



ARTIGO ORIGINAL

Ananias Francisco Dias Júnior<sup>1\*</sup>  
Artur Queiroz Lana<sup>1</sup>  
Pablo Vieira dos Santos<sup>2</sup>  
Alexandre Monteiro de Carvalho<sup>2</sup>  
Natália Dias de Souza<sup>2</sup>  
José Otávio Brito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo – USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, BR 465, km 7, 23897-000, Seropédica, RJ, Brasil

\*Autor Correspondente:  
E-mail: [ananiasjr@usp.br](mailto:ananiasjr@usp.br)

**PALAVRAS-CHAVE**

Usinagem da madeira  
Produtos para acabamento  
Qualidade da madeira  
Análise multivariada

**KEYWORDS**

Wood machinability  
Product for finishing  
Wood quality  
Multivariate analysis

## Propriedades físicas e acabamento superficial da madeira de eucalipto termicamente tratada

### *Physical properties and surface finish of heat treated eucalyptus wood*

**RESUMO:** Vários são os processos industriais que utilizam a aplicação de calor na madeira, pois a mesma termicamente tratada pode ser muito bem empregada em situações que relacionam os tratamentos térmicos a finos acabamentos. Este estudo teve por objetivo analisar a madeira de *Eucalyptus grandis* submetida ao tratamento térmico de acordo com suas propriedades físicas e de acabamento superficial. Para isso, amostras de madeiras foram submetidas aos tratamentos térmicos sob diferentes condições de temperatura e tempo de permanência (160 °C-2 h; 180 °C-2 e 4 h; 200 °C-2 h; 215 °C-4 h; e um tratamento controle). Foram determinadas a umidade de equilíbrio, a densidade aparente, a densidade básica, a variação volumétrica e realizados testes de rugosidade e teste de aderência ao acabamento superficial utilizando-se dois tipos de vernizes (poliuretano e nitrocelulósico). Os tratamentos térmicos influenciaram as propriedades físicas da madeira, proporcionando, para as madeiras tratadas, menores valores de umidade de equilíbrio, densidade aparente e variação volumétrica. Médias inferiores de rugosidade das amostras aplainadas no sentido concordante da grã foram observadas para os tratamentos controle e 215 °C-4 h. Os tratamentos térmicos 160 °C-2 h e 215 °C-4 h apresentaram resultados inferiores de aprovação no ensaio de aderência ao acabamento superficial para os dois vernizes avaliados.

**ABSTRACT:** There are several industrial processes that apply heat in wood, where the thermally treated wood may be used in situations involving fine finishes. This research aimed to analyze the heat treated *Eucalyptus grandis* according to its physical properties and surface finish. The samples were submitted to heat treatments under different conditions of temperature and dwell time (160 °C-2 hours; 180 °C-2 and 4 hours; 200 °C-2 hours; 215 °C-4 hours and a control treatment). Equilibrium moisture content, bulk density, basic density and volumetric variation were determined. Also, roughness and adherence tests as well as surface finishing tests were conducted, using two kinds of varnishes (nitrocellulose and polyurethane). The heat treatments affected the wood physical properties, providing for treated wood, lowest average equilibrium moisture, bulk density and volumetric variation. Lower average values of the machined samples roughness in the grain forward direction were observed for the treatments control and 215 °C-4 hours. The heat treatment 160 °C-2 hours and 215 °C-4 hours showed poorer approval results in the surface finishing adherence test for the two evaluated varnishes.

## 1 Introdução

O potencial da madeira serrada de *Eucalyptus* não é novidade, diversas pesquisas têm abordado tendência crescente no sentido de viabilizar o uso da madeira desse gênero para serraria e movelaria. A adoção de técnicas de manejo silvicultural e de beneficiamento tecnológico tem melhorado as características da madeira, influenciando positivamente a disseminação do seu uso.

Vários são os processos industriais que utilizam a aplicação de calor na madeira, sendo os tratamentos térmicos entre 150 °C e 250 °C aqueles que acarretam alterações físico-químicas, bastante difundidos. Embora esse processo ainda não esteja consolidado no Brasil, no continente europeu, a madeira termicamente tratada é largamente empregada na confecção de produtos, como: decks, móveis para jardim, esquadrias, armários internos, painéis decorativos. Assim, situações que relacionam os tratamentos térmicos a finos acabamentos precisam ser melhor estudados (Esteves & Pereira, 2009).

O tratamento térmico da madeira incorre na submissão desta a temperaturas que provocam alterações de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo das hemiceluloses, que se constituem no componente mais instável à ação do calor (Brito et al., 2008; Palermo et al., 2015). O processo térmico é utilizado em diversas finalidades, entre elas, melhorar a estabilidade dimensional e diminuir a resistência ao corte por processos de usinagem (Priadi & Hiziroglu, 2013; Palermo et al., 2015). Ainda, de acordo com Conte et al. (2014), os tratamentos térmicos podem agregar valor à cor esbranquiçada da madeira de diversas espécies, como algumas de eucalipto.

Há referências indicando a madeira como um material de excelentes propriedades, mas que possui características por vezes indesejadas como alta higroscopicidade, heterogeneidade e anisotropia, das quais derivam grande parte dos problemas apresentados em seu uso (Rousset et al., 2004; Modes et al., 2013). Essas características próprias geram a necessidade de aplicação de tratamentos que possibilitem melhores utilizações. Essa afirmação salienta a importância da estabilidade em determinados usos da madeira como em móveis, decks, pisos e laminados.

O tratamento térmico modifica as propriedades da superfície da madeira, melhorando sua compatibilidade com os componentes orgânicos, por exemplo, resinas ou polímeros, facilitando as operações de impregnação, aderência, fabricação de derivados e o uso de produtos para revestimento de superfície (vernizes, ceras etc.) (Machinery Business Society (1997). Silva et al. (2009) reforçam essa afirmação ao mencionar que a qualidade do revestimento também está atrelada à superfície ancoradora e ao produto utilizado.

A madeira tratada termicamente apresenta perda de massa, a qual afeta a sua densidade e, conseqüentemente, as suas propriedades mecânicas. A literatura demonstra a ocorrência da perda de massa progressiva com o aumento do tempo e da temperatura de aquecimento (Hakkou et al., 2005; Garcia et al., 2012).

Apesar de os tratamentos térmicos melhorarem as propriedades físicas da madeira, podem diminuir substancialmente a resistência mecânica, apontando necessidades de estudos direcionados com o intuito de avaliar o comportamento desse material tratado diante de processos de usinagem e acabamento final

(Palermo et al., 2014). No Brasil, Vital & Della Lucia (1982), estudaram a estabilidade dimensional e a higroscopicidade em *Eucalyptus saligna* como um dos pioneiros na abordagem dessa técnica. Porém, no país, existe carência de trabalhos visando à agregação de valor em peças para setores mais exigentes em qualidade, como o moveleiro (Dias Júnior et al., 2013).

É importante ressaltar que, além da agregação de valor, os acabamentos superficiais proporcionam melhoria estética da madeira usinada e maior durabilidade dos produtos madeireiros. Sendo normalmente utilizados em madeiras os adesivos seladores, as tintas e os vernizes, que são basicamente tintas incolores utilizadas no processamento final, podendo ser naturais ou sintéticos (Avelino, 2012).

Diante o exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a madeira de *Eucalyptus grandis* submetida ao tratamento térmico, quanto às propriedades físicas de umidade, densidade básica, densidade aparente e variação volumétrica, qualidade da superfície aplainada e aderência ao verniz.

## 2 Material e Métodos

As árvores de *Eucalyptus grandis* utilizadas para retirada das amostras foram provenientes de um plantio comercial situado na cidade de Pirai, Estado do Rio de Janeiro, situado nas coordenadas geográficas 22°43'23" latitude (S) e 44°08'0" longitude (W), altitude média de 446 metros e clima tipo Ws, segundo a classificação de Köppen. O plantio no ano abate (2013) possuía vinte e três anos de idade. Foram abatidas seis árvores com diâmetro mínimo de 30 cm (diâmetro altura do peito – DAP) e alturas totais variadas, retirando-se toras com três metros de comprimento, a partir dos 30 cm iniciais do tronco.

O desdobro das toras em tábuas consistiu na retirada de duas costaneiras seguidas de um giro de 90° para realização de cortes sucessivos paralelos. Em seguida, as tábuas tiveram suas dimensões ajustadas para 300 × 125 × 25 mm (comprimento × largura × espessura), conforme a norma americana *American Society for Testing and Materials D 1667-87* (ASTM, 1995).

Antes da aplicação dos tratamentos térmicos, as amostras foram condicionadas em câmara climática a 20 °C e 65% de umidade relativa (UR) até atingir o teor de umidade de equilíbrio próximo a 12%. Os tratamentos foram estabelecidos com base em informações adquiridas na literatura (Brito et al., 2006; Brito et al., 2008), porém com aumento substancial de temperatura e tempo de permanência. Assim, foram consideradas para o tratamento térmico propriamente dito: temperatura e tempo, mais o tratamento controle (sem tratamento). Os tratamentos são especificados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Tratamentos térmicos aplicados à madeira de *Eucalyptus grandis*.  
**Table 1.** Heat treatments submitted to *Eucalyptus grandis* wood.

Temperatura (°C)	Tempo de Permanência (h)
Controle	-
160	2
180	2
200	2
180	4
215	4

O tratamento térmico foi realizado em uma estufa Eletrolab®, modelo 403 com capacidade de 0,1 m<sup>3</sup>. Inicialmente a temperatura foi regulada para 100 °C por trinta minutos e, a partir desta, cada conjunto dos corpos de prova foi submetido a um dos tratamentos propostos, descritos na Tabela 1. Depois da aplicação de cada tratamento térmico, a estufa era desligada e as amostras permaneciam no seu interior até atingir 30 °C. Em seguida, eram recondicionadas em sala climatizada a 20 °C e 65% UR até atingir o teor de umidade de equilíbrio.

Para determinação das propriedades físicas, os corpos de prova foram confeccionados a partir de “amostras pareadas”, observando a descrição presente na NBR 7190 (ABNT, 1997). Os ensaios para determinação da umidade de equilíbrio, densidade básica, densidade aparente e variação volumétrica das amostras tratadas foram conduzidos de acordo com a referida norma.

A partir de metodologia baseada na norma americana para ensaios de usinagem (ASTM, 1995), foi realizado nas amostras (300 × 125 × 25 mm) o aplainamento ou desempenho (Dp), em sentido concordante (AB) e discordante (BA) em relação à orientação do crescimento da grã, ou sentido de crescimento vertical do fuste da árvore (Figura 1), descrito por Dias Júnior et al. (2013).

Para isso, foi utilizada uma plaina desempenadeira de duas facas, com velocidade de alimentação de 6 m min<sup>-1</sup> e rotação de 3600 rpm, espessura de corte de 3 mm e o ângulo de ataque de 30°. Depois desta operação, realizou-se a leitura da rugosidade da superfície da madeira utilizando-se um rugosímetro de agulha seguindo os procedimentos descrito por Dias Júnior et al. (2013). O parâmetro avaliado foi a rugosidade média (Ra), determinado com auxílio da Equação 1. Ao final das medições, obteve-se uma média aritmética para cada superfície associada ao ensaio de aplainamento.

$$Ra = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (1)$$

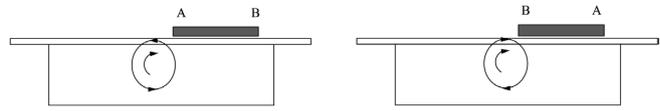
Em que: Ra = rugosidade média (µm); Y<sub>i</sub> = Desvios do perfil.

Os ensaios de aderência foram realizados com base na NBR 11003 (ABNT, 2009). As amostras usadas em cada tratamento térmico foram as mesmas utilizadas nos ensaios de usinagem e rugosidade. Antes da aplicação do verniz, as amostras foram lixadas com lixas de grã 80 e 100, e foi aplicada uma demão de base seladora marca Nena Lack 12000, conforme recomendações do fabricante. Foram aplicadas duas demãos de cada tipo de verniz, um em cada lado das amostras confeccionadas: verniz à base de poliuretano (PU) e verniz à base de nitrocelulose (NC).

O procedimento de avaliação seguiu o método de corte em “X” (ABNT, 2009) em duplicadas para cada tipo de verniz em cada amostra, conforme ilustra a Figura 2.

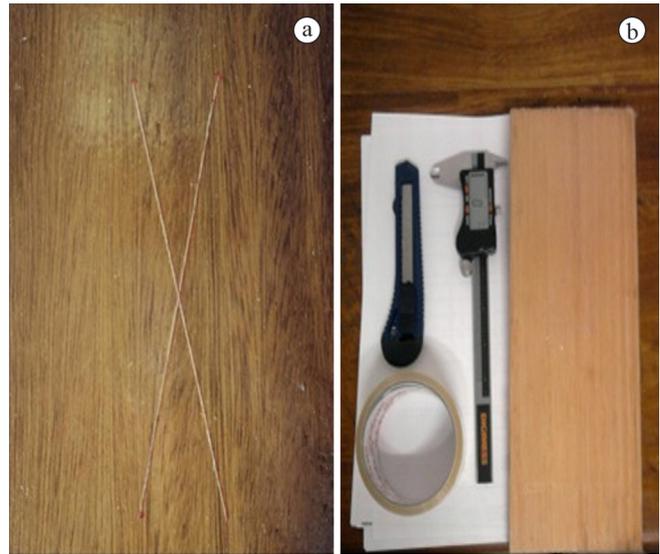
O dispositivo de corte consistiu numa lâmina de aço de aproximadamente 17 mm de largura e fio de corte de 0,2 mm. A fita adesiva de 25 mm de largura foi aplicada em uma região livre de imperfeições, limpa e seca, correspondendo a 1% da área total da amostra em que os vernizes foram aplicados (ABNT, 2009).

Determinada a área de aderência (37,5 cm<sup>2</sup>), executaram-se dois cortes sobre a fita, de 40 mm de comprimento cada um, interceptados ao meio (em “X”), formando o menor ângulo 45°. Depois do intervalo de dois minutos da aplicação, a fita



**Figura 1.** Esquema dos processos de aplainamento em concordância e oposição. Fonte: Dias Júnior et al. (2013).

**Figure 1.** Illustration of the opposition and concordance planing. Source: Dias Júnior et al. (2013).



**Figura 2.** Ilustração do modelo de corte em “X” (a) e materiais usados na análise (b).

**Figure 2.** Illustration of the section type “X” (a) and materials used in the analysis (b).

foi removida, destacando-a firme e continuamente. A área de destacamento, logo após a remoção, foi mensurada, e assim, classificada de acordo com a área de aderência, considerando aprovadas as amostras que apresentaram valor ≤ 10% de destacamento em relação à área total avaliada.

A análise dos dados foi conduzida utilizando o delineamento inteiramente aleatorizado (DIA) com vinte repetições considerando como fator de variação os diferentes tratamentos térmicos ( $Y = \mu + t_i + e_{ij}$ ). Em que: Y<sub>ij</sub> é a observação do i-ésimo tratamento (i = 1, 2, 3, 4, 5 e 6) na j-ésima repetição (j = 1, 2, 3...); µ é uma constante inerente a todas as observações; t<sub>i</sub> é o efeito do i-ésimo tratamento (i = 1, 2, 3, 4, 5 e 6); e<sub>ij</sub> é o erro experimental associado à observação Y<sub>ij</sub>, independente e identicamente distribuído de uma Normal com média zero e variância σ<sup>2</sup>. Dessa forma, os dados obtidos foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov para verificação de normalidade.

Para verificar a proximidade das variâncias, foi aplicado o teste de Levene, pois duas das suposições para análise de variância são a presença de normalidade dos dados e que as variâncias sejam próximas para a categoria analisada. Em seguida, realizou-se a análise de variância (ANOVA) e, quando ocorrido diferença significativa, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de significância. Quando os dados se apresentaram não normais realizou-se o teste não paramétrico de Kruskal Wallis (5%), comparando-se os tratamentos em

pares e de forma independente, sendo que apenas os dados de aderência ao acabamento superficial necessitaram da realização do teste não paramétrico.

A análise multivariada de componentes principais (ACP) foi realizada com o intuito de explicar a estrutura de variância do vetor aleatório composto pelas características avaliadas na madeira submetida ao tratamento térmico, conforme descrições de Manly (2008). Foram consideradas as médias de cada variável de cada tratamento proposto. Para a análise das componentes principais, utilizou-se a matriz de correlação dos dados. As combinações lineares estabelecidas foram interpretadas por meio dos autovetores normalizados e das correlações entre as variáveis originais e as componentes principais.

### 3 Resultados e Discussão

A umidade de equilíbrio apresentou redução em função do aumento da temperatura do tratamento térmico aplicado à madeira, indicando que as alterações ocorridas contribuíram para que a capacidade de absorção da umidade relativa do ambiente pelas amostras diminuísse (Tabela 2). Por exemplo, nota-se um decréscimo da umidade de aproximadamente 41% do tratamento controle ao tratamento 215 °C-4 h. Esse mesmo comportamento também foi observado por Calonego et al. (2012), Lopes et al. (2014) e Conte et al. (2014), que citam a degradação das hemiceluloses e os ganhos na estabilidade das peças em função da formação de hidroximetilfurfural e furfural a partir da desidratação de hexoses e pentoses durante os tratamentos térmicos, tornando a madeira menos higroscópica.

Amostras do tratamento controle e do tratamento 215 °C-4 h apresentaram os maiores valores de densidade aparente e, este último, apresentou ainda maior média para a densidade básica (0,54 g cm<sup>-3</sup>). Apesar da aplicação de maior temperatura e maior tempo de permanência, o tratamento 215 °C-4 h não apresentou dificuldade de saturação das amostras em água para determinação da densidade básica.

O tratamento térmico tem maior influência na diminuição da higroscopicidade da madeira, beneficiando mais a estabilidade dimensional do que a perda de massa (Brito et al., 2006). Tal fato pode ser comprovado observando que o tratamento de maior temperatura e maior tempo de permanência (215 °C-4 h) apresentou as menores médias de umidade de equilíbrio e

variação volumétrica. Os resultados encontrados neste estudo indicam que, durante o tratamento térmico, o aumento de temperatura não provocou nas amostras uma diminuição de massa proporcional à diminuição de volume, indicando que, isoladamente, a massa específica básica não deve ser utilizada como parâmetro para avaliar a qualidade do tratamento térmico (Brito et al., 2006; Calonego et al., 2012), podendo estar associada às características da espécie em estudo.

A explicação para o aumento da estabilidade dimensional possivelmente está associada à redução das hemiceluloses, bem como de parte da região amorfa da celulose, e, em decorrência disso, ocorre a diminuição dos grupos hidroxilas e dos sítios de absorção de água (Conte et al., 2014). De forma resumida, a estabilidade dimensional das amostras termicamente tratadas analisadas neste estudo situam-se dentro de uma amplitude definida pelo tratamento controle e tratamento 180 °C-4 h (menores estabilidades) e tratamento 215 °C-4 h (maior estabilidade).

Os valores médios de rugosidade obtidos para as superfícies aplainadas no sentido concordante ao crescimento da grã obtiveram menores valores médios para os tratamentos controle (9,0 µm) e tratamento 215 °C-4 h (10,49 µm), e maiores médias para 160 °C-2 h (14,91 µm) e 200 °C-2 h (14,75 µm). De forma geral, observa-se que, com exceção das amostras controle e das amostras submetidas ao tratamento mais intenso em tempo e temperatura (215 °C-4 h), houve efeito negativo no parâmetro de rugosidade no sentido concordante ao crescimento da grã, observando-se valores médios mais elevados. A rugosidade média mensurada no sentido discordante ao crescimento da grã apresentou valores médios situados entre 8,33 µm (tratamento 180 °C-4 h) e 35,44 µm (215 °C-4 h), representando um aumento de 76%. Sendo a rugosidade média, parâmetro diretamente atrelado aos processos de acabamento, valores muito elevados devem ter as suas causas detectadas e posteriormente minimizadas visando à qualidade da superfície de madeira acabada.

Bons resultados, ou seja, menores valores de rugosidade de superfícies significam menores imperfeições, visibilizando a aceitação de produtos impermeabilizantes como tintas, colas e vernizes. De acordo com Palermo et al. (2015), o interesse daqueles que usam a madeira, como o aplainamento, é obter uma superfície de boa aparência e realizar, com qualidade,

**Tabela 2.** Valores médios das propriedades físicas e da rugosidade superficial das madeiras analisadas.

**Table 2.** Average values of the physical properties and surface roughness of the analyzed wood.

Tratamento	UE (%)	DA (g cm <sup>-3</sup> )	DB (g cm <sup>-3</sup> )	ΔV (%)	Ra fg (µm)	Ra cg (µm)
Controle	14,76 <sup>a</sup> (3,10)	0,58 <sup>a</sup> (12,19)	0,45 <sup>b</sup> (2,33)	12,62 <sup>a</sup> (9,73)	9,00 <sup>c</sup> (2,53)	24,00 <sup>b</sup> (8,77)
160 °C-2h	13,09 <sup>a</sup> (1,66)	0,47 <sup>c</sup> (7,03)	0,42 <sup>c</sup> (2,09)	11,16 <sup>b</sup> (14,55)	14,91 <sup>a</sup> (5,25)	25,66 <sup>b</sup> (7,98)
180 °C-2h	10,02 <sup>b</sup> (18,35)	0,52 <sup>b</sup> (2,72)	0,46 <sup>b</sup> (2,80)	10,10 <sup>b</sup> (10,76)	11,99 <sup>b</sup> (12,11)	18,19 <sup>c</sup> (10,11)
200 °C-2h	9,60 <sup>b</sup> (4,93)	0,47 <sup>c</sup> (4,42)	0,42 <sup>c</sup> (3,11)	11,30 <sup>b</sup> (14,12)	14,75 <sup>a</sup> (11,11)	19,03 <sup>c</sup> (12,22)
180 °C-4h	9,76 <sup>b</sup> (5,96)	0,50 <sup>b</sup> (6,65)	0,44 <sup>b</sup> (5,48)	12,22 <sup>a</sup> (8,88)	12,75 <sup>b</sup> (9,71)	8,33 <sup>d</sup> (10,21)
215 °C-4h	8,25 <sup>c</sup> (15,06)	0,59 <sup>a</sup> (4,32)	0,54 <sup>a</sup> (2,14)	9,23 <sup>c</sup> (8,79)	10,49 <sup>c</sup> (7,76)	35,44 <sup>a</sup> (14,11)

Em que: UE= umidade de equilíbrio; DA= densidade aparente; DB= densidade básica; ΔV= variação volumétrica; Ra fg= rugosidade medida em superfície aplainada concordante ao crescimento da grã; Ra cg= rugosidade superficial medida em superfícies aplainadas discordante ao crescimento da grã. Valores entre parênteses junto às médias referem-se aos coeficientes de variação (%). As médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade.

operações de acabamento com produtos de recobrimento, como tintas e vernizes.

Estudando a qualidade de superfícies de madeira de *Eucalyptus grandis*, Palermo et al. (2014) encontraram valores médios de Ra entre 12,06 e 12,69  $\mu\text{m}$  para a madeira tratada a 190 °C-6 h. Estes valores encontram-se próximos aos obtidos neste trabalho para Ra mensurada em superfícies aplainadas em sentido concordante ao crescimento da grã. Os autores salientam que a resistência ao corte diminui com a degradação de alguns constituintes fundamentais da madeira, tornando-a mais suscetível às imperfeições. Assim, pode-se inferir que existe uma faixa de tolerância de aplicação de calor na madeira sem que ocorra comprometimento da qualidade da superfície aplainada. Altas temperaturas podem, supostamente, degradar mais facilmente as superfícies, deixando a madeira, quando aplainada, tolerante ao arrancamento de cavacos e levantamento de grã, comprometendo, dessa forma, a rugosidade das amostras ora avaliadas.

É importante salientar que processos que ocasionam sucessivas irregularidades nas superfícies da madeira possibilitam o comprometimento do acabamento final da matéria-prima utilizada, fato observado para a rugosidade obtida para as superfícies aplainadas no sentido discordante ao crescimento da grã. Dias Júnior et al. (2013) mencionam que, quando o intuito é a produção de superfícies visando uso mais nobres, tal procedimento deve ser evitado.

A aplicação do tratamento térmico influenciou a aderência dos vernizes nas superfícies de madeiras submetidas aos tratamentos de 160 °C-2 h e 215 °C-4 h (Tabela 3), ou seja, o mais brando e o mais intenso, respectivamente, em termos de temperatura e tempo de permanência. Essas baixas nos resultados podem estar ligadas ao fato de que tratamentos térmicos mais brandos não eliminam totalmente alguns elementos acidentais (extrativos e carboidratos) da madeira, enquanto que os mais rigorosos podem diminuir a resistência da superfície, dificultando a consolidação do material aplicado à madeira. Em contrapartida, podem-se relacionar os melhores resultados em decorrência dos tratamentos térmicos volatizarem os extrativos e carboidratos presentes na madeira, permitindo melhor fixação do material impermeabilizante (Palermo et al., 2015). O fato de os tratamentos intermediários não influenciarem negativamente a aderência das superfícies das madeiras também pode ser explicada pelo fato de que tenha sido estimulado pelos compostos resultantes da decomposição das hemiceluloses e remoção de extrativos, favorecendo a impregnação adequada dos adesivos.

**Tabela 3.** Avaliação da superfície da madeira pelo teste de aderência.

**Table 3.** Evaluation of the surface of the wood adherence test.

Tratamento	Porcentagem de peças aprovadas (%)	
	Verniz Poliuretano	Verniz Nitrocelulósico
Controle	100	100
160 °C-2 h	94*	96*
180 °C-2 h	100	100
200 °C-2 h	100	100
180 °C-4 h	100	100
215 °C-4 h	90*	95*

\*Indica diferença significativa a 95% de probabilidade de acordo com o teste Kruskal Wallis para o mesmo tipo de verniz.

Os resultados que apresentaram totalidade de aprovação no teste de aderência estão de acordo com os obtidos por Souza et al. (2011). Esses autores obtiveram 100% de aprovação no teste de aderência para madeira de *Eucalyptus camaldulensis* aos dez anos de idade utilizando verniz nitrocelulósico e 100% de aprovação na aplicação de verniz poliuretano em *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis*.

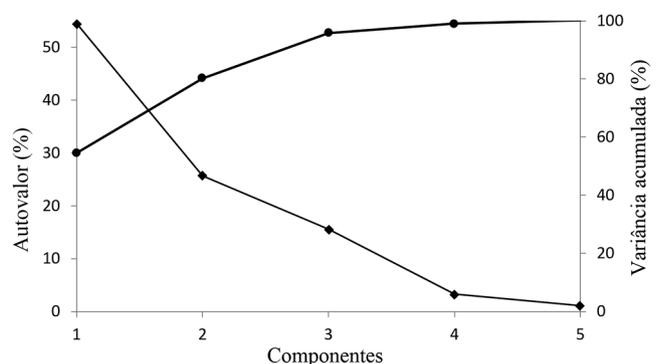
Com relação a análise multivariada, as duas componentes principais explicam aproximadamente 80% da variância total dos dados avaliados (Figura 3). A partir da terceira componente, os valores não apresentam grandes alterações nos valores de suas variâncias.

Neste estudo, foram consideradas as duas primeiras componentes devido à grande porcentagem da variância explicada por elas (os dados mais relevantes amostrados estão contidos nestas duas componentes).

Considerando os valores da Tabela 4, em módulo, observam-se, na componente principal 1, os maiores valores para densidade básica e porcentagem de peças aprovadas no ensaio de acabamento superficial submetidas ao verniz poliuretano, indicando que essas variáveis foram as mais influenciadas na madeira termicamente tratada.

Analisando-se os autovetores na componente 1 (Tabela 4), pode-se constatar que quanto maiores os escores para as densidades, menores foram os escores para umidade de equilíbrio nessa componente, demonstrando a eficiência do tratamento térmico nesta variável. Porém, é preciso observar que a relação entre eles é negativa, ou seja, a medida que aumenta um fator descrese o outro. Neste mesmo sentido, observa-se, na componente principal 2, que maiores valores dos escores de densidade aparente e de rugosidade mensurada em peças aplainadas no sentido concordante ao crescimento da grã favoreceram a ocorrência de valores inferiores de porcentagem de peças aprovadas no ensaio de acabamento superficial. Já que ambas as características podem ser facilmente associadas, espera-se que, quanto menor forem as imperfeições presentes em uma superfície de madeira (menor rugosidade média), melhor seja a impregnação de um determinado adesivo sobre ela.

Analisando a distribuição gráfica dos tratamentos térmicos estudados (Figura 4) em relação às duas primeiras componentes principais, pode-se perceber a distinta separação entre os

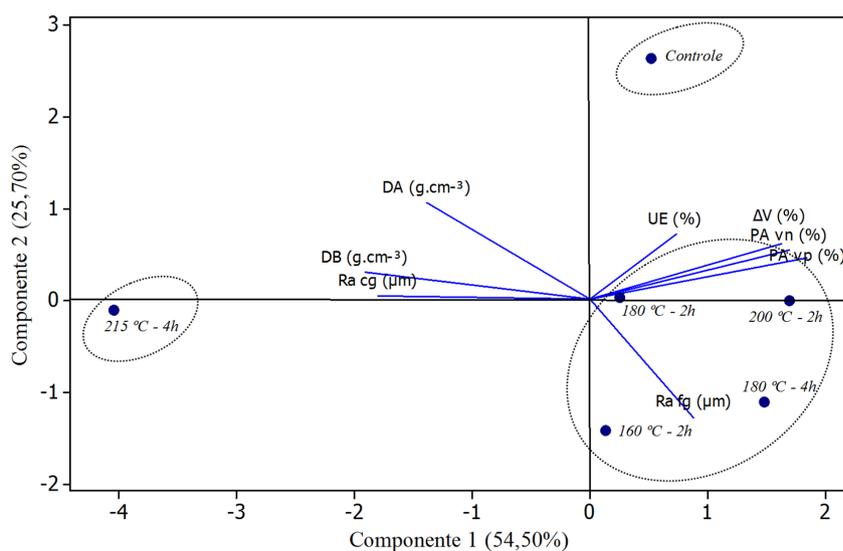


**Figura 3.** Variância explicada acumulada e autovalores obtidos da matriz de correlação.

**Figure 3.** Variance explained cumulative and eigenvalues obtained by correlation matrix.

**Tabela 4.** Autovetores das duas primeiras componentes principais.**Table 4.** Eigenvectors of the first two principal components.

Variável	Componente 1	Componente 2
Umidade de equilíbrio – UE (%)	0,167	0,346
Densidade aparente – DA (g cm <sup>-3</sup> )	-0,319	0,514
Densidade básica – DB (g cm <sup>-3</sup> )	-0,439	0,146
Varição volumétrica – ΔV (%)	0,372	0,297
Rugosidade média a favor da grã-Ra fg (μm)	0,201	-0,625
Rugosidade média contra a grã-Ra cg (μm)	-0,413	0,020
Peças aprovadas com verniz poliuretano – PAvp (%)	0,422	0,219
Peças aprovadas com verniz nitrocelulósico – PAvn (%)	0,387	0,261
Variância explicada (%)	54,50	25,70
Variância explicada acumulada (%)	54,50	80,20
Autovalores	4,35	2,05



Em que: UE= umidade de equilíbrio; DA= densidade aparente; DB= densidade básica; ΔV= variação volumétrica; Ra fg= rugosidade medida em superfície aplainada concordante ao crescimento da grã; Ra cg= rugosidade superficial medida em superfície aplainada discordante ao crescimento da grã.

**Figura 4.** Diagrama de ordenação dos tratamentos térmicos aplicados considerando os escores e autovetores das componentes principais 1 e 2.**Figure 4.** Ordination diagram of heat treatments applied considering the scores and eigenvectors of the main components 1 and 2.

tratamentos controle e 215 °C-4 h dos demais, dispendo-se o significativo efeito dos tratamentos térmicos analisados.

O tratamento controle apresentou-se contraindicado para ser utilizado em situações que necessitem fino acabamento, pois os autovetores apontam os maiores valores de umidade de equilíbrio e de variação volumétrica. Apesar de não ter comprometido a média de aprovação nas amostras submetidas aos vernizes aplicados, esses altos valores podem ser desfavoráveis em outros procedimentos de acabamentos como inserção de pregos, parafusos, cavilhas etc.

Os autovetores indicam para o tratamento 215 °C-4 h elevados valores de densidade (básica e aparente), maior rugosidade média medida no sentido discordante ao crescimento da grã, menores valores médios de umidade de equilíbrio e contração volumétrica (escores apontam em sentido oposto). Todavia, os elevados valores de rugosidade média e, conseqüentemente, de menores valores de aprovação de teste de acabamento superficial podem indicar que a temperatura e o tempo utilizado

proporcionaram maior degradação das superfícies da madeira, aumentando a quantidade de imperfeições na peça, o que levou às referidas características indesejáveis para usos que necessitem de fino acabamento.

Valores aproximados de rugosidade média medida no sentido concordante ao crescimento da grã, bem como de aprovações no ensaio de acabamento superficial para 160 °C-2 h, 180 °C-2 h, 200 °C-2 h e 180 °C-4 h, foram observados, sendo estes os responsáveis pela maior proximidade entre eles, apresentando-se mais distantes dos demais (controle e 215 °C-4 h).

## 4 Conclusões

Os tratamentos térmicos influenciaram diretamente as propriedades físicas da madeira, uma vez que as madeiras termicamente tratadas apresentaram médias reduzidas de umidade de equilíbrio, densidade aparente e variação volumétrica quando comparadas ao tratamento controle.

Menores valores médios da rugosidade das amostras aplainadas no sentido concordante ao crescimento da grã foram observados para os tratamentos controle e 215 °C-4 h.

Os tratamentos térmicos 160 °C-2 h e 215 °C-4 h apresentaram resultados inferiores de aprovação no ensaio de aderência ao acabamento superficial para os dois vernizes avaliados.

A análise multivariada de componentes principais auxiliou no agrupamento dos tratamentos propostos com vista às variáveis estudadas.

## Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. *ASTM D 1666-87: standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials (reapproved 1994)*. Philadelphia, 1995. p. 226-245.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7190: projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 11003: tintas – determinação aderência*. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.
- AVELINO, E. F. *Avaliação da madeira de teca jovem (Tectona grandis L.f.vem) visando uso em movelaria*. 2012, 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais)–Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.
- BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. *Revista Cerne*, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.
- 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, p. 8545-8548, 2008.
- CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; BALLARIN, A. W. 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.
- CONTE, B.; MISSIO, A. L.; PERTUZZATTI, A.; CADEMARTORI, P. H. G.; GATTO, D. A. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorreificadas de *Pinus elliottii* var. *elliotti*. *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 104, p. 555-563, 2014.
- DIAS JÚNIOR, A. F.; DOS SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; DE CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. *Ciência da Madeira*, v. 04, n. 01, p. 93-107, 2013.
- ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.
- GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. L. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. *Wood Science and Technology*, v. 46, n. 1, p. 41-52, 2012.
- HAKKOU, M.; PETRISSANS, M.; EL BAKALI, I.; GERARDIN, P.; ZOULALIAN, A. Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood. *Holzforschung*, v. 59, n. 1, p. 35-37, 2005.
- LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Propriedades físicas da madeira de teca termorreificada. *Floresta e Ambiente*, v. 21, n. 4, p. 569-577, 2014.
- MACHINERY BUSINESS SOCIETY. *The perdure wood*. Saint-claire, 1997. 12 p.
- MANLY, B. J. F. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 230 p.
- MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A. Hygroscopicity of wood from *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda* subjected to thermal treatment. *Revista Cerne*, v. 19, n. 1, p. 19-25, 2013.
- PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; MONTEIRO, A. M.; GARCIA, R. A. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden tratada termicamente. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 1, p. 145-152, 2015.
- PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; MOURA, L. F.; NOLASCO, A. M.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A. Surface roughness of heat treated *Eucalyptus grandis* wood. *Madera y Tecnologia*, v. 16, n. 1, p. 3-12, 2014.
- PRIADI, T.; HIZIROGLU, S. Characterization of heat treated wood species. *Materials & Design*, v. 49, n. 7, p. 575-582, 2013.
- ROUSSET, P.; PERRÉ, P.; GIRARD, P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 62, n. 2, p. 113-119, 2004.
- SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus* sp. *Revista Cerne*, v. 15, p. 75-83, 2009.
- SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; EVANGELISTA, W. V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* s.t. Blake visando ao uso na indústria moveleira. *Scientia Forestalis*, v. 39, n. 92, p. 403-409, 2011.
- VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do aquecimento na estabilidade dimensional e na higroscopicidade da madeira. *Revista Árvore*, v. 6, n. 2, p. 150-161, 1982.

**Contribuição dos autores:** Ananias Júnior realizou parte dos experimentos, redigiu a escrita científica e analisou estatisticamente os dados; Artur Lana contribuiu com a revisão bibliográfica e discussão dos resultados; Pablo Vieira concluiu a parte experimental e revisou os dados; Alexandre Monteiro realizou a revisão bibliográfica, gramatical e ortográfica do trabalho; Natália Dias confeccionou as tabelas, contribuiu com a discussão dos resultados e checklist do trabalho; José Otávio Brito contribuiu com a revisão bibliográfica, análise estatística, e revisão gramatical do trabalho.

**Agradecimentos:** À CAPES pelo fornecimento da bolsa de estudos aos três primeiros autores.

**Fonte de financiamento:** Não houve fonte de financiamento.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.