

Indicação de programa de secagem para quatro madeiras tropicais

Rafaela K. R. de Oliveira¹; Alex Canale¹; Ivaldo P. Jankowsky¹

¹ Departamento de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) - Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba/SP, Brasil - rafaelaklefenzro@usp.br

Resumo: O manejo das florestas tropicais ainda concentra a exploração madeireira em reduzido número de espécies, e para diminuir essa pressão é essencial o estudo de novas espécies e de suas características físicas e mecânicas; principalmente informações referentes à secagem artificial, considerada a operação unitária mais importante para agregar qualidade à madeira e produtos derivados. Assim, este trabalho tem como objetivo a indicação de programas de secagem para madeira de *Sclerolobium melanocarpum* (Taxi vermelho), *Cariniana decandra* (Tauari vermelho), *Protium macrophyllum* (Breu vermelho) e *Iryanthera paraensis* (Arurá vermelho); aplicando a metodologia da secagem drástica a 100°C. Em função da similaridade de comportamento das espécies estudadas são sugeridos dois programas de secagem, grupando duas espécies por programa, respectivamente Arurá com Taxi e Breu com Tauari; sendo também possível agrupar as quatro espécies em uma mesma secagem, desde que seja utilizado o programa de menor agressividade.

Palavras-chave: Ensaio secagem drástica, Madeira tropical, Secagem convencional.

Indication of drying schedule for four tropical wood species

Abstract: The management of tropical forests still concentrates timber exploration on a small number of species, and to reduce this pressure, it is essential to study new species and their physical and mechanical characteristics; especially information regarding artificial drying, considered the most important unitary operation to add quality to wood and derived products. So, this study aims to indicate drying programs for wood from *Sclerolobium melanocarpum* (Taxi vermelho), *Cariniana decandra* (Tauari vermelho), *Protium macrophyllum* (Breu vermelho) and *Iryanthera paraensis* (Arurá vermelho); applying the drastic drying methodology at 100°C. Due to similarity of behavior of the species studied, two drying programs are suggested, grouping two species per program, respectively Arurá with Taxi and Breu with Tauari; and it is also possible to group the four species in the same drying program, as long as the least aggressive program is used.

Keywords: Drastic drying test, Tropical lumber, Conventional kiln drying.

1. INTRODUÇÃO



Engenharia
Industrial
Madeireira



SOCIEDADE BRASILEIRA
DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DA MADEIRA

O manejo florestal sustentável, de acordo com a lei nº 12.651, de 25 de maio

de 2012, é a gestão da vegetação natural com o objetivo de obter benefícios econômicos, sociais e ambientais, preservando os mecanismos que sustentam o ecossistema manejado (Brasil, 2012). A extração de madeiras consiste em uma importante área dentro do manejo florestal, principalmente no Brasil, já que o país se encontra entre os maiores fornecedores e consumidores de madeira nativa do mundo (Itto, 2017), se concentrando, principalmente, no comércio de madeiras tropicais da região amazônica.

Segundo Balboni (2018), o mercado madeireiro de nativas do Brasil, atualmente, se concentra na exploração de apenas poucas espécies conhecidas, graças à exploração tradicional e a baixa quantidade de estudos científicos relacionados à caracterização física e potenciais de usos das madeiras. Essa concentração de exploração em poucas espécies pode inviabilizar a recuperação da floresta, além de correr o risco de escassez do produto e extinção desses indivíduos. Dentre as informações sobre as propriedades das espécies menos conhecidas se destacam as orientações sobre a secagem, tais como os programas e secagem e a tendência do material a apresentar defeitos durante o processo; considerando que, tanto a qualidade da madeira serrada como dos produtos obtidos no processamento secundário, dependem essencialmente de uma secagem adequada (Jankowsky; Galina, 2014).

A definição de programas de secagem para as madeiras necessita de alguns parâmetros pré-estabelecidos como, variações de temperatura e umidade relativa do ar, durante a secagem (Galvão; Jankowsky, 1985). Dentre as metodologias que permitem indicar programas de secagem para espécies não conhecidas destacam-se o método baseado na densidade básica (Simpson; Verril, 1997), A execução da secagem adotando um programa drástico e um programa suave (IBDF, 1988); e o método que correlaciona o comportamento de amostras com dimensões reduzidas, medido pela incidência de defeitos e taxa de secagem, com os parâmetros de um programa para secagem convencional (Jankowsky, 2009).

Esta última metodologia foi seguida visando indicar programas de secagem para Marupá, Pará-pará e Virola (Eleotério, 2014), Eucalipto (Eleotério, 2015), e seringueira (Martins, 2019); dentre outros autores.

Visando divulgar informações que fomentem a exploração de novas espécies da região amazônica, baseadas na avaliação de suas características físicas e de

secagem, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de indicar programas de secagem para quatro espécies tropicais, *Sclerolobium melanocarpum* (Taxi vermelho), *Cariniana decandra* (Tauari vermelho), *Protium macrophyllum* (Breu vermelho) e *Iryanthera paraensis* (Arurá vermelho).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada no presente ensaio foi fornecida pela MIL – Madeireira Itacoatiara Ltda, localizada no município de Itacoatiara, AM; que explora área própria seguindo as técnicas do manejo sustentável, com certificação concedida pelo FSC - Forest Stewardship Council.

Foram utilizados os troncos de três árvores por espécie, já disponíveis no pátio da empresa. Cada tronco foi seccionado em toras com 3,0m de comprimento, os quais foram processados em serra fita gerando tábuas com 2,8cm de espessura. As tábuas foram devidamente identificadas, empilhadas e, posteriormente, transportadas até as dependências do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ.

Para mensurar a densidade básica das madeiras foram utilizadas 20 amostras por espécie, com dimensões de 5 cm de comprimento, 5 cm de largura e 1 cm de espessura (5x5x1 cm). O método adotado para mensuração foi o da balança hidrostática, descrito na norma NBR 11.941-23 (ABNT, 2023).

Para a elaboração dos programas de secagem foi utilizado o método de secagem drástica, o qual tem por princípio a correlação entre as taxas de secagem e a intensidade dos defeitos, mensuradas em amostras submetidas a uma secagem à temperatura de 100°C; com os parâmetros do programa de secagem.

Neste ensaio de secagem foram utilizadas 24 amostras por espécie, com 10 cm de comprimento, 5 cm de largura e 1 cm de espessura. Essas amostras foram submetidas à secagem em estufa, em temperatura constante de 100 °C, mensurando-se periodicamente a massa e as dimensões das rachaduras de topo, até que o teor de umidade das amostras fosse igual ou menor que 5,0%. Durante a secagem elas foram pesadas e analisadas (presença ou não de rachaduras e seus tamanhos, a partir do calibrador de folga e do paquímetro) a cada 60 minutos no início do ensaio e a cada 120 minutos no final do ensaio, até que atingissem valores de umidade menores que 5%.

Ao final do ensaio foram mensuradas as rachaduras internas e a intensidade

do colapso, sendo que a magnitude desses defeitos foi transformada em um índice (escore), seguindo Jankowsky (2009).

Com base nos valores das taxas de secagem, dos índices das rachaduras de topo, e do tempo de secagem desde a umidade inicial até o ponto de saturação das fibras foi possível a obtenção dos parâmetros de potencial de secagem (PS), temperatura inicial (Ti) e temperatura final (Tf), utilizados para a definição dos programas de secagem, a partir das equações (1, 2 e 3).

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

$$Ti = 27,9049 + 0,7881(T2) + 419,0254(V1) + 1,9483(R2) \quad (2)$$

$$Tf = 49,2292 + 1,1834(T2) + 273,8685(V2) + 1,0754(R1) \quad (3)$$

Onde: T2 = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h); V1 = taxa de secagem da umidade inicial até 5% (g/cm².h); V2 = taxa de secagem da umidade inicial até 30% (g/cm².h); V3 = taxa de secagem de 30 a 5% de umidade (g/cm².h); R1 = intensidade das rachaduras da umidade inicial até 5%; R2 = intensidade das rachaduras da umidade inicial até 30%; R3 = intensidade das rachaduras de 30% a 5%.

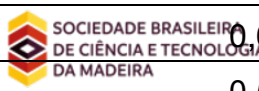
Os detalhes e a fundamentação teórica da metodologia adotada podem ser encontrados em Jankowsky (2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir da secagem drástica (a 100 °C) das amostras de Taxi vermelho, Tauari vermelho, Breu vermelho e Arurá vermelho são apresentados nas Tabelas 1 (umidade inicial e densidade básica), 2 (velocidades de secagem), e 3 (rachaduras de topo, internas e colapso).

Tabela 1: Valores médios e respectivos desvios padrões (entre parênteses) da umidade inicial e da densidade básica.

ESPÉCIE	UMIDADE INICIAL (%)	DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³)
Tuari vermelho	66,0 (5,4)	0,60 (0,05)
Breu vermelho	79,1 (18,9)	0,56 (0,02)
Taxi vermelho	111,7 (49,0)	0,53 (0,12)



Arurá vermelho	72,7 (22,5)	0,66 (0,05)
----------------	-------------	-------------

Podemos notar que as quatro espécies apresentam uma densidade básica próxima, com uma amplitude de variação de $0,13\text{g/cm}^3$, da mais densa para a menos densa entre elas; podendo ser classificadas como madeiras de média densidade ($0,5\text{g/cm}^3 \leq Db \leq 0,7 \text{g/cm}^3$), de acordo com Humphreys (1992). Em relação ao coeficiente de variação das densidades básicas, o Breu vermelho apresenta uma menor variação (0,02), o Tauari vermelho (0,05) e o Arurá vermelho (0,05) apresentam coeficientes um pouco mais elevados, enquanto o Taxi vermelho apresenta uma variação muito acima das demais (0,12). Esses resultados são um indicativo da heterogeneidade do material de Taxi vermelho, a qual pode interferir nos resultados do ensaio, e da homogeneidade em relação às outras três espécies;

Tabela 2: Valores médios e respectivos desvios padrões (entre parênteses) das velocidades de secagem, obtidos no ensaio de secagem drástica.

ESPÉCIE	Velocidade de secagem ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{hora}$)		
	Ui a U=30% (V2)	Ui a U=5% (V1)	U=30% a U=5% (V3)
Tuari vermelho	0,079 (0,008)	0,034 (0,003)	0,019 (0,002)
Breu vermelho	0,044 (0,013)	0,022 (0,006)	0,011 (0,003)
Taxi vermelho	0,058 (0,005)	0,033 (0,005)	0,014 (0,002)
Arurá vermelho	0,068 (0,016)	0,030 (0,009)	0,016 (0,002)

Ui = teor de umidade inicial

O Taxi vermelho e o Breu vermelho apresentaram os maiores tempos de secagem da umidade inicial até 30% (T2), 3,79h e 3,77h respectivamente; provavelmente pelo maior teor de umidade inicial e menores valores de densidade básica quando comparados ao Tauari vermelho (1,58h) e ao Arurá vermelho (2,41h), ou seja, relação inversa entre a densidade básica e o teor de umidade inicial. Já que, de acordo com Jankowsky (2009), a densidade básica (e consequentemente a massa específica) está positivamente relacionada com a espessura das paredes celulares, o que reflete também as quantidades absolutas de água livre e de água higroscópica. Ou seja, madeiras mais pesadas possuem, comparativamente, menor umidade inicial e menor quantidade absoluta de água livre, demandando menor tempo para secar até o ponto de saturação das fibras

(considerado como sendo de 30%). As variações no tempo de secagem (T2) tem reflexo direto na taxa de secagem (V2).

As taxas de secagem total, da umidade inicial até 5% (V1), foram próximas entre as espécies, apenas o Breu vermelho apresentou um valor um pouco menor do restante, provavelmente apresentando uma menor permeabilidade. Em relação a taxa de secagem higroscópica, de 30 a 5% de umidade (V3), os valores foram próximos entre as espécies trabalhadas, onde os dois maiores, 0,019 e 0,016, são das espécies do Tauari vermelho e do Arurá vermelho, mesmo sendo as espécies com maiores densidades básicas.

Tabela 3: Valores médios da intensidade máxima das rachaduras de topo, das rachaduras internas e do colapso, expressos por meio de escores específicos, obtidos no ensaio de secagem drástica.

ESPÉCIE	RACHADURA DE TOPO	RACHADURA INTERNA	COLAPSO
Tuari vermelho	1,000	1,000	1,000
Breu vermelho	2,792	1,000	1,000
Taxi vermelho	1,417	1,000	1,000
Arurá vermelho	2,875	1,000	1,000

Quando comparadas as intensidades de rachaduras, podemos notar menores índices no Taxi vermelho e no Tauari vermelho, e maiores no Breu vermelho e no Arurá vermelho, demonstrando que essas duas últimas espécies necessitam de um cuidado maior durante a secagem para evitar a formação de imperfeições na peça.

A partir dos valores obtidos no ensaio de secagem drástica (Tabelas 1, 2 e 3) foram calculados o potencial de secagem (PS), a temperatura inicial (Ti) e a temperatura final (Tf), apresentados na Tabela 4, e que são os parâmetros necessários para a montagem de um programa de secagem.

Tabela 4: Parâmetros dos programas de secagem para as espécies ensaiadas.



ESPÉCIE	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	POTENCIAL DE SECAGEM

Tauari vermelho	45,4	73,7	2,5
Breu vermelho	45,3	68,6	2,4
Taxi vermelho	47,2	71,1	2,6
Arurá vermelho	47,3	57,9	2,6

Analisando os dados podemos notar que o Taxi-vermelho e o Arurá-vermelho apresentam potenciais de secagem, temperaturas iniciais e finais próximas, podendo assim serem agrupados em um único programa de ensaio de secagem.

Tabela 5: Programa de secagem do Arurá vermelho e do Taxi vermelho.

UMIDADE	Ts (°C)	Tu (°C)	UR (%)	UE (%)	PS
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0	41,0	79	14,0	>3,6
50	45,0	41,0	79	14,0	3,6
45	45,0	40,5	76	13,4	3,4
40	45,0	40,0	73	12,8	3,1
35	45,0	39,5	71	12,2	2,9
30	45,0	39,0	68	11,5	2,6
25	50,0	42,0	55	9,6	2,6
20	55,0	44,0	51	7,7	2,6
15	60,0	44,0	38	5,8	2,6
10	65,0	39,8	23,5	3,8	2,6
5	70,0	40,0	16	1,9	2,6

Tabela 6: Programa de secagem do Breu vermelho e do Tauari vermelho.

UMIDADE	Ts (°C)	Tu (°C)	UR (%)	UE (%)	PS
Aquecimento	45,0	44,0	94	21,2	**
Acima de 50	45,0	41,0	79	14,0	> 3,6
50	45,0	41,0	79	14,0	3,6
45	45,0	40,6	76,6	13,6	3,3
40	45,0	40,3	74,8	13,2	3,0
35	45,0	40,0	73	12,8	2,7
30	45,0	39,8	72,2	12,5	2,4
25	50,0	43,0	65	10,4	2,4
20	55,0	45,3	54,8	8,3	2,4
15	60,0	45,5	42,5	6,3	2,4
10	65,0	41,0	25	4,2	2,4
5	70,0	40,0	16	2,1	2,4

O Breu-vermelho e o Tauari também apresentam características semelhantes aos dois primeiros, porém com um potencial de secagem menor, o que fez

necessário a criação de um programa de secagem separado para os dois. Assim, são indicados dois programas de secagem, sendo um programa para as madeiras de Arurá vermelho e Taxi vermelho (Tabela 5), e outro para o Breu vermelho e o Tauari vermelho (Tabela 6). Adicionalmente, considerando a similaridade de comportamento entre as quatro espécies, é possível afirmar que as respectivas madeiras podem ser grupadas, se necessário na prática industrial, em um mesmo programa de secagem; que seria o programa indicado para o Breu-vermelho e o Tauari vermelho (Tabela 6), que é o programa menos agressivo.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados analisados foi possível concluir que:

- Pela similaridade entre as espécies, foi necessário a indicação de apenas dois programas de secagem diferentes, um para o *Iryanthera paraensis* (Arurá vermelho) e o *Sclerobium melanocarpum* (Taxi vermelho), e outro para o *Protium macrophyllum* (Breu vermelho) e o *Cariniana decandra* (Tauari vermelho).
- As quatro espécies podem ser grupadas em uma mesma secagem, sendo indicado o programa de secagem do *Protium macrophyllum* (Breu vermelho) + *Cariniana decandra* (Tauari vermelho).

5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 11.941-23: Madeira - Determinação da densidade básica. 2023.
- BALBONI, B. M.; SILVA, T. S.; ANDRADE, F. W. C. *et al.* Physical-mechanical characterization of two amazon woods coming from the second cutting cycle. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2018-10, Vol.90 (4), p.3565-3572 [Periódico revisado por pares] Brazil: Academia Brasileira de Ciências.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Presidência da República Casa Civil: Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 25 mai. 2012.
- ELEOTÉRIO, J. R.; SILVA, C. M. K. Programas de secagem para Marupá (*Simarouba amara*), Pará-Pará (*Jacaranda copaia*) e Virola (*Virola surinamensis*). Floresta, Curitiba, PR, v. 44, n. 2, p. 313 - 322, abr. / jun. 2014.
- ELEOTÉRIO, J. R.; BAGATTOLI, T. R.; HORNBERG K. F. *et al.* Secagem drástica de madeiras de Eucalyptus e Corymbia fornece informações para a elaboração de programas de secagem. Pesq. flor. bras., Colombo, v. 35, n. 84, p. 451-457, out./dez. 2015.
- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, J. P. Secagem racional da madeira. São Paulo: Nobel, 1985.
- HUMPHREYS, R. D.; CHIMÉLO, J. P. Comparação entre Propriedades Físicas, Mecânicas e Estereológicas para Agrupamento de Madeiras. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Anais - 22 Congresso Nacional sobre

Essências Nativas. 1992.

IBDF. Madeiras da Amazônia, características e utilização: Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília, 1988, v. 2. 236 p.

ITTO. 2017. Biennial review and assessment of the world timber situation 2015-2016.

JANKOWSKY, I. P. Metodologia simplificada para indicação de programas de secagem. 129 f. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2009.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. Secagem de madeiras (Curso Técnico). 2ª ed. ANPM, Piracicaba, 37 p. 2014.

MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B.; GOUVEIA, F. N. Programa de secagem para a madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). Ci. Fl., Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1469-1477, jul./set. 2019.

SIMPSON, W. T.; VERRILL, S. P. Estimating kiln schedules for tropical and temperate hardwoods using specific gravity. Forest Products Journal, Madison, v. 47, n. 7/8, p. 64-68. 1997.