral proposto por Steinhagen et al (1980), respectivamente nos termopares superficial, intermediário e no rolo resto. Conclui-se que o modelo de Steinhagen não é diretamente aplicável para a espécie em questão (*E. grandis*) sendo necessário a adoção de fatores de correção.

Essa diferença pode ser explicada pela diversidade de espécies utilizadas. Os autores desenvolveram um modelo geral de vaporização baseado nas seguintes espécies: *Populus sp*, *Prunus serotina*, *Quercus sp* e *Pinus strobus*. A ausência do gênero *Eucalyptus* no desenvolvimento desse modelo requer a adoção de fatores de correções para estimar o tempo de vaporização de toras. Para que o modelo geral de determinação de tempo de vaporização de toras seja aplicado para a madeira de *Eucalyptus grandis* sugerem-se as equações originadas das análises de regressões, apresentadas anteriormente.

#### 4.CONCLUSÃO

Através da verificação das temperaturas dos toretes de *Eucalyptus grandis* durante o aquecimento em água a 85°C de temperatura conclui-se que:

- o modelo de determinação do tempo de vaporização de toras, proposto por Steinhagen et al. (1980), subestima os tempos reais necessários de vaporização do material estudado;
- a adoção de fatores de correções é necessária para a utilização do modelo de determinação do tempo de vaporização de toras, proposto por Steinhagen et al. (1980), para a espécie e condição estudada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAFE, S. C. Growth stresses in trees. **Australian For. Rev.**, v.9, p.203-333,1979.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag. 1975.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, Farnham Royal, v.10, n.3 p.61-119, 1987.

LANGRISH, T.A.G.; WALKER, J.C.F. Transport process in wood. In: WALKER, J.C.F. et al. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. p121-152.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolo e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii***. Curitiba. Dissertação, Universidade Federal do Paraná UFPR, Ciências Florestais, 113p,1996.

ROZAS MELLADO, E.C.E.R. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. Curitiba, 1993. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná.

SEVERO, E.T.D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem na madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. Curitiba, 1998. 200f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal/Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná.

SKOLMEN, R. G. Heating Logs To Relieve Growth Stresses. **Forest Products Journal**, Madison, v. 17, p.41-2, 1967.

STEINHAGEN, H. P; LEE, H.W.; LOEHNERTZ, S.P. LOG-HEAT: a computer program for determining log heating times charts for frozen and nonfrozen logs. **For. Prod. J.**, Madison, v. 37, n.11/12, p.60-64, 1987.

STEINHAGEN, H. P; MEYERS,G.E.; KUBLER,H. Heating times charts for frozen and nonfrozen veneer logs. **Forest Products Journal**, Madison, v. 30, n.4, p.27-37, 1980.

TEJADA, A.; OKUYAMA, T.; YAMAMOTO, H.; YOSHIDA, M. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: assessment of a commercial-scale operation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 47, n.9, p.86-93, 1997.