

Recebido: 20-05-2015 Aceito: 13-10-2015

## Propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* termorretificada sob diferentes atmosferas

Anderson Pertuzzatti<sup>1</sup>, André Luiz Missio<sup>1</sup>, Bruno Conte<sup>1</sup>, Sara Chagas De Souza, Elio José Santini<sup>1</sup>, Clóvis Roberto Haselein<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Produtos Florestais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

**RESUMO** A termorretificação caracteriza-se pelo aquecimento da madeira, o que provoca alterações nas suas propriedades tecnológicas. Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar as propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* termorretificada em diferentes atmosferas (ar e óleo vegetal). Para tanto, foram tratados termicamente 30 corpos de prova com 25 x 25 x 100 mm (radial x tangencial x longitudinal), em banho de óleo (PEóleo) e estufa com circulação de ar por um período de quatro horas, em ambas as atmosferas. Os parâmetros avaliados foram: variação percentual de massa, teor de umidade de equilíbrio, higroscopicidade e colorimetria da madeira. A partir dos resultados, foi observado que a termorretificação causou alterações favoráveis nas propriedades físicas da madeira. Nas diferentes atmosferas, foi identificado que a termorretificação em óleo apresentou melhores resultados sobre a higroscopicidade da madeira. A cor da madeira apresentou escurecimento após a termorretificação. Entretanto, não foram obtidas alterações significativas na maioria dos parâmetros colorimétricos quando comparados entre as atmosferas. Desse modo, é recomendado utilizar a madeira termorretificada, principalmente em óleo, em ambientes que rotineiramente oscilam a umidade, como no caso de aberturas, esquadrias e móveis de jardins, bem como para fins estéticos e decorativos.

**Palavras-chave:** modificação térmica, higroscopicidade, tecnologia da madeira, pinheiro americano.

## Physical properties of *Pinus elliottii* var. *elliottii* thermally treated wood under two different atmospheres

**ABSTRACT** Thermal treatment is characterized by the heating of wood, which results in changes in their technological properties. Thus, this work aimed to evaluate physical properties of *Pinus elliottii* var. *elliottii* thermally treated wood under different atmospheres (air and vegetable oil). Thirty samples measuring 25 x 25 x 100 mm (radial x tangential x longitudinal) were thermally treated using an oil bath (PEóleo) and a kiln with forced-air circulation for four hours. The parameters evaluated were: mass variation, equilibrium moisture content, hygroscopicity and colorimetry of wood. The results showed favorable changes in physical properties of wood after thermal treatments. Regarding the different atmospheres, oil thermal treatment reduced the wood hygroscopicity. Wood darkening was observed after the thermal treatments. Nevertheless, significant color changes are not observed between heat-treated wood and oil heat-treated wood. Thus, use of thermally modified wood - especially in oil - is recommended for situations with significant oscillation of humidity, such as doors, windows and garden furniture, as well as for aesthetic purposes.

**Keywords:** thermal modification, hygroscopicity, wood technology, Slash Pine.

### Introdução

A madeira de *Pinus* é utilizada para diversos fins, como setor de serrados, celulose e papel, painéis e produção de resinas (breu e terebintina) (MISSIO et al., 2015a). Entretanto,

a madeira vem perdendo valor de mercado devido a características intrínsecas do material, principalmente a alta higroscopicidade e a anisotropia, além da cor esbranquiçada, pouco apelativa para setores mais nobres do mercado consumidor.

Nesse aspecto, os processos de modificação térmica estão entre as alternativas para modificar algumas das propriedades físicas e superficiais da madeira. Dentre eles, a termorretrificação (tratamento a alta temperatura) vem sendo estudada extensivamente (ESTEVEZ E PERREIRA, 2009; CONTE et al., 2014; CADEMARTORI et al., 2015; MISSIO et al., 2015b) devido à crescente demanda por métodos que visem melhorar as características da madeira sem a impregnação de produtos químicos (RAPP, 2001).

A termorretrificação caracteriza-se pelo aquecimento da madeira em altas temperaturas (120°C a 260°C), provocando mudanças nas propriedades tecnológicas que estão relacionadas com a estrutura química do material (NEJAD et al., 2013). As hemiceluloses são os primeiros compostos estruturais a serem degradados (~120°C) por meio da desacetilação, formando o ácido acético, que serve como catalisador da decomposição desse constituinte (AWOYEMI et al., 2009). A celulose, por sua vez, apresenta uma degradação mais lenta em comparação com as hemiceluloses, tendo em vista que a sua acessibilidade é mais restrita, e ocorre principalmente na região amorfa (HILL, 2006). A lignina é o constituinte químico mais resistente à ação do calor, por apresentar uma estrutura mais complexa, sendo que somente a partir de 200°C começam as modificações significativas da parte estrutural e reações de condensação (ESTEVEZ; PEREIRA, 2009; MISSIO et al., 2015c). Já os extrativos são volatilizados durante o tratamento térmico, entretanto, novos produtos advindos da degradação de polímeros estruturais são formados, ocasionando acréscimos quando quantificados quimicamente (ESTEVEZ et al., 2008).

Além da temperatura de termorretrificação, existem outros parâmetros que influenciam nas alterações das propriedades da madeira, com destaque para a atmosfera (oxigênio, nitrogênio, vácuo, óleos), sistemas abertos ou fechados, espécies

florestais, sistemas secos e úmidos, dimensões das amostras e o tempo de tratamento (MILITZ, 2002; HILL, 2006).

A utilização de óleo como atmosfera de transferência distribui o calor de forma uniformemente ao longo da madeira (WANG; COOPER, 2005; DUBEY et al., 2012; MOHEBBY et al., 2014), sendo vantajoso em relação aos métodos que utilizam atmosfera gasosa (MILITZ, 2002). Esta transferência de calor caracteriza-se como um método convectivo em atmosfera gasosa e líquida. Em que, o óleo apresenta maior calor específico (1,96 kJ/kg°C) do que o ar (0,24 kJ/kg°C), assim ocorre maior eficiência no processo de aquecimento.

Neste aspecto, o objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* termorretrificada sob diferentes atmosferas.

## Material e Métodos

### Matéria-prima

Cinco árvores adultas de *Pinus elliottii* Engelm, provenientes de um plantio homogêneo com 20 anos de idade, foram selecionadas segundo a norma da American Society for Testing and Materials – ASTM D5536-94 (ASTM, 2000). O plantio estava situado no município de Encruzilhada do Sul – RS, Brasil, sob coordenadas 30°34'09" S e 52°32'13" O, a 359 metros de altitude.

A partir da primeira tora de cada árvore, foi retirado um pranchão central de aproximadamente 80 mm de espessura. Para realização dos tratamentos, foram confeccionados 30 corpos de prova com as dimensões de 25 x 25 x 100 mm (radial, tangencial e longitudinal). Posteriormente, os corpos de prova foram acondicionados em câmara climatizada à temperatura de 20 ± 2°C e 65 ± 5% de umidade relativa (UR), até atingirem o ponto de equilíbrio higroscópico. Para o tratamento térmico, empregou-se óleo de soja refinado - Tipo 1 (ADM – Lote: LCG 1111), com densidade relativa de 0,919

a 0,925 g/cm<sup>3</sup> (20°C) e calor específico de aproximadamente 1,96 kJ/kg°C.

### Tratamentos térmicos

Os tratamentos de termorretrificação foram realizados em duas atmosferas: óleo vegetal (PEóleo) e ar (PEar), além do tratamento controle (PE), que foi somente climatizado. Para o tratamento PEóleo, foi utilizado um banho de óleo laboratorial (contendo 12,6 litros de óleo de soja) e para o PEar uma estufa laboratorial com circulação forçada de ar e atmosfera ambiente.

A primeira fase do processo correspondeu ao pré-aquecimento, numa taxa de aumento da temperatura de 0,9°C/min para ambos os tratamentos. A segunda fase correspondeu a termorretrificação propriamente dita com duração de quatro horas e temperatura de 180°C. A terceira fase referiu-se ao arrefecimento das amostras, em que a temperatura foi reduzida drasticamente para ~100°C. Finalmente, os corpos de prova foram novamente acondicionados em câmara climatizada até atingir o equilíbrio higroscópico.

### Ensaio físicos

Para a avaliação das propriedades físicas da madeira foi quantificada a variação percentual de massa (Equação 1), teor de umidade de equilíbrio (Equação 2), a absorção (Equação 3) e a derivada da absorção de água (Equação 4). Para tanto, seguiu-se a metodologia proposta por Cademartori et al. (2015) e Delucis et al. (2014).

$$\text{VPM} = (M_t - M) / M \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{TU}_{\text{eq}} = (M_i - M_0) / M_0 \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

$$\text{AA} = (M_u - M_0) / M_0 \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

$$d\text{AA}/dt = (M_u - M_0) / \Delta t \quad \text{Equação 4}$$

Em que: VPM = variação percentual de massa (%); M<sub>t</sub> = massa do corpo de prova após a termorretrificação (g); M = massa do corpo de prova antes da termorretrificação (g); TU<sub>eq</sub> = teor de umidade de equilíbrio na condição 20°C e 65% de UR (%); M<sub>i</sub> = massa na condição de equilíbrio em 20°C e 65% de UR (g); M<sub>0</sub> = massa seca em estufa a 103 ± 2°C (g); AA = absorção em água, após 216 horas de imersão (%); M<sub>u</sub> = massa dos corpos de prova após imersão em água (g); dAA/dt = derivada da absorção de água (g/h); Δt = variação no tempo de imersão dos corpos de prova (h).

### Colorimetria

Para o ensaio de colorimetria foram utilizados 10 corpos de prova por tratamento, sendo realizadas seis medições colorimétricas, três na seção tangencial e três na radial. Para tal, utilizou-se um colorímetro portátil Konica Minolta, modelo CR-400, com abertura do sensor de 8 mm. O aparelho foi configurado para o uso de fonte de luz D65 e ângulo de observação de 2° 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\* (Equação 5), ângulo de tinta h (Equação 6) e a variação de cor ΔE (Equação 7).

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{Equação 5}$$

$$h = \arctang(b^*/a^*) \quad \text{Equação 6}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Equação 7}$$

Em que: C\* = saturação de cor; h = ângulo de tinta; ΔE = variação de cor; ΔL\* = variação dos parâmetros de claridade; Δa\* = variação da coordenada cromática vermelho-verde; Δb\* = variação da coordenada cromática amarelo-azul.

### Análise estatística

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com duas atmosferas (óleo e ar), além do tratamento controle. Os efeitos dos tratamentos foram interpretados por meio da

análise de variância (ANOVA) com comparação de médias através do teste de Tukey, em nível de 5% de significância.

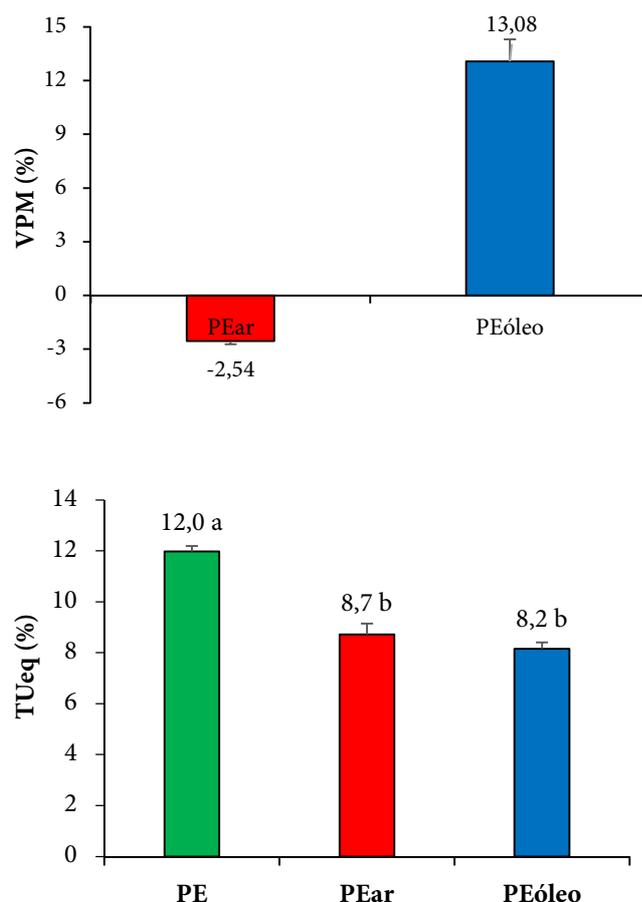
Foram verificadas a normalidade e homogeneidade de variância dos dados pelos testes White e Shapiro-Wilk, respectivamente, onde os resultados mostraram-se satisfatórios para aplicação dos testes paramétricos. Em caso de rejeição da hipótese nula foi realizado teste de Tukey em nível de 5% de significância.

## Resultados e Discussão

### Ensaio físicos

A variação percentual de massa (VPM) foi negativa para o tratamento PEar e positiva no PEóleo (Figura 1). A perda de massa da madeira após a termorretificação está relacionada com a decomposição dos constituintes químicos, principalmente as hemiceluloses (HILL, 2006; FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003). De acordo com Brito et al. (2008) e Aydemir et al. (2011), temperaturas acima de 140°C já interferem na decomposição das hemiceluloses, sendo pronunciado acima de 180°C. Dessa maneira, a aplicação de calor resulta em alterações permanentes na estrutura química da madeira (HILL, 2006). Para o tratamento PEóleo, também ocorreu esse tipo de decomposição química, entretanto a perda de massa foi compensada pela absorção de óleo no lúmen da madeira.

Para o  $TU_{eq}$  foi identificado que os tratamentos PEar e PEóleo apresentaram decréscimos de 27 e 32%, respectivamente, em comparação com o controle (Figura 1). Na avaliação entre as atmosferas de termorretificação, foi observado que a hidrofobicidade do óleo não apresentou efeito considerável, e que a temperatura foi mais influente no  $TU_{eq}$  que a variação das atmosferas utilizadas.



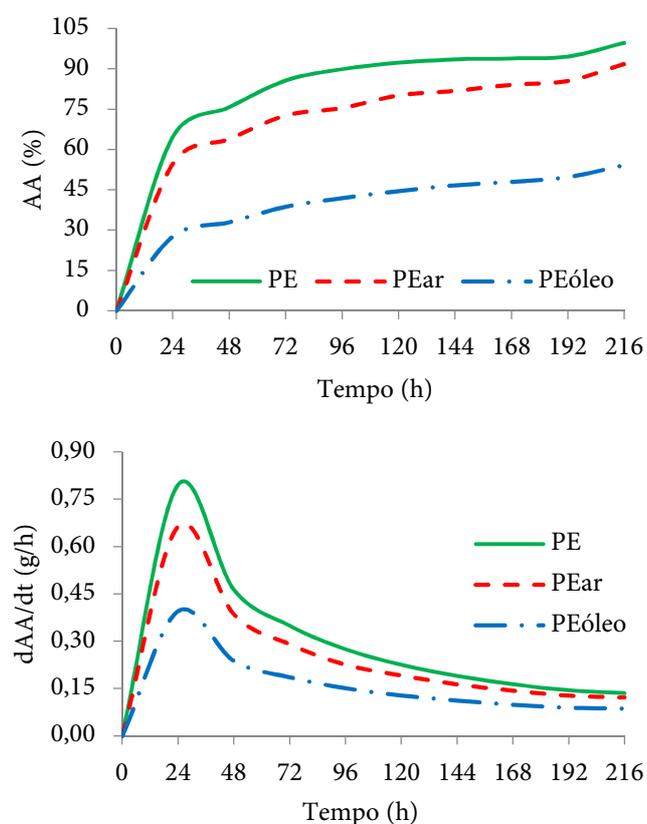
**Figura 1.** Variação percentual de massa (VPM) e teor de umidade de equilíbrio ( $TU_{eq}$ ) da madeira de *Pinus elliotii* termorretificada. Médias com letras iguais não apresentam diferença significativa em 5% de significância pelo teste de Tukey. As barras de erros representam o desvio padrão.

**Figure 1.** Mass percentage change (VPM) and equilibrium moisture content ( $TU_{eq}$ ) of *Pinus elliotii* thermally treated wood. Average values followed by the same letter not differ statistically at 5% significance by Tukey test. The error bars corresponding to standard deviation.

A redução do  $TU_{eq}$  após aplicação de calor, também foi constatada por outros pesquisadores (CADEMARTORI et al., 2013; CONTE et al., 2014; CADEMARTORI et al., 2015; MISSIO et al., 2015b), em que, o decréscimo no  $TU_{eq}$  está associado a redução de grupos OH e/ou clivagem das cadeias glicosídicas (AKYILDIZ; ATES, 2008). Conforme Santos et al. (2012), para a madeira de *Pinus* submetida a altas temperaturas pode ocorrer a migração de resina (breu e terebintina –

material hidrofóbico) para a superfície das amostras, dificultando a entrada de água durante o condicionamento, com consequente redução do  $TU_{eq}$ .

A absorção (AA) e derivada da absorção de água ( $dAA/dt$ ) apresentaram decréscimo de ~50% após o tratamento PEóleo, comparado com o controle (Figura 2). Esse fenômeno pode ser explicado, principalmente, pela decomposição dos sítios de adsorção de água – hemicelulose e celulose amorfa (HILL, 2006) e pela presença de óleo vegetal absorvido nos lúmens celulares (DUBEY et al., 2012). Acredita-se que da mesma forma que a resina de pinus, o óleo também atue como uma película protetora, dificultando a absorção de água devido a sua alta hidrofobicidade. Ressalta-se que as amostras dos diferentes tratamentos atingiram o teor de umidade de equilíbrio ao mesmo tempo.

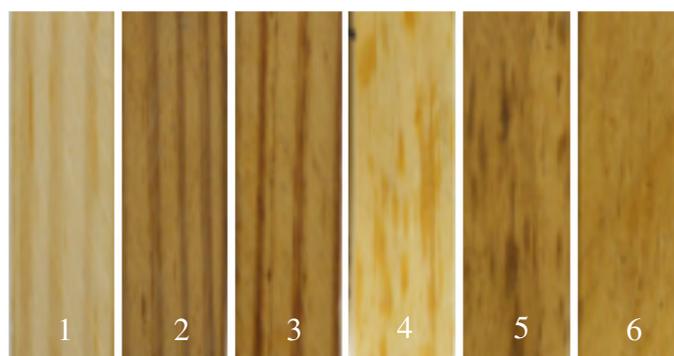


**Figura 2.** Absorção de água (AA) e derivada da absorção de água ( $dAA/dt$ ) da madeira de *Pinus elliottii* termorretificada.  
**Figure 2.** Water absorption (AA) and derivative from water absorption ( $DAA/dt$ ) of *Pinus elliottii* thermally treated wood.

## Colorimetria

Em relação ao tratamento controle, houve um escurecimento da madeira de *Pinus elliottii* tratada termicamente, em ambos os casos em que a mesma foi tratada (Figura 3).

Para a claridade  $L^*$  foi observado que os tratamentos PEar e PEóleo diferiram do tratamento controle (PE), apresentando decréscimo (Figura 4). Para as seções foi verificado que a tangencial apresentou valores ~10% inferiores que a radial. Essa diferença de claridade entre seções também foi encontrada por Silva et al. (2015). De acordo com Sundqvist (2002) e Pincelli et al. (2012), esses decréscimos estão relacionados com a decomposição das hemiceluloses e com a variação do conteúdo de extrativos na madeira ocorridos durante a termorretificação.



**Figura 3.** Avaliação visual dos corpos de prova controle e os termorretificados de *Pinus elliottii*. 1 = PE (radial); 2 = PEar (radial); 3 = PEóleo (radial); 4 = PE (tangencial); 5 = PEar (tangencial); 6 = PEóleo (tangencial).

**Figure 3.** Visual assessment of untreated and thermally treated samples of *Pinus elliottii* wood. 1 = PE (radial); PEar = 2 (radial); 3 = PEóleo (radial); 4 = PE (tangencial); 5 = PEar (tangencial); 6 = PEóleo (tangencial).

Para a coordenada cromática  $a^*$  foi observado que houve acréscimo no valor após a termorretificação, em que, os tratamentos PEar e PEóleo diferiram do controle, ocasionado pela condensação e/ou oxidação de proantocianidinas e de

outros extrativos (CHEN et al., 2012). De acordo com os mesmos autores, esses subprodutos absorvem a luz vermelha, contribuindo para o aumento dessa coloração avermelhada. Entre as atmosferas, foi identificado que a coordenada cromática  $a^*$  apresentou acréscimo no tratamento PEar, provocado pela degradação mais intensa em tal ambiente. Além disso, foi observado que as seções radial e tangencial diferiram nos tratamentos PE e PEar, provocado principalmente pela maior quantidade de raios na seção tangencial. Resultados semelhantes foram encontrados por demais autores estudando a variação de cor na madeira termorretificada (CHEN et al., 2012; CONTE et al., 2014; CADEMARTORI et al., 2014).

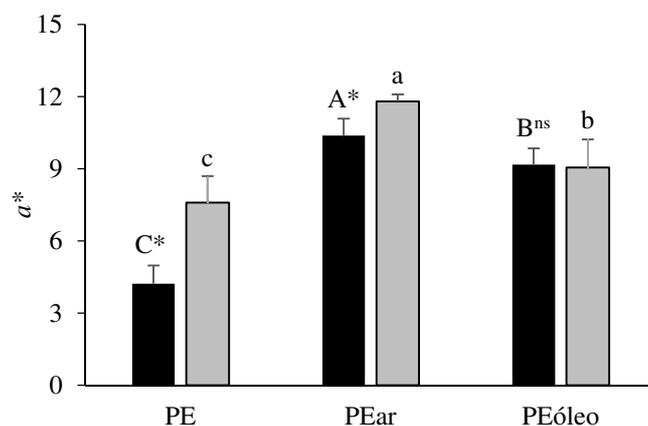
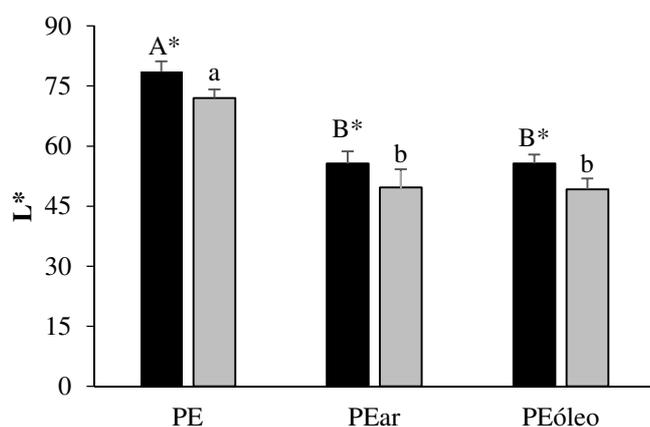
Na coordenada cromática  $b^*$  houve aumento de ~20% dos tratamentos PEar e PEóleo em comparação ao controle, em ambas as seções. No entanto, foi identificado que entre os tratamentos de termorretificação não houve diferença. De acordo com Gunduz et al. (2010), o aumento da cromática  $b^*$  está relacionado com a decomposição das hemiceluloses e ao aumento de açúcares de baixo peso molecular produzidos durante a degradação térmica, aumentando os tons de azul. Já Mori et al. (2004) afirmaram que a cromática  $b^*$  pode ser influenciada pelo teor de lignina solúvel e polifenóis.

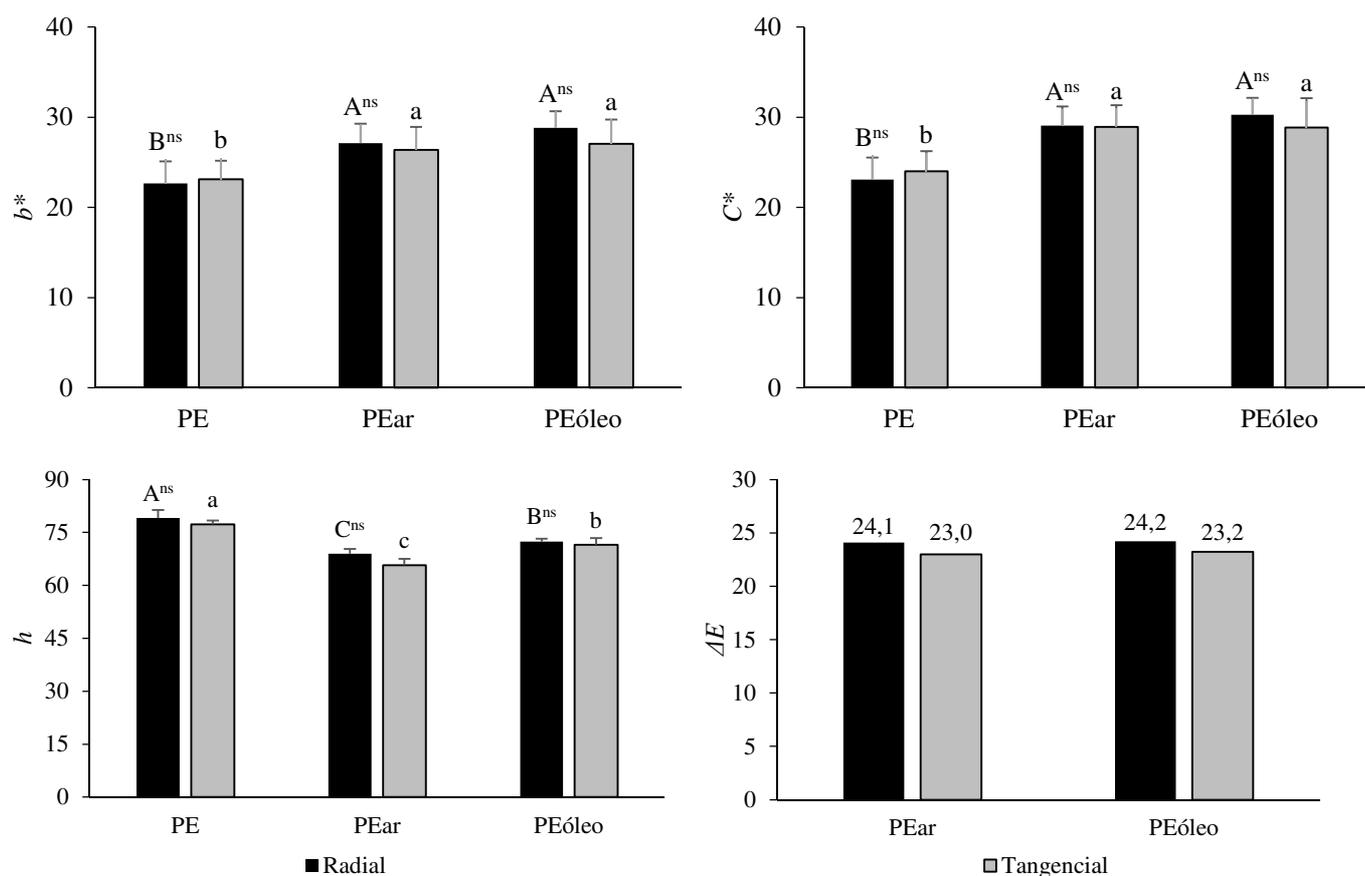
A saturação de cor  $C^*$  apresentou comportamento semelhante a coordenada cromática  $b^*$ , apresentando acréscimo

médio de 25% nos tratamentos PEar e PEóleo em comparação ao controle (Figura 4). Segundo Mattos et al. (2014) essa variável está associada à pureza da cor em relação ao branco e a diminuição da  $C^*$  indica uma opacidade da cor. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Conte et al. (2014), que obtiveram acréscimos no  $C^*$  quando a madeira de *Pinus* foi tratada a 170°C.

No ângulo da tinta  $h$  foi identificado que o tratamento PEar apresentou decréscimo médio de ~15% em comparação com o controle (Figura 4E). Segundo Pincelli et al. (2012), a diminuição do  $h$  implica na homogeneização da cor da madeira após a termorretificação. Conforme Tolvaj e Németh (2008),  $h$  varia entre 0 e 90°, em que 0° está relacionada com a cor vermelha e 90° com a cor amarela, sendo assim a madeira termorretificada tornou-se mais avermelhada.

A variação total de cor ( $\Delta E$ ) foi semelhante entre as duas atmosferas de termorretificação (Figura 4). Entretanto, entre as seções, foi verificado que a radial apresentou maior alteração. De acordo com o agrupamento de Cluster (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001), que utiliza as variáveis cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $h$ , tanto na posição radial como na tangencial, a amostra controle se enquadra na coloração branca, enquanto que PEar e PEóleo se enquadram como marrom-oliva.





**Figura 4.** Parâmetros colorimétricos da madeira.  $L^*$  = claridade;  $a^*$  = coordenada cromática vermelho-verde;  $b^*$  = coordenada cromática azul-amarelo;  $C^*$  = saturação de cor;  $h$  = ângulo de tinta;  $\Delta E$  = variação de cor em relação a amostra controle; \* = significativo entre as seções (radial e tangencial) em 5% de significância pelo teste de Tukey; <sup>ns</sup> = não significativo entre as seções (radial e tangencial) em 5% de significância pelo teste de Tukey. Médias com letras iguais, maiúsculo (seção radial) e minúsculo (seção tangencial), não apresentam diferença significativa em 5% de significância pelo teste de Tukey. As barras de erros representam o desvio padrão.

**Figure 4.** Colorimetric parameters of wood.  $L^*$  = lightness;  $a^*$  = chromatic coordinate red-green;  $b^*$  = chromatic coordinate blue-yellow;  $C^*$  = color saturation;  $h$  = hue angle;  $\Delta E$  = color variation in relation to the control sample. \* = significant difference between the sections (radial and tangential) at 5% significance by Tukey test; <sup>ns</sup> = no significant difference between the sections (radial and tangential) at 5% significance by Tukey test. Letters followed by the same letter, uppercase (radial section) and lowercased (tangential section), do not presented significant difference at 5% significance by Tukey test. The error bars corresponding to standard deviation.

## Conclusões

A termorretrificação causou alterações favoráveis nas propriedades físicas da madeira de *Pinus elliottii*. Nas diferentes atmosferas estudadas foi identificado que a termorretrificação em óleo apresentou melhores resultados para a higroscopicidade da madeira.

A cor da madeira apresentou escurecimento após a termorretrificação em comparação com a madeira não tratada. Entretanto, não foram obtidas alterações significativas na

maioria dos parâmetros colorimétricos em função das diferentes atmosferas de termorretrificação.

Os resultados sugerem que a madeira termorretrificada de *Pinus elliottii*, principalmente em óleo, pode ser utilizada em ambientes que rotineiramente oscilam a umidade, como no caso de aberturas, esquadrias e móveis de jardins, bem como, para fins estéticos e decorativos.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro por intermédio de bolsas de pesquisa e de pós-graduação.

## Referências

- AKYILDIZ, M. H.; ATES, S. Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in turkey. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, n. 6, p. 660-665, 2008.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standards practice for sampling forest trees for determination of clear wood properties: **D5536 - 94**. In: (Ed.). Anual Book of ASTM Standart. West Conshohocken, 2010.
- AYDEMIR, D.; GUNDUZ, G.; ALTUNTAS, E.; ERTAS, M.; SAHIN, H. T.; ALMA, M. H. Investigating changes in the chemical constituents and dimensional stability of heat-treated hornbeam and uludag fir wood. **BioResource**, v. 6, n. 2, p. 1308-1321, 2011.
- AWOYEMI, L.; COOPER, P. A.; UNG, T. Y. In-treatment cooling during thermal modification of wood in soy oil medium: soy oil uptake, wettability, water uptake and swelling properties. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 67, n. 4, p.465-470, 2009.
- BRITO, J. O.; SILVA, F. G.; LEÃO, M. M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8545-8548, 2008.
- CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D.; GATTO, D. A. Effect of thermal treatment on technological properties of rose gum and Sydney blue gum wood. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 1, p. 471-481, 2015.
- 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, 2014.
- CADEMARTORI, P. H. G.; SANTOS, P. S. B.; SERRANO, L.; LABIDI, J.; GATTO, D. A. Effect of thermal treatment on physicochemical properties of Gympie messmate wood. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 360-366, 2013.
- CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, p.30-41, 2001.
- 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.
- CONTE, B.; MISSIO, A. L.; PERTUZZATTI, A.; CADEMARTORI, P. H. G.; GATTO, D. A. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, 2014.
- DELUCIS, R. A.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; SCHNEID, E. Propriedades físicas da madeira termorretificada de quatro folhosas. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 1, p. 99-107, 2014.
- DUBEY, M., K; PANG, S.; 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, 2012.
- ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: A review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p.370-404, 2009.
- ESTEVES, B.; MARQUES, A. V.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Heat-induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, v. 42, n. 5, p.369-384, 2008.
- FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **ThermoWood® handbook**. Helsink, 2003. 66 p.
- GUNDUZ, 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.
- HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, thermal and other processes**. 1st. Chichester: John Wiley & Sons, 2006.
- MATTOS, B. D.; CADEMARTORI, P. H. G.; LOURENÇON, T. V.; GATTO, D. A. Colour changes of Brazilian Eucalypts

- wood by natural weathering. **International Wood Products Journal**, v. 5, n. 1, p.33-38, 2014.
- MILITZ, H. Heat treatment technologies in europe: Scientific background and technological state-of-art. Enhancing the durability of lumber and engineered wood products. **Forest Products Society**, 2002.
- MISSIO, A.L.; MATTOS, B.D.; CADEMARTORI, P.H.G.; WEILER, M.; GATTO, D.A. Propriedades mecânicas da madeira resinada de *Pinus elliottii*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1432-1438, 2015a.
- MISSIO, A.L.; MATTOS, B.D.; CADEMARTORI, P.H.G.; GATTO, D.A. Effects of two-step freezing-heat treatments in Japanese Raisintree (*Hovenia dulcis* Thunb.) wood properties. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 36, n. 1, p. 16-26, 2015b.
- MISSIO, A. L.; MATTOS, B. D. ; CADEMARTORI, P. H. G. ; PERTUZZATTI, A. ; CONTE, B. ; GATTO, D. A. Thermochemical and physical properties of two fast-growing eucalypt woods subjected to two-step freeze-heat treatments. **Thermochemica Acta**, v. 615, p. 15-22, 2015c.
- MOHEBBY, B.; KEVILY, H.; NAJAFI, S. K. Oleothermal modification of fir wood with a combination of soybean oil and maleic anhydride and its effects on physico-mechanical properties of treated wood. **Wood Science Technology**, v. 48, n. 4 p. 797-809, 2014.
- MORI, C. L. S. D. O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.
- NEJAD, M.; SHAFAGHI, R.; ALI, H.; COOPER, P. Coating performance on oil-heat treated wood for flooring. **BioResources**, v. 8, n. 2, p. 1881-1892, 2013.
- 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 - 249, 2012.
- RAPP, A. O. **Review on heat treatments of wood**. In: Special seminar: Environmental optimisation of wood protection. ANTIBES. France: COST ACTION E 22: 2001. 68 p.
- SANTOS, C. M. T.; MENEZZI, C. H. D.; SOUZA, M. R. D. Properties of thermo-mechanically treated wood from *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **BioResources**, v. 7, n. 2, p. 1850-1865, 2012.
- SILVA, E. S; STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A. CALEGARI, L.; PARIZ, E. Colorimetria da madeira de oito espécies nativas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 1, p. 31-37, 2015.
- SUNDQVIST, B. Color response of Scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pubescens*) subjected to heat treatment in capillary phase. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 60, n. 2, p.106-114, 2002.
- TOLVAJ, L.; NÉMETH, K. Correlation between hue-angle and colour lightness of steamed black locust wood. **Acta Silvatica and Lignaria Hungarica**, v. 4, p. 55-59, 2008.
- WANG, J. Y.; COOPER, P. A. Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 63, n. 6, p.417-422, 2005.