

## Alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) termorretrificada

Anderson Pertuzzatti<sup>1</sup>, Bruno Conte<sup>1</sup>, André Luiz Missio<sup>1</sup>, Aline Krolow Soares<sup>2</sup>, Rosana Lamana Guma<sup>1</sup>,  
Clovis Roberto Haselein<sup>1</sup>, Darci Alberto Gatto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Laboratório de Produtos Florestais, Avenida Roraima, 1000, Camobi, CEP 97105-900 - Santa Maria, RS – Brasil. E-mail: anderson.pertuzzatti@gmail.com; efl.brunoconte@gmail.com; andreluizmissio@gmail.com; rosana\_guma@yahoo.com.br; clovis.haselein@ufsm.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas, Engenharia Industrial Madeireira, Conde de Porto Alegre, 793, Centro, CEP 96010-290, Pelotas-RS, Brasil. E-mail: alinekrolowsoares@yahoo.com.br; darcigatto@yahoo.com.br

### RESUMO

A pesquisa teve, como objetivo, avaliar as alterações físicas e superficiais da madeira de canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) termorretrificada, além de orientar o setor madeireiro para possíveis aplicações industriais dessa espécie. Para tanto, foram tratados, termicamente, corpos de prova com 25 x 25 x 100 mm (radial x tangencial x longitudinal) em estufa laboratorial com circulação de ar, sob quatro temperaturas: 130 °C (T130), 150 °C (T150), 180 °C (T180) e 210 °C (T210), pelo período de três horas, além do tratamento controle (TC). Como parâmetros físicos avaliaram-se a estabilidade dimensional e a higroscopicidade da madeira. Já para os ensaios superficiais foram analisadas a colorimetria e a rugosidade. De maneira geral, verificou-se que a termorretrificação melhorou as propriedades físicas sendo o T210 o mais efetivo. Os ensaios colorimétricos evidenciaram que a madeira tratada com temperaturas mais baixas (T130 e T150) apresentou coloração branca-acinzentada; já os tratamentos T180 e T210 apresentaram coloração amarelo-claro e marrom-escuro, respectivamente. Os tratamentos mais severos (T180 e T210) proporcionaram aumento na rugosidade da madeira, deixando-a mais áspera. Recomenda-se, neste aspecto, a utilização da madeira termorretrificada de *Tetrorchidium rubrivenium* para fins estéticos, bem como ambientes onde haja oscilação de umidade.

**Palavras-chave:** colorimetria, modificação térmica, propriedades físicas, rugosidade

### *Physical and surface changes of wood *Tetrorchidium rubrivenium* termally treated*

### ABSTRACT

The research aimed to evaluate the physical and superficial alterations wood canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium*) thermally treated, in addition to guiding the timber sector for possible industrial applications of this species. For that were thermally treated the specimens with 25 x 25 x 100 mm (radial x tangential x longitudinal) in an oven with air circulation, under four temperatures: 130 °C (T130), 150 °C (T150), 180 °C (T180) and 210 °C (T210) for a period of three hours, and the control treatment (TC). As physical parameters were evaluated dimensional stability and hygroscopicity. As for the surface tests, we analyzed the colorimetry and roughness. In general, it was found that the thermal treated improved physical properties, the T210 being the most effective. The colorimetric assays showed that wood treated with lower temperatures (T130 and T150) showed a grayish-white color, as the T180 and T210 treatments showed light yellow and dark brown, respectively color. The most severe treatments (T180 and T210) have promoted increased roughness of the wood, leaving it more rough. In this respect, it is recommended the use of wood thermally treated *Tetrorchidium rubrivenium* for aesthetic purposes as well as environments where there is moisture fluctuation.

**Key words:** colorimetry, thermal modification, physical properties, roughness

## Introdução

O canemaçu (*Tetrorchidium rubrivenium* Poeppig e Endlicher) pertence à família Euphorbiaceae e subfamília Crotonoideae. Sua distribuição geográfica se concentra na América do Sul, ocorrendo do México até a Venezuela, além do Peru e Brasil. No território nacional a ocorrência está compreendida desde a Amazônia até o Rio Grande do Sul (Backes & Irgang, 2004).

Conforme Reitz et al. (1988) a madeira de canemaçu se caracteriza como leve a moderadamente pesada, com superfície ligeiramente áspera ao tato, possuindo coloração de branco-amarelada a amarelo-claro. Suas principais utilidades abrangem a fabricação de móveis, chapas aglomeradas, caixotaria e embalagens. Todavia, a madeira possui baixa durabilidade natural e alta instabilidade dimensional, limitando seu uso em ambientes externos. Neste aspecto, processos de modificação térmica surgem como alternativa para melhorar algumas das propriedades físicas e superficiais da madeira.

A termorreificação consiste no aquecimento da madeira em altas temperaturas (120 a 260 °C), formando um material menos higroscópico (Delucis et al., 2014), com alterações colorimétricas (Pincelli et al., 2012; Cademartori et al., 2014a) e com aumento da resistência biológica – resistência fúngica (Calonego et al., 2012; Dubey et al., 2012). O calor atua na modificação e na despolimerização dos grupos hidroxilas, que se encontram sobretudo na região amorfa da celulose e nas hemiceluloses, que são os componentes mais hidrofílicos da madeira, diminuindo, deste modo, a adsorção de moléculas de água (Boonstra & Tjeerdsma, 2006).

Entretanto, a decomposição dos compostos higroscópicos e dos extrativos ocasiona perda de massa e, em contrapartida, redução da resistência mecânica na madeira modificada (Kocafe et al., 2008). Comumente, este efeito é referido pelos pesquisadores como indicativo de severidade da termorreificação e varia conforme a espécie, forma de aquecimento, temperatura e tempo de exposição ao calor (Gündüz et al., 2010; Cademartori et al., 2012; Srinivas & Pandey, 2012).

Da mesma forma, a mudança da coloração também é uma característica importante na termorreificação, que pode ser vantajosa principalmente quando o material é escolhido com base em efeitos estéticos, sendo as alterações colorimétricas mais intensas com a aplicação de temperaturas mais elevadas (Cademartori et al., 2014a).

A rugosidade de superfície é outra propriedade superficial influenciada pela termorreificação, afetando o processo de industrialização da madeira, em especial o acabamento das peças e a resistência adesiva (Karagoz et al., 2011). Esta propriedade é influenciada por diversos fatores relativos à madeira (densidade, umidade, dureza e proporção de lenho inicial e tardio) e aos parâmetros de usinagem (velocidade de avanço, profundidade de corte e ângulo de corte) (Bajic et al., 2008).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar as alterações físicas e superficiais da madeira de *Tetrorchidium rubrivenium* termorreificada, além de orientar o setor madeireiro para prováveis aplicações industriais desta espécie.

## Material e Métodos

### Coleta do material e confecção dos corpos de prova

Foram amostradas, ao acaso, três árvores adultas de *Tetrorchidium rubrivenium*, procedentes de um povoamento florestal natural localizado no município de Vale do Sol, Rio Grande do Sul, coordenadas 29° 36' 14" S e 52° 40' 58" O e 248 m de altitude.

Por se tratar de uma espécie nativa, antecedendo a derrubada das árvores, foi encaminhada a licença ambiental ao órgão competente do Estado, conforme legislação vigente. Utilizou-se a primeira tora de 3 m da qual se retirou um pranchão central de aproximadamente 80 mm de espessura, com a medula incluída e anéis de crescimento orientados. Posteriormente, foram confeccionados 100 corpos de prova com dimensões de 25 x 25 x 100 mm (radial x tangencial x longitudinal).

Antes do início do processo de termorreificação os corpos de prova foram acondicionados em câmara de climatização com temperatura ambiente de 20 ± 2 °C e 65 ± 5% de umidade relativa (UR), até atingirem o ponto de equilíbrio higroscópico, de aproximadamente 12% de umidade.

### Tratamento de termorreificação da madeira

Os tratamentos consistiram de quatro temperaturas distintas, 130 °C (T130); 150 °C (T150); 180 °C (T180) e 210 °C (T210), e ainda do tratamento controle (TC) que foi apenas climatizado. Foi utilizada uma estufa laboratorial de circulação forçada de ar para realização dos tratamentos, em que, primeiramente foi aquecida até 100 °C e logo após foram alocados os corpos de prova. Quando atingida a temperatura final desejada (tratamento), foi contabilizado o tempo de termorreificação de 3 h. Após esse período foi realizado o arrefecimento das amostras deixando-as na estufa até atingir a temperatura de 100 °C. Em seguida, foram novamente acondicionados em câmara climatizada até atingir o equilíbrio higroscópico.

### Ensaio físicos da madeira

Para a avaliação das propriedades físicas da madeira foram quantificados a perda de massa (Eq. 1), o teor de umidade de equilíbrio (Eq. 2), o inchamento volumétrico (Eq. 3), a eficiência anti-inchamento (Eq. 4), a taxa de absorção de água (Eq. 5), a absorção de água (Eq. 6) e a efetividade de repelência a água (Eq. 7). Para tanto, seguiu-se a metodologia proposta por outros autores (Cademartori et al., 2014b; Delucis et al., 2014).

$$PM = \left( \frac{M - M_t}{M} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$TUE = \left( \frac{M_i - M_0}{M_0} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\varepsilon_{vol} = \left( \frac{V_{sat} - V_{sec}}{V_{sec}} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$ASE = \left( \frac{\Delta V_c - \Delta V_t}{\Delta V_c} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$AA = \left( \frac{M_u - M_0}{M_s} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$T_{AA} = \left( \frac{M_u - M_0}{\Delta t} \right) \quad (6)$$

$$WRE = \left( \frac{AA_t - AA_c}{AA_c} \right) \times 100 \quad (7)$$

em que: PM – perda de massa (%); M – massa do corpo de prova antes da termorretrificação (g);  $M_t$  – massa do corpo de prova após a termorretrificação (g); TUE – teor de umidade de equilíbrio (%);  $M_i$  – massa na condição de equilíbrio higroscópico (g);  $M_0$  – massa seca em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  (g);  $\epsilon_{vol}$  – inchamento volumétrico;  $V_{sat}$  – volume do corpo de prova saturado ( $\text{mm}^3$ );  $V_{sec}$  – volume do corpo de prova seco ( $\text{mm}^3$ ); ASE – eficiência anti-inchamento (%);  $\Delta V_c$  – variação volumétrica dos corpos de prova do tratamento controle, (%);  $\Delta V_t$  – variação volumétrica dos corpos de prova termorretrificados (%); AA – absorção em água (%);  $M_u$  – massa dos corpos de prova após imersão em água (g);  $T_{AA}$  – taxa de absorção em água (g/h);  $\Delta t$  – variação no tempo de imersão dos corpos de prova (h); WRE – efetividade de repelência à água (%);  $AA_c$  – absorção de água dos corpos de prova controle (%);  $AA_t$  – absorção em água dos corpos de prova termorretrificados (%).

### Ensaio superficiais

Para o ensaio de colorimetria foram utilizados 10 corpos de prova por tratamento e realizadas seis medições colorimétricas, três na seção tangencial e três na radial. Utilizou-se um colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-400, com abertura do sensor de 8 mm. O aparelho foi configurado para uso de fonte de luz D65 e ângulo de observação de  $2^\circ$  no padrão descrito pela *Commission Internationale de L'éclairage (CIE-L\*a\*b\*)* de 1976.

Os parâmetros colorimétricos avaliados foram: claridade  $L^*$  (preto, 0 - branco, 100), coordenada cromática  $a^*$  (+ vermelho, - verde), coordenada cromática  $b^*$  (+ amarelo, - azul), saturação de cor  $C^*$  e ângulo de tinta  $h$  (tonalidade); já a variação de cor  $\Delta E$  foi calculada conforme a Eq. (8).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

em que:  $\Delta E$  – variação de cor;  $\Delta L^*$  – variação dos parâmetros de claridade;  $\Delta a^*$  – variação da coordenada cromática vermelho-verde;  $\Delta b^*$  – variação da coordenada cromática amarelo-azul.

A rugosidade superficial foi realizada utilizando-se um rugosímetro - SE 1200 da marca Kosaka Lab-Sufcorder. A resolução vertical do equipamento é de  $0.0064 \mu\text{m}$ , a magnitude vertical (V) é  $100 \mu\text{m}$  e a horizontal (H) é de 25

$\text{mm } \lambda\text{c}^{-1}$ , o comprimento da avaliação ( $\lambda\text{c}$ ) foi regulado para 2,5 mm (medida extra L de 4x) e velocidade de medição de  $0,5 \text{ mm s}^{-1}$ .

Os parâmetros mensurados foram  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$  e  $R_t$  (rugosidade média, quadrática, de profundidade média e total, respectivamente), de acordo com a norma *International Organization for Standardization – ISO 4287* (1997). Foram utilizadas 10 amostras, em que foram realizadas, no centro de cada uma, medições para evitar os efeitos de usinagem das bordas no corpo de prova.

### Avaliação estatística dos resultados

Procedeu-se à análise estatística com delineamento inteiramente casualizado, com quatro temperaturas mais o tratamento controle. Os dados foram interpretados por meio da análise de variância (ANOVA) para 5% de significância.

Foram verificadas a normalidade e a homogeneidade de variância dos dados, respectivamente com os testes White e Shapiro-Wilk, sendo os resultados satisfatórios para aplicação dos testes paramétricos. Em caso de rejeição da hipótese nula foi realizado teste de médias *Least Significant Difference* (LSD) de Fisher em nível de 5% de significância.

## Resultados e Discussão

### Ensaio físicos da madeira

Verificou-se, para as propriedades físicas da madeira termorretrificada, que a perda de massa (PM) foi maior conforme o aumento da temperatura dos tratamentos (Tabela 1) e se observou que o T210 proporcionou a maior PM, sendo aproximadamente 3,9 vezes superior que a PM do T180. Segundo Esteves et al. (2007), a PM é explicada pela baixa estabilidade térmica das hemiceluloses e da região amorfa da celulose, que são despolimerizadas durante a termorretrificação. Esta característica pode ser utilizada como parâmetro de qualidade da termorretrificação, isto é, quanto maior a PM mais severos são os tratamentos, além de apresentar correlação direta com as propriedades mecânicas da madeira (Gündüz et al., 2010). Desta maneira, deve-se evitar a utilização de temperaturas severas quando se deseja manter parcialmente a resistência mecânica da madeira termorretrificada.

O teor de umidade de equilíbrio (TUE) e o inchamento volumétrico ( $\epsilon_{vol}$ ) apresentaram decréscimo conforme o aumento da temperatura de termorretrificação. O tratamento T210 proporcionou decréscimo no TUE de 58,3% em comparação com o tratamento TC e, para o  $\epsilon_{vol}$ , o decréscimo foi de 43,4% (Tabela 1).

As eficiências anti-inchamento e a repelência de água, tiveram acréscimo conforme o aumento da temperatura (Tabela 1), em que, o tratamento T210 foi o mais eficiente em ambas as características. Resultados semelhantes também foram relatados em pesquisas anteriores (Dubey et al., 2012; Srinivas & Pandey, 2012). Pode-se observar que a madeira termorretrificada se tornou menos higroscópica e mais estável dimensionalmente, demonstrando que o tratamento T210 foi o mais eficiente na melhoria das propriedades avaliadas.

Nos tratamentos T150, T180 e T210 a absorção de água em 12 horas de imersão apresentou um decréscimo

**Tabela 1.** Resumo estatístico e teste de médias das propriedades físicas da madeira termorretrificada de canemaçu

	Propriedades Físicas				
	TC	T130	T150	T180	T210
PM (%)	-	0,94 a (0,42)	1,34 ab (0,44)	2,52 b (0,75)	9,74 c (2,95)
TUE (%)	13,43 e (0,30)	9,25 d (0,12)	8,67 c (0,21)	6,66 b (0,28)	5,60 a (0,31)
$\epsilon_{vol}$ (%)	9,39 d (0,32)	8,64 c (0,32)	8,47 c (0,46)	6,95 b (0,38)	5,31 a (0,68)
ASE (%)	-	7,65	9,45	25,79	45,23
WRE (%)	-	10,60	59,58	64,20	70,62

Em que: PM: perda de massa; TUE: teor de umidade de equilíbrio;  $\epsilon_{vol}$ : inchamento volumétrico; ASE: eficiência anti-inchamento; WRE: eficiência à repelência de água. Em médias com letras iguais na linha, não há diferença significativa, segundo o teste de médias LSD, de Fisher, em 5% de significância. Valores entre parênteses indicam o erro padrão.

de aproximadamente 35% em comparação com os demais tratamentos (Figura 1A). Esses resultados seguem a mesma tendência observada por Cademartori et al. (2014b) que obtiveram, tratando termicamente a madeira de *Eucalyptus grandis*, e aumentando a temperatura de 180 a 240 °C, decréscimo de 38% na AA. Conforme os autores isto ocorreu devido à decomposição dos grupos OH (sítios de adsorção) presentes nas hemiceluloses.

Para a taxa de absorção ( $T_{AA}$ ), observou-se a mesma tendência de resultados da absorção de água (AA), em que o pico da  $T_{AA}$  ocorreu na primeira hora de imersão (Figura 1B). Além disto, o tratamento T210 proporcionou decréscimo na  $T_{AA}$  de 41%, quando comparado com o TC na primeira hora de imersão.

Para Hill (2006), as alterações nas propriedades físicas após a realização dos tratamentos de termorretrificação, estão relacionadas com a redução do número de sítios primários de absorção (grupos OH) dentro da parede celular da madeira, resultado da despolimerização e remoção das hemiceluloses. Este fato ocasionou a inibição da adsorção de água e, conseqüentemente, a melhoria das propriedades físicas, com exceção da perda de massa que foi mais acentuada nas temperaturas mais altas, o que reflete possivelmente em perda de resistência mecânica, conforme já relatado por Del Menezzi & Tomaselli (2006).

## Ensaio superficiais

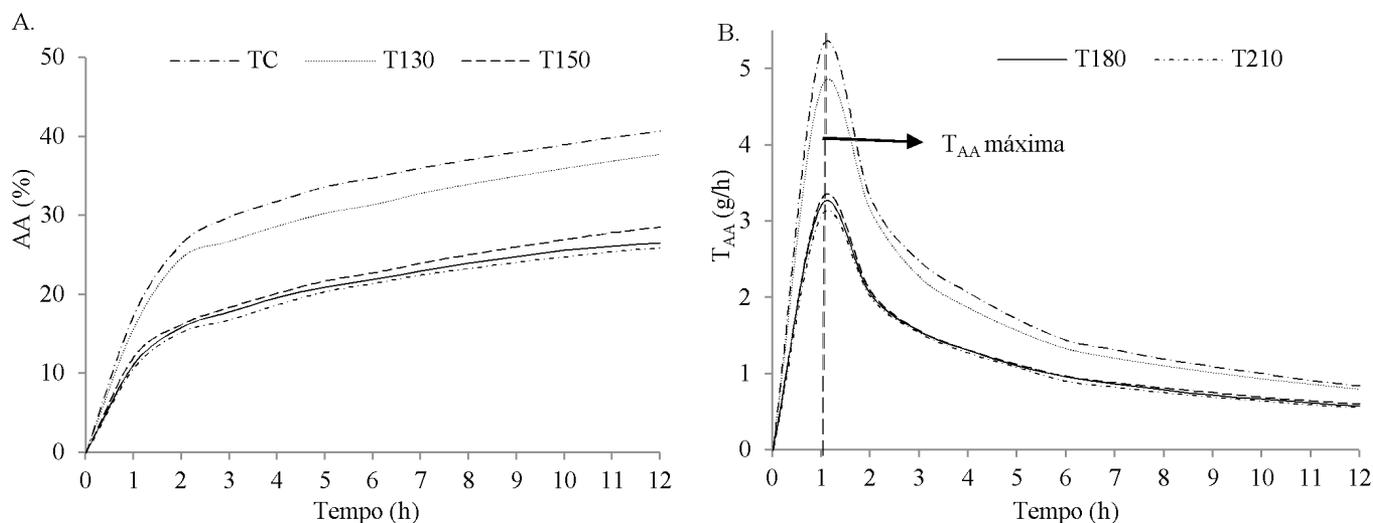
A claridade  $L^*$  apresentou decréscimo de acordo com o aumento da temperatura de termorretrificação, em ambas as seções (tangencial e radial). O tratamento T210 proporcionou os maiores decréscimos, de 56% e 50%, respectivamente para a seção tangencial e radial (Figura 2A) em relação ao tratamento controle. De acordo com Dubey et al. (2012), este decréscimo está relacionado com a despolimerização das hemiceluloses e com a variação do conteúdo de extrativos na madeira, ocorridos durante a termorretrificação.

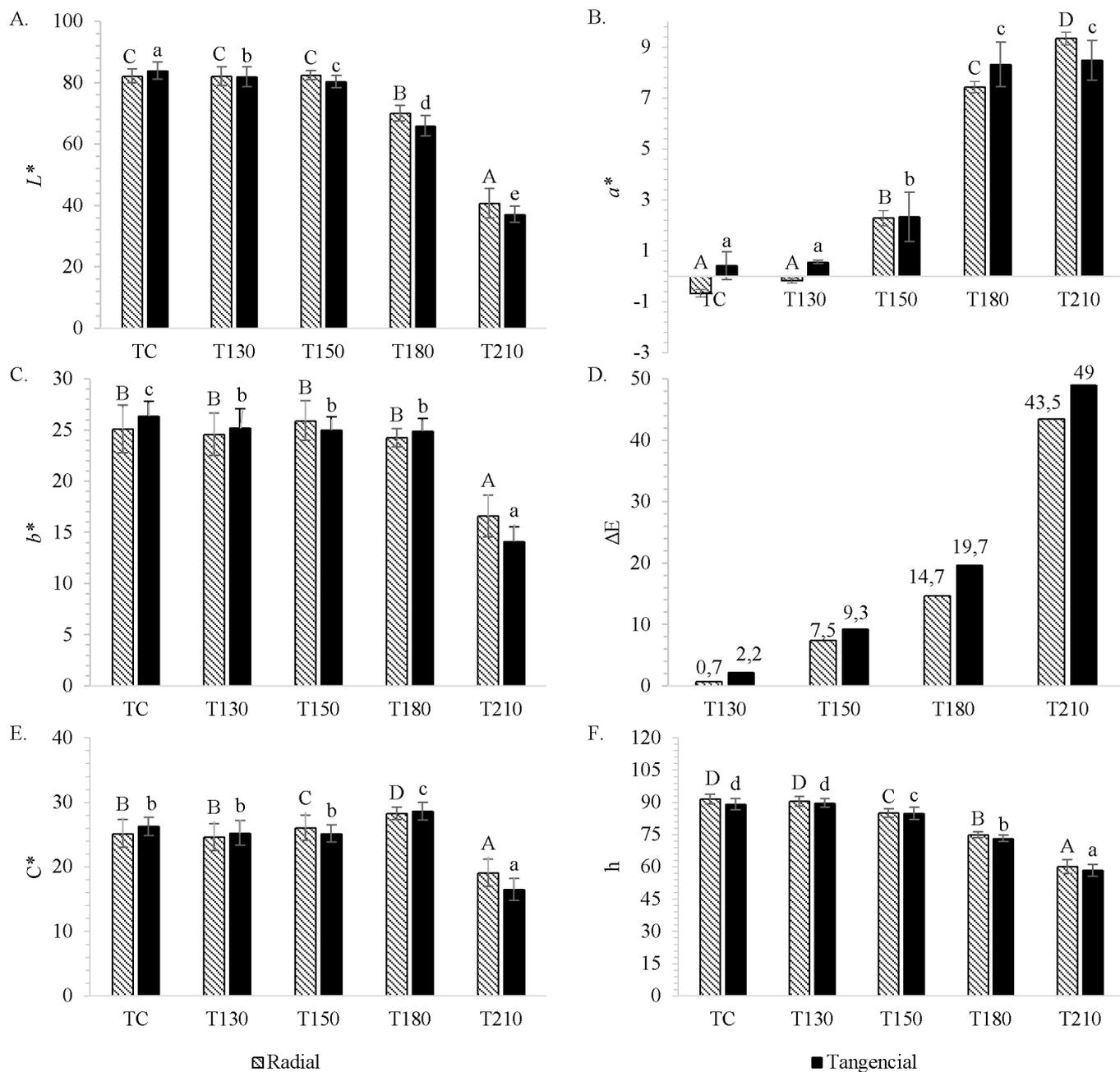
Para a coordenada cromática  $a^*$  houve o maior acréscimo conforme o aumento de temperatura demonstrando que a madeira adquiriu tons de vermelho quando termorretrificada (Figura 2B). Para a seção radial nos tratamentos TC e T130 verificaram-se valores médios negativos para a cromática  $a^*$ , demonstrando que a espécie estudada apresenta tons de verde. A condensação, a despolimerização e a oxidação da lignina, proantocianidinas e de outros extrativos durante a termorretrificação, geram subprodutos, que absorvem luz complementar de cor avermelhada contribuindo para o aumento da coordenada cromática  $a^*$  na madeira (Chen et al., 2012).

Para a coordenada cromática  $b^*$  verificou-se um decréscimo de aproximadamente 33% (radial) e 44% (tangencial) no tratamento T210, em comparação com os demais tratamentos (Figura 2C). Este decréscimo, segundo Pincelli et al. (2012), está relacionado às modificações na estrutura e na constituição química da madeira diminuindo a tonalidade amarela natural da madeira de canemaçu.

A variação total de cor ( $\Delta E$ ) obteve acréscimo conforme o aumento da temperatura (Figura 2D) destacando que o tratamento T210 proporcionou a maior variação de cor, em ambas as seções. Esses resultados seguem a mesma tendência dos encontrados por Srinivas & Pandey (2012) em estudos com madeira de *Hevea brasiliensis* e *Grevilea robusta*.

Para a saturação de cor  $C^*$  observou-se um decréscimo de 21% (radial) e 37% (tangencial) no valor deste parâmetro para o tratamento T210 em comparação com o TC (Figura 2E). Para Cademartori et al. (2013), os decréscimos na saturação estão relacionados com a maior influência de tons cinza-escuro nas

**Figura 1.** Absorção de água (AA) - (A) e taxa de absorção de água ( $T_{AA}$ ) - (B) da madeira de canemaçu termorretrificada



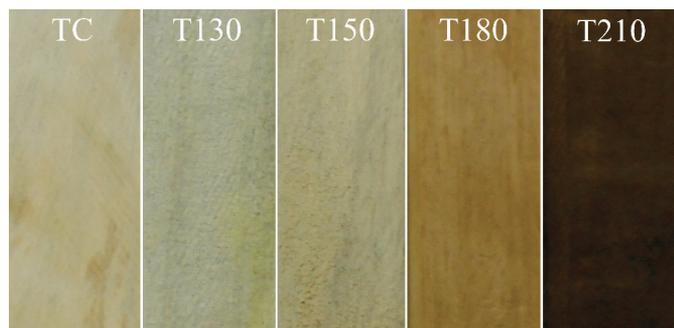
**Figura 2.** Parâmetros colorimétricos:  $L^*$  (Clareza) – (A),  $a^*$  (coordenada cromática vermelho-verde) – (B),  $b^*$  (coordenada cromática azul-amarelo) – (C),  $\Delta E$  (Variação de cor em relação à amostra controle) – (D),  $C^*$  (Saturação) – (E),  $h$  (tonalidade) – (F). Letras seguidas da mesma letra maiúscula (sentido radial) e minúscula (sentido tangencial), não apresentam diferença significativa em 5% de significância

seções tangencial e radial após as termorretrificações. O ângulo da tinta  $h$  também apresentou valores decrescentes com o aumento da temperatura (Figura 2F), principalmente para o T210, que alcançou decréscimos de aproximadamente 34%, em ambas as seções.

De acordo com o agrupamento de Cluster (Camargos & Gonzalez, 2001), que utiliza as variáveis cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $h$ , para designar a cor da madeira os tratamentos TC, T130 e T150 se enquadram na coloração branca-acinzentada, o T180 amarelo-claro e o T210 como marrom-escuro (Figura 3). Conforme Desch & Dinwoodie (1993) tal mudança de cor na madeira é provocada pela alteração na quantidade de extrativos presentes na parede celular, que faz com que a madeira, quando exposta à luz, ar ou calor, escureça, de modo a alterar sua cor.

Para os parâmetros de rugosidade da superfície ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_q$  e  $R_t$ ) da madeira de canemaçu (Tabela 2), verificou-se que os valores máximos (superfície áspera) foram observados em amostras tratadas com as maiores temperaturas (T180 e T210), fato ocasionado principalmente pelas microfissuras na superfície da madeira. Esses resultados divergem dos encontrados por Karagoz et al. (2011) que, avaliando o efeito da termorretrificação sobre a rugosidade de superfície em *Pinus sylvestris*, *Fagus orientalis*, *Abies bornmülleriana* e *Populus canadenses* verificaram que os tratamentos térmicos a 120, 160 e 200°C provocaram decréscimo da rugosidade da madeira.

A partir da comparação entre os planos anatômicos observam-se na seção radial, valores superiores que a seção tangencial,



**Figura 3.** Aspecto visual dos corpos de prova tratados termicamente (T130, T150, T180, T210) e não tratados (TC) da madeira de canemaçu

**Tabela 2.** Parâmetros médios de rugosidade, conforme o plano anômico da madeira de *Tetrachidium rubrivenium* termorretificada

Seção	T	Ra	Rz	Rq	Rt
		(µm)			
Tangencial	TC	7,07 a (1,10)	20,10 a (4,80)	7,77 a (1,28)	20,30 a (4,86)
	T130	9,51 b (2,93)	25,71 b (3,95)	10,62 b (3,32)	25,91 b (4,09)
	T150	9,82 b (2,58)	25,80 b (4,95)	10,67 b (2,96)	26,06 b (4,07)
	T180	10,58 b (2,51)	29,90 c (4,76)	12,83 c (2,02)	30,20 c (5,88)
	T210	10,68 b (2,44)	30,91 d (4,21)	13,42 d (3,67)	32,21 d (6,39)
	TC	8,75 a (1,60)	24,73 a (4,36)	9,51 a (1,77)	24,98 a (5,43)
Radial	T130	9,32 a (1,86)	26,35 b (5,75)	11,27 b (2,78)	26,61 b (6,88)
	T150	10,40 b (2,32)	29,40 c (6,05)	12,17 c (2,66)	29,69 c (7,20)
	T180	11,45 c (2,64)	32,37 d (5,96)	14,69 d (3,23)	32,69 d (6,12)
	T210	12,49 d (2,27)	32,49 d (6,52)	15,06 d (3,26)	32,81 d (6,77)

T= Tratamentos; Parâmetros de rugosidade: Ra (rugosidade média), Rz (rugosidade de profundidade média), Rq (rugosidade média quadrática), Rt (rugosidade total). Médias com letras iguais na coluna não possuem diferença estatisticamente significativa, segundo teste de médias LSD de Fisher em 5% de significância. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão.

demonstrando que a madeira de canemaçu apresenta superfície mais áspera na seção radial, tendência que foi mantida após a aplicação dos tratamentos térmicos. Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores (Karagoz et al., 2011; Gündüz et al., 2007), utilizando as espécies *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Fagus orientalis*, *Abies bornmülleriana* e *Populus canadenses* com temperaturas variando entre 120 a 200 °C.

## Conclusões

A madeira termorretificada de canemaçu foi modificada positivamente para as propriedades higroscópicas e de estabilidade dimensional. Já a perda de massa teve acréscimo conforme a severidade dos tratamentos.

As características superficiais foram alteradas cuja cor passou de branco-amarelo para marrom-escuro, de modo a agregar valor ao produto em decorrência de semelhanças de cor com madeiras nobres. Já a rugosidade aumentou conforme o acréscimo da temperatura de termorretificação; deste modo se recomenda, em casos específicos que exigem uma superfície lisa, apalinar, toronar ou lixar a superfície da madeira.

Em geral, a madeira de canemaçu termorretificada pode ser utilizada em ambientes que, rotineiramente, oscilam a umidade, como no caso de aberturas, esquadrias e móveis de jardins, e para fins estéticos e decorativos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro em prol da realização da presente pesquisa.

## Literatura Citada

- Backes, P.; Irgang, B. Mata Atlântica: as árvores e a paisagem. Porto Alegre: Paisagem do Sul, 2004. 396 p.
- Bajic, D.; Lela, B.; Zivkovic, D. Modeling of machined surface roughness and optimization of cutting parameters in face milling. *Metalurgija*, v. 47, n. 4, p. 331-334, 2008. <[http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008\\_vol\\_47/No\\_4/MET\\_47\\_4\\_331\\_334\\_Bajic.pdf](http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2008_vol_47/No_4/MET_47_4_331_334_Bajic.pdf)>. 10 Mar. 2014.
- Boonstra, M.J.; Tjeerdsma, B. Chemical analysis of heat treated softwoods. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 64, n. 3, p. 204-211, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1007/S00107-005-0078-4>>.
- Cademartori, P.H.G.; Mattos, B.D.; Missio, A. L.; Gatto, D.A. Colour responses of two fast-growing hardwoods to two-step steam-heat treatments. *Materials Research*, v. 17, n. 2, p. 487-493, 2014a. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-143920140050000361>>
- Cademartori, P.H.G.; Missio, A.L.; Mattos, B.D.; Schneid, E.; Gatto, D.A. Physical and mechanical properties and colour changes of fast-growing Gympie messmate wood subjected to two-step steam-heat treatments. *Wood Material Science and Engineering*, v. 9, n. 1, p.40-48, 2014b. <<http://dx.doi.org/10.1080/17480272.2013.853692>>.
- Cademartori, P.H.G.; Schneid, E.; Gatto, D.A.; Beltrame R.; Stargelin, D.M. Modification of static bending strength properties of *Eucalyptus grandis* heat-treated wood. *Material Research*, v. 15, n. 6, p. 922-927, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392012005000136>>.
- Cademartori, P.H.G.; Schneid, E.; Gatto, D.A.; Stargelin, D.M.; Beltrame R. Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, v. 15, n. 1, p. 57-64, 2013. <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000005>>.
- Calonego, F.; Severo, E.; Ballarin, A. Physical and mechanical properties of thermally modified wood from *E. grandis*. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 70, n. 4, p. 453-460, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1007/S00107-011-0568-5>>.
- Camargos, J.A.A.; Gonçalves, J.C.A. Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. *Brasil Florestal*, n. 71, p. 30-41, 2001. <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10497/1/ARTIGO\\_ColorimetriaAplicadaInstrumento.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/10497/1/ARTIGO_ColorimetriaAplicadaInstrumento.pdf)>. 12 Fev. 2014.
- Chen, Y.; Fan, Y.; Gao, J.; Stark, N.M. The effect of heat treatment on the chemical and color change of black locust (*Robinia pseudocacia*) wood flour. *BioResources*, v. 7, n. 1, p. 1157-1170, 2012. <[http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_07/BioRes\\_07\\_1\\_1157\\_Chen\\_FGS\\_Heat\\_Chem\\_Comp\\_Color\\_Locust\\_Wood\\_2425.pdf](http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_07/BioRes_07_1_1157_Chen_FGS_Heat_Chem_Comp_Color_Locust_Wood_2425.pdf)> 16 Jul. 2014.

- Del Menezzi, C.H.S.; Tomaselli, I. Contact thermal post-treatment of oriented strandboard to improve dimensional stability: A preliminary study. *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 64, n. 3, p. 212-217, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1007/S00107-005-0052-1>>.
- Delucis, R.A.; Gatto, D.A.; Cademartori, P.H.G.; Missio, A.L.; Schneid, E. Propriedades físicas da madeira termorretrificada de quatro folhosas. *Floresta e Ambiente* v. 21, n. 1, p. 99-107, 2014. <<http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.008>>.
- Desch, H.E.; Dinwoodie, J.M. Timber-its structure, properties and utilization. 6.ed. London: Mc Milan, 1993. 410 p.
- Dubey, M.K.; John, S.P.; Walker, J. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. *Holzforschung*, v. 66, n. 1, p. 49-57, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1515/HF.2011.117>>.
- Esteves, B.; Marques, A.V.; Domingos, I.; Pereira, H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypto (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, v. 41, n. 3, p. 193-207, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1007/s00226-006-0099-0>>.
- Gündüz, G.; Aydemir, D.; Korkut, S. The effect of heat treatment on some mechanical properties and color changes of uludag fir wood. *Drying Technology*, v. 28, n. 2, p. 249-255, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1080/07373930903530162>>.
- Gündüz, G.; Korkut, L.S.; Korkut, S.D. The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyanı black pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) wood. *Bioresource Technology*, n 99, p. 2275-2280, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.015>>.
- Hill, C.A.S. Wood modification: chemical, thermal and other processes. 1.ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 260p. 12 Mar. 2014.
- International Organization for Standardization – ISO. ISO 4287, Geometrical product specifications (GPS) surface texture: profile method – terms, definitions and surface texture parameters. Geneva, Switzerland. 1997. <<http://resource.npl.co.uk/softgauges/pdf/Specification.pdf>>. 15 Mar. 2014.
- Karagoz, U.; Akyildiz H.M.; Isleyen, O. Effect of heat treatment on surface roughness of thermal wood machined by cnc. *Pro Ligno*, v. 4, n. 7, p. 50-58, 2011. <[http://www.proligno.ro/ro/articles/2011/4/karagoz\\_bib\\_ref.pdf](http://www.proligno.ro/ro/articles/2011/4/karagoz_bib_ref.pdf)>. 13 Fev. 2014.
- Kocaefe, D.; Poncsak, S.; Boluk, Y. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of Birch and Aspen. *BioResources*, v. 3, n. 2, p. 517-537, 2008. <[http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes\\_03/BioRes\\_03\\_2\\_Kocaefe\\_PB\\_ThermalTreat\\_Aspen.pdf](http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_03/BioRes_03_2_Kocaefe_PB_ThermalTreat_Aspen.pdf)>. 15 Mar. 2014.
- Pincelli, A.L.P.S.M.; Moura, L.F.; Brito, J. O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* woods. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, v. 14, n. 2, p. 239-248, 2012. <<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2012000200010>>.
- Reitz, R.; Klein, R.M.; Reis, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988. 528p.
- Srinivas, K.; Pandey, K.K. Effect of heat treatment on color changes, dimensional stability, and mechanical properties of wood. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, v. 32, n. 4, p. 304-316, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1080/02773813.2012.674170>>.