

## **Qualidade da madeira de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb.) após termorreificação**

**Ricardo Marques Barreiros**

Universidade Estadual Paulista - Unesp, Campus de Botucatu – São Paulo

**Walter de Souza Júnior**

Marinha do Brasil – São Paulo

**Kelly Bossardi Dias**

Universidade Estadual Paulista - Unesp, Campus de Itapeva – São Paulo

### **RESUMO**

A escassez de florestas nativas e o código nacional que protegem elas vêm dificultando a obtenção de madeira considerada de lei, com isso se torna necessário descobrir novas espécies ou práticas que tornem madeiras de reflorestamento uma alternativa para reduzir a pressão sobre matas nativas. O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento da madeira de Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb.), quanto as suas propriedades físicas quando submetidas a termorreificação e compará-la à madeira natural. Neste trabalho, foram obtidas tábuas das toras basais de cinco árvores de 13 anos de idade, as quais foram submetidas a altas temperaturas, sendo elas 140, 160, 180, 200 e 220°C, e analisadas suas propriedades físicas, como massa específica básica, massa específica aparente a 12% de umidade, perda de massa das tábuas termorreificadas, o inchamento, bem como a presença de empenamentos e rachaduras superficiais e/ou de topo. Os resultados mostraram que a perda de massa, a densidade básica e o coeficiente de anisotropia aumentaram com a elevação da temperatura, inclusive em relação à madeira natural. A densidade a 12% e as dimensões lineares e volumétrica diminuíram com a elevação da temperatura, inclusive em relação à madeira natural. As temperaturas de 180, 200 e 220°C, de modo geral, causaram defeitos como rachaduras na direção da medula e encanoamentos, não presentes nas temperaturas menores e nem na testemunha.

**Palavras-chave:** Tratamento térmico, Estabilidade dimensional, Defeitos da madeira.

### **1 INTRODUÇÃO**

O Guanandi, espécie de ocorrência neotropical se destaca em vários biomas desde o México até o estado de Santa Catarina do Brasil (POLITO et al., 1982; REITZ et al., 1978).

Fenotipicamente, a árvore de Guanandi possui tronco reto e cilíndrico com diâmetro e altura, respectivamente, até 60 cm e 30 metros, além de copa arredondada e densa. Suas folhas são opostas, simétricas, glabras e coriáceas, com dimensões de 5 a 15 cm de comprimento por 3 a 7 cm de largura. As flores são brancas, inflorescência em cacho e os frutos são tipo drupa globosa e de polpa oleaginosa. A casca externa é espessa, com até 40 mm de espessura e coloração marrom-escura ou parda, enquanto a interna é rósea, amargosa, aromática e ácida. A madeira possui superfície ligeiramente lustrosa e áspera ao tato, com textura média a grossa e grã irregular (entrecruzada). Quanto à cor, seu alburno é bege-rosado e o cerne

varia do róseo-acastanhado tendendo para o castanho. O cheiro e o gosto são imperceptíveis (CARVALHO, 1994)

A madeira de Guanandi, apesar de ser pouco utilizada no Brasil em contraste com sua popularidade em outros países da América do Sul e do Caribe, apresenta grande potencial de utilização, oferecendo uma variedade de produtos. Ela é adequada para a construção civil, incluindo caibros, ripas, rodapés, molduras, tábuas e embalagens, além de cabos de vassoura e ferramentas, mastros de navios na construção naval, marcenaria, carpintaria, dormentes, mourões, pontes, postes, chapas e lâminas decorativas (KILLEAN et al., 1993; CARVALHO, 1996).

Dependendo da origem, a densidade aparente da madeira do Guanandi varia de leve a moderadamente densa ( $0,45$  a  $0,65 \text{ g.m}^{-3}$ ) de 12% a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989; JANKOWSKY et al., 1990), enquanto a básica varia pouco de  $0,49$  a  $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$  (AROSTEGUI, 1982; JANKOWSKY et al., 1990).

Com a crescente demanda por materiais renováveis e tecnologias limpas, destaca-se o tratamento térmico de materiais lignocelulíticos, que provoca transformações estruturais na madeira ao ser exposta ao calor. Este processo, conhecido como termorreificação (BRITO, 1997), tem sido amplamente estudado e descrito na literatura. Geralmente, a madeira é submetida a temperaturas próximas a  $200^{\circ}\text{C}$  por várias horas (RAPP, 2001; WASKETT; SELMES, 2001; ROUSSET et al., 2004; METSÄ-KORTELAINEN et al., 2005).

O tratamento térmico é comum em todo mundo, e já é realizado comercialmente: na Finlândia como “ThermoWood® Process”; na França, “Retification®” e “Le Bois Perdure®”; na Holanda, “Plato-Process®” e por final na Alemanha como “Oil-Heat-Treatment®” (MILITZ, 2002; RAPP, 2001). As principais diferenças entre esses tratamentos são: temperatura máxima aplicada e o uso ou não de atmosfera inerte.

A seleção da faixa de temperatura é uma etapa crucial do tratamento térmico. Para madeiras folhosas, como o *Eucalyptus grandis*, por exemplo, temperaturas de  $120^{\circ}\text{C}$ ,  $140^{\circ}\text{C}$ ,  $160^{\circ}\text{C}$ ,  $180^{\circ}\text{C}$  e  $200^{\circ}\text{C}$  foram testadas, com os melhores resultados observados nas faixas de temperatura mais altas (PESSOA et al., 2006).

O tratamento térmico melhora as propriedades físicas da madeira, aumentando sua aceitação no mercado e permitindo que concorra com madeiras de lei. Esta melhoria abre novas possibilidades de uso para a madeira de Guanandi, superando as possíveis limitações de suas propriedades naturais, quando utilizada como matéria-prima para diversos fins, sendo a maioria deles relacionados às suas características higroscópicas em combinação com sua anisotropia de contração e inchamento, além da densidade relacionada com a variação de umidade da madeira (JOHANSSON, 2005). Assim, a madeira de Guanandi



ganha relevância por contribuir para a manutenção do meio ambiente como material renovável, associada a um modo de energia limpa como a termorreificação.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da termorreificação nas propriedades físicas da madeira de Guanandi quanto à: massa específica básica, massa específica aparente a 12% de umidade, perda de massa, variação dimensional, empenamentos, rachaduras superficiais e/ou de topo, bem como relacionar essas propriedades com algumas classes de diâmetro.

## 3 METODOLOGIA

O material utilizado neste estudo trata-se de árvores da espécie Guanandi (*Calophyllum brasiliense* Camb.), proveniente da Fazenda Primavera, localizada no município de Adrianópolis, norte do Paraná. O plantio foi com mudas geradas de sementes num espaçamento de 4,0 x 2,5 m. Quando as árvores foram amostradas, tinham 13 anos de idade e apresentavam diâmetros médios variando entre 10 e 20 cm. Essas árvores foram divididas em 5 classes de diâmetros, sendo: 10-12, 12-14, 14-16, 16-18 e 18-20 cm, e foi coletada aleatoriamente uma árvore de cada classe.

Dessas árvores, foram retiradas toras basais de 2,5 m de comprimento, as quais foram desdobradas de maneira a se obter tábuas centralizadas em relação à medula, orientadas em relação aos planos anatômicos, com espessura de 3 cm. Após o desdobro, as tábuas foram encaminhadas para a secagem em câmara climatizada até o equilíbrio de 12% e depois foram aplainadas na espessura de 2,5 cm. De cada uma das tábuas, foram retiradas seis peças de 40 cm de comprimento, sendo que uma das peças foi o controle e as demais receberam os tratamentos de termorreificação. Depois, todas as peças tiveram seus topos selados com borracha de silicone, que resiste a temperaturas elevadas, e retornaram na câmara climatizada.

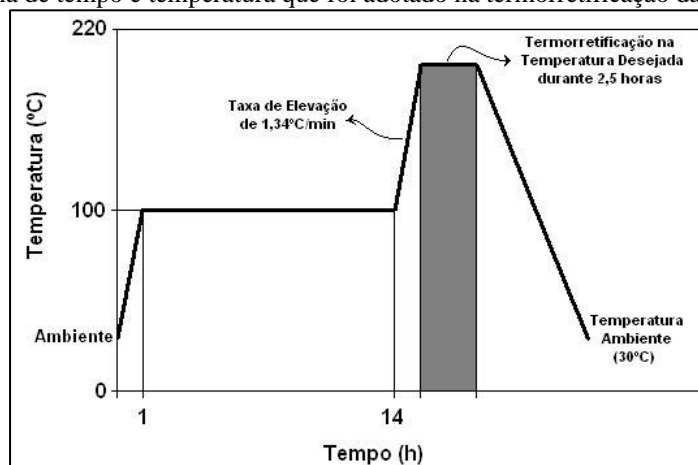
Antes da aplicação de cada tratamento, cada peça foi pesada e colocada em estufa de secagem com circulação forçada de ar pré-regulada com temperatura inicial de 35°C, aumentando-se a temperatura gradativamente até atingir 103 ± 2°C, que permaneceu aquecida por 14 horas, com intuito de diminuir o seu teor de umidade para cerca de 3% e evitar possíveis problemas de expansão de vapor de água e rompimento das paredes celulares.

Após esse período, cada tratamento, com exceção da testemunha, foi submetido a uma taxa de elevação de temperatura de 1,34 °C/min., em função das recomendações de Rousset et al. (2004), até às temperaturas finais, ou seja, 140, 160, 180, 200 e 220°C, conforme o programa de termorreificação esquematizado por Calonego (2009) na Figura 1.

A madeira permaneceu em cada temperatura de termorreificação durante 2,5 horas, levando em consideração a afirmação dada por Bhuiyan et al. (2001), que após a primeira hora de termorreificação é que ocorre a cristalização da celulose.

Após cada tratamento de termorreificação, a estufa foi desligada e as peças de madeira permaneceram em seu interior em resfriamento natural até atingirem a temperatura ambiente, aí as peças foram pesadas novamente para o cálculo de perda de massa.

Figura 1. Exemplo de programa de tempo e temperatura que foi adotado na termorreificação da madeira (CALONEGO, 2009).



Decorridos os tratamentos, a perda de massa foi determinada através da Equação 1.

$$P_m = [(M_1 - M_2) / M_1] \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo:  $P_m$  = perda de massa, %;  $M_1$  = massa da peça antes do tratamento, g;  $M_2$  = massa da peça após o tratamento.

Para a determinação da variação dimensional, através das estabilidades linear e volumétrica, bem como para a determinação das densidades básica e aparentes, foram retirados corpos de prova de cada peça e de cada tratamento, distanciados cerca de 4 cm da medula, com dimensão de 2 cm x 3 cm x 5 cm, sendo a maior aresta lateral orientada na direção longitudinal e as menores nas direções tangencial e radial, respectivamente, conforme a norma ABNT NBR 7190 (ABNT, 1997).

Os corpos de prova foram colocados em câmara climatizada até o equilíbrio de 12%, depois foram pesados e medidos com paquímetro digital as suas dimensões tangencial, radial e longitudinal para a determinação da massa específica aparente (Equações 2 e 3).

$$\rho_u = M_u / V_u \quad (2)$$

$$V_u = D_t \cdot D_r \cdot D_l \quad (3)$$

Sendo:  $\rho_u$  = massa específica aparente a 12% de umidade,  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;  $M_u$  = massa dos corpos de prova a 12% de umidade, g;  $V_u$  = volume dos corpos de prova a 12% de umidade,  $\text{cm}^3$ ;  $D_t$  = dimensão tangencial dos corpos de prova a 12% de umidade, cm;  $D_r$  = dimensão radial dos corpos de prova a 12% de umidade, cm;  $D_l$  = dimensão longitudinal dos corpos de prova a 12% de umidade, cm.

Depois, os corpos de prova foram colocados em estufa de secagem pré-regulada com temperatura inicial de 35 °C e aumentando-se a temperatura gradativamente até atingir 103 ±2 °C e foram mantidos nessa condição até atingirem peso constante.

A partir dos corpos de prova secos, com o propósito de determinar o inchamento máximo da madeira, os mesmos foram novamente medidos com o auxílio de um paquímetro digital e pesados com o auxílio de uma balança eletrônica de precisão.

Logo após, todo o material foi submerso na água por vários dias, até à saturação total das fibras. Depois, com a madeira saturada, cada corpo de prova foi medido novamente e determinado os inchamentos lineares e volumétrico, bem como os respectivos coeficientes de retratibilidade da madeira controle e das termorretrificadas entre 140 e 220 °C, através da aplicação das Equações (4), (5) e (6), respectivamente.

$$\alpha L = [(D_{\text{sat}} - D_s) / D_s].100 \quad (4)$$

$$\alpha V = [(V_{\text{sat}} - V_s) / V_s].100 \quad (5)$$

$$Q = \Delta\alpha L / \Delta u \rightarrow Q = (D_{\text{sat}} - D_s).M_{\text{sat}} / [D_s.(M_{\text{sat}} - M_s)] \quad (6)$$

Sendo:  $\alpha L$  = inchamento linear, %;  $\alpha V$  = inchamento volumétrico, %;  $Q$  = coeficiente de retratibilidade, adimensional;  $D_{\text{sat}}$  = dimensão linear do corpo de prova na condição saturada, cm;  $D_s$  = dimensão linear do corpo de prova na condição seca a 103 ±2°C, cm;  $V_{\text{sat}}$  = volume do corpo de prova na condição saturada,  $\text{cm}^3$ ;  $V_s$  = volume do corpo de prova na condição seca a 103 ±2°C,  $\text{cm}^3$ ;  $M_{\text{sat}}$  = massa do corpo de prova na condição saturada, g;  $M_s$  = massa do corpo de prova na condição seca a 103 ±2°C, g.

A razão entre as contrações tangencial e radial, chamada de fator ou coeficiente de anisotropia, geralmente varia de 1,5 a 2,5, e tornou-se um índice muito importante nos estudos de variação dimensional da madeira, pois, quanto maior essa relação, maior será a tendência ao fendilhamento e ao empenamento da madeira. Para usos que envolverem estabilidade dimensional da madeira, a mais recomendada é aquela que apresentar o menor coeficiente de anisotropia (OLIVEIRA; SILVA, 2003). Segundo Moreschi (2009), madeiras com coeficiente de anisotropia maior que dois têm sua aplicação limitada na fabricação de móveis, portas, janelas e instrumentos musicais.

A determinação da densidade aparente a 12% de umidade de cada corpo de prova foi efetuada através do método estereométrico (Equação 7).



$$\rho_a = M_{12\%} / V_{12\%} \quad (7)$$

Sendo:  $\rho_a$  = massa específica aparente do corpo de prova a 12% de umidade,  $\text{g.cm}^{-3}$ ;  $M_{12\%}$  = massa do corpo de prova a 12% de umidade, g;  $V_{12\%}$  = volume do corpo de prova a 12% de umidade,  $\text{cm}^3$ .

A densidade básica da madeira de cada corpo de prova foi determinada pelo método da balança hidrostática, segundo a norma ABTCP M 14/70 (ABTCP, 1968). Por esta norma, a densidade básica foi, então, calculada pelo quociente entre a massa seca e a diferença entre as massas saturada e imersa de cada corpo de prova (Equações 8 e 9).

$$\rho_a = M_s / V_{\text{sat}} \quad (8)$$

$$V_{\text{sat}} = M_{\text{sst}} - M_i \quad (9)$$

Sendo:  $\rho_b$  = massa específica básica do corpo de prova,  $\text{g.cm}^{-3}$ ;  $M_s$  = massa seca do corpo de prova a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , g;  $V_{\text{sat}}$  = volume saturado do corpo de prova,  $\text{cm}^3$ ;  $M_{\text{sst}}$  = massa saturada do corpo de prova, g;  $M_i$  = massa imersa do corpo de prova, g.

Defeitos como rachaduras e empenos foi observado nas peças após a aplicação de cada tratamento.

#### 4 DESENVOLVIMENTO/RESULTADOS

Apesar do trabalho ainda não estar totalmente concluído, pois ainda se necessita de uma análise estatística dos resultados obtidos, encontram-se na Tabela 1 uma prévia dos resultados médios obtidos.

Tabela 1 – Caracterização física da madeira natural e termorretrificadas de Guanandi.  $D_a$  = Densidade aparente a 12%;  $D_b$  = Densidade básica;  $P_m$  = Perda de massa;  $I_t$  = Inchamento tangencial;  $I_r$  = Inchamento radial;  $I_l$  = Inchamento longitudinal;  $I_v$  = Inchamento volumétrico;  $C_a$  = Coeficiente de anisotropia.

	$D_a$ $\text{g.cm}^{-3}$	$D_b$ $\text{g.cm}^{-3}$	$P_m$ g	$I_t$ %	$I_r$ %	$I_l$ %	$I_v$ %	$C_a$
Natural	0,561	0,455	-	6,72	3,54	0,44	10,98	1,9
140 °C	0,544	0,465	36,45	6,73	3,21	0,50	10,71	2,1
160 °C	0,548	0,460	44,34	6,99	3,67	0,43	11,39	1,9
180 °C	0,529	0,446	46,28	6,90	3,14	0,38	10,67	2,2
200 °C	0,534	0,468	52,93	5,96	2,56	0,32	9,02	2,3
220 °C	0,518	0,471	56,26	3,72	2,09	0,22	6,12	1,8

#### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos até o momento, pode-se considerar o seguinte:

- A perda de massa foi linearmente maior com a elevação da temperatura.
- A densidade aparente a 12% de umidade diminuiu com o aumento da temperatura e em relação à madeira natural.



- A densidade básica aumentou com o aumento da temperatura e em relação à madeira natural, com exceção do tratamento a 180°C.
- Na direção tangencial, o inchamento aumentou com o aumento da temperatura até 180 °C e depois diminuiu para as temperaturas de 200 e 220 °C em relação à madeira natural.
- Na direção radial, o inchamento diminuiu com o aumento da temperatura em relação à madeira natural, com exceção do tratamento de 160 °C que foi maior, inclusive para a madeira natural.
- Na direção longitudinal, o inchamento diminuiu com o aumento da temperatura, com exceção do tratamento de 140 °C que foi maior, inclusive para a madeira natural.
- Quanto ao inchamento volumétrico, este diminuiu com o aumento da temperatura, com exceção do tratamento de 160°C, que foi maior, inclusive para a madeira natural.
- O coeficiente de anisotropia foi bom para as temperaturas de 160 e 220 °C, inclusive a madeira natural, e ruim para as demais temperaturas.
- As peças termorretrificadas nas temperaturas de 180, 200 e 220°C, de modo geral, apresentaram defeitos como rachaduras na direção da medula e encanoamentos, não presentes nas temperaturas menores e nem na testemunha.
- De modo geral, pôde-se caracterizar a madeira natural do Guanandi quanto às propriedades físicas determinadas, encontrando, inclusive um bom coeficiente de anisotropia, bem como analisá-la frente à termorretrificação, a qual mostrou que maiores temperaturas aumentam sua densidade básica e diminui a aparente a 12% de umidade.



## REFERÊNCIAS

- AROSTEGUI, V. A. Recopilacion y analisis de estudios tecnologicos de maderas peruanas. Lima: FAO, 1982. 57 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. ABTCP 14-70: Normas de ensaio. São Paulo, 1968.
- BRITO, J. O. Fuelwood utilization in Brazil. *Biomass & Bioenergy*, v. 12, n.1, p. 69-74, 1997.
- BHUIYAN, T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Effect of intermittent heat treatment on crystallinity in wood cellulose. *Journal of Wood Science*, Tóquio, v.47, n.5, p.336-341, 2001.
- CALONEGO, F. W. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ES Maiden. 2009. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras: Guanandi *Calophyllum brasiliense*. Colombo: Embrapa, 1994, v. 1, p. 494-485. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/231707/1/Especies-Arboreas-Brasileiras-vol-1-Guanandi.pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.
- JANKOWSKY, I. P.; CHIMELO, J. P.; CAVANCANTE, A. de A.; GALINA, I. C. M.; NAGAMURA, J. C. S. Madeiras brasileiras. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 172 p.
- JOHANSSON, D. Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour. 2005. 142 f. Tese (Division of Wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden.
- KILLEAN, T. J.; GARCIA E., E.; BECK, S. G. (Ed.). Guia de arboles de Bolívia. La Paz: Herbario Nacional de Bolívia; St. Louis: Missouri Botanical Garden, 1993. 958 p.
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.
- METSÄ-KORTELAJINEN, S.; ANTIKAINEN, T.; VIITANIEMI, P. The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pines and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C. *Holz als Roh- und Werkstoff*, Berlin, v.64, n.3, p.192-197, 2005.
- MILITZ, R. Heat treatment technologies in Europe: Scientific background and technological state-of-art. In: CONFERENCE ON ENHANCING THE DURABILITY OF LUMBER AND ENGINEERED WOOD PRODUCTS. Proceedings... Kissimmee, Orlando: Forest Products Society, Madison, US, 2002.
- MORESCHI, J. C. Propriedades tecnológicas da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.





OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Revista Árvore, v.27, n.3, p. 381-385, 2003.

PESSOA, A. M. C.; FILHO, E. B.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis* submetida ao ataque de cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis*. Scientia Forestalis, v.1, n.72, p.11-16, 2006.

POLITO, J. C.; ROCHA, G. S.; SERRANO, C. Z. Estudio ecologicoforestal de la colonia agricola-ganadera "Progreso", Municipio de Matias Romero, Oaxaca. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 1982. 35 p.

RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. Proceedings... Antibes, France: COST ACTION E 22, 2001, 68p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. Sellowia, Itajaí, n. 28/30, p. 3-320, 1978.

ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. HolzalsRoh- und Werkstoff, Berlin, v.62, n.2, p.113-119, 2004.

WASKETT, P.; SELMES, R. E. Opportunities for UK grown timber: wood modification state of the art review. Building Research Establishment LTD, proj. n° 203-343. 2001, 83p.