



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MARCONDES GERALDO COELHO JUNIOR

**EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE, NA
RESISTÊNCIA MECÂNICA E RIGIDEZ DA MADEIRA DE *Corymbia citriodora***

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO - 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

MARCONDES GERALDO COELHO JUNIOR

**EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE, NA
RESISTÊNCIA MECÂNICA E RIGIDEZ DA MADEIRA DE *Corymbia citriodora***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO
Orientador

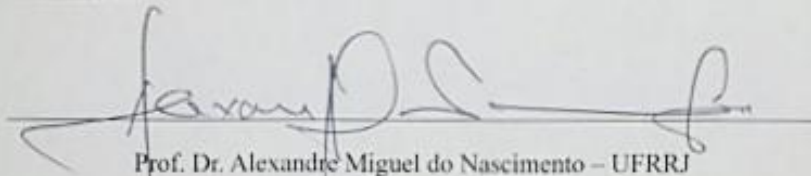
SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO - 2016

**EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE, NA
RESISTÊNCIA MECÂNICA, E RIGIDEZ DA MADEIRA DE
*Corymbia citriodora***

MARCONDES GERALDO COELHO JUNIOR

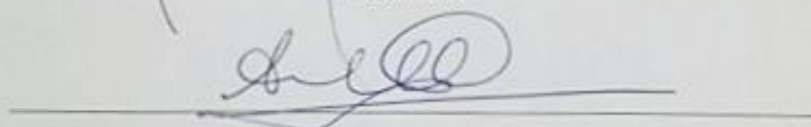
Monografia aprovada em 22 de novembro de 2016.

Banca Examinadora:



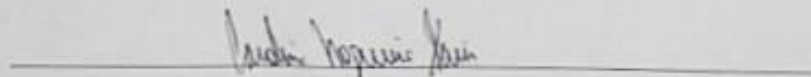
Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento – UFRRJ

Orientador



Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho – UFRRJ

Membro



Msc. Carolina Nogueira Xavier – UFLA

Membra

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Joselena e Marcondes, a minha irmã Luiza, ao meu sobrinho Henri, e ao meu avô Dedé.

AGRADECIMENTOS

À minha família, mãe, Luíza, Henri e ao meu pai, pelo tempo de apoio e ajuda necessária.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e às políticas públicas de democratização do acesso ao ensino superior dos governos Lula e Dilma, por fazerem mudar a cara da universidade nesse país. É preciso lembrar que a universidade se pinte de povo!.

Ao meu orientador, professor Alexandre Miguel, pela cumplicidade, paciência e dedicação.

Ao professor Alexandre Monteiro, pela amizade e pela contribuição neste trabalho.

À professora Rosilei, pela gentileza em ceder equipamentos utilizados neste trabalho.

À Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio financeiro ao projeto no qual o trabalho foi inserido.

Ao Centro Espírita Ogum Iara pelas bênçãos e apoio de fé.

Aos amigos de longa data, Sarah, Jéssica, Gabi, Ary, Edson, Angelina, Lucas, Liza, Isis, Fasky e Luisa; e aos conquistados nesse tempo que já deixou saudades.

Um agradecimento especial àqueles com quem já compartilhei o mesmo lar, fazendo deste, um âmago seguro. Também aos amigos Dalila, Nathi, Marcela, Guilherme, Mariana e Rafael, por dividirem seus tempos com minhas angústias e alegrias.

Ao meu namorado Eduardo, pela presença, força e carinho.

À amiga Bianca, pela amizade nos tempos sombrios e frios da Irlanda.

À minha filha de quatro patas, Maria, pelo carinho incondicional de todo dia.

Às amigas Carol, Letícia e Keity, pelas parcerias de trabalho, viagens e almoços.

Aos técnicos Dinaldo e Zé Carlos, pela prestação de ajuda durante os testes realizados.

À Fundação Parques e Jardins, pelo estágio do curso de graduação, e toda sua equipe, sobretudo, Bia, Flávio, Thuanny, Tati, Grazi, Vandrê, Carla e Rodrigo.

RESUMO

O tratamento de termorretificação proporciona à madeira características desejáveis tais como maior estabilidade dimensional, maior durabilidade natural e, em alguns casos, alteração da cor original. Entretanto, o tratamento também pode alterar drasticamente as características físicas, mecânicas e da superfície da madeira termorretificada. O trabalho teve como objetivo avaliar algumas propriedades físico-mecânicas da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, tais como: densidade aparente, rugosidade, coloração, molhabilidade, módulo de elasticidade e resistência ao cisalhamento de amostras sob efeito ou não do tratamento térmico (termorretificação) nas temperaturas de 160, 180 e 200°C. Para isso, foram utilizadas toras de árvores com aproximadamente 64 anos de idade, proveniente de plantio localizado no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ, 22°45'31.0''S 43°41'55.8''W; e climatizadas em ambiente com umidade relativa média de 65% e temperatura média de 20°C. Para determinação da densidade aparente utilizou-se a relação massa e volume das amostras com 13% de umidade de equilíbrio. A termorretificação foi realizada em um forno mufla elétrico laboratorial à 160°, 180 e 200°C. As medições de rugosidade foram feitas através do rugosímetro portátil TR200 da marca DIGIMESS, sob *cutoff* 2,5 mm, *Range* ± 80 µm e filtro *Gauss*, sendo avaliadas somente as variáveis Ra, Rz e Rt. As medições de cor foram realizadas no espaço CIE-L*a*b* com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM-2600d. As medidas do ângulo de contato, em graus, das superfícies da madeira, foram tomadas através do método da gota séssil, utilizando um sistema de análise de formato da gota (Drop Shape Analysis DSA100), versão (Hamburg, Alemanha). Os ensaios mecânicos para avaliação do módulo de elasticidade (MOE) e resistência ao cisalhamento foram realizados na máquina universal de ensaios mecânicos marca Contenco com capacidade de 30 toneladas. Para a determinação do MOE foram realizados ensaios de flexão estática, no regime elástico, e seus valores calculados pelo software Pavitest Madeira. Para a resistência ao cisalhamento, os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D143. As análises estatísticas foram feitas pelo software Statística 7. A termorretificação diminui a densidade aparente das madeiras de *Corymbia citriodora*, bem como alterou a cor original das madeiras, criando novos padrões de cor. A rugosidade reduziu sob tratamento térmico, embora não diferenciando entre os tratamentos. A termorretificação não produziu melhoria da molhabilidade, pois, gerou ângulos de contato maiores. O MOE foi afetado pelo tratamento térmico, aumentando-se. Já a resistência ao cisalhamento reduziu gradativamente conforme elevou-se a temperatura de tratamento.

Palavras-chave: Termorretificação, propriedades físico-mecânicas, rugosidade, colorimetria, molhabilidade.

ABSTRACT

The heat treatment provides wood with desirable characteristics such as greater dimensional stability, greater natural durability and, in some cases, original color change. However, the treatment can also change dramatically as physical and mechanical characteristics of the wood surfaces. The objective of this work was to evaluate some physical-mechanical properties and surface of the wood of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, such as: apparent density, roughness, staining, wettability, modulus of elasticity and shear strength of samples under or without heat treatment (thermortification) at temperatures of 160, 180 and 200°C. For this, tree logs were used, about 64 years old, of origin located on the campus of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ, 22°45'31.0'S 43°41'55.8"W; and air-conditioned in an environment with an average of 65% and an average temperature of 20°C. For determination of the apparent density was used a mass and volume ratio of the samples with 13% equilibrium moisture. The thermortification was performed at 160, 180 and 200°C. As roughness measurements through the TR200 portable label of the brand DIGIMESS, under cutoff 2.5 mm, $\pm 80 \mu\text{m}$ range and Gauss filter, being evaluated only as Ra, Rz and Rt variables. As color measurements were performed without CIE-L space * A * b * with the aid of the CM-2600d portable spectrophotometer. As contact angle measurements, in degrees, of the wood surfaces, using a Drop Shape Analysis (DSA100), version (Hamburg, Germany). The mechanical tests for the evaluation of the modulus of elasticity and shear strength were carried out in the universal machine of mechanical tests brand Contenco with capacity of 30 tons. For an modulus of elasticity determination, were constructed static bending tests, no elastic regime, and their values calculated by Pavitest Madeira software. For a shear strength, the tests were applied according to ASTM D143 standard. Statistical analyzes were performed by Statistica 7 software. Thermortification reduces an apparent density of *Corymbia citriodora* woods, as well as altering an original wood color, creating new color patterns. The roughness reduced under the heat treatment, not differentiating between treatments. The thermortification did not produce improved wettability because it generated higher contact angles. The modulus of elasticity was affected by the heat treatment increasing the values. The shear strength gradually decreased as a treatment temperature rose.

Keywords: Thermortification, physical-mechanical properties, roughness, colorimetry, wettability.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESES	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	2
3.1 <i>Corymbia citriodora</i> (Hook.) K.D. Hill &L.A.S.....	2
3.2 Colorimetria.....	4
3.3 Propriedades Mecânicas	5
3.3.1 Módulo de elasticidade (MOE)	6
3.3.2 Resistência ao cisalhamento	6
3.4 Propriedade física	7
3.4.1 Densidade	7
3.5 Rugosidade	7
3.5.1 Parâmetro de rugosidade Ra	9
3.5.2 Parâmetro de rugosidade Rz e Rt	10
3.6 Termorretificação	10
3.7 Molhabilidade	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 Preparação do material e determinação do volume	14
4.2 Determinação da densidade aparente	14
4.3 Tratamento de termorretificação	14
4.4 Determinação do módulo de elasticidade (MOE)	16
4.5 Determinação da resistência ao cisalhamento	17
4.6 Determinação da luminosidade e das variáveis cromáticas.....	17
4.7 Determinação da rugosidade	18
4.8 Molhabilidade	19
4.9 Análise estatística	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1. Propriedades físicas e qualidade da superfície	20
5.1.1. Densidade aparente.....	20
5.1.2 Coloração.....	21
5.1.3 Rugosidade	24
5.1.4 Molhabilidade.....	26
5.1.5 Propriedades da rugosidade relacionadas à molhabilidade	27
5.2 Propriedades mecânicas.....	28

5.2.1 Módulo de Elasticidade (MOE).....	28
5.2.1 Resistência ao cisalhamento	30
6. CONCLUSÕES.....	31
7. RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA	31
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de variância para densidade da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> , antes e depois do tratamento térmico.	20
Tabela 2 – Valores médios das densidades aparentes, com seus respectivos desvios padrões, da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> , antes e após tratamento térmico.....	20
Tabela 3 - Valores médios das variáveis colorimétricas nos diferentes tratamentos.	21
Tabela 4 - Análise de variância de Ra, Rz e Rt (μm) em avaliação de rugosidade da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> para diferentes tratamentos térmicos.	24
Tabela 5 - Valores de Ra, Rz e Rt em μm referentes à avaliação de rugosidade da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> para diferentes tratamentos térmicos.....	25
Tabela 6 - Análise de variância dos ângulos de contato medidos em dois tempos, 10 segundos e 100 segundos, e a média dos ângulos nesse intervalo de tempo, em avaliação da molhabilidade da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> para diferentes tratamentos térmicos.....	26
Tabela 7 - Valores de ângulo (Θ) inicial, Θ final e Θ médio do intervalo de tempo, em graus, referentes à avaliação de molhabilidade da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> para diferentes tratamentos térmicos.....	27
Tabela 8 – Correlação pelo método de Pearson, ao nível de 5% de significância, entre variáveis de rugosidade e os ângulos nos tempos iniciais e finais.	28
Tabela 9 - Análise de variância do MOE em avaliação da rigidez da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> para diferentes tratamentos térmicos.....	28
Tabela 10 - Valores médios dos módulos de elasticidade para os momentos antes e após termorreificação, em avaliação da rigidez da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> sob efeito de tratamento térmico.....	29
Tabela 11 - Valores médios de resistência ao cisalhamento (kgf.cm^{-2}) da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> em função da temperatura de termorreificação.	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da Austrália, com destaque para a área de ocorrência natural da espécie <i>Corymbia citriodora</i> (Fonte: EMBRAPA, 2013).....	3
Figura 2: (A) Botões florais, flores e frutos. (B) Árvores da espécie (C) Fuste de <i>Corymbia citriodora</i> . (Fonte: EMBRAPA, 2013).....	4
Figura 3: (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b* - L*:luminosidade (eixo preto-branco), a* e b*: variáveis cromáticas (eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente). (B) Diagrama de cromaticidade (Fonte: KONICA MINOLTA, 1998).	5
Figura 4: Diagrama tensão x deformação específica na tração paralela às fibras (Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997), Anexo B).....	6
Figura 5: Representação gráfica das variáveis mais utilizadas relacionadas ao parâmetro de amplitude da rugosidade, Ra (A), Rz (B) e Rt (C) (BURATTA, 2016).....	8
Figura 6: Perfil de rugosidade (Fonte: TAYLOR HOBSON, 2005).	9
Figura 7: Determinação do parâmetro Ra de rugosidade de superfície (Fonte: TAYLOR HOBSON, 2005).	9
Figura 8: Representação gráfica de uma superfície, mostrando os picos e vales de cada comprimento de amostragem (Lc).....	10
Figura 9: Ilustração de alguns tipos de molhabilidade de sólidos por um líquido (Fonte: MYERS, 1990).	12
Figura 10: Esquema das medidas de ângulo de contato e da tensão superficial (Fonte: CHAN, 1994).....	12
Figura 11: (A) Forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, utilizado para a aplicação dos tratamentos termorretificadores. (B) Interior do forno mufla e posicionamento das amostras de madeira de <i>Corymbia citriodora</i>	15
Figura 12: Programa de temperatura vs. tempo dos tratamentos termorretificadores aplicados às madeiras de <i>Corymbia citriodora</i>	15
Figura 13: Ensaio de módulo de elasticidade na máquina universal de ensaios mecânicos. ..	16
Figura 14: Dimensões, em centímetros, do corpo de prova para o teste cisalhamento de madeira segundo a norma ASTM D143 (1994).	17
Figura 15: (A) Espectrofotômetro portátil CM-2600d da Konica Minolta. (B) Placa de calibração do branco CM-A145. (C) Medições de cor nas amostras de madeira (Fonte: NUNES, 2012).	18
Figura 16: Medição da rugosidade na amostra da madeira de <i>Corymbia citriodora</i> pelo aparelho portátil TR200/DIGIMESS.....	18
Figura 17: (A) Sistema do goniômetro utilizado para o teste de molhabilidade. (B) Gota formada na aplicação sobre a superfície de amostra de <i>Corymbia citriodora</i>	19
Figura 18: Efeito dos diferentes tratamentos térmicos sob as variáveis colorimétricas L* (A), a* (B) e b* (C), na madeira de <i>Corymbia citriodora</i> . As letras minúsculas comparam médias, sendo letras diferentes, indicando médias estatisticamente diferentes.	22
Figura 19: Cor das madeiras de <i>Corymbia citriodora</i> antes e após os tratamentos termorretificadores.....	24

1. INTRODUÇÃO

A madeira possui enorme versatilidade e é um dos materiais mais usados pelo homem, com importância no desenvolvimento da civilização. Tido como recurso renovável, está presente em diversos setores como o de energia, construção civil, produção de celulose e papel, indústria moveleira, confecção de lâminas e painéis, entre outros. O crescimento populacional está intrinsecamente ligado ao aumento da demanda por esse recurso para bioenergia, podendo avolumar a quantidade de madeira que a sociedade retira anualmente das florestas e plantações florestais. Frente a outros materiais, a madeira, se explorada sob sistema de manejo fundamentado em responsabilidade socioambiental, deve ser compreendida como alternativa energética renovável para os processos de produção e como alternativa de maior segurança ecológica em atendimento às outras requisições da sociedade.

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (2016), no Brasil há mais de sete milhões de hectare (ha) de florestas plantadas, com os povoamentos de eucalipto ocupando pouco mais de cinco milhões. Espécies de eucalipto, como o *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. saligna* e alguns dos seus híbridos, como o “urograndis”, têm abastecido os segmentos de papel e celulose, e produção de carvão vegetal. Com o aprimoramento de técnicas silviculturais e de melhoramento genético que permitem a expansão das áreas de implantação de eucalipto, a cultura torna-se uma opção rentável também para as indústrias de painéis à base de madeira. Entretanto, a expansão de cultivos para regiões não tradicionais e a busca de melhor adequação da matéria-prima ao produto final, têm ampliado o horizonte de espécies e combinações híbridas a serem utilizadas. Espécies pertencentes ao gênero *Corymbia* como *C. citriodora*, *C. maculata* e *C. torelliana* e alguns de seus híbridos interespecíficos têm sido correntemente mencionadas como de vital importância quanto aos aspectos de qualidade da madeira e adaptação às condições ambientais adversas (REIS et al., 2013).

As madeiras de *Eucalyptus* e *Corymbia* têm respondido bem ao mercado pelo seu incremento rápido e adaptabilidade nas indústrias de papel e celulose, carvão e painéis. Entretanto, há contrapontos por desvantagens como baixa durabilidade e baixa estabilidade dimensional. Assim, pesquisas com madeira sólida desses gêneros têm sido realizadas visando fins mais nobres e aplicação de tratamentos para minimizar os problemas apresentados pelas madeiras dessas espécies. Entre os tratamentos com maior destaque atualmente, pode-se citar a termorreificação, que contribui para melhorar algumas características ou propriedades indesejáveis da madeira, entre elas a instabilidade dimensional (NUNES, 2012).

Diversos estudos que tratam a termorreificação vêm buscando entender a influência deste tratamento sobre várias propriedades da madeira, como: resistência ao cisalhamento, compressão paralela, flexão estática, tração normal e perpendicular, dureza Janka, adesividade, molhabilidade, higroscopicidade, envelhecimento, envernizamento, colorimetria, apodrecimento, estabilidade dimensional, perda de massa, densidade básica, e retratibilidade (ALMEIDA, 2015). A termorreificação diferencia-se dos demais tratamentos por não utilizar produtos químicos nocivos ao meio ambiente, sendo, portanto, um tratamento ecologicamente mais correto.

No Brasil, a termorreificação da madeira tem sido realizada a temperaturas próximas de 200°C e aplicada para algumas espécies nativas tais como *Simarouba amara* Aubl. (marupá), *Sextonia rubra* (Mez) van der Werff (louro-vermelho) e *Cariniana micrantha* Ducke (jequitibá-rosa), e principalmente para espécies exóticas, tais como *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp (GARCIA et al., 2011; PALERMO, 2010). Em *Eucalyptus* e *Corymbia*, o processo

de termorreificação pode alterar a cor da madeira fazendo com que esta se aproxime das madeiras de maior valor de mercado. Todavia, Lopes et al. (2014) atestam que apesar das vantagens estéticas, a madeira termorreificada apresenta perda de massa, a qual afeta a sua densidade e, conseqüentemente, suas propriedades mecânicas. Da mesma forma, alterações ocorridas na madeira pelas altas temperaturas, também influenciam na rugosidade e molhabilidade, que são propriedades industrialmente importantes.

À visto disso, fez-se importante analisar nesse trabalho, a influência da termorreificação sobre as propriedades da superfície da madeira de *Corymbia citriodora*, através de parâmetros de rugosidade, cor e molhabilidade; bem como, avaliar tal influência sobre a densidade aparente, rigidez e resistência ao cisalhamento.

2. HIPÓTESES

- I. A decomposição térmica da estrutura celular da madeira reduz sua densidade aparente.
- II. A termorreificação altera os padrões de cor da madeira.
- III. A termorreificação torna a superfície menos rugosa.
- IV. Superfície tratada termicamente de menor rugosidade deve apresentar ângulo de contato menor.
- V. A rigidez da madeira é aumentada pelo efeito da termorreificação.
- VI. Quanto maior a temperatura de tratamento, maior a redução da resistência ao cisalhamento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S

Popularmente, o nome eucalipto é dado a várias espécies naturais da Austrália. Mais conhecida como eucalipto citriodora, a espécie *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S, passou por reclassificação taxonômica nos anos 90 e, com o trabalho conclusivo de Ken Hill & Laurie Johnson, essa alteração de gênero de *Eucalyptus* para *Corymbia* foi aceita.

A *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S ocorre naturalmente na região central e norte de Queensland/Austrália (Figura 1), estando presente em altitudes variáveis e tolerando períodos secos de até 7 meses, com geadas ocasionais nas regiões mais interiores da área de ocorrência natural (FERREIRA, 1979). Possui alta resistência ao fogo, em virtude de apresentar tubérculos lenhosos (VIEIRA, 2004).

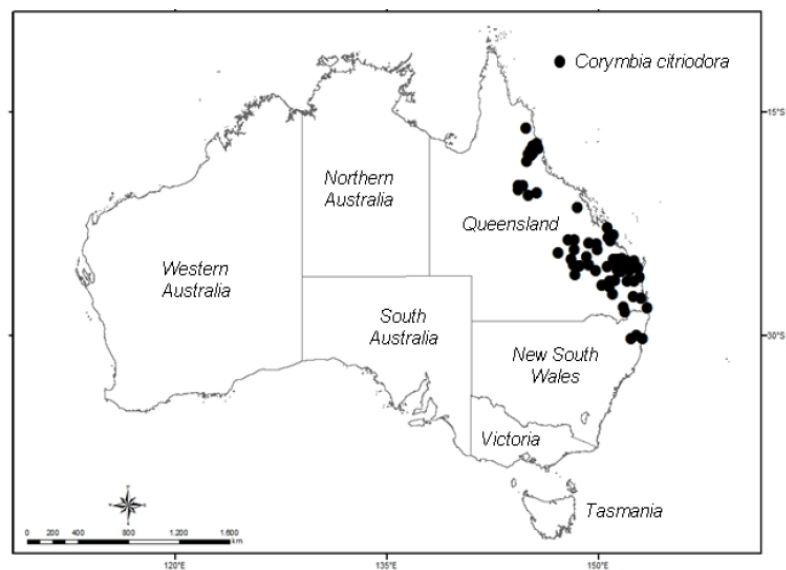


Figura 1: Mapa da Austrália, com destaque para a área de ocorrência natural da espécie *Corymbia citriodora* (Fonte: EMBRAPA, 2013)

Segundo Lorenzi et al. (2003), a sua ramagem é longa, a qual permite a formação de uma copa aberta. As folhas são caracterizadas por forte odor de citronela. Na idade juvenil, as folhas são alternas, estreitas a largo-lanceoladas, às vezes peltadas, pecioladas, hirsutas, de margens onduladas, podendo ser arroxeadas na face inferior. As folhas maduras são alternas, estreito-lanceoladas, eventualmente falcadas, pecioladas, verde-escuras em ambas as faces, de 10 cm a 20 cm de comprimento, com as nervuras secundárias, divergindo em 45 graus em relação à principal. As inflorescências apresentam de três a cinco flores brancas em panículas terminais. Possui, de maneira geral, tronco ereto e casca lisa, com coloração que oscila do creme, rosa a acobreado, a depender do estágio de intemperismo, o que confere ao fuste um aspecto manchado (Figura 2) (LORENZI et al., 2003). Os mesmos autores caracterizam a madeira como dura, de fácil trabalhabilidade, de cor marrom, sendo utilizada na fabricação de móveis e na construção civil. Ferreira (1979) também indica que a madeira é muito utilizada para: construções, estruturas, caixotaria, postes, dormentes, mourões, lenha e carvão. As estimativas da densidade básica da madeira podem variar de $0,95 \text{ g.cm}^{-3}$ a $1,01 \text{ g.cm}^{-3}$ (BOLAND et al., 2006). Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, furação e acabamento (ZENID, 2009).



Figura 2: (A) Botões florais, flores e frutos. (B) Árvores da espécie (C) Fuste de *Corymbia citriodora*. (Fonte: EMBRAPA, 2013).

Um destaque para o uso dessa espécie é a extração de óleo essencial das folhas para a indústria de perfumaria e desinfetantes, pela presença do componente p-menthane-3,8-diol (PMD). Em virtude de seu belo aspecto paisagístico, tem sido também utilizada na arborização de parques e avenidas. Na apicultura constitui-se em excelente fonte de néctar e pólen (LORENZI et al., 2003).

Ensaio realizados por Lee (2010) indicam que a *Corymbia citriodora* tem um bom desempenho quando comparado com outras espécies de *Eucalyptus* e *Corymbia*, em crescimento, em propriedades da madeira, sobrevivência e tolerância a pragas e doenças.

3.2 Colorimetria

A avaliação de cor da madeira é importante principalmente pelo uso comercial desse material em ambientes decorativos ou mesmo na composição de móveis. A variação da cor natural da madeira é devida à impregnação de diversas substâncias orgânicas nas paredes celulares, sendo depositadas de forma mais acentuada no cerne (TSOUMIS, 2013).

Segundo Gouveia (2008), existem dois métodos utilizados para avaliação da cor: o método comparativo, o qual tem como base um atlas de cor, sendo o sistema *Munsell*, o mais conhecido; e o método quantitativo, o qual emprega diversos aparelhos para obtenção de resultados colorimétricos de qualidade, de forma que se tenha uma avaliação que fuja da subjetividade de quem avalia.

O sistema CIE-L*a*b* (Figura 3), de acordo com Silva et al. (2004), é um dos métodos mais utilizados para medição de cor, o qual utiliza a norma CIE (Comissão Internacional de Iluminantes – 1976) e trabalha com as variáveis cromáticas a* (verde-vermelho) e b* (azul-amarelo) variando de -60 a +60 e a variável de luminosidade L*, que vai de zero a 100 (preto-branco). Os mesmos autores afirmam que há diversos fatores que podem influenciar na cor da madeira, por exemplo: composição química, anatomia, idade, altura e fatores genéticos. Além disso, a própria oxidação da madeira causada principalmente pela luz, a qual reage com componentes químicos, é capaz de mudar sua coloração.

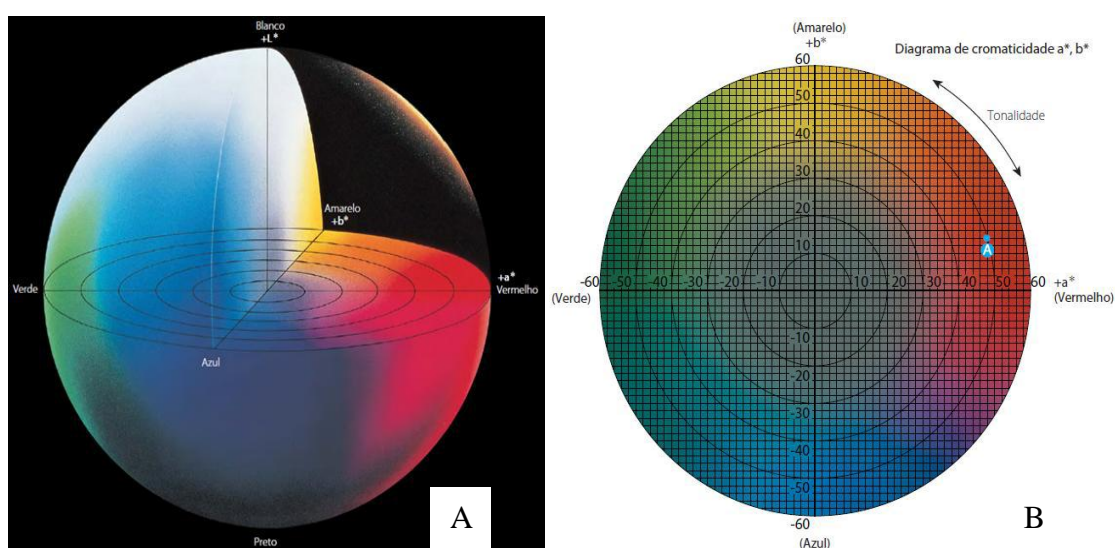


Figura 3: (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b* - L*:luminosidade (eixo preto-branco), a* e b*: variáveis cromáticas (eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente). (B) Diagrama de cromaticidade (Fonte: KONICA MINOLTA, 1998).

Raramente a cor é associada a outras características físicas da madeira, porém, com o desenvolvimento de estudos sobre essa relação, torna-se melhor a compreensão do comportamento da coloração da madeira. Möttönen et al. (2002) observaram que as características e a uniformidade da coloração da madeira representam um papel direto no estabelecimento do preço e no valor final do produto. Desse modo, a aplicação da colorimetria é fundamental para o mercado de madeiras.

3.3 Propriedades Mecânicas

As alterações das propriedades mecânicas provocadas por tratamentos térmicos dependem da temperatura e duração do ensaio. Korkut e Hiziroglu (2009) analisaram as propriedades mecânicas da espécie *Hazelnut* (*Corylus colurna* L.), encontrada no sudeste da Europa e sudoeste da Ásia. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas foram reduzidas com o aumento da temperatura e o tempo do tratamento térmico, tendo efeito significativo do tratamento térmico para o módulo de elasticidade na flexão. Os autores

comprovaram que a máxima redução nas propriedades mecânicas para todos os ensaios realizados ocorreu para as amostras tratadas a 180°C, no período de 10 horas.

Já Soratto (2012), comparando os valores médios de MOE obtidos para a temperatura de 140°C com a testemunha (MOE 8417,75 MPa), verificou-se que houve um incremento, mesmo que não significativo, nos valores desta propriedade das madeiras tratadas. Segundo mesma autora, esse ganho pode ser explicado pelo fato de que a temperatura utilizada para termorretificar não ter sido alta o suficiente para degradar a madeira e também pela utilização de atmosfera livre de oxigênio, que pode ter ocasionado um rearranjo na estrutura química da madeira tornando-a um pouco mais rígida.

A influência da termorretificação em propriedades mecânicas pode se manifestar por meio de efeitos temporários e efeitos permanentes, os quais dependem do grau de degradação do material causado pela exposição ao calor e pela temperatura (FIGUEROA e MORAES, 2009). A redução da resistência mecânica da madeira depende da sua umidade, da espécie da madeira e do tempo e da temperatura de aquecimento (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

3.3.1 Módulo de elasticidade (MOE)

O módulo de elasticidade (MOE) é a medida da rigidez do material, isto é, mede a capacidade de deformação quando sobre ele é aplicada uma determinada carga, sendo o módulo inversamente proporcional a sua deformação. Existe uma proporcionalidade entre a carga aplicada e a deformação decorrente, até um certo limite, denominado limite de proporcionalidade, pois até este ponto o material possui comportamento elástico.

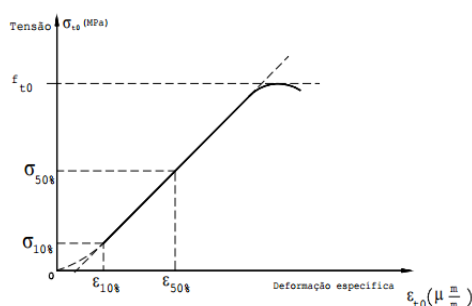


Figura 4: Diagrama tensão x deformação específica na tração paralela às fibras (Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997), Anexo B).

O MOE, também representado pela sigla E_w , usualmente é fornecido em Mega Pascoal (MPa) ou quilogramas-força por centímetro quadrado (kgf/cm^2) e pode ser obtido através do método destrutivo, ensaios de compressão paralela, tração paralela e flexão realizados por máquinas de ensaios mecânicos, e não destrutivo, que pode ser por ultra-som, raio-x, entre outros (STANGERLIN et al., 2011). Pelo gráfico, o MOE pode ser determinado pela inclinação da reta secante à curva Tensão x Deformação específica (Figura 4) (MORALES, 2006).

3.3.2 Resistência ao cisalhamento

Teoricamente, o cisalhamento da madeira consiste na separação das suas fibras causada por esforços contrários, paralelos às mesmas (MORESCHI, 2014). O cisalhamento na madeira pode ocorrer sob três formas: a primeira seria quando a ação é perpendicular às fibras, porém este tipo de sollicitação não é crítico, pois, antes de romper por cisalhamento, a

peça apresentará problemas de esmagamento por compressão normal; as outras duas formas de cisalhamento ocorrem com a força aplicada no sentido longitudinal às fibras (cisalhamento horizontal) e à força aplicada perpendicular às linhas dos anéis de crescimento (cisalhamento rolling). O caso mais crítico é o cisalhamento horizontal que rompe por escorregamento entre as células da madeira (BRITO, 2014).

O estudo do cisalhamento permite conhecer e caracterizar as propriedades mecânicas da madeira, possibilitando o emprego adequado deste material e aumentando sua durabilidade e segurança (ROEL, 2010).

3.4 Propriedade física

3.4.1 Densidade

A densidade é uma das propriedades mais importantes da madeira para os mais diversos fins, visto que sua variação afeta a resistência mecânica e, muitas vezes, a variação dimensional da madeira (MARQUES, 2012). Cruz (2003) relata que é a característica mais utilizada em pesquisas relacionadas à qualidade da madeira, podendo limitar seu uso. Entretanto, ela não indica, de forma direta ou conclusiva, valores das propriedades mecânicas, dimensões dos elementos anatômicos, poder calorífico, composição química ou existência de defeitos internos (TEIXEIRA, 2008). Paula et al. (1986), ensaiaram várias espécies e concluíram que é viável a utilização da densidade como uma estimativa das propriedades mecânicas, isto é, a densidade da madeira também está relacionada a rigidez e resistência.

De acordo com Silva et al. (2014), a densidade varia segundo um gradiente de umidade, pois madeiras mais porosas possuem uma maior capacidade de absorver e perder água para o meio. A densidade também varia significativamente em função da idade, procedência, local de origem, espaçamento e taxa de crescimento entre gêneros e espécies e até mesmo entre árvores da mesma espécie (VALÉRIO et al., 2008). Desse modo, a densidade de uma árvore pode variar dentro do mesmo indivíduo e até mesmo entre indivíduos da mesma espécie (MENDES et al., 2011).

As densidades determinadas em madeiras são a densidade básica e a aparente. A primeira refere-se ao peso absolutamente seco pelo volume total saturado. Já a densidade aparente é a relação massa e volume, no mesmo teor de umidade, que reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume, ou do volume de espaços vazios em dada madeira (VALE et al., 1992).

3.5 Rugosidade

A rugosidade é definida por Filho (2011) como sendo uma superfície que possui desvios microgeométricos, caracterizada por saliências e reentrâncias, estas quais que conceituam uma superfície geométrica e que pode ser representada por uma superfície ideal, isenta de erros de forma e textura.

A rugosidade da superfície da madeira é influenciada pela estrutura anatômica, particularmente as cavidades celulares (TAYLOR et al., 1999), e associado a isso, o tipo de usinagem empregado durante o processamento também é responsável pela qualidade do produto final (KILIC et al., 2006). Lopes et al. (2014), esclareceram que no processo de usinagem da madeira são produzidas pequenas ondulações na sua superfície da madeira, denominadas de avanço por dente (fz). Essas ondulações também são avaliadas na leitura da rugosidade. Os mesmo autores apresentaram que a medida do avanço por dente é resultado da

interação entre a velocidade de avanço (V_f) em $m \cdot \text{min}^{-1}$ correspondente ao movimento da peça de madeira e a ferramenta de corte; número de dentes (z) e a rotação (n). O avanço por dente (f_z) e a velocidade de avanço (V_f) são importantes parâmetros e inversamente proporcionais à qualidade da superfície da madeira, ou seja, quanto menores os valores de f_z e V_f , melhor é a qualidade da superfície da peça de madeira (LOPES, et al. 2014).

De acordo com Coelho et al. (2005), a rugosidade da madeira é um parâmetro ainda pouco avaliado no processo de caracterização tecnológica pois ainda não foram estabelecidos critérios universais para tal procedimento, nem equipamentos específicos. São utilizados métodos e equipamentos como rugosímetros de agulha, perfilometria óptica, análise de imagens técnicas usando câmera de vídeo, pneumática, ultrassom, e microscopia para avaliar a rugosidade superficial de produtos de madeira. O método com agulha tem sido muito usado para determinar a rugosidade da superfície de madeira sólida e compósitos de madeira, apresentando bons resultados (SILVA et al., 2006). Segundo Martins et al. (2011), uma das principais vantagens desse método é a possibilidade de obter o real perfil da rugosidade da superfície e os parâmetros numéricos padrão, que podem ser calculados a partir do perfil.

Os parâmetros de rugosidade são fornecidos pelo rugosímetro de arraste e representam uma forma da expressão matemática entre a variação vertical das superfícies, expresso pelos picos e vales e o deslocamento horizontal do sensor (agulha). As variáveis mensuradas (Figura 5) para avaliar a rugosidade da superfície usinada são: Rugosidade aritmética ou média (R_a); Rugosidade máxima (R_t); Rugosidade total (R_z); Altura máxima do pico do perfil (R_p); Profundidade máxima do vale do perfil (R_v); Rugosidade quadrática média (R_q); Fator de assimetria (R_{sk}) e Valor médio de espaçamento entre os picos do perfil e a linha média, medido dentro do comprimento de amostragem (R_{sm}).

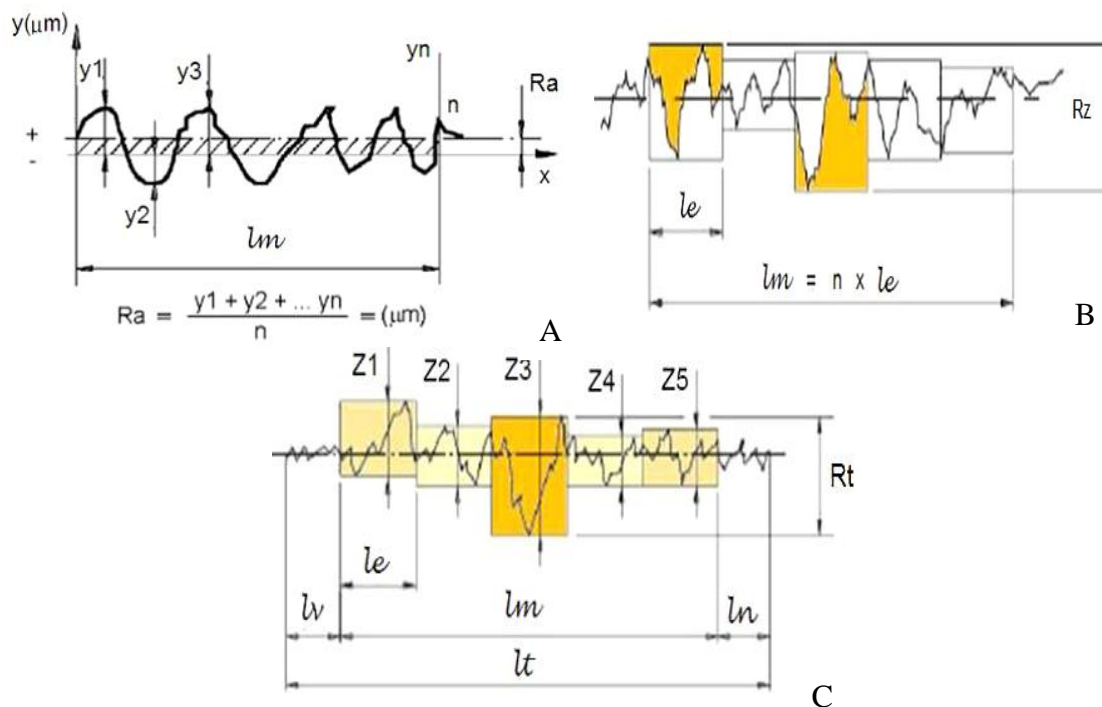


Figura 5: Representação gráfica das variáveis mais utilizadas relacionadas ao parâmetro de amplitude da rugosidade, R_a (A), R_z (B) e R_t (C) (BURATTA, 2016).

O comprimento de amostragem (Figura 6) também chamado de *cut-off* (L_c) representa o comprimento estipulado da superfície usado como referência para identificar as irregularidades obtidas. O comprimento de avaliação (L_m) representa o somatório dos comprimentos de amostragem da medição. A distância total percorrida (L_t) representa o caminhamento total do sensor (agulha) durante a medição da rugosidade. O (L_t) contém o comprimento de avaliação (L_m) juntamente com a distância para atingir a velocidade de medição (L_v) e distância para reduzir a velocidade de medição (L_n).

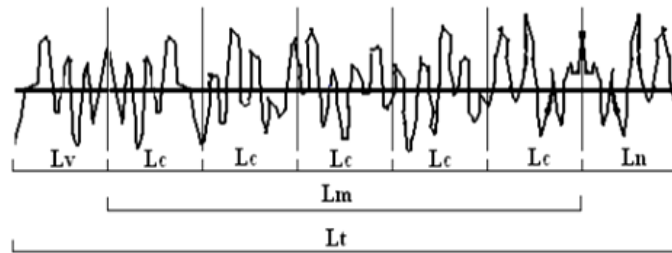


Figura 6: Perfil de rugosidade (Fonte: TAYLOR HOBSON, 2005).

3.5.1 Parâmetro de rugosidade R_a

Braga (2011) definiu esse parâmetro como a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do comprimento de avaliação (Equação 1). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de avaliação (L_m) (Figura 7).

$$Ra = \frac{\sum y_n}{n} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

Ra = Parâmetro de rugosidade (μm);

y_n = Valores absolutos das ordenadas de afastamento, em relação à linha média;

n = Número de leituras de y .

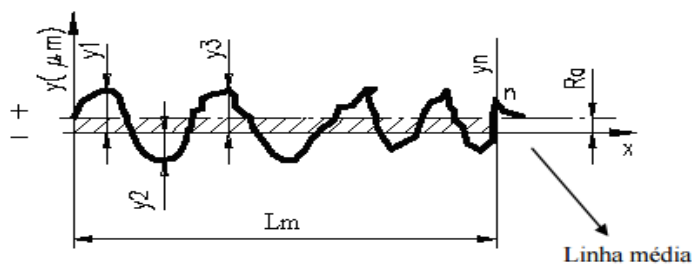


Figura 7: Determinação do parâmetro R_a de rugosidade de superfície (Fonte: TAYLOR HOBSON, 2005).

3.5.2 Parâmetro de rugosidade Rz e Rt

Corresponde à média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial (Rt) (Equação 2). A rugosidade parcial (Rt) é a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média (Figura 8), existentes em cada comprimento de amostragem (BRAGA, 2011).

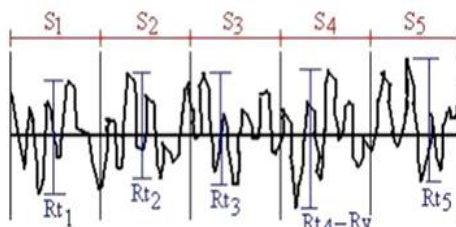


Figura 8: Representação gráfica de uma superfície, mostrando os picos e vales de cada comprimento de amostragem (Lc).

$$Rz = \frac{\sum Rt}{n} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

Rz = Parâmetro de rugosidade (μm);

$\sum Rt$ = Somatório dos valores do parâmetro Rt (μm);

n = número de leituras do parâmetro Rt.

3.6 Termorretificação

A termorretificação ou tratamento térmico é um processo em que o calor é aplicado à madeira visando a obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, quando comparado à madeira em condições normais, algumas delas podendo tornar-se interessantes para aplicações diferenciadas da madeira (BRITO et al., 2006). Vem ganhando destaque ultimamente por ser um tratamento preservativo ecologicamente amigável, visto que é livre de produtos químicos nocivos ao meio ambiente e, pela madeira tratada ser 100% reciclável, sem riscos de contaminação de solos (GARCIA et al., 2012). Lopes et al. (2014), mencionaram também que a termorretificação pode ter o objetivo de melhorar a estabilidade dimensional e durabilidade natural da madeira.

Rousset et al. (2004) afirmam que a madeira termorretificada apresenta uma maior estabilidade dimensional devido à redução da higroscopicidade, causada pela degradação das hemiceluloses (constituente mais higroscópico da parede celular), à ruptura dos grupos hidroxílicos livres da região amorfa da celulose e à reticulação dos polímeros que compõem a madeira. Da mesma maneira que para a higroscopicidade, a termorretificação influencia também a modificação de outras propriedades químicas, como analisaram Akyildiz et al. (2009), estudando as modificações químicas da madeira *Pinus nigra* J. F. Arnold termorretificadas sob diferentes temperaturas (130, 180 e 230°C) e diferentes tempos de exposição (2 e 8 horas) e, concluíram que as madeiras termorretificadas tiveram uma redução no teor de holocelulose e um aumento no teor de lignina de Klason em função da temperatura e do tempo de tratamento.

Além das melhorias supracitadas, a madeira termorretrificada apresenta menor teor de umidade de equilíbrio e alteração da cor original, conforme estudos realizados por Lopes et al. (2012), que constataram a promoção da uniformidade na cor da madeira de *Tectona grandis* L. f., podendo agregar valor comercial, principalmente para fins decorativos. Todavia, na literatura, encontram-se comportamentos diversificados para o efeito do tratamento térmico na matriz vermelho. No trabalho de Pincelli (1999), o nível de vermelho em *Eucalyptus saligna* diminuiu drasticamente com o aumento das temperaturas de tratamento. Já, Johansson e Morén (2006) constataram aumento da coloração vermelha em amostras de bétula tratadas termicamente, comparadas às testemunhas não-tratadas.

Contudo, Garcia et al. (2011) expõe que a principal desvantagem da madeira termorretrificada está associada à redução de suas propriedades mecânicas. Isso ocorre devido a perda de massa, que afeta a densidade. Entretanto, a perda de massa e a redução da densidade e da resistência mecânica da madeira também dependem da espécie e do teor de umidade (LOPES, 2014).

Alguns dos processos industriais mais conhecidos e amplamente usados são resumidamente descritos abaixo (RODRIGUES, 2009):

- Francês - O processo acontece em um forno, seca a madeira a 12% antes do processo, o aquecimento é feito usando nitrogênio, atinge temperatura máxima de 250°C e um ciclo dura de 7 a 13 horas.
- Finlandês - O processo acontece em um forno, seca a madeira a 12% antes do processo, o aquecimento é feito usando vapor, atinge temperatura máxima de 240°C e um ciclo dura 5 dias.
- Alemão - O processo acontece em uma autoclave, seca a madeira a 6% antes do processo, o aquecimento é feito usando óleo e atinge temperatura máxima de 220°C e um ciclo dura 20 horas.
- Holandês - O processo acontece em uma sequência de autoclave, secador e forno, seca a madeira a 18% antes do processo, o aquecimento é feito usando vapor, atinge temperatura máxima de 200°C e um ciclo dura de 3 a 4 dias.

3.7 Molhabilidade

Do ponto de vista da pesquisa, as medidas de molhabilidade, ou seja, do ângulo de contato de líquidos sobre superfícies sólidas é de grande interesse, pois respondem muitas das perguntas a respeito de certas propriedades ou características da superfície sólida (MYER, 1990). Para as superfícies de madeiras, em que são depositados vários líquidos, como por exemplo, substâncias preservativas, esses estudos de molhabilidade são ainda mais importantes.

O ângulo de contato pode ser definido como a interação entre uma superfície e um determinado líquido ou o ângulo entre um plano tangente a uma gota do líquido e um plano contendo a superfície onde o líquido se encontra depositado (MOURA, 2014). Brisolari (2008) esclareceu que ao depositar uma gota de um líquido sobre a superfície de um sólido, ela pode se espalhar uniformemente sobre toda a superfície como quase um filme fino ou formar uma gota esférica. Ele mencionou que no caso de formar um filme, o ângulo Θ , será zero e o sólido será completamente molhado pelo líquido, ou seja, a sua superfície terá propriedades hidrofílicas. Quando $\Theta > 0$, o sólido pode ser descrito como parcialmente molhado ou “molhante”, quando Θ for menor ou igual a 30° e, entre 30° e 89°, como “parcialmente molhante” e para valores iguais ou maiores que 90°, “não molhante” (Figura 9).

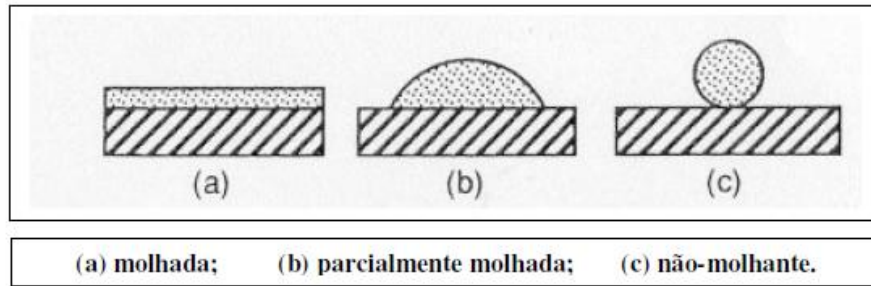


Figura 9: Ilustração de alguns tipos de molhabilidade de sólidos por um líquido (Fonte: MYERS, 1990).

Ainda sob o ponto de vista de Myers (1990), geometricamente, o ângulo de contato pode ser definido como o ângulo formado pela intersecção dos dois planos tangentes entre as superfícies do líquido e do sólido e o contorno de contato entre as duas fases e a terceira fase circundante vizinha (Figura 10).

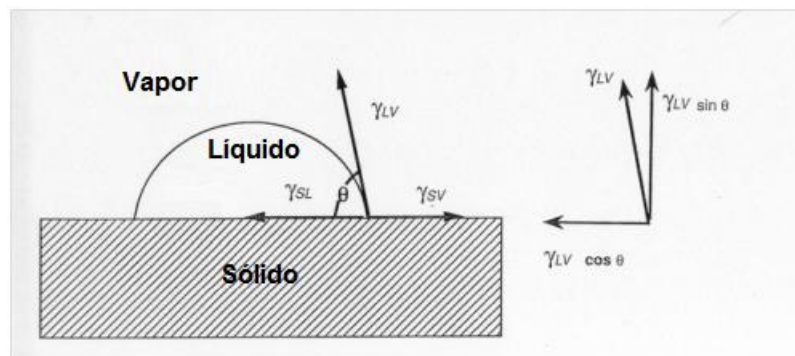


Figura 10: Esquema das medidas de ângulo de contato e da tensão superficial (Fonte: CHAN, 1994).

Quanto à afinidade com água, a madeira pode ter caráter hidrofílico ou hidrofóbico, que varia em função da sua estrutura anatômica e física. Quando a madeira é tratada termicamente, ela pode ter a sua superfície modificada havendo mudança das moléculas e dos componentes da madeira (GLINDL et al., 2004). Assim, os grupamentos hidrofóbicos migram para a região mais externa, aumentando o ângulo de contato da água sobre a superfície (molhabilidade) (HAKKOU et al., 2005).

Uma das primeiras relações entre a energia de superfície e o ângulo de contato para uma gota de um líquido e uma superfície sólida, foi descrita por Young (1805), através da equação de Young (Equação 3):

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

γ_{SV} = tensão interfacial entre a fase sólida e o vapor;

γ_{SL} = tensão interfacial entre as fases sólida e líquida;

γ_{LV} = tensão interfacial entre a fase líquida e o vapor;
 θ = ângulo de contato.

Para relacionar o ângulo de contato à rugosidade da superfície a partir da equação de Young, Wenzel (1936), desenvolveu a seguinte equação (4):

$$\cos \theta_w = R_w \cdot \cos \theta_y \quad \text{Equação (4)}$$

Em que:

θ_w = ângulo de contato aparente para o estado Wenzel;

θ_y = ângulo de contato em superfície lisa;

R_w = fator de rugosidade da superfície.

Quando o parâmetro de rugosidade é igual a 1, o Modelo de Wenzel equivale ao Modelo de Young, ou seja, descreve o ângulo de contato entre uma gota de um líquido e uma superfície lisa (COSTA, 2016).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparação do material e determinação do volume

Neste estudo, foram utilizadas árvores de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L.A.S. Johnson com aproximadamente 64 anos de idade, proveniente de plantio localizado no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica-RJ, 22°45'31.0''S 43°41'55.8''W.

As toras obtidas foram desdobradas em tábuas de 35 mm de espessura, e armazenadas no Laboratório de Propriedades Físico-mecânicas da Madeira, do Departamento de Produtos Florestais (DPF), do Instituto de Florestas (IF), da UFRRJ, para serem climatizadas em ambiente com umidade relativa média de 65% e temperatura média de 20°C. Depois de climatizado, o material foi levado para ser desdobrado em corpos menores, até se obter 48 amostras com as seguintes dimensões: 400 mm x 55 mm x 29 mm, no comprimento, largura e espessura, passando pela operação de aplainamento.

Após o desdobro, o material permaneceu em ambiente climatizado, nas mesmas condições anteriores, onde foi devidamente identificado e pesado em uma balança analítica de precisão. Para a determinação de volume das amostras, foi utilizado o paquímetro de precisão digital (medições da largura e espessura) e régua de aço de precisão (medição do comprimento), sendo que a variação volumétrica foi obtida pela diferença entre o volume antes e após a termorreificação (em ambiente climatizado).

Todas as amostras foram identificadas e, de acordo com a numeração, separadas em grupos de 12 amostras, que foram destinados a diferentes tratamentos térmicos, com exceção de um grupo compondo o tratamento testemunha (12 amostras não tratadas termicamente).

O agrupamento foi baseado na densidade aparente e no valor do módulo de elasticidade, determinado para cada amostra, antes do tratamento térmico, de modo que os valores médios de densidade e do módulo de elasticidade na flexão, para cada grupo, fossem equivalentes estatisticamente.

4.2 Determinação da densidade aparente

O valor da densidade aparente antes e após a termorreificação foi determinado após a estabilização da umidade das amostras, sob um determinado teor de umidade (TU%) médio, e foi feito pela simples divisão da massa de cada amostra pelo seu respectivo volume, como mostra a equação 5. Para determinação da massa foi usada balança com precisão em duas casas decimais.

$$\rho_{ap} = m/v \quad \text{Equação (5)}$$

Em que:

ρ_{ap} = densidade aparente (g/cm³);

m = massa da amostra a um determinado TU% de umidade (g);

v = volume da amostra a um determinado TU% de umidade (cm³).

4.3 Tratamento de termorreificação

A termorreificação ocorreu às temperaturas de 160°C, 180°C e 200°C, totalizando 12 amostras por temperatura. Para este procedimento, foi utilizado um forno mufla elétrico da

marca Linn Elektro Therm, com dimensões de 60 x 60 x 70 cm, do Laboratório de Energia da Madeira, no Departamento de Produtos Florestais (Figura 11).



Figura 11: (A) Forno mufla elétrica laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, utilizado para a aplicação dos tratamentos termorretificadores. (B) Interior do forno mufla e posicionamento das amostras de madeira de *Corymbia citriodora*.

Os tratamentos de termorretificação foram realizados em quatro etapas para cada temperatura (Figura 12), sendo estas: (1) as amostras foram aquecidas até a temperatura de 100°C em um período de 2 horas; (2) a temperatura foi de 100°C até a temperatura estabelecida para a termorretificação em cada tratamento, sendo assim: até 160°C em 0,5 hora (30 minutos), 180°C em 0,66 hora (40 minutos) e 200°C em 0,83 hora (50 minutos); (3) as amostras permaneceram na temperatura de termorretificação por 1 hora e 30 minutos e (4) as amostras permaneceram por 2 horas dentro da mufla até o resfriamento do material.

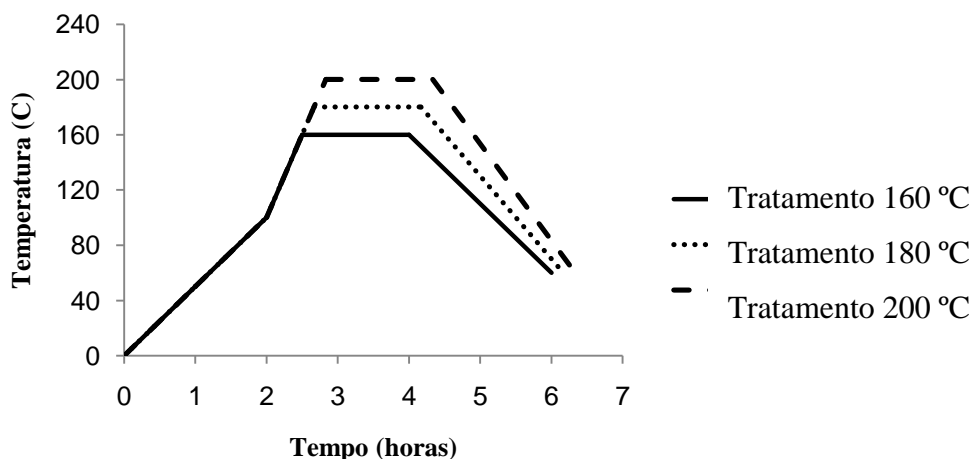


Figura 12: Programa de temperatura vs. tempo dos tratamentos termorretificadores aplicados às madeiras de *Corymbia citriodora*.

Após o tratamento térmico, as amostras foram novamente levadas para climatização até peso constante. Feito isso, as amostras foram novamente processadas (largura, espessura e comprimento) para corrigir as distorções devido aos pequenos empenamentos, quando ocorrido.

4.4 Determinação do módulo de elasticidade (MOE)

Todas as amostras foram submetidas ao ensaio na flexão para determinação do MOE. Tanto antes, quanto depois da termorretificação, alterando-se entre os procedimentos, apenas as variáveis das dimensões, pois, após o tratamento térmico, a madeira foi redimensionada, eliminando-se imperfeições. Para os ensaios das peças ainda não tratadas, consideraram-se as medidas de 40 mm x 55 mm x 22 mm; e para as amostras pós termorretificação, 40 mm x 52 mm x 19 mm.

Os ensaios de flexão estática foram realizados na máquina universal de ensaios mecânicos marca Contenco com capacidade de 30 toneladas (Figura 13). A relação entre o vão de teste e a espessura/altura das amostras foi de 16,4 vezes. Quanto ao carregamento, na determinação do módulo de elasticidade, a carga foi interrompida quando ocorreu deslocamento da linha neutra igual ao vão de ensaio dividido por 200 ($L/200$). Para cálculo do módulo de elasticidade, de todas as amostras testadas, foi feito gráfico da relação entre a carga x deslocamento da linha neutra, e foi escolhido trecho ou segmento onde se percebia a relação linear entre as ordenadas e coordenadas.



Figura 13: Ensaio de módulo de elasticidade na máquina universal de ensaios mecânicos.

O módulo de elasticidade foi determinado pela equação (6):

$$MOE = \frac{\Delta P L^3}{4 \Delta \delta b^3 h} \quad \text{Equação (6)}$$

Em que:

ΔP = variação da carga (Kgf);

$\Delta \delta$ = variação do deslocamento (cm);

L = vão do ensaio (cm);

b = espessura da amostra (cm);

h = largura da amostra (cm).

4.5 Determinação da resistência ao cisalhamento

As dimensões das amostras de madeira foram definidas segundo a norma ASTM D143 (1994) (Figura 14).

Os testes mecânicos foram realizados em máquina universal de ensaios mecânicos marca Contenco com capacidade de 300 kN. O teste de cisalhamento foi feito seguindo a normatização da ASTM D143 (1994) e calculado pela equação 7:

$$f_v = \frac{P_{m\acute{a}xima}}{A} \quad \text{Equação (7)}$$

Em que:

f_v = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (MPa);

$P_{m\acute{a}xima}$ = carga máxima aplicada até ruptura (N);

A = área da seção cisalhante (mm^2).

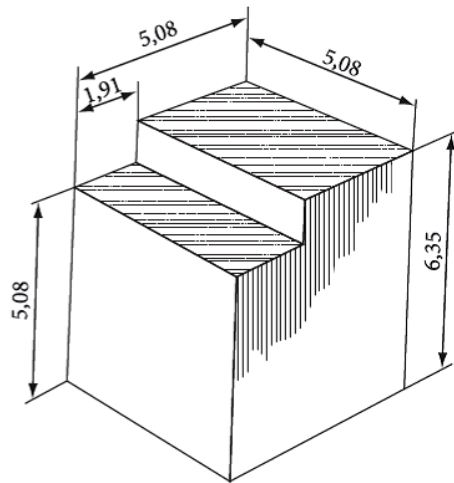


Figura 14: Dimensões, em centímetros, do corpo de prova para o teste cisalhamento de madeira segundo a norma ASTM D143 (1994).

4.6 Determinação da luminosidade e das variáveis cromáticas

Todas as amostras tratadas termicamente foram submetidas ao acabamento superficial pela lâmina de micrótomo, através de raspagem, simulando aplainamento. Para a determinação da cor, foi utilizado o espectrofotômetro portátil Konica Minolta CM 2600d, que permitiu realizar duas medições de cor através do contato direto entre a superfície da amostra em pontos pré-determinados (três pontos por amostra) e a área de iluminação do aparelho com diâmetro de abertura de 3 mm (MAV «medium area view»). Para efetuar as medições, o aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, sendo que para a calibração do branco, utilizou-se a placa CM-A145.

As análises colorimétricas foram realizadas no espaço de cor CIE-L*a*b* seguindo a norma CIE «Commission Internationale de L'Éclairage» (1976). Este sistema é caracterizado por três diferentes coordenadas (L^* , a^* e b^*), dispostas em um espaço de cor tridimensional, no qual L^* representa a luminosidade ou claridade variando de zero (preto) a 100 (branco), enquanto que a^* e b^* representam as variáveis cromáticas nos eixos verde-vermelho e azul-

amarelo, respectivamente, ambas variando entre -60 e +60 (Figura 15) (KONICA MINOLTA, 1998).

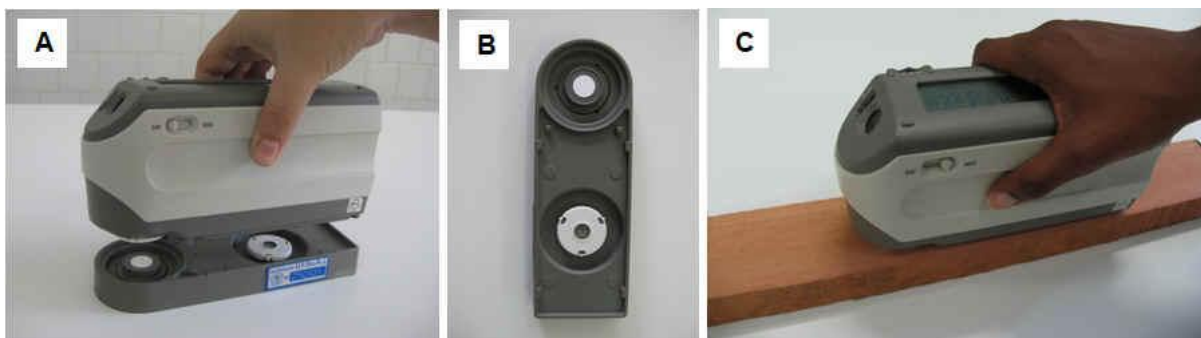


Figura 15: (A) Espectrofotômetro portátil CM-2600d da Konica Minolta. (B) Placa de calibração do branco CM-A145. (C) Medições de cor nas amostras de madeira (Fonte: NUNES, 2012).

4.7 Determinação da rugosidade

Para a determinação da rugosidade, foi utilizado o rugosímetro portátil TR200 da marca DIGIMESS (Figura 16). A medição ocorreu no sentido paralelo à orientação das fibras. O comprimento de amostragem (*cutoff*) igual a 2,5 mm, realizado quatro vezes, totalizando um comprimento de medição igual 1,0 cm. Utilizou-se o *Range* igual a $\pm 80 \mu\text{m}$ que representa o quanto oscila a leitura da agulha na vertical.



Figura 16: Medição da rugosidade na amostra da madeira de *Corymbia citriodora* pelo aparelho portátil TR200/DIGIMESS.

Utilizou-se o filtro matemático *Gauss* por ser o mais usado na área de tecnologia da madeira. Foi realizada uma medição no meio do comprimento das amostras, na face passada pela operação de aplainamento, durante o preparo das amostras. O parâmetro utilizado nesse processo foi somente o de amplitude, sendo este representado apenas pelas variáveis: Ra (rugosidade aritmética ou média), Rt (rugosidade máxima) e Rz (rugosidade total), pois são as mais utilizadas para efeito de caracterização da usinagem da madeira.

4.8 Molhabilidade

A molhabilidade, ou ângulo de contato, das superfícies da madeira, foi avaliada através do método da gota séssil, utilizando um sistema de análise de formato da gota «Drop Shape Analysis DSA100», versão (Hamburg, Alemanha) (Figura 17) que mediu propriedades da gota, entre eles, o ângulo de contato (graus). Esse sistema apresenta três componentes: (1) uma mesa de suporte para fixação da amostra; (2) um sistema de vídeo com câmera, um sistema óptico, um prisma padrão de formato para determinação do ângulo de contato e uma fonte de iluminação e abertura; e (3) um sistema dosador que pode ser controlado manualmente ou com o auxílio do software DSA1.

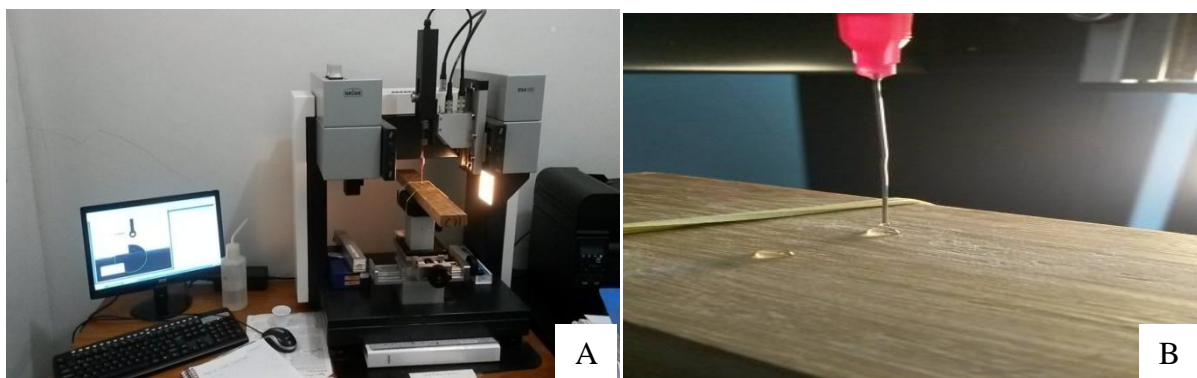


Figura 17: (A) Sistema do goniômetro utilizado para o teste de molhabilidade. (B) Gota formada na aplicação sobre a superfície de amostra de *Corymbia citriodora*.

As medições ocorreram nos mesmos pontos onde foram coletados os dados das avaliações colorimétricas, sendo duas medições a cada ponto, portanto, em cada amostra foram feitas 6 leituras (6 gotas). O aparelho efetivou medições de ângulo (graus), área da gota (mm^2), volume (μL) e base da gota BD (diâmetro na base da gota em mm) a cada 20 segundos durante o período de dois minutos. A primeira medição do ângulo foi para tempo zero (momento que a gota atinge a superfície da madeira) e a última medição no tempo de 120 segundos. Entretanto, em determinadas amostras, algumas leituras aconteceram de forma variável e, portanto, a fim de padronizar a avaliação, a primeira medição, ou seja, no tempo zero, foi desconsiderada para todas as amostras e, considerou-se a primeira leitura de ângulo a 10 segundos e, como última gota, adotou-se a leitura no tempo de 1:40 minutos (100 segundos).

4.9 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 7.0, sendo todos os testes analisados à 95% de probabilidade. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov, e a homogeneidade através dos testes de Levene e de Brown-Forsythe.

Para os dados normais e homogêneos, fez-se a análise de variância ao nível de 5% de significância. Quando a variável dependente estudada não atendeu aos pressupostos paramétricos, foi aplicado teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Quando diferenças entre tratamentos foram detectadas, no campo paramétrico usou-se o teste de Tukey, ao nível de 5%

de significância. Para diferenciar as médias ou médias dos postos, no campo não paramétrico, foi utilizado o teste de DUNN.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras foram pré-selecionadas, distribuídas em quatro grupos de modo que entre o módulo de elasticidade e a densidade não houvesse diferença estatística significativa, para assegurar o não efeito da densidade nos resultados.

5.1. Propriedades físicas e qualidade da superfície

5.1.1. Densidade aparente

Após a seleção das amostras destinadas a cada temperatura de tratamento, foi feita análise de variância para verificar se as diferenças entre as médias das densidades eram estatisticamente significativas. Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Análise de variância para densidade da madeira de *Corymbia citriodora*, antes e depois do tratamento térmico.

Momento	SQ	GL	QM	F	P
Antes da Termorretificação	0,027	3	0,009	1,202	0,319 ^{NS}
Resíduo	0,338	44	0,007		
Após a Termorretificação	0,0305	2	0,045	11,07	0,00021
Resíduo	0,0455	33	0,00138		

SQ é soma de quadrado, GL é grau de liberdade, QM é o quadrado médio, F é o valor estatístico e p (p-valor) é a probabilidade de significância, e significativo quando $p < 0,05$. NS é diferença não significativa.

Nota-se que para as densidades após a termorretificação, o valor p foi menor do que 0,05, indicando que houve diferença significativa entre as densidades em função do tratamento térmico que foi realizado nas amostras. Os valores médios das densidades para cada temperatura de tratamento é apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios das densidades aparentes, com seus respectivos desvios padrões, da madeira de *Corymbia citriodora*, antes e após tratamento térmico.

Temperatura (°C)	Densidade aparente		Variação (%)	TU (%)
	Antes da Termorretificação (g/cm ³)	Após a Termorretificação (g/cm ³)		
NT	1,030 a (0,0278)	-----	-----	11
160	1,052 a (0,0234)	1,022 a (0,0405)	3,0	7,5
180	1,063 a (0,0145)	1,000 ab (0,0354)	6,3	7,0
200	1,096 a (0,1711)	0,952 c (0,0353)	15,2	5,5
Média	1,0708	0,9915		

Médias com a mesma letra, na coluna, não são estatisticamente diferentes entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Os valores dos desvios são apresentados entre parênteses. A variação é apresentada em porcentagem. O teor de umidade (TU) é apresentado em porcentagem.

Tomazello Filho et al. (2005) encontraram valor para densidade aparente de *Corymbia citriodora* 0,73 g/cm³, entretanto, as amostras analisadas no presente estudo foram provenientes de árvores 48 anos mais velhas.

Conforme já indicado pela análise de variância, a termorretificação influencia significativamente na densidade aparente, reduzindo suas médias. Tal consequência, foi também encontrada por Santos et al. (2016), quando seus resultados apresentaram reduções médias de 5,8%; 7,84% e 10,78% para a densidade aparente também após as termorretificações a 160°C, 180°C e 200°C, assim como as variações apresentadas na tabela 2, 3,0%, 6,3% e 15,2%, respectivamente para essas mesmas temperaturas. Nessa mesma tendência, resultados similares foram encontrados por Nunes (2012) e Brito et al. (2006), evidenciando uma correlação direta entre a densidade aparente da madeira e a temperatura de termorretificação. Os mesmos autores explicam que essa tendência está relacionada a alterações químicas provocadas pela decomposição térmica de parte da lignina, à eliminação de água resultante da degradação das hidroxilas presentes na madeira e à volatilização dos extrativos.

5.1.2 Coloração

As variáveis analisadas foram L*, a* e b*, sendo as duas últimas variáveis cromáticas (a* e b*), as quais obtiveram valores médios antes do tratamento de 8,9 e 22,6 e após o tratamento térmico uma média de 10,1 e 20,4, respectivamente. A variável L* resultou em uma média de 61,9 antes da termorretificação e uma média entre os tratamentos de 52,5 após a termorretificação. Os valores atribuídos a essas variáveis, por temperatura de tratamento, são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios das variáveis colorimétricas nos diferentes tratamentos.

Tratamento (°C)	L*	a*	b*
NT	61,9 a [41,00]	8,9 a [12,91]	22,6 a [36,08]
160	57,4 ab [28,33]	9,8 ab [24,08]	21,8 ab [29,58]
180	54,1 bc [19,41]	10,4 b [31,95]	21,0 bc [10,16]
200	46,1 c [9,25]	10,3 b [29,04]	18,5 c [12,16]

NT é a média das avaliações das amostras testemunhas, não tratadas termicamente; e os valores entre colchetes são as médias do posto dadas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, uma vez que os dados foram certificados pelo teste Levene, de homogeneidade das variâncias, como não homogêneos. Médias com letras distintas, na coluna, são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de DUNN.

Em geral, as variações que foram observadas informam que houve um aumento de 13,54% na pigmentação vermelha (a*) e um decréscimo de 9,48% na pigmentação amarela. Quanto a luminosidade (L*), essa coordenada apresentou uma redução de cerca de 15%. Neste caso, pode-se inferir que a madeira refletiu menos a luz projetada pelo espectrofotômetro, tornando-se mais escura.

Para todas as variáveis, os tratamentos a 180°C e 200°C geraram efeitos significativos em relação à testemunha, corroborando com Varga e Van Der Zee (2008), que observaram que quanto mais alta a temperatura e maior a duração do tratamento, maiores são as mudanças na cor da madeira. Já as diferenças das variáveis entre os tratamentos a 160°C e 180°C não se mostraram diferentes estatisticamente; e, a única variável que não mostrou diferença significativa entre os três tratamentos térmicos foi a variável a*.

O efeito da termorretificação na análise colorimétrica, por tratamento, é apresentado na Figura 18.

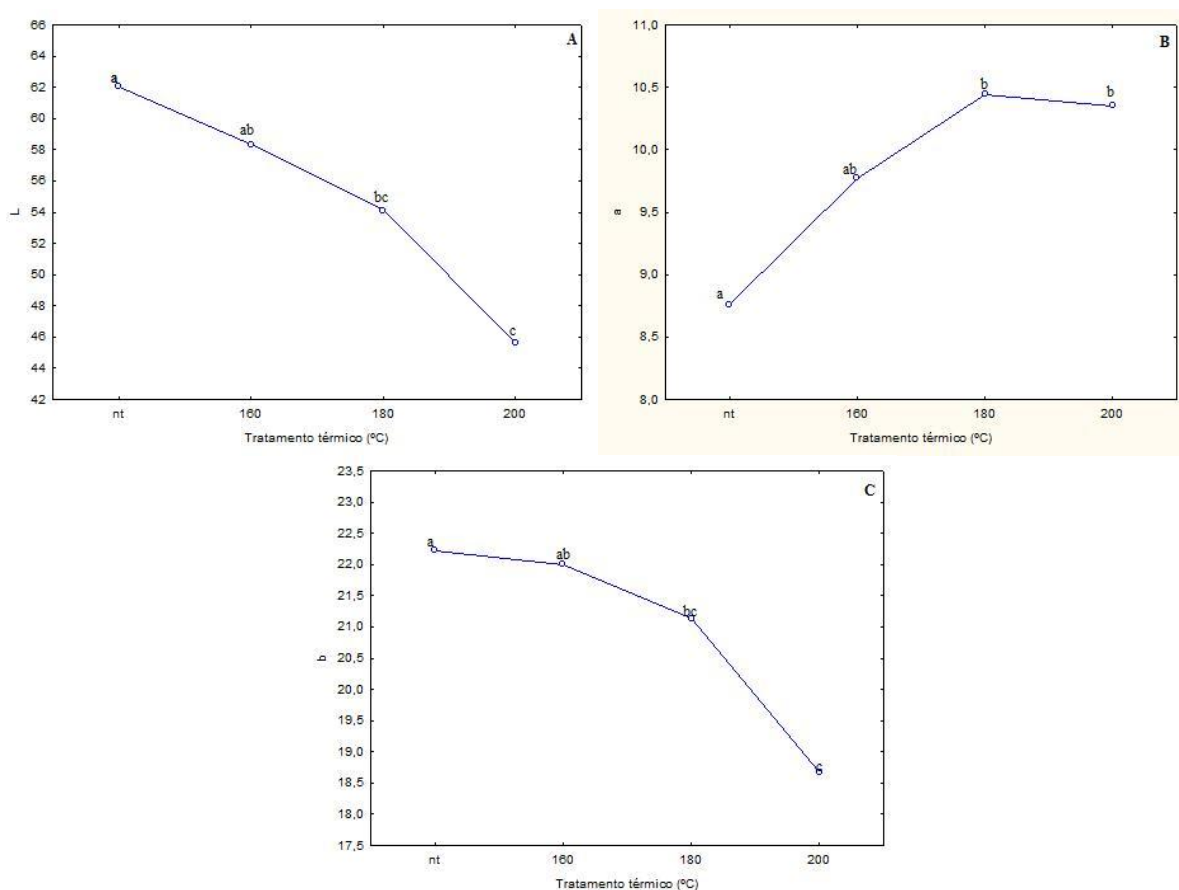


Figura 18: Efeito dos diferentes tratamentos térmicos sob as variáveis colorimétricas L* (A), a* (B) e b* (C), na madeira de *Corymbia citriodora*. As letras minúsculas comparam médias, sendo letras diferentes, indicando médias estatisticamente diferentes.

Da mesma maneira que Santos et al. (2016) encontraram redução significativa após a termorretificação, a variação de L* foi decrescendo a medida que se elevou a temperatura, apresentando uma queda acentuada (Figura 18 A) de pouco mais de 14% quando sob efeito do tratamento de 200°C. Zanuncio et al. (2014), comentam que a redução na luminosidade em altas temperaturas pode estar relacionada a aceleração da degradação dos extrativos e das hemiceluloses, que tornam a madeira mais escura. Esteves et al. (2008) e Gundz et al. (2010) também observaram o escurecimento da madeira de diferentes espécies em função do aumento da temperatura em tratamentos termorretificadores. Cademartori et al. (2014) mencionam que a formação de aldeídos e fenóis é observada quando a madeira é exposta a

altas temperaturas e, conseqüentemente, os compostos de coloração são formados após as reações químicas.

Em relação às mudanças na variável a^* , Nunes (2012) constatou comportamento semelhante, apontando que a termorretificação causou um aumento nos valores desta, em madeira de *Corymbia citriodora*, de modo crescente com o aumento da temperatura até 180°C. Isto é, a madeira apresentou-se mais avermelhada com a elevação da temperatura. Para o tratamento a 200°C, houve uma redução não significativa no tom avermelhado em relação à média da temperatura à 180°C, e Moura e Brito (2011) supõem que a redução na cor avermelhada está associada, provavelmente, à volatilização de alguns compostos fenólicos que conferem a cor vermelha quando em aquecimento.

Verificando-se a reação da variável b^* , pôde-se perceber que sua variação se deu parecida com a apresentada pela luminosidade, reduzindo-se continuamente conforme o aumento da temperatura. Com isso, a madeira submetida ao tratamento de temperatura mais elevada, mostrou-se menos amarelada, e caso sofresse intensificação na redução do valor de b^* , apresentando valores negativos, tenderia a apresentar-se azulada, podendo então ser menos valorizada, pois, Lazarotto et al. (2016), ressaltaram que algumas alterações colorimétricas podem não ser desejáveis, como tornar a madeira mais esverdeada ou azulada. A coloração amarelada está associada à presença de cromóforos na lignina e extrativos, além de complexos organometálicos em extrativos. Menciona-se que a madeira não tratada possui quinonóides e estruturas de estilbeno em sua lignina, os quais conferem parte do matiz amarelo (FALKEHAG et al. 1966). Desse modo, Moura e Brito (2011), acredita que o tratamento térmico interfira de alguma forma na estrutura e/ou quantidade desses compostos na madeira.

Para todos os tratamentos ocorreram modificações significativas das variáveis L^* , a^* e b^* em relação às variáveis das amostras não tratadas, sugerindo que o gradiente de luminosidade, coloração do verde ao vermelho e coloração azul ao amarelo, responde consideravelmente ao aumento da temperatura, quando comparado a valores testemunhas. No entanto, a intensidade da alteração da cor está mais relacionada às características dos extrativos presentes na madeira (VAN E VAN DER ZEE, 2008).

A alteração da cor natural da madeira pela termorretificação é um fenômeno complexo, explicado pela combinação de vários fatores, tais como: (1) formação de produtos oxidativos (ex.: quinonas) e produtos da degradação das hemiceluloses e lignina, os quais migram às superfícies da madeira; (2) volatilização e/ou migração dos extrativos e compostos nutritivos (ex.: açúcares de baixo peso molecular e aminoácidos) em direção às superfícies da madeira; e (3) aumento relativo no teor de lignina (AKYILDIZ et al., 2009; ESTEVES et al., 2008; BEKHTA e NIEMZ, 2003). Os compostos extrativos presentes nas madeiras de folhosas e responsáveis pela mudança da cor das mesmas são: os terpenos, fenóis, taninos, entre outros (ISHIGURI et al., 2003). De acordo com Fengel e Wegener (1989) o aquecimento da celulose, em altas temperaturas e atmosfera com ar, conduz à produção de grupos carbonílicos e hidroxilas devido à presença do oxigênio. Soratto (2012) ratifica que a produção de monóxido e dióxido de carbono leva ao amarelamento e escurecimento da madeira à medida que o tratamento térmico é feito em temperaturas maiores. Porém, para esse estudo, observou-se uma redução no amarelamento, podendo estar relacionada a alterações de extrativos, prevalecendo a pigmentação mais azulada.

Dadas as alterações para as variáveis colorimétricas, foram criados novos padrões de cor (Figura 19). De acordo com a classificação de cores proposta por Camargos e Gonçalves (2001), a cor natural da madeira de *Corymbia citriodora* foi Oliva-amarelado (NT), sendo

que após a termorretificação, as madeiras adquiriram um padrão com as seguintes cores: Rosa-acinzentado (160°C), Marrom-claro (180°C) e Marrom-escuro (200°C).



Figura 19: Cor das madeiras de *Corymbia citriodora* antes e após os tratamentos termorretificadores.

5.1.3 Rugosidade

Através da análise de variância apresentada na tabela 4, foi possível verificar que os valores de Ra e Rz foram significativos estatisticamente, ou seja, o tratamento térmico implica em efeito na rugosidade nestas variáveis. Já para valores de Rt, estes não têm efeito do tratamento térmico, pois foram não significativos ao nível de 5% de significância.

Tabela 4 - Análise de variância de Ra, Rz e Rt (μm) em avaliação de rugosidade da madeira de *Corymbia citriodora* para diferentes tratamentos térmicos.

Variável	SQ	GL	QM	F	p
Ra	24,62	3	8,20	6,806	0,000743
Resíduo	51,87	45	1,20		
Rz	588,48	3	196,16	3,059	0,038194
Resíduo	2756,92	45	64,11		
Rt	1057,88	3	352,62	1,418	0,250527 ^{NS}
Resíduo	10692,11	45	248,65		

SQ é soma de quadrado, GL é grau de liberdade, QM é o quadrado médio, F é o valor estatístico e p (p-valor) é a probabilidade de significância, e significativo quando $p < 0,05$. NS é diferença não significativa.

Os valores médios para os parâmetros de rugosidade Ra, Rz e Rt são apresentados na tabela 5, com a validação estatística pelo teste de Tukey, representada pelas letras minúsculas no corpo da mesma tabela. Observa-se que não há uma uniformidade no aumento ou na redução desses valores de acordo com o tratamento, porém, existe uma oscilação cíclica, x'ligada aos diferentes tratamentos.

Tabela 5 - Valores de Ra, Rz e Rt em μm referentes à avaliação de rugosidade da madeira de *Corymbia citriodora* para diferentes tratamentos térmicos.

Tratamento (°C)	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)
NT	4,15 a (1,334)	24,14 a (9,953)	37,14 a (16,698)
160	2,20 b (1,152)	14,72 b (7,363)	25,01 a (14,833)
180	3,22 ab (1,112)	20,47 ab (8,809)	34,11 a (19,272)
200	2,75 b (0,694)	17,44 ab (5,176)	28,60 a (11,639)

Ra é Rugosidade aritmética ou média, Rz é Rugosidade total, e Rt é Rugosidade máxima. Os valores dos desvios padrão estão subscritos entre parênteses. Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente.

Os valores referentes à rugosidade se mostraram menores após a termorretificação em todas as variáveis apresentadas, indicando uma melhoria da rugosidade da superfície. No entanto, observa-se que não houve diferença estatística para duas variáveis entre os três tratamentos térmicos, indicando que diferenças na taxa de aquecimento não influenciaram significativamente nas respostas da rugosidade. Houve diferença estatística de todos os tratamentos em relação à testemunha apenas para os valores de Ra e Rz. Isso pode ser explicado pelo fato de que a temperatura máxima e/ou o tempo de termorretificação utilizado para os tratamentos, pode não ter sido alto o suficiente para degradar a madeira, que ocasionaria um rearranjo na estrutura, podendo alterar a superfície e gerar diferença estatística dos parâmetros de rugosidade entre os tratamentos termorretificadores.

A diferença de valores na descrição da rugosidade, entre diferentes espécies, pode estar relacionada, conforme apontado por Melo et al. (2013), a estrutura celular e ao método de processamento. Assim, modificações celulares e, conseqüentemente, anatômicas e químicas, podem explicar a diversidade de rugosidade nas superfícies de madeiras. Amorim et al. (2013), em estudo da rugosidade de 11 madeiras tropicais amazônicas, encontraram valores diversos com diferenças significativas estatisticamente para as variáveis de rugosidade, embora não tenha tratado termicamente as amostras.

Sob esse aspecto, o processo de termorretificação tem relação direta com as características de rugosidade apresentadas pelas madeiras tratadas, pois, Ibach (2010) afirma que a medida que a temperatura aumenta, os polímeros presentes na parede celular começam a degradar, acontecendo a pirólise das hemiceluloses em média a 270 °C, seguida da celulose. Todavia, a celulose cristalina é mais resistente ao calor, sentido efeitos do calor acima de 300 °C. Já a lignina, também segundo Ibach (2010), é muito mais estável a alta temperatura, pois, em harmonia com Soratto (2012), devido ao seu tamanho e arranjo de estrutura, trata-se de um composto capaz de minimizar os efeitos provocados pelo calor, entretanto, é um composto sensível a taxa de aquecimento.

Ainda quanto a causas endógenas, fatores como densidade e desvio de grã influenciam diretamente a rugosidade da madeira usinada (SILVA et al., 2016). Os mesmos autores certificaram que os menores valores dos parâmetros de rugosidade Ra e Rz foram obtidos

para as madeiras com maior densidade, pois, quanto menor a densidade e maior o ângulo da grã, maior foi o parâmetro de rugosidade Ra e Rz.

Como referido por Melo et al. (2013), o método de processamento ou usinagem, também pode explicar os resultados para avaliação de rugosidade. Braga et al. (2015), destaca que em usinagem de madeiras, reduzindo a velocidade de avanço e aumentando a velocidade de corte, observa-se uma redução da rugosidade e, conseqüentemente, uma melhora no acabamento superficial. No entanto, Bonduelle (2001), realça que a velocidade de corte aumentada excessivamente também causa o desgaste prematuro do gume de corte da ferramenta, diminuindo sua vida útil. Não obstante, Silva et al. (2008) ressaltam que, processamentos opostos, quando em altas velocidades de avanço associadas às baixas velocidades de corte, podem acarretar raspagem, com escurecimento indesejado da superfície da madeira.

Nos processos de acabamento superficial, como o lixamento, pode-se buscar explicações para a rugosidade, pois, segundo Leite e Alves (2015), em estudo com a mesma espécie, *Corymbia citriodora*, foi possível relacionar o aumento da granulometria da lixa, com a diminuição da rugosidade; afinal, quanto menor a granulometria, maior o tamanho do grão, aumentando a área de usinagem, removendo maior taxa de material e provocando irregularidades na superfície. Portanto, estudos anatômicos, químicos e de padronização dos processos de usinagem são recomendados visando um melhor entendimento para estas variações de rugosidade.

5.1.4 Molhabilidade

Na tabela 6 segue a análise de variância para as medições realizadas no tempo de 10 segundos e 100 segundos, e pode-se observar que os valores não tiveram efeito do tratamento térmico, pois foram não significativos ao nível de 5% de significância, com valores p maiores do que 0,05.

Tabela 6 - Análise de variância dos ângulos de contato medidos em dois tempos, 10 segundos e 100 segundos, e a média dos ângulos nesse intervalo de tempo, em avaliação da molhabilidade da madeira de *Corymbia citriodora* para diferentes tratamentos térmicos.

Variável	SQ	GL	QM	F	P
θ inicial	249,29	3	83,09	0,700	0,55698 ^{NS}
Resíduo	5221,79	45	118,67		
θ final	420,43	3	140,14	0,860	0,46911 ^{NS}
Resíduo	7172,80	45	163,01		
θ intervalo de tempo	427,58	3	142,52	1,011	0,39696 ^{NS}
Resíduo	6203,46	45	140,98		

SQ é soma de quadrado, GL é grau de liberdade, QM é o quadrado médio, F é o valor estatístico e p (p-valor) é a probabilidade de significância, e significativo quando $p < 0,05$. NS é diferença não significativa.

Os valores médios dos ângulos de contato mensurados no tempo de 10 segundos, 100 segundos e a média dos ângulos de contato apresentados nesse intervalo de tempo são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Valores de ângulo (Θ) inicial, Θ final e Θ médio do intervalo de tempo, em graus, referentes à avaliação de molhabilidade da madeira de *Corymbia citriodora* para diferentes tratamentos térmicos.

Tratamento	Θ inicial	Θ final	Θ intervalo de tempo
NT	74,24 (12,612)	57,93 (12,533)	61,73 (13,103)
160	73,93 (10,117)	57,35 (11,293)	62,47 (9,901)
180	78,48 (7,318)	64,70 (14,944)	68,96 (12,879)
200	72,30 (12,637)	58,53 (12,003)	62,09 (11,328)

Θ inicial é a média dos ângulos no tempo de 10 segundos; Θ final é a média dos ângulos no tempo de 100 segundos; e Θ intervalo de tempo é a média dos ângulos no intervalo entre 10 e 100 segundos. Os valores dos desvios padrão estão subscritos entre parênteses.

Como observado, a variância dos ângulos não foi significativa, logo, não houve diferença significativa entre as médias, mostrando que o aumento da taxa de aquecimento não influenciou significativamente nas diferenças de médias. Esse resultado é contrário ao encontrado por Moura (2014), em avaliação de molhabilidade com *Khaya ivorensis* A. Chev., em que o tratamento térmico alterou significativamente o ângulo de contato da madeira. Contudo, embora não tenha sido apresentada diferença estatística em relação à testemunha, esse aumento do ângulo de contato e conseqüentemente a redução da molhabilidade, em análises de tratamentos térmicos, está de acordo com resultados anteriores da literatura (PÉTRISSANS et al., 2003; HAKKOU et al., 2005). Nota-se que para o tratamento a 200°C o ângulo de contato reduziu, corroborando com resultados obtidos por Oliveira (2009) e tendo como explicação para tal, o surgimento de microfissuras na superfície das amostras, que obviamente, contribuiriam para a redução do ângulo de contato por serem cavidades absorvedoras de água.

Para os valores de ângulos dos tratamentos até 180°C, Oliveira (2009) esclareceu que eles podem ter aumentado por efeito de alguma alteração estrutural de alguns dos constituintes como hemiceluloses, celulose e lignina. Regiões amorfas da celulose tendem a se realinhar, tornando-as mais cristalinas, e ocorre o amolecimento da lignina. Assim, a madeira torna-se mais hidrofóbica já que possuirá menos sítios de hidroxilas para ser atacados pelas moléculas de água, resultando em ângulo de contato maior. A partir dos resultados apresentados na tabela 7, tem-se para todos os tratamentos, valores de Θ entre 30° e 89°, identificando-se a molhabilidade da superfície da madeira de *Corymbia citriodora* como parcialmente molhante, considerando-se as classificações de Myers (1990).

5.1.5 Propriedades da rugosidade relacionadas à molhabilidade

Na tabela 8 observam-se as correlações entre as variáveis de rugosidade e os ângulos de contato no tempo inicial e final. Entre os ângulos de contato e as variáveis de rugosidade não se observou nenhum tipo de correlação positiva e significativa. Para a madeira não tratada, em condições de superfície perfeitamente lisa, ou seja, com rugosidade zero, sem nenhum impedimento físico ao espalhamento da gota, espera-se um ângulo de contato menor. Do contrário, em superfície de maior rugosidade, esperar-se-ia um maior ângulo de contato, porque a superfície apresentaria oscilações que poderiam impedir o espalhamento da gota. Tal como Melo et al. (2013) encontraram uma redução mais acentuada do ângulo de contato para

a face mais rugosa das lâminas para produção de painéis. Entretanto, na madeira termorretrificada de *Corymbia citriodora*, observou-se o efeito significativo do aquecimento na rugosidade, reduzindo-a, tornando uma superfície mais uniforme, porém, apresentando ângulo de contato igual a madeira não tratada.

Tabela 8 – Correlação pelo método de Pearson, ao nível de 5% de significância, entre variáveis de rugosidade e os ângulos nos tempos iniciais e finais.

Variáveis	Ra (μm)	Rz (μm)	Rt (μm)	θ inicial ($^{\circ}$)	θ final ($^{\circ}$)
Ra	1,00	0,91*	0,76*	-0,17	-0,10
Rz		1,00	0,89*	-0,11	-0,08
Rt			1,00	-0,18	-0,18
θ inicial				1,00	0,75
θ final					1,00

* Valores mostram significância, pelo método de Pearson.

Reportando-se a Ugulino e Hernández (2015), o comportamento da molhabilidade das superfícies de madeira é uma análise importante sobre o desempenho do revestimento, pois, uma alta capacidade de molhabilidade de uma superfície por um adesivo é pré-requisito necessário para a formação de uma forte ligação entre a madeira e o adesivo (FREEMAN e WANGAARD, 1960). Para uma perfeita umectação, a madeira deve estar com rugosidade adequada para que o adesivo possa ser espalhado uniformemente (UGULINO e HERNÁNDEZ, 2015). Isto posto, pôde-se considerar que a termorretrificação foi um tratamento que melhorou a rugosidade, como já foi mencionado, todavia, não melhorou as condições de ângulo de contato que favorecem processos de revestimento e aplicação de adesivos. Consequentemente, preconiza-se que alterações químicas na superfície, e até mesmo alterações estruturais das amostras, predominaram em relação ao efeito físico, representado pela menor rugosidade, sobre o comportamento da molhabilidade.

5.2 Propriedades mecânicas

5.2.1 Módulo de Elasticidade (MOE)

A análise de variância para o MOE é apresentada na tabela 9, demonstrando que não houve diferença significativa entre os módulos de elasticidade antes do tratamento térmico, e que também não houve diferença para análise de variância dos grupos de madeira tratadas, para os módulos de elasticidade das mesmas amostras ensaiadas após o tratamento térmico, ao nível de 5% de significância do valor P.

Tabela 9 - Análise de variância do MOE em avaliação da rigidez da madeira de *Corymbia citriodora* para diferentes tratamentos térmicos.

Variável (MOE)	SQ	GL	QM	F	P
Antes da termorretrificação	6,01E+07	3	2,00E+07	0,015620	0,997297NS
Resíduo	5,64E+10	45	1,28+09		

Cont.

Após a termorretificação	1,48E+09	2	7,40E+08	0,936	0,4024
Resíduo	2,61E+10	33	7,909E+08		

SQ é soma de quadrado, GL é grau de liberdade, QM é o quadrado médio, F é o valor estatístico e p (p-valor) é a probabilidade de significância, ao nível de 5% de significância. NS é diferença não significativa.

A análise da rigidez, ou seja, da resistência que um objeto tem em sofrer deformações, é apresentada a seguir, pela avaliação do módulo de elasticidade. Os valores médios do MOE antes e após a termorretificação são mostrados na tabela 10, com validação estatística pelo teste de Tukey, representada pelas letras minúsculas no corpo da mesma tabela. Cabe ressaltar que para esse ensaio as amostras foram agrupadas de acordo com o tratamento térmico que seria dado a cada grupo. Logo, a identificação “160”, “180” e “200” incidiu sobre amostras não tratadas e posteriormente tratadas com tais temperaturas, garantindo a comparação das mesmas amostras em momentos diferentes.

Tabela 10 - Valores médios dos módulos de elasticidade para os momentos antes e após termorretificação, em avaliação da rigidez da madeira de *Corymbia citriodora* sob efeito de tratamento térmico.

Tratamento (°C)	MOE			
	Antes da Termorretificação (Kgf/cm ²)	Após a Termorretificação (Kgf/cm ²)	Diferença (Kgf/cm ²)	Variação (%)
NT	195.147 a ₍₄₁₀₆₃₎	-----	0 a _[10,5]	
160	194.439 a ₍₂₇₄₆₉₎	254.648 b ₍₂₅₈₆₂₎	60.249 b _[31,58]	31
180	196.945 a ₍₁₈₈₀₁₎	242.208 b ₍₃₀₅₂₀₎	45.263 b _[28,20]	23
200	194.016 a ₍₄₈₃₈₅₎	240.123 b ₍₂₇₇₉₁₎	46.107 b _[27,80]	23

Os valores dos desvios padrão estão subscritos entre parênteses. Médias com letras distintas, na coluna, diferem estatisticamente. Os valores entre colchetes são as médias do posto dadas pelo teste não paramétrico de Kruscall-Wallis.

Com base na análise realizada, constatou-se que houve diferença significativa entre os módulos de elasticidade, para cada tratamento, após a termorretificação e que o tratamento térmico, independentemente da temperatura, aumentou o MOE. Esse resultado está de acordo com Santos (2000), que também verificou um aumento no módulo de elasticidade da madeira de eucalipto tratada a 180°C. Araújo (2010) estudando efeitos dos tratamentos térmicos na estufa a vácuo, encontrou valores de MOE maiores que a testemunha para as espécies *Mimosa scabrella* Bentham e *Aspidosperma populifolium*.

Vital et al. (1983) estudaram o efeito do aquecimento entre 105°C e 155°C, durante 10 a 160 horas, sobre as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus saligna* e concluíram que a exposição da madeira em temperaturas maiores, durante um maior número de horas, proporciona reduções permanentes na rigidez.

Para espécie de conífera, Esteves et al. (2008) estudando o efeito da temperatura de 180°C por 2 horas sobre o MOE da madeira de *Pinus pinaster* Aiton, observaram uma redução de 2% desta propriedade. Já Boonstra et al. (2007), em estudo com a madeira de *Picea abies* Karst, encontraram um acréscimo no MOE da madeira tratada.

Em estudos com duas espécies de bambu, *Phyllostachis áurea* e *Bambusa tuldoides*, Oliveira (2012) experimentou o MOE em função do tempo e temperatura de termorreificação, encontrando comportamento semelhante para essa propriedade na análise em função da temperatura, pois houve o aumento do MOE, destacando-se o aumento sob o tratamento a 180°C.

As diferenças de comportamento após tratamento térmico entre folhosas e coníferas, segundo Lepage (1986), deve-se ao fato de que folhosas são termodegradadas mais facilmente do que as coníferas, quando expostas numa mesma condição de temperatura. A razão para tal consequência, de acordo com Winandy e Rowell (2005), é que durante a termodegradação a madeira perde resistência mecânica pela diminuição de componentes como a xilose, a galactose e a arabinose, e também, pela decomposição da madeira quando aquecida na presença de ar, devido às reações de oxidação, que reflete diretamente na densidade da madeira, resultando em perda direta da sua resistência. Além do mais, Rodrigues (2009) comenta que os resultados discrepantes podem ser explicados por variáveis incontroláveis como defeitos no interior da peça ou até mesmo deformações causadas pelo aquecimento.

Araújo (2010) apontou resultados sob a influência do tipo do método de tratamento térmico, observando que na estufa com nitrogênio, o MOE indicou madeiras com maior rigidez. Contrapondo a influência dos tratamentos térmicos, Severo e Tomaselli (2000) estudando a vaporização à 100°C de temperatura, respectivamente, por 20 e 3 horas, em toras e em madeira serrada de *Eucalyptus dunni*, concluíram que o módulo de elasticidade não sofreu alteração com os tratamentos térmicos.

Contudo, há na literatura contradições em relação ao efeito da termorreificação na rigidez da madeira. Calonego (2009) expõe que alguns autores afirmam que há um aumento da espessura da região cristalina da celulose, que é capaz de impedir a diminuição da rigidez do material devido à perda de massa, e, outros que mostram que a perda de massa acentuada, provocada pela termorreificação, é suficiente para reduzir o módulo de elasticidade das madeiras.

5.2.1 Resistência ao cisalhamento

A tabela 11 apresenta os valores médios de resistência ao cisalhamento da madeira de *Corymbia citriodora* em função da temperatura, sob teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Na madeira não tratada, a resistência ao cisalhamento foi maior do que os valores para todos os tratamentos aplicados, tendo ocorrido uma redução gradativa conforme o aumento da temperatura de termorreificação. Estatisticamente, todos os tratamentos diferiram do tratamento testemunha.

Tabela 11 - Valores médios de resistência ao cisalhamento (kgf.cm^{-2}) da madeira de *Corymbia citriodora* em função da temperatura de termorreificação.

Tratamento	Resistência ao cisalhamento
NT	144,8 a (18,66)
160	116,2 b (13,22)
180	96,6 b (16,40)
200	68,3 c (14,74)

Os valores dos desvios padrão estão subscritos entre parênteses. Médias com letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente.

Os resultados reforçam os estudos de Thiam et al. (2002) que na comparação do efeito da secagem convencional, com temperatura máxima de 82°C, e da secagem à alta temperatura, com 116°C, sobre a resistência mecânica da madeira de *Tsuga heterophylla*, também encontraram redução na resistência ao cisalhamento para a temperatura mais alta. Assim como Severo e Tomaselli (2000) observaram redução significativa para madeira serrada de *Eucalyptus dunni* sob tratamento térmico. Oliveira (2012), em tratamento a 200 °C constatou 31,5% de redução da resistência ao cisalhamento em relação ao controle, para a espécie *Phyllostachis áurea*, e 59% de redução da resistência ao cisalhamento para a espécie *Bambusa tuldoides*, corroborando com o efeito da temperatura na propriedade mecânica.

Poncsak et al.(2006) afirma que a madeira, sob efeito da termorretificação, se torna mais rígida e frágil, e certas propriedades mecânicas podem sofrer redução, dependendo da temperatura máxima de tratamento, taxa de aquecimento, duração do tratamento a temperatura máxima e umidade. Objetivando reduzir as perdas de resistência mecânica, Pincelli (1999) propôs um processo de tratamento térmico a vapor, cujo aquecimento é feito de forma mais lenta e em temperaturas mais baixas

6. CONCLUSÕES

A primeira hipótese foi confirmada, em que a termorretificação diminui a densidade aparente das madeiras de *Corymbia citriodora*.

A termorretificação alterou a cor original das madeiras, criando novos padrões de cor, certificando a segunda hipótese sugerida.

Apesar do efeito de redução da rugosidade, conforme presumível na terceira hipótese, e conseqüentemente na melhoria da superfície das madeiras, as diferentes temperaturas de aquecimento não se mostraram suficientes para diferenciá-las.

A termorretificação, embora não tenha imposto efeito significativo na molhabilidade, produziu resultados satisfatórios, não aumentando o ângulo de contato, contrariando a quarta hipótese apresentada.

A termorretificação atuou sobre o módulo de elasticidade, aumentando-o, corroborando com a quinta hipótese, expressando-se o aumento da rigidez da madeira de *Corymbia citriodora*.

Pela última hipótese exposta, o comportamento da resistência ao cisalhamento foi de acordo com o que foi suposto, sendo esta, afetada pela termorretificação, reduzindo-a gradativamente com o aumento da temperatura.

7. RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA

Por indícios de alterações químicas e estruturais (celulares) nas superfícies das madeiras de *Corymbia citriodora*, recomenda-se a realização da análise qualitativa por imagens de microscopia eletrônica de varredura para melhor avaliação do efeito da termorretificação.

Sugere-se a determinação do pH da madeira devido a produção de ácidos acético e fórmico durante o tratamento térmico, principalmente pela ação do ácido acético como catalisador das reações de despolimerização.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKYILDIZ, M. H.; ATES, S.; OZDEMIR, H. Technological and chemical properties of heat-treated Anatolian black pine wood. **Jornal of Biotechnology**, v. 8, n. 11, p. 2565-2572, 2009.

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.

ALMEIDA, C. C. D. **Efeito da termorreificação na qualidade da superfície e na influência dos processos envolvidos no processo de lixamento da madeira de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora***. 2015. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial da Madeira). UNESP, Botucatu 2015.

ARAÚJO, S. O. **Propriedades de madeiras termorreificadas**. 2010. 93 p. Tese (Programa de Pós- Graduação em Ciência Florestal). UFV, Viçosa, 2010.

AMORIM MRS, RIBEIRO PG, MARTINS SA, MENEZZI CHS, SOUZA MR. Surface wettability and roughness of 11 Amazonian tropical hardwoods. **Floresta e Ambiente**. v.20, n. 1, 99-109, 2013.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1666-87: Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials (reapproved 1994). **Philaladelphia**, v.1, p. 226-245, 1994.

BEKHTA, P.; NIEMZ, P. Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 57, n. 5, p. 539-546, 2003.

BOLAND, D.; BROKER, M. H.; CHIPPENDALE, G. M.; HALL, N.; HYLAND, B. P. M.; JOHNSTON, R. D.; KLEINING, D. A.; MCDONALD, M. W.; TURNER, J. D. **Forest trees of Australia**. Melbourne: CSIRO, v.1, n. 1, 736 p. 2006.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.1, n. 61, p. 82-86, 2001.

BOONSTRA, M.J.; ACKER, J.; KEGEL, E.; STEVENS, E. Optimization of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology**, New York, v.41, n.1, p.31-57p, 2007

BRAGA, P. P. C. **Qualidade na usinagem e no acabamento da madeira de coffee arabica**. 2014. 89 p. Dissertação (Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira). UFLA, Lavras, 2014.

BRAGA, P. P. C., ARAÚJO, A. C. C., SILVA, J. R. M. S., CALEGARIO, N., BLANCO, J. Análise da superfície usinada de madeiras de *dipteryx odorata* por meio de parâmetro de rugosidade. In **Anais II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**. v.1,n.1, 13. 2015.

BRISOLARI A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medidas de ângulo de contato e de permeabilidade.** Dissertação. 2008. 98 p. UFSCAR, São Carlos, 2008.

BRITO, L. D. 2014. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação.** 2014. 114 p. Tese (Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos) Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

BRITO, J., GARCIA, J., & JÚNIOR, G. The Density and Shrinkage Behavior of *Eucalyptus Grandis* wood submitted to different temperatures of thermorettification. **Cerne**, v.1, n.1, 182–188, 2006.

BURATTA, C. C. **Propriedades tecnológicas e de superfície da madeira de mogno africano (*khaya ivorensis*) sob efeito de tratamento térmico.** Monografia, 2016, 33 p. Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2016.

COELHO, C., CARVALHO, L., MARTINS, J., COSTA, C., MASSON, D., & MÉAUSOONE, P. J. Estudo dos efeitos dos parâmetros de maquinação da madeira nas características objectivas e percepção subjectiva de um acabamento. **Anais Congresso Florestal Nacional.** Viseu, Instituto Politécnico Portugal, 2005.

CALONEGO, F. W. **Efeito da termorrettificação nas propriedades físicas, mecânicas e na resistência a fungos deterioradores da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden.** 2009, 149 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura) UNESP, Botucatu, 2009.

CAMARGOS, J. A. A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais.** 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

COELHO, C. L. et al. Method for evaluating the influence of wood machining conditions on the objective characterization and subjective perception of a finished surface. **Journal of Wood Science & Technology**, v.42, n. 3, p.181-195, 2008.

COSTA, J. R. **A influência da temperatura na estrutura e molhabilidade de filmes finos.** 2016. 61 p. Dissertação (Mestrado em Física) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado Santa Catarina. Joinville, 2016

DE PAULA, E.V.C.M et al. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras no Amazonas. **Anais Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, São Carlos: USP, EESC, SET, LaMEM, 1986.

ESTEVES, B. M.; PEREIRA, H. M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2009.

ESTEVES, B.M.; PEREIRA, H.M. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, Raleigh, v.4, n.1, p.370-404, 2008.

FALKEHAG, S.I.; MARTON, J.; ADLER, E. Chromophores in Kraft lignin. In: Lignin Structure and Reactions. Washington D.C.: Ed. Marton, **J. Am. Chem. Soc.**, v. 1, p.75-89, 1966.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: **Walter de Gruyter**, v.1, n. 1, 1989.

FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF. **Circular técnica 39**. IPEF. Piracicaba. 20 p. 1979.

FIGUEROA, M. J. M., & de MORAES, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 157-174, 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook - wood as an engineering material. Washington: **U.S. Department of Agriculture**, 463p. 1999.

FREEMAN HA, WANGAARD FF. Effect of wettability of wood on glue-line behavior of two urea resins. **Forest Products Journal**. v.9, n. 12, 451-458, 1960.

GARCIA RA, CARVALHO AM, LATORRACA JVF, MATOS JLM, SANTOS WA, SILVA RFM. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Science and Technology**. v.46, p. 41-52, 2012.

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 Sci. Technol.**, v.1, n.1, 2011.

GINDL, M.; REITERER, G.; SINN, S.E Effects of surface ageing on wettability, surface chemistry, and adhesion of wood. **Holz Roh Werkst.**, v. 62, p. 273–280, 2004.

GOUVEIA, F.N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. Tese. 133 p. (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GUNDUZ, G.; KORKUT, S.; AYDEMIR, D.; BEKAR, I. The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (*Carpinusbetulus*) wood: Maderas. **Maderas Ciencia y Tecnología**, Concepción, v.11, n.1, p.61-70, 2009.

HAKKOU, M.; PÉTRISSANS, M.; ZOULALIAN, A.; GÉRARDIN, P. Investigation of the reasons for the increase of wood durability after heat treatment based on changes of wettability and chemical composition. In: **European conference on wood modification**. 2005, Göttingen. Proceedings.Göttingen: ECWM, p.36-46. 2005.

IBACH, R. E. Chapter 19 - Specialty Treatments. **Wood Handbook - Wood as an Engineering Material**, v. 1, n. 1, 1–16, 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual da Indústria Brasileira de Árvores**. São Paulo; 2016. 100p. Disponível em: <<http://iba.org/shared/Biblioteca>> Acesso em: 21 novembro de 2016.

ISHIGURI, F.; MATSUI, M.; ANDOH, M.; YOKOTA, S.; YOSHIZAWA, M. Time- course changes of chemical and physical properties in Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) logs during smoke heating. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.35, n.4, p.585-593, 2003.

JOHANSSON, D.; MORÉN, T. The potential of colour measurement for strength prediction of thermally treated wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v.64, p.104-110, 2006.

KILIC M, HIZIROGLU S, BURDURLU E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, v.41, n.8, 1074-1078. 2006.

KONICA MINOLTA S. Comunicação precisa da cor: Controle de qualidade da percepção à instrumentação. v.1, n.1, 59 p. 1998.

KORKUT, S.; HIZIROGLU, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus coluna* L). **Materials and Design**, v. 30, p. 1858-1858. 2009.

LAZAROTTO, M., CAVA, S. S., BELTRAME, R., GATTO, D. A., MISSIO, A. L., GOMES, L. G., & MATTOSO, T. R. Biological resistance and colorimetry of heat treated wood of two eucalyptus species. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, 135–145, 2016.

LEE, D. J., HUTH, J. R., OSBORNE, D. O., & HOGG, B. W. Selecting hardwood taxa for wood and fibre production in Queensland's subtropics. **Australian Forestry**, v. 73, n. 2, p. 106-114, 2010.

LEITE S. & ALVES ANALISE DAS VARIÁVEIS PRESENTES NO PROCESSO DE LIXAMENTO. **Anais do II Congresso Brasileiro de Ciencia e Tecnologia da Madeira – CBCTEM**. Belo Horizonte, 2015.

LEPAGE, E. S. (Coord.) Manual de Preservação de Madeiras. Volumes I e II. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo. **Publicação IPT 1637**. 1986.

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Propriedades físicas da madeira de teca termorreteficada. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 569-577, 2014.

LOPES J.O. Uniformidade e estabilidade da cor da madeira termorreteficada de *Tectona grandis* L. f. Dissertação. 2012. (Ciências Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas. **Nova Odessa: Instituto Plantarum**, 352 p. 2003.

MARQUES, S. S.; OLIVEIRA, J. T. S., PAES, J. B.; ALVES, E. S.; SILVA, A. G. S.; FIEDLER, N. C. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata Lam.*) nativa e de reflorestamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.2, p.373-380, 2012.

MARTINS, J. V., MARSHAK, A., REMER, L. A., ROSENFELD, D., KAUFMAN, Y. J., FERNANDEZ-BORDA, R., KOREN, I., CORREIA, A. L., ZUBKO, V., E ARTAXO, P. Remote sensing of cloud vertical profiles. **Atmos. Chem. Phys.**, v.11, 9485–9501. 2011.

MELO, R. R., SOARES DEL MENEZZI, C. H., DE SOUZA, M. R., & STANGERLIN, D. M. Avaliação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e de superfície de lâminas de paricá (*Schizolobium Amazonicum Huber ex. ducke*). **Floresta E Ambiente**, v. 20, n.2, 238–249, 2013.

MENDES, L. M. M., LOSCHI, F. A. P. L., DE RAMOS, L. E., PAULA, P., MENDES, R. F. M., JÚNIOR, J. B. G. J. G., & MORI, F. A. M. Potencial de Utilização da Madeira de Clones de *Eucalyptus urophyllana* Produção de Painéis Cimento-Madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 69-75, 2011.

MORALES, E.A.M. **Técnicas de propagação de ondas na estimativa de propriedades mecânicas de painéis OSB**. 2006, 94f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MORESCHI, J. C. Propriedades da Madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. **Universidade Federal do Paraná**. Curitiba. v.1, 4 ed. 208p. 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**, v. 17, p. 179-191, 2002.

MOURA, F. D. G. **Colorimetria, molhabilidade, resistência e rigidez da madeira de *Khaya ivorensis* a. Chev. tratada termicamente**. Monografia, 2014, 34p. Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2014.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Efeito da termorreificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 69-76. 2011.

MYERS, D. Surface, interfaces, and colloids: principles and applications. New York: **VCH Publishers**, v.1, n.1, 1991.

NUNES, C. S. **Propriedades tecnológicas e qualidade de adesão de madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus pellita* termorreificadas**. 2012. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

OLIVEIRA, R. M. Utilização de técnicas de caracterização de superfícies em madeiras tratadas termicamente. **Instituto de Física de São Carlos**. UFSCAR, 2009.

OLIVEIRA, B.R.R. **Dendrocronologia de árvores de teca na região de Cárceres, Mato Grosso**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

OLIVEIRA, M. F. A. **Propriedades físico-mecânicas de duas espécies de bambu termorretrificadas: *Bambusa tuldoides* Munro e *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière**. 2012. 64p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

PALERMO, G. P. M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado**. 2010. 237 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

PÉTRISSANS, M., PHILIPPE, G., EL BAKALI, I., AND SERRAJ, M. Wettability of heat-treated Wood, **Holzforschung**. v.57, n.1, 301-307, 2003.

PINCELLI, A. L. P. S. M. **Efeito da termorretrificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) – Departamento de Ciências Florestais, ESALQ-USP, Piracicaba, 1999.

PIRATELLI FILHO, A.; MECÂNICA, Depto Engenharia. Rugosidade superficial. **3º Seminário Metrologia**, Brasília. Universidade de Brasília – UnB. 1-41, 2011.

PONCSÁK, S. et al. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). **Wood Sci Technol**, v. 1, n. 40, p. 647–663, 2006.

REIS, C. A. F., ASSIS, T. F., SANTOS, A. M., & PALUDZYSZYN FILHO, E. *Corymbia citriodora*: estado da arte de pesquisas no Brasil. **Documentos Embrapa Florestas**, v.1, 59p, 2013.

RODRIGUES, T.O. **Efeito da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energéticos**. 2009. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ROEL, P. **Comportamento ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus citriodora* através do ensaio “OFF-AXIS”**. 2010. 86 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

ROUSSET P, PERRÉ P, GIRARD P. Modification of mass transfer properties in poplar wood (*P. robusta*) by thermal treatment at high temperature. **Holz als Rohund Werkstoff**. v.62, 113-119, 2004.

SANTOS, P. V., SILVA, M. A., DIAS JÚNIOR, A. F., CARVALHO, A. M., & NASCIMENTO, A. M. Qualidade tecnológica da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson submetida ao processo de termorreificação. **Scientia Forestalis**, v.44, n.110, 343–350, 2016.

SANTOS J. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. **Wood Sci Technol**. v.1, n.34, 39–43, 2000.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I.; BONDUÉLI, G. M.; REZENDE, M. A. de. Efeito da vaporização na umidade de equilíbrio e sua implicação nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid. Floresta, **Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná-FUPEF**, v.31, n.1 e 2, 114-118, 2001.

SILVA DA, ALMEIDA VC, VIANA LC, KLOCK U, MUNIZ GIB. Avaliação das propriedades energéticas de resíduos de madeiras tropicais com uso da espectroscopia NIR. **Floresta e Ambiente**, v.1, n.21. 2014.

SILVA J.R.M, BRAGA PPC, MARTINS M, FILIPE AP. Identificação de parâmetros de rugosidade para qualificação de pisos de *Eucalyptus grandis*. In: **Anais Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira**; 11; 2008; Londrina. Londrina: Universidade Estadual de Londrina; 2008.

SILVA JRM, LIMA JT, BRAGA PPC, TRUGILHO PF. A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp. **Anais Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira**. São Pedro. São Pedro: UNESP; 2006.

SILVA, G. B. **Colorimetria - Propagação de erros e cálculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos**. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004.

SORATTO, D. N. **Efeito das variáveis do tratamento térmico nas propriedades da madeira de *Eucalyptus* sp**. 2012. 76 p. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, UFV. Viçosa, 2012.

STANGERLIN, D.M.; CADEMARTORI, P.H.G.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; VIVIAN, M.A.; MODES, K.S. Propagação indireta e semidireta de ondas ultrassônicas na estimativa de propriedades mecânicas da madeira. **Ciência da Madeira**, v. 2, n.2, 85-95, 2011.

TAYLOR HOBSON. **Surtronic 3+ operating instructions**. Disponível em: <<http://www.taylorhobson.com.br/detalhes.asp?linha=1&categ=1>>. Acesso em: 25 out. 2010.

TAYLOR J.B., CARRANO A.L., LEMASTER R.L. Quantification of process parameters in a wood sanding operation. **Forest Products Journal**. v.5, n.49, 41-46. 1999.

TEIXEIRA, B.M.R. **Variabilidade radial e longitudinal de propriedades da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*(L.) Speg.)**. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

THIAM, M.; MILOTA, M. R.; LEICHTI, R. J. Effect of high-temperature drying on bending and shear strengths of Western Hemlock lumber. **Forest Products Journal**, Madison, v.52, n.4, p.64-68, 2002.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M.P.; ROQUE, R.M. Manual de aplicação de densitometria de raios-X em amostras de madeira. CERD. Piracicaba: CRAD. v.1. 32 p. 2005.

TSOUMIS, G.. Wood as raw material: source, structure, chemical composition, growth, degradation and identification. **Nancy**, v1 ed.1, 276 p. 1968.

UGULINO, B., & HERNÁNDEZ, R. E. Avaliação das superfícies usinadas da madeira de carvalho vermelho em relação ao desempenho de um revestimento. In **Anais II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**. v.1,n.1, 13. 2015.

VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.2, p.209-217. 1992.

VALÉRIO, A.F.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, R.T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H.S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, v.21, n.3, p 54-58, 2008.

VARGA, D.; van der ZEE, M. E. Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 66, n. 1, 11-18, 2008.

VIEIRA, I. G. **Estudo de caracteres silviculturais e de produção de óleo essencial de progênies de *Corymbia citriodora* (Hook) K.D.Hill & L.A.S. Johnson procedente de Anhembi SP - Brasil, Ex. Atherton QLD - Austrália**. 2004. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VITAL B, LUCIA R, DELLA R, EUCLIDES R. Effect of heating on some properties of *Eucalyptus saligna* wood. **Revista Árvore**. v.7, n.2, 136–146, 1983.

WINANDY, J. ROWLL, R. M. Chemistry of Wood Strength. In: Handbook of wood chemistry and wood composites. Rowell, R. M. (ed.). **Boca Ration**, Florida: CRC, p. 303-347. 2005.

ZANUNCIO, A. J. V; FARIAS, E. S; SILVEIRA, T. A. Termorreificação e Colorimetria da Madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 1, 85-90, 2014.

ZENID, G. J. Madeira: uso sustentável na construção civil. **Publicação IPT**, 2980.2ª ed. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 103 p. 2009.