

Elaboração de programa de secagem para madeira de *Pinus elliottii*

Letícia da Silva Moreira¹; Evelize Aparecida Amaral¹; Daiane Moura de Borges Maria¹; Juliano José Mota da Rocha¹; Claudinéia Olímpia de Assis¹; José Tarcísio Lima¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira / Universidade Federal de Lavras

Resumo: Nos processos em que ocorrem a transformação da madeira, a secagem adequada é etapa importante a qual agrega valor ao produto final. Assim, considerando a crescente relevância da madeira de *Pinus* na indústria de madeira serrada, o objetivo deste trabalho foi elaborar um programa de secagem para madeira de *Pinus elliottii*. Foram obtidos corpos de prova de dez tábuas para o ensaio de secagem e determinação do teor de umidade inicial e da densidade básica. A elaboração do programa de secagem foi baseada na metodologia de secagem drástica. Os resultados mostraram que para *Pinus elliottii* o programa de secagem deve apresentar temperatura inicial igual a 46°C; temperatura final igual a 67°C e potencial de secagem de 2,4. A metodologia mostrou-se confiável, com fornecimento de parâmetros que se mostraram adequados para o desenvolvimento de um programa de secagem para a espécie, mantendo a qualidade da madeira com mínima propensão a defeitos de secagem.

Palavras-chave: Qualidade da madeira, Secagem da madeira, Temperatura

Elaboration of drying schedule for *Pinus elliottii* wood

Abstract: Drying is an important stage in the wood industry transformation that adds value to the final product. Considering that *Pinus* has an increasing importance in the lumber industry, the objective of this study was to elaborate a drying schedule for *Pinus elliottii* wood. It was obtained specimens from ten boards for drying test and determination of the initial moisture content and basic density. The elaboration of the drying schedule was based on the drastic drying methodology. The results showed that for *Pinus elliottii* the drying schedule should present initial and final temperature equal to 46°C and 67°C, respectively, and drying potential equal to 2.4. The methodology indicated to be reliable, providing parameters that were suitable for the development of a drying schedule for this species, keeping the quality of the wood with low propensity for drying defects.

Keywords: Wood quality, Wood drying, Temperature

1. INTRODUÇÃO

A secagem é uma fase de grande importância no processamento da madeira, existindo

atualmente um grande foco no aprimoramento da qualidade de secagem, assim como na redução de seus custos (Severo, 2000). Na secagem da madeira realizada em estufa convencional são aplicados programas de secagem visando obter a qualidade desejada para a geração de produtos de maior valor agregado.

As diferentes espécies de madeira requerem conhecimento tecnológico de suas propriedades para o desenvolvimento dos programas de secagem. Os principais fatores envolvidos na escolha de um programa de secagem são: propriedades da espécie, umidade inicial e final, espessura, uso ao qual se destina e equipamento de secagem (Batista et al., 2012).

A escolha do programa de secagem é um fator determinante para que a secagem convencional ocorra de maneira adequada (Galvão & Jankowsky, 1985). Nesse sentido, objetivou-se elaborar programa de secagem para madeira de *Pinus elliottii*, bem como avaliar a susceptibilidade dessas madeiras a defeitos pós-secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aquisição e preparo do material

Foram utilizados indivíduos de *Pinus elliottii* com 23 anos de idade, provenientes do plantio experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras, estado de Minas Gerais.

Foram selecionadas dez tábuas com dimensões de 300 cm de comprimento e 2,5 cm de espessura. De cada tábua foram obtidos nove corpos de prova medindo 100 x 50 x 10 mm para avaliação de defeitos e, para determinação da densidade básica e teor de umidade inicial, as dimensões eram de 50 x 50 x 10 mm de comprimento, largura e espessura, respectivamente. Foram destinados três corpos de prova de cada tábua para cada análise, com o total de 90 amostras para o experimento.

2.2 Determinação da densidade básica e umidade

A densidade básica foi obtida por meio da razão entre a massa seca e volume saturado da amostra. A umidade inicial foi determinada pelo método gravimétrico. Após obtenção da massa úmida, as amostras foram conduzidas à estufa a $102 \pm 3^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante, para obtenção da massa seca.

2.3 Parâmetros para programa de secagem

A elaboração do programa de secagem foi baseada na metodologia de Brandão (1989). As amostras foram submetidas à secagem drástica a 100°C em estufa. Até atingir teor de umidade de 5%, as amostras foram periodicamente verificadas quanto a sua massa e à incidência de rachaduras.

O intervalo de tempo entre as medições foi de 30 minutos no início da secagem, quando a taxa de perda de massa é alta e, posteriormente, o intervalo foi de 1 hora até o no final do processo. A partir da fase em que atingiram massa constante, foi possível obter a massa seca e, assim, determinar o teor real de umidade das amostras.

Os valores verificados de perda de água foram empregados no cálculo da velocidade de secagem (equações 1, 2 e 3). A partir desses valores, foram feitos os cálculos das variáveis do ensaio em estufa a 100°C, necessários para o cálculo dos parâmetros do programa de secagem (equações 4, 5 e 6).

a) Velocidade de secagem até 5% de umidade

$$V1 = \frac{m_u - m_5}{T1 \times 100}$$

(1)

V1 = velocidade de secagem da umidade inicial até 5% (g/cm².h); m_u = massa da amostra à umidade inicial (g); m₅ = massa da amostra a 5% de umidade (g); T1 = tempo de secagem da umidade inicial até 5% (h); 100 = área superficial da amostra (cm²).

b) Velocidade de secagem até 30% de umidade

$$V2 = \frac{m_u - m_{30}}{T2 \times 100}$$

(2)

V2 = velocidade de secagem da umidade inicial até 30% (g/cm².h); m₃₀ = massa da amostra a 30% de umidade (g); T2 = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h)

c) Velocidade de secagem de 30 a 5% de umidade

$$V3 = \frac{m_{30} - m_5}{T3 \times 100}$$

(3)

V3 = velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade (g/cm².h); m₅ = massa da amostra a 5% de umidade (g); T3 = tempo de secagem de 30% a 5% de umidade (h).

Para determinação dos parâmetros do programa de secagem foram utilizadas as seguintes equações (Brandão, 1989):

$$TI = 27,9049 + 0,7881 T2 + 419,0254 V1 + 1,9483 R1 \quad (4)$$

$$TF = 49,2292 + 1,1834 T2 + 273,8685 V2 + 1,0754 R1 \quad (5)$$

$$PS = 1,4586 - 30,4418 V3 + 42,9653 V1 + 0,1424 R3 \quad (6)$$

R1 = rachadura de topo da umidade inicial até 5%, R3 = rachadura de topo de 30% até 5%; TI = Temperatura inicial (°C); TF = Temperatura final (°C); PS = Potencial de secagem.

As rachaduras de topo e superfície foram medidas com auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (comprimento), considerando sempre a maior intensidade de ocorrência do defeito. A magnitude das rachaduras foi então transformada em escore (Tabela 1).

Tabela 1. Escore das rachaduras de topo

Escore	Rachadura de topo
1	Ausente
2	CR < 5,0 e LR < 0,5
3	CR > 5,0 e LR < 0,5
4	CR < 5,0 e 0,5 < LR < 1,0

5	CR > 5,0 e 0,5 < LR < 1,0
6	CR > 5,0 e LR > 1,0

2.4 Defeitos

A qualidade da secagem foi avaliada através da tendência de defeitos na amostra e a frequência dos defeitos foi classificada de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação quanto a tendência de defeitos nas amostras

Amostras com defeitos (%)	Tendência
0 a 10	Ausente
11 a 30	Pequena
31 a 50	Moderada
51 a 100	Grande

Com base nos parâmetros encontrados, foram elaborados os programas de secagem com o auxílio de cartas psicrométricas.

3. RESULTADOS

3.1 Parâmetros da secagem

A Tabela 3 relaciona os valores médios da umidade inicial e densidade básica. Na tabela 4 estão as variáveis utilizadas para determinar os parâmetros dos programas de secagem, que são mostrados na Tabela 5.

Tabela 3. Valores médios de densidade básica e umidade inicial da madeira de *Pinus elliottii*

Densidade básica (g.cm ⁻³)	Umidade (%)
0,51	113

Tabela 4. Variáveis utilizadas no ensaio a 100°C

V1	V2	V3	T1	T2	T3	R1	R2	R3
(g/cm ² .h)	(g/cm ² .h)	(g/cm ² .h)	(h)	(h)	(h)	uni	uni	uni
0,0301681	0,041315	0,0152884	8,3666 7	4,7833 3	3,5833 3	1	1	1

V1 = velocidade de secagem da Ui até 5%; R1 = rachaduras de topo da Ui até 5%; V2 = velocidade de secagem da Ui até 30%; R2 = rachaduras de topo da Ui até 30%; T2 = tempo de secagem da Ui até 30% V3 = velocidade de secagem de 30 até 5%; R3 = rachaduras de topo de 30 até 5%; T1 = tempo da Ui até 5%; T2 = tempo da Ui até 30%; T3 = tempo de 30% até 5%.

Tabela 5. Parâmetros do programa de secagem

Ti (°C)	Tf (°C)	Ps
46	67	2,43

Ti = temperatura inicial; Tf = temperatura final; Ps = potencial de secagem

3.2 Programa de secagem

O programa de secagem para a madeira de *P. elliottii* (Tabela 6) foi elaborado de acordo

com as temperaturas de termômetro de bulbo seco e úmido, visando à rápida redução da umidade da madeira a um teor pré-determinado, com o menor número possível de defeitos.

Tabela 6. Programa de secagem elaborado para a madeira de *Pinus elliottii*

Etapa de temperatura	DTU N°	Ui (%)	TS (°C)	DTU (°C)	TU (°C)	UR (%)	UE (%)
Aquecimento	*	Aquecimento	46	0,5	45,5	97	23,4
1	1	Ui a 40	46	3	43	83	16,4
1	2	40 a 35	46	4	42	78	14,4
1	3	35 a 30	50	5	45	75	12,3
2	4	30 a 25	54	7	47	68	10,3
3	5	25 a 20	59	11	48	55	8,2
4	6	20 a 15	63	16	47	43	6,2
5	6	15 a 10	67	24	43	25	4,1
Condicionamento	*	*	67	9	58	66	12

DTU = Depressão bulbo úmido; Ui = umidade inicial; TS = Temperatura bulbo seco; TU = Temperatura bulbo úmido; UR = umidade relativa; UE = umidade de equilíbrio

4. DISCUSSÃO

Como apresentado na Tabela 5, os valores médios encontrados resultaram em temperatura inicial (46°C), temperatura final (67°C) e potencial de secagem (2,4) inferiores àqueles registrados por Pratt (1974) para a mesma espécie, com temperatura inicial de 60°C, temperatura final de 75°C e potencial de secagem de 3,85.

Conforme recomendado em literatura para *Pinus sp.* cultivada no Brasil, a temperatura inicial pode ser definida entre 40°C e 55°C (Culpepper, 2000). Para *Pinus elliottii*, Boone et al. (1988) sugeriram valores de temperatura inicial de 60°C, temperatura final igual a 82°C e potencial de secagem de 4,55, sendo estas condições mais drásticas que os encontrados neste estudo. Santini e Haselein (2002) também relatam temperaturas mais altas em programa de secagem para *P. elliottii*.

Os parâmetros determinados para *P. elliottii* (Tabela 5) foram baixos e demonstram secagem lenta, o que indica que a madeira é pouco permeável, possivelmente atribuído a obstrução de seus elementos anatômicos. Maria et al. (2019), ao avaliarem o fluxo de água e ar para a mesma espécie, encontraram baixos valores para esse parâmetro, o que sugere a baixa permeabilidade para esta espécie.

De acordo com a literatura, o potencial de secagem para espécies de *Pinus spp.* varia entre 3,1 e 5,2 para programas de secagem mais convencionais e mais drásticos, respectivamente, variando de acordo com as propriedades da madeira e com o padrão de qualidade requerido (Hildebrand, 1970).

Em relação a propensão a defeitos, com base nas análises efetuadas pode-se concluir que o programa de secagem utilizados foi adequado, resultando em secagens com pequenas incidências

consideradas ausentes de defeitos de acordo com as tabelas 1 e 2 e distribuições uniformes de umidade.

5. CONCLUSÕES

O programa de secagem elaborado mostrou-se eficiente para secagem de *Pinus elliottii*.

A metodologia mostrou-se confiável, com fornecimento de parâmetros que se mostraram adequados para o desenvolvimento de um programa de secagem para a espécie, mantendo a qualidade da madeira com menor propensão a defeitos.

O programa é baseado em uma temperatura inicial igual a 46°C, temperatura final igual a 67°C e potencial de secagem igual a 2,4.

A madeira da espécie apresentou baixa susceptibilidade a rachaduras e ao colapso.

6. REFERÊNCIAS

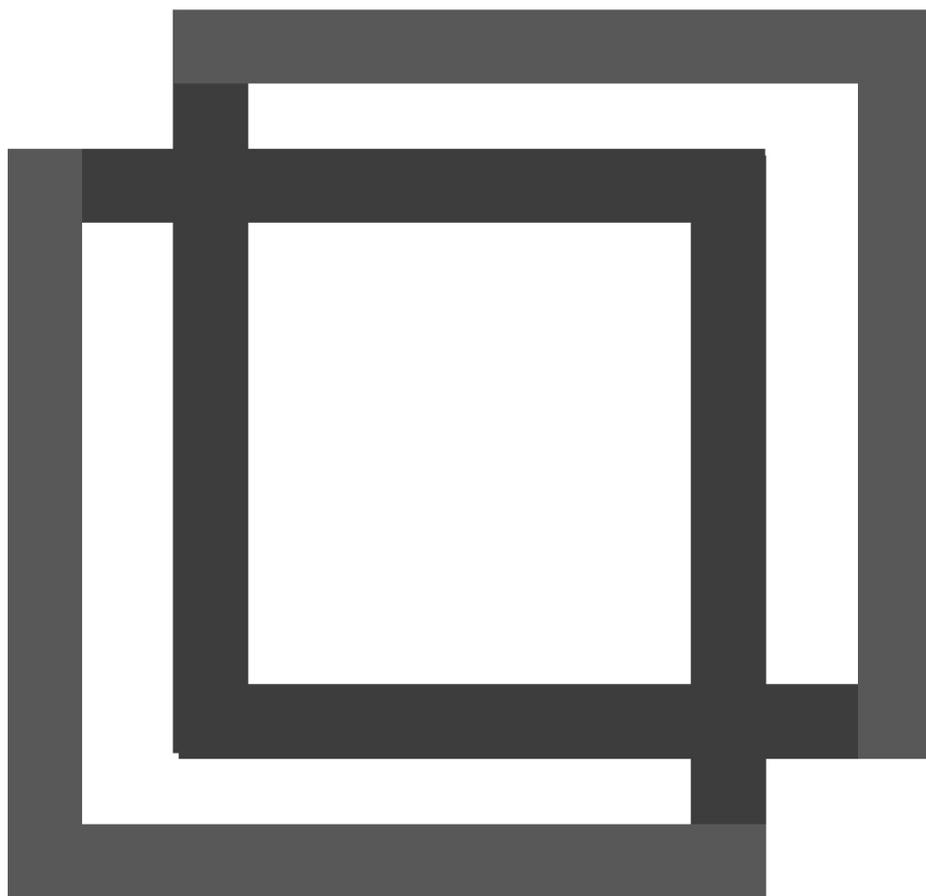
- Batista DC, Klitzke RJ, Rocha M. Proposta de programa de secagem para a madeira de “Guajará” (*Micropholis venulosa* Mart. & Eichler) Pierre, Sapotaceae. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, 2012, 3(1): 22-32.
- Boone RS, Kozlik CJ, Bois PJ, Wengert, EM. Dry kiln schedules for commercial woods: temperate and tropical. Madison: USDA, Forest Service, **Forest Products Laboratory**, 1988. 158p.
- Brandão AO. **Determinação de metodologia para a identificação de programas de secagem de madeiras**. 1989. 100 p. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1989.
- Culpepper L. **Softwood drying: enhancing kiln operations**. San Francisco: Miller Freeman. 2000.
- Galvão, APM, Jankowsky IP. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.
- HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Plochingen: Richard Schorndorfer. 1970.
- Jankowsky IP, Luiz MG. Review of Wood Drying Research in Brazil: 1984–2004. **Drying Technology**, 24: 447–455, 2006.
- Pratt GH. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment/Building Research Establishment, 1974. 152p.
- Severo ETD. Qualidade da Secagem De Madeira Serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 10(1): 109-124, 2000.
- Maria DMB, Moreira LS, Rocha JJM, Amaral EA, Assis CO, Lima JT. **Permeabilidade longitudinal ao ar e água da madeira de *Pinus elliottii*** (A Publicar).
- Santini EJ, Haselein CL. **Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii*** Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, 12(2): 99-106, 2002.



IV CBCTEM

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DA MADEIRA

2 À 4 DE
OUTUBRO
2019



PATROCINADORES:



ORGANIZAÇÃO:

