III CBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE Khaya ivorensis APÓS TRATAMENTO TÉRMICO

Alexandre Miguel do Nascimento[1]
Fabrizia Dias Guedes Moura[2]
Lucas Felix da Costa[3]
Rosilei Aparecida Garcia[1]

[1] Departamento de Produtos Florestais/ Instituto de Florestas / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
[2] Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
[3] Departamento de Engenharia Química / Instituto de Tecnologia / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

III CBCTEM
Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Khaya ivorensis* APÓS TRATAMENTO TÉRMICO

Resumo: Propriedades acústicas e de coloração são fundamentais na escolha da madeira, entre outros parâmetros, na construção de instrumentos musicais acústicos. Este estudo avaliou as alterações de propriedades físicas da madeira de *Khaya ivorensis A. Chev*, conhecida por "mogno-africano", quando submetidas a tratamentos térmicos. A madeira foi tratada termicamente em ambiente seco, utilizando mufla e ambiente úmido, utilizando autoclave, avaliando-se as propriedades de densidade aparente, cor da madeira, velocidade de propagação do som e teor de umidade. Para determinar a densidade aparente, tomaram-se medições de peso, largura, espessura e comprimento das amostras. Para análise da colorimetria, a medição de cor foi realizada através de espectrofotômetro portátil CM 2600 d da Konica Minolta, no sistema (L*, a*, b*) e também foram calculados os parâmetros de saturação (C*) e ângulo de tinta (H*). Para a propriedade acústica, foi usado o aparelho "Stress Wave Time". Observou-se um decaimento dos valores médios de densidade, umidade e um aumento da velocidade de propagação do som com aumento da temperatura. A aplicação de vapor, especialmente a 160°C, reduz ou alteram muito as propriedades de cor da madeira, descaracterizando-a. Tratamentos a seco até 160°C melhoraram a velocidade de propagação do som, reduziram a umidade de equilíbrio da madeira e não alteraram os padrões de cor da madeira de mogno africano. Concluímos que os tratamentos térmicos são efetivos na obtenção de propriedades que atendam padrões da estética e acústica na confecção de instrumentos musicais.

Palavras-chave: mogno africano, propriedades acústicas, colorimetria, umidade.

PHYSICAL PROPERTIES OF THE WOOD OF Khaya ivorensis AFTER THERMAL TREATMENT

Abstract: Acoustic and coloring properties are fundamental in the choice of wood, among other parameters, in the construction of acoustic musical instruments. This study evaluated the changes in physical properties of Khaya ivorensis A. Chev wood, known as "African mahogany", when subjected to heat treatments. The wood was thermally treated in a dry environment, using a muffle and a humid environment, using an autoclave, evaluating the properties of apparent density, wood color, sound propagation speed and moisture content. To determine the bulk density, measurements of weight, width, thickness and length of the samples were taken. For colorimetric analysis, the color measurement was performed using a Konica Minolta CM 2600 d portable spectrophotometer in the system (L *, a *, b *) and saturation parameters (C *) and ink angle (H*). For the acoustic property, the apparatus "Stress Wave Time" was used. A decrease in the mean values of density, humidity and an increase in the velocity of sound propagation with increasing temperature was observed. The application of steam, especially at 160 ° C, reduces or greatly alters the color properties of the wood, decharacterizing it. Dry treatments up to 160 ° C improved the sound propagation velocity, reduced the equilibrium moisture of the wood, and did not alter the color standards of African mahogany wood. We conclude that thermal treatments are effective in obtaining properties that meet aesthetic and acoustic standards in musical instruments.

Keywords: African mahogany, Acoustic properties, Colorimetry, humidity

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Khaya ivorensis A. Chev.*, conhecida comercialmente como mogno-africano, é uma espécie florestal exótica no Brasil que pertence a Família *Meliaceae* (GUIMARÃES et al., 2004). O mogno-africano tem bom uso comercial, devido às características tecnológicas e visuais da madeira. É usada em movelaria, faqueado, construção naval e em sofisticadas construção de interiores. De acordo com Albuquerque (2001), o mogno africano foi introduzido no Brasil visando substituir o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) devido a sua alta resistência ao lepidóptero *Hypsiphyla grandella*, a principal praga do mogno brasileiro, conhecida como a "broca das meliáceas".

Com o intuito de melhorar as propriedades da madeira, a aplicação de tratamento térmico tem sido estudada e utilizada como um meio para alcançar modificações, podendo assim aumentar a versatilidade de seu uso. As principais características da madeira termorretificada são: o menor teor de umidade de equilíbrio, a maior estabilidade dimensional, a maior durabilidade e a alteração da cor original da madeira (MILITZ, 2002). O tratamento térmico não emprega produtos químicos, fator muito importante no aspecto ambiental. Além disso, pode aumentar a resistência ao apodrecimento e a estabilidade dimensional da madeira, sendo que o processo pode se transformar numa opção para substituição de madeiras tradicionais, principalmente para aquelas que apresentam elevado custo de obtenção, bem como para espécies em extinção (PINCELLI, 1999).

A cor da madeira é uma propriedade que revela grande importância do ponto de vista estético o qual será empregada, acarretando influencia em seu valor. Möttönen *et al*. (2002) observou que as características e a uniformidade da coloração da madeira representam um papel direto no estabelecimento do preço e no valor final do produto. Para a determinação precisa da cor utiliza-se a colorimetria, ciência que, por meio de aparelhos específicos, conhecidos como espectrofotômetros e colorímetros, permite medir e analisar cada elemento da composição de uma cor, quantificando-a, ou seja, atribuindo-lhe valores numéricos.

Atualmente, o método mais eficaz para a determinação da cor da madeira consiste na utilização de aparelhos apropriados, podendo ser um colorímetro ou um espectrofotômetro, os quais utilizam o sistema CIE-L*a*b*, o qual por sua vez é caracterizado por um sistema de coordenadas de cor tridimensional, sendo elas: a luminosidade (L*) que varia de 0 (preto) a 100% (branco) e as coordenadas cromáticas a* (verde-vermelho) e b* (azul-amarelo).

Uma vez que a madeira é utilizada na fabricação de instrumentos musicais e no revestimento de paredes e assoalhos (casas, auditórios, escolas, etc.), algumas de suas propriedades acústicas são de elevada importância (MORESCHI et al., 2014).

Há forte relação entre velocidade de propagação de ondas e a umidade, densidade, e características anatômicas. A umidade afeta a velocidade de propagação de dois modos: no efeito intrínseco da rigidez e na densidade da madeira. A água livre aumenta a atenuação, resultando numa diminuição da velocidade nas direções longitudinal, radial e tangencial (OLIVEIRA et al, 2005). Já Moura et al. (2014) observaram que a velocidade da propagação do som foi inversamente proporcional à densidade da madeira de mogno africano e que houve alta e positiva correlação entre a densidade os pigmentos vermelho e amarelo da madeira natural de mogno.

Ensaios não destrutivos de madeira podem ser definidos como métodos utilizados para identificação das propriedades físicas e mecânicas de um material sem que haja o comprometimento de seu uso final (GABRIEL, 2000).

Novas técnicas, como os métodos não destrutivos, estão sendo estudados para a avaliação das propriedades da madeira e de seus subprodutos. Dentre eles, podem ser destacados os testes de stress wave, ultrassom, deflexão, propriedades elétricas, radiações gama, espectroscopia no infravermelho próximo e método de raios X (MORALES, 2006). Na

técnica de stress wave, são geradas ondas através de uma vibração produzida por impacto na peça em estudo. Mede-se a velocidade do som, cujo valor é utilizado na determinação da constante dinâmica (BODIG, 2001).

A densidade é um dos parâmetros mais utilizados para a avaliação da madeira. O efeito da densidade nas ondas ultra-sônicas é dependente da espécie analisada, da estrutura da madeira e da direção da medição. De modo geral, para um teor de umidade constante ao longo da amostra, o aumento da densidade propicia maior velocidade de propagação em qualquer das três direções de propagação da madeira (OLIVEIRA et al, 2005).

Dentro a boa variabilidade no numero de aplicações como a confecção de instrumentos musicais, por exemplo, tem exigido uma crescente demanda por madeiras que atinjam desempenho satisfatório em requesitos como propriedades acústicas e de estética, visto que existe um numero limitado de possibilidades de madeira para aplicação nessa confecção. Tradicionalmente as madeiras mais utilizadas para confecção de instrumentos de cordas dedilhadas como o violão, a viola e o cavaquinho, por exemplo, são: para o tampo, barras harmônicas e os leques, o Abeto europeu, (*Picea abies*), para o fundo e as laterais, é o Jacarandá da Bahia (*Dalbergia nigra*), para o braço, contra faixa e culatra, são o Cedro (*Cedrela odorata*) e o Mogno (*Swietenia macrophylla*), e para a escala a mais utilizada é o Ébano. (GOMES et al, 2004)

Portanto, a análise de espécies de madeiras pouco convencionais, como o mogno africano, no processo de confecção de um instrumento musical pode auxiliar na avaliação de em um desempenho satisfatório do produto final, do ponto de vista da estética e de propriedades acústicas.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi verificar em que medida os tratamentos térmicos, em ambiente úmido e seco, afetam as propriedades físicas e acústicas da madeira de mogno africano e como a coloração da madeira é afetada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Para a realização deste projeto foi utilizada madeira de *Khaya ivorensis* (mogno africano) obtidas no campus da UFRRJ e EMBRAPA, de duas árvores de aproximadamente 30 anos de idade.

No desdobramento das toras foram retirados pranchões radiais. As laminas, para analise, foram retirados dos pranchões radiais em cortes radiais (Figura 1). Os pranchões foram secos ao ar.

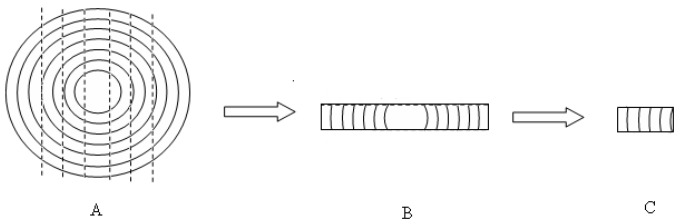


Figura 1. Esquema de desdobro e retirada do material para os testes físicos das toras de *Khaya ivorensis* (A); retirada dos pranchões radiais (B); Peças destinadas à confecção de corpos-de-prova(C).

Dos pranchões radiais foram retirados placas de 5 mm x 65 mm x 240 mm de espessura,

largura e comprimento respectivamente, com o auxílio da serra de disco com dentes vídea. As peças foram devidamente aplainadas para a retirada de qualquer empenamento ou irregularidades (Figura 2).

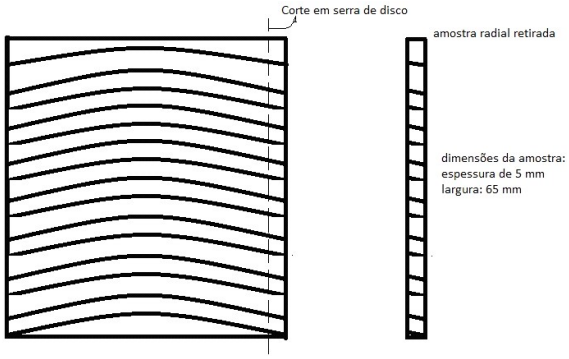


Figura 2. Desenho esquemático que mostra a retirada e placas radiais dos pranchões.

Depois de cortadas, as placas foram climatizadas a 20ºC e UR de 65% sob um sistema de travamento para se evitar possíveis empenamentos e foram realizadas medições até peso constante (Figura 3).

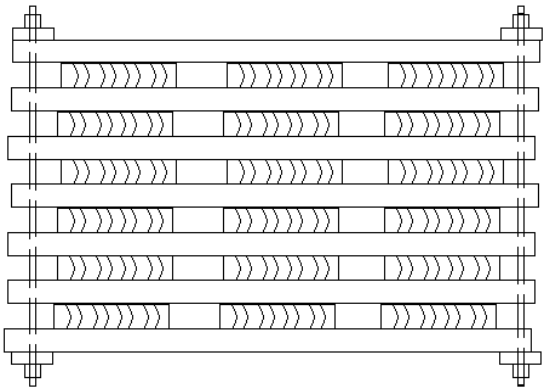


Figura 3. Sistema de contenção e climatização das amostras radiais para evitar possíveis empenamentos.

Das placas radiais foram retiradas amostras com 5 mm x 50 mm x 180 mm de espessura, largura e comprimento, respectivamente, cortadas com serra de disco que posteriormente foram devidamente ensacadas para avaliações.

2.2 Delineamento

O delineamento foi um experimento fatorial onde verificou o efeito da temperatura de termorretificação a seco e por tratamento com vapor a 120°C e a 160°C. A Tabela 1 traz o desenho experimental. Alguns tratamentos tiveram o efeito aditivo do tratamento a seco e a úmido, sendo que foi usado um total de 12 repetições por cada tratamento. As amostras foram distribuídas de forma que a densidade aparente entre os tratamentos, não fossem estatisticamente diferentes, não interferindo assim nos resultados a serem obtidos.

Tabela 1. Desenho experimental e o número de tratamentos resultantes

	Mufla			
Autoclave	Controle	130°C	160°C	190°C
Controle	T1	T2	T3	T4
120°C e 1,2 kgf.cm-2	T5	T6	T7	T8
160°C e 6,0 kgf.cm-2	T9	T10	T11	T12

2.3 Método

Para determinação da densidade aparente, foram tomadas às medições de peso, largura, espessura e comprimento. Na medição da espessura foi utilizado micrometro com precisão de 0,01 mm com quatro medições de espessura ao longo da amostra. A largura e comprimento foram medidas com paquímetro digital.

Para medição da cor, as amostras foram lixadas com lixas de número 80, 220 e 360, na seqüência. Após o lixamento, passaram por um processo de vibração para retirada do excesso de pó. A medição de cor foi realizada através do espectrofotômetro portátil CM 2600 d da Konica Minolta, sendo feita em 5 pontos ao longo do comprimento, equidistante em 4,10 mm, conforme mostrado na Figura 4. Após a medição da cor, todo material foi devidamente ensacado para posterior medição da velocidade do som.

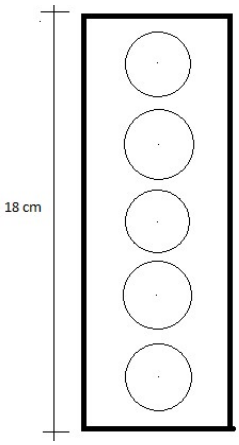


Figura 4: Desenho esquemático da medição da cor em cinco diferentes pontos eqüidistantes da amostra.

Além da medição de cor no sistema (L*, a*, b*), também foram calculados outros parâmetros de cor, componente C* (saturação) pela Eq. (1) e h*(ângulo da cor) pela Eq. (2).

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (2)$$

Foi medido o tempo para propagação da onda sonora com o aparelho “Stress Wave Time”, para determinação da velocidade de propagação do som e a avaliação das propriedades acústicas da madeira, tal como realizado por BUCUR et al. (2002), GARCIA et al. (2010) e LOSCHI NETO et al. (2008). Estes métodos determinam o tempo de propagação de ondas sonoras ou ondas de tensão através do material.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3)$$

Onde;
V = velocidade de propagação do som- m/s
L = é a distancia entre os sensores do stress wave time (m)
T = é o tempo em micro segundos.

2.4 Tratamentos

Na tabela 1 vê-se que os tratamentos T2, T3 e T4 receberam aquecimento apenas em ambiente seco, em diferentes temperaturas; os tratamentos T5 e T9, apenas com vapor; os demais tratamentos, com exceção do T1, receberam primeiramente o tratamento a vapor e posteriormente tratados em ambiente seco. Os tratamentos com vapor, foram realizados em Autoclave e Digestor rotativo, nas temperaturas de 120°C e 160°C sob pressão de 1,3 kgf.cm^{-2} durante o período de 1 hora e 6 kgf.cm^{-2}, durante 70 minutos, respectivamente.

No ambiente seco as amostras foram tratadas em um forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, com as seguintes dimensões 600 x 600 x 700 mm e equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo. O tratamento de termorretificação foi realizado em quatro etapas, sendo elas: 1) aquecimento do material até 100°C para eliminação completa da água durante 30 minutos; 2) aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação desejada (130, 160 e 190°C) durante 20, 16 e 14 minutos, respectivamente; 3) tempo de permanência na temperatura de termorretificação (20 minutos); e 4) resfriamento do material.

Após os tratamentos nas autoclaves e na mufla, as amostras foram levadas a um ambiente climatizado (20°C e 65% de UR) até alcançar peso constante. Para não correr riscos de empenamento as amostras foram devidamente gradeadas e travadas como mostra a Figura 3.

Após tratadas e climatizadas, do material foi novamente tomada a densidade aparente, cor e velocidade da propagação do som.

2.5 Análise estatística

Os dados de densidade aparente, medição de cor (L*, a* e b*), saturação (C*), ângulo de tinta (H), velocidade de propagação do som e teor de umidade foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Quanto detectadas diferenças entres as médias, pelo teste F, foi realizado o teste de Fisher, com o nível de significância a 5%, para discriminação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade aparente, velocidade de propagação do som e umidade

Os resultados das analises de variância se encontram na Tabela 2, mostrando o efeito do tratamento em mufla e em autoclave e a interação entre os meios de tratamento.

Tabela 2 - Analise de variância, com os valores de F, para as variáveis dependentes testadas.

FV	Variáveis dependentes							
	Dens.	L*	a*	b*	C*	H*	Vel.	U
Mufla (1)	2,79*	59,3*	17,82*	35,62*	30,30*	21,41*	21,05*	298,72*
Auto Clave (2)	3,14*	314,4*	92,75*	154,50*	146,23*	56,35*	$0,11^{ns}$	4,09*
(1)x(2)	$1,1^{ns}$	15,81*	3,39*	9,85*	8,01*	5,46*	2,21*	16,60*

Onde: FV é fonte de variação, L* representa a luminosidade no eixo preto-branco, a* e b* representando as coordenadas cromáticas nos eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente, vel. é a velocidade do som, e U é o teor de umidade, * significativo pelo menos ao nível de 5%.

Os resultados obtidos para a densidade aparente, velocidade de propagação do som e umidade estão apresentados na Tabela 3. De acordo com o tratamento estatístico realizado, para a densidade aparente, encontraram-se diferenças significativas entre as médias dos tratamentos térmicos em mufla e em autoclave (vapor), não havendo valores significativos para as conjugações dos tratamentos. Observa-se que aplicação de calor, a seco, independentemente da temperatura aplicada, reduziu a densidade da madeira. O mesmo pode ser observado nas amostras submetidas a calor em ambiente saturado de vapor e sobre pressão.

Tabela 3 – Valores médios da densidade aparente, Velocidade de propagação do som e Umidade da madeira de mogno africano quando tratadas e não tratadas termicamente em ambiente seco e com vapor.

Mufla	Densidade Aparente ($g.cm^{-3}$) Vapor e temperatura ºC			Média
	NT	120	160	
NT	$0,791^{}_{(0,049)}$	$0,751^{}_{(0,041)}$	$0,788^{}_{(0,046)}$	$0,777^{a}$
130	$0,763^{}_{(0,043)}$	$0,750^{}_{(0,045)}$	$0,730^{}_{(0,057)}$	$0,748^{b}$
160	$0,751^{}_{(0,045)}$	$0,738^{}_{(0,038)}$	$0,762^{}_{(0,037)}$	$0,751^{b}$
190	$0,773^{}_{(0,050)}$	$0,740^{}_{(0,046)}$	$0,744^{}_{(0,070)}$	$0,752^{b}$
Média	$0,769^{A}$	$0,745^{B}$	$0,756^{AB}$	
	Velocidade de propagação do som (m/s)			
Mufla	Vapor e temperatura ºC			Média
	NT	120	160	
NT	$3.116^{aA}_{(206)}$	$2.816^{aB}_{(217)}$	$2.837^{aB}_{(301)}$	2.923^{a}
130	$3.174^{aA}_{(245)}$	$3.401^{bA}_{(311)}$	$3.202^{bA}_{(364)}$	3.259^{b}
160	$3.416^{bA}_{(300)}$	$3.359^{bA}_{(243)}$	$3.408^{bcA}_{(292)}$	3.394^{bc}
190	$3.338^{abA}_{(375)}$	$3.421^{bA}_{(334)}$	$3.484^{cA}_{(321)}$	3.414^{c}
Média	3.261^{A}	3.249^{A}	3.233^{A}	
	Umidade			
Mufla	Vapor e temperatura °C			Média
	NT	120	160	
NT	$14,2^{aA}_{(0,92)}$	$12,6^{aB}_{(0,25)}$	$15,6^{aC}_{(2,11)}$	$14,1^{a}$
130	$10,7^{bA}_{(0,39)}$	$10,4^{bA}_{(0,42)}$	$9,8^{bB}_{(0,50)}$	$10,3^{b}$
160	$9,8^{cA}_{(0,43)}$	$10,0^{bcA}_{(0,39)}$	$9,1^{cB}_{(0,35)}$	$9,6^{b}$
190	$9,1^{cA}_{(0,43)}$	$9,5^{cA}_{(0,55)}$	$9,0^{cB}_{(0,67)}$	$9,2^{c}$
Média	$10,9^{A}$	$10,6^{A}$	$10,9^{A}$	

Onde: NT = não aplicação de tratamento. Valores entre parêntesis são os desvios padrões. Letras minúsculas revelam diferenças entre médias na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha, pelo teste de Fisher, ao nível de 5% de significância.

Quanto à velocidade de propagação do som, observa-se que o efeito da aplicação de vapor não foi significativo, pois as médias destes grupos de tratamentos se equivalem ao grupo não tratado. As amostras, unicamente tratadas com vapor, tiveram redução da velocidade do som. Considerando o agrupamento, as amostras tratadas em mufla, independentemente da temperatura, aumentaram a velocidade do som na madeira.

Os valores de teor de umidade de equilíbrio da madeira após tratamento foram menores à medida que se aumentou a temperatura de tratamento em mufla. Nas temperaturas de 160°C e 190° C as diferenças entre as médias não foram significativas. O grupo de amostras tratadas apenas no vapor a 160°C apresentou aumento do teor de umidade de equilíbrio.

Observou-se também que para o tratamento a 160°C com vapor conjugado com o tratamento em Mufla a 190°C foi obtido o maior valor para a velocidade de propagação do som, bem como o menor teor de umidade.

3.2 Luminosidade (L*) e coordenadas cromáticas nos eixos verde-vermelho (a*) e azul-amarelo (b)

Os valores médios da medição de cor no sistema (L*, a*, b*) são apresentados na Tabela 4. Observou-se que para os três parâmetros, encontramos diferenças de valores significativas entre os tratamentos térmicos aplicados e também para as conjugações de tratamentos. O efeito do tratamento a vapor reduziu significativamente a luminosidade da madeira, assim como o tratamento em ambiente seco, o qual teve uma redução significativa a 160°C. Considerando o agrupamento todo, verificou-se a redução significativa da luminosidade, á temperatura de 190°C.

Para os valores de a*, notou-se que com o aumento da temperatura, houve uma redução significativa para os valores de a*. O efeito do vapor causou uma redução significativa dos valores de a*, a partir de 160°C. Para as amostras não tratadas com vapor, o valor de a* também sofreu redução significativa a partir de 160°C, inclusive. Para o tratamento a vapor á 120°C conjugado com o tratamento em ambiente seco, observou-se redução significativa de valores apenas a 190°C.

Para os valores de b*, observou-se que independentemente do agrupamento, que houve redução significativa dos valores com o aumento da temperatura. Para a conjugação de tratamentos, notou-se que as alterações significativas se deram a 190°C. Para o tratamento a vapor, a 160°C, não houve alterações significativas para a conjugação de tratamento a seco.

Vê-se que a aplicação de vapor, especialmente a 160°C, reduz muito à luminosidade da madeira, assim como a pigmentação amarela e vermelha, descaracterizando a madeira de mogno africano, criando um novo padrão de cor.

Os tratamentos a seco até 160°C mostraram-se aqueles que menos afetaram as coordenadas cromáticas da madeira (a* e b*) assim como a sua luminosidade.

Tabela 4 – Valores médios de L*, a*, b*, da madeira de mogno africano quando tratadas e não tratadas termicamente em ambiente seco e com vapor.

Mufla	Luminosidade (L*) Vapor e temperatura ºC			Média
	NT	120	160	
NT	$52,9^{aA}$ (3,21)	$44,5^{aB}$ (3,91)	$34,6^{aC}$ (1,95)	$44,0^{a}$
130	$51,6^{aA}$ (3,62)	$45,1^{aB}$ (3,28)	$33,5^{aC}$ (1,45)	$43,4^{b}$
160	$49,8^{bA}$ (2,68)	$45,6^{aB}$ (2,57)	$33,7^{aC}$ (2,60)	$43,0^{b}$
190	$38,0^{cA}$ (3,01)	$37,6^{bA}$ (3,14)	$33,1^{aB}$ (1,61)	$37,8^{c}$
Média	$48,1^{A}$	$43,2^{B}$	$33,9^{C}$	
	Pigmentação vermelha (a*)			
Mufla	Vapor e temperatura ºC			Média
	NT	120	160	
NT	$13,9^{aA}$ (3,21)	$13,5^{aA}$ (1,11)	$10,6^{aB}$ (0,81)	$12,7^{a}$
130	$13,6^{aA}$ (0,46)	$14,2^{aA}$ (1,20)	$10,5^{aB}$ (0,92)	$12,8^{a}$
160	$13,1^{bA}$ (0,98)	$13,4^{aA}$ (1,27)	$9,8^{bB}$ (1,64)	$12,1^{a}$
190	$11,2^{cA}$ (1,74)	$11,8^{bA}$ (1,67)	$10,2^{bB}$ (0,78)	$11,1^{b}$
Média	$12,9^{A}$	$13,2^{A}$	$10,3^{B}$	
	Pigmentação amarela (b*)			
Mufla	Vapor e temperatura ºC			Média
	NT	120	160	
NT	$17,7^{aA}$ (1,64)	$15,6^{aB}$ (1,62)	$11,1^{aC}$ (1,57)	$14,8^{a}$
130	$17,8^{aA}$ (1,28)	$17,2^{bA}$ (2,27)	$11,0^{aB}$ (1,00)	$15,3^{a}$
160	$18,0^{aA}$ (1,01)	$16,5^{bB}$ (1,43)	$10,6^{bC}$ (1,85)	$15,0^{a}$
190	$12,0^{bA}$ (2,05)	$12,7^{cB}$ (2,32)	$10,7^{abC}$ (1,06)	$11,8^{b}$
Média	$16,4^{A}$	$15,5^{B}$	$10,8^{C}$	

Onde: NT = não aplicação de tratamento. Valores entre parêntesis são os desvios padrões. Letras minúsculas revelam diferenças entre médias na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha, pelo teste de Fisher, ao nível de 5% de significância.

3.3 Saturação (C*) e Ângulo de tinta (H*)

Os valores de saturação (C*) e ângulo de tinta (H*) são apresentados na Tabela 5. Foram encontradas diferenças significativas dos valores médios de C* e H* para os tratamentos empregados e também para a conjugação na aplicação dos tratamentos.

Observou-se uma redução significativa dos valores da saturação com o aumento da temperatura a partir de 160°C, quando tratadas termicamente com vapor e a 160°C. Quando usado vapor a 120°C alterações aparecem apenas na temperatura de 190°C em mufla. Para amostras tratadas em ambiente seco apenas, notou-se redução significativa apenas na temperatura de 190°C.

Para os valores de H*, com o aumento da temperatura, observou-se redução do ângulo de tinta, com exceção das amostras tratadas apenas em ambiente a seco, onde houve aumento significativo dos valores do ângulo na temperatura de 130°C e uma redução significativa a 190°C. Nos tratamentos a vapor a 160°C, não houve alterações significativas quando conjugados com tratamento a seco. Percebe-se que o aumento de temperatura em mufla e em 190°C reduz o ângulo de tinta migrando a cor padrão do mogno para mais próximo do vermelho e que amostras tratadas previamente no vapor a 160 °C, uniformizaram o ângulo de tinta, independentemente do tratamento aplicado em mufla.

Vê-se que a aplicação de vapor, especialmente a 160°C, reduz muito à saturação da madeira e ângulo de tinta, descaracterizando a madeira de mogno africano, criando um novo padrão de cor.

Os tratamentos a seco, até 160°C, mostraram-se aqueles que menos afetam a saturação da madeira e seu ângulo de tinta, preservando as características naturais de cor da madeira de mogno africano.

Tabela 5 – Valores médios de C* e H da madeira de mogno africano quando tratadas e não tratadas termicamente em ambiente seco e com vapor.

Mufla	Saturação da cor (C*) Vapor e temperatura °C			Média
	NT	120	160	
NT	$22,5^{aA}$ (1,57)	$20,6^{aB}$ (1,88)	$15,4^{aC}$ (1,56)	$19,5^{a}$
130	$22,4^{aA}$ (1,10)	$22,3^{bA}$ (2,37)	$15,2^{aB}$ (1,27)	$17,0^{b}$
160	$22,2^{aA}$ (0,97)	$21,3^{abA}$ (1,73)	$14,4^{bB}$ (2,42)	$19,3^{a}$
190	$16,4^{bA}$ (2,63)	$17,3^{cB}$ (2,79)	$14,8^{abC}$ (1,27)	$16,2^{ab}$
Média	$20,9^{A}$	$20,4^{B}$	$14,9^{C}$	
	Ângulo de tinta (H*)			
Mufla	Vapor e temperatura ºC			Média
	NT	120	160	
NT	$51,8^{aA}$ (2,30)	$49,1^{aB}$ (1,60)	$46,1^{aC}$ (2,98)	$49,3^{a}$
130	$52,5^{bA}$ (2,06)	$50,4^{abB}$ (2,65)	$46,4^{aC}$ (1,96)	$49,8^{b}$
160	$54,0^{bA}$ (2,66)	$51,0^{bB}$ (2,30)	$47,3^{aC}$ (1,99)	$50,8^{ab}$
190	$47,0^{cA}$ (1,97)	$46,8^{cA}$ (2,02)	$46,6^{aA}$ (1,36)	$46,8^{c}$
Média	$51,3^{A}$	$49,3^{B}$	$46,6^{C}$	

Onde: NT = não aplicação de tratamento. Valores entre parêntesis são os desvios padrões. Letras minúsculas revelam diferenças entre médias na mesma coluna e maiúsculas na mesma linha, pelo teste de Fisher, ao nível de 5% de significância.

4. CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado sobre os valores obtidos dos ensaios, podemos concluir que quando aumentamos a temperatura do tratamento térmico, obtemos uma redução da umidade e densidade aparente e um aumento da velocidade de propagação do som.

Sobre a colorimetria, podemos inferir que com o aumento da temperatura obtemos um escurecimento (L*) da madeira bem como uma diminuição da pigmentação vermelha (a*) e amarela (b*).

Para os valores de C*, conclui-se que com o aumento da temperatura, ocorre uma diminuição na saturação da cor da madeira, deixando-a mais escura. Para H*, o valor também decai com o aumento da temperatura.

Os valores médios para a*, b*, C* e H* obtiveram menor variação se comparados aos valores médios de L*, podendo-se afirmar que L*, a luminosidade, é a principal coordenada responsável pela alteração estética da madeira.

Tratamentos a seco até 160°C melhoraram a velocidade de propagação do som, reduziram a umidade de equilíbrio da madeira e não alteraram os padrões de cor da madeira de mogno africano.

De acordo com a metodologia empregada, os tratamentos térmicos podem ser efetivos para se obter melhores propriedades que atendam aos padrões da estética e acústica para a confecção de instrumentos musicais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BODIG J. The process of NDE research for Wood and Wood composites. The journal of nondestructive testing 2001; 6(3).

BUCUR, V.; LANCELEUR, PATRICK; ROGE, BRUNO. Acoustic properties of wood in tridimensional representation of slowness surfaces. Ultrasonics, v. 40, n. 1, p. 537-541, 2002.

GABRIEL, MSC; BALLARIN, A. W. Determinação do módulo de elasticidade da madeira de P. Taeda com uso do método não-destrutivo das ondas de tensão (Stress Wave Method). VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Carlos–SP, 2000.

GARCIA, ROSILEI A. et al. Nondestructive evaluation of heat-treated Eucalyptus grandis Hill ex Maiden wood using stress wave method. Wood Science and Technology, v. 46, n. 1-3, p. 41-52, 2012.

GOMES, L.; LAGE, R.; MOURÃO, A. Manual de Lutheria: curso básico. Manaus:UNICEF, 2004.

GUIMARÃES, K. V. & MARINHO, P. S. B. & SILVA, M. F. G. V. & FERNANDES, J. B.& VIEIRA, P. C. & MÜLLER, M. W. 2004. Limonóides isolados na família Meliaceae. XXVI Reunião Anual sobre Evolução, Sistemática e Ecologia Micromoleculares.

LOSCHI NETO, ANÇANO et al. Efeito das diferentes madeiras no isolamento acústico. 2008.

MILITZ, HOLGER. Thermal treatment of wood: European processes and their background. IRG/WP, v. 40241, 2002.

MORALES E.A.M. Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB [tese]. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2006.

MORESCHI, JOSÉ CARLOS. Propriedades da madeira. Ministério da Educação e do Desporto. Setor de Ciências Agrarias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 4ª edição, 2014.

MÖTTÖNEN K, ALVILA L, PAKKANEN T. CIELab Measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver birch wood. *Scandinavian Journal Forest Research* 2002;17(2):179-191.

DE OLIVEIRA, FABIANA GOIA ROSA; SALES, ALMIR. Efeito da densidade e do teor de umidade na velocidade ultra-sônica da madeira. Minerva, v. 2, n. 1, p. 25-31, 2005.

PINCELLI, ALPSM. Efeito da termorretificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de Eucalyptus saligna e Pinus caribaea var. Hondurensis. Mémoire de maîtrise présenté à l'Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Université de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MOURA, F. D. G. ; NASCIMENTO, A. M. ; GARCIA, R. A. ; PAES, J. B. . Velocidade de propagação do som na madeirade Khaya ivorensis associado a cor.. In: XIV EBRAMEM ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 2014, Natal, Rio Grande do Norte.