



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

**Nayara Franzini Lopes**

**ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE TECA TRATADA  
PELO PROCESSO VAP HOLZSYSTEME®**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. ROSILEI APARECIDA GARCIA**  
**Orientadora**

SEROPÉDICA, RJ  
Novembro - 2016



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

**Nayara Franzini Lopes**

**ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE TECA TRATADA  
PELO PROCESSO VAP HOLZSYSTEME®**

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

SEROPÉDICA, RJ  
Novembro - 2016

# **ANÁLISE DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE TECA TRATADA PELO PROCESSO VAP HOLZSYSTEME®**

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em 28 de Novembro de 2016.

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Rosilei Aparecida Garcia  
UFRRJ/IF/DPF  
Orientadora

---

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento  
UFRRJ/IF/DPF  
Membro

---

M.Sc. Juliana de Oliveira Lopes  
UFRRJ/IF/DPF  
Membro

*“Muitos querem alcançar seus objetivos o quanto antes, mas dificilmente se dispõem a dedicar a maior parte de seu tempo pra que isso aconteça. Sem disposição, sem obstinação, sem preparação, sem atitudes consistentes, nada acontece.”*

*Eduardo Colamego*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por tudo que tenho alcançado.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que me proporcionou muitas coisas, principalmente as amizades que irei levar para vida. Ao PIBIC, pela bolsa de iniciação científica concedida.

À minha orientadora, professora Rosilei, pela atenção, dedicação e por me dar a oportunidade de ter desenvolvido esse trabalho.

Ao Professor Djeison Cesar Batista da Universidade Federal do Espírito Santo por disponibilizar o material e pela parceria no projeto.

Aos professores, por compartilharem seus conhecimentos e contribuírem para meu aprendizado.

Aos membros da banca, por terem aceitado me avaliar.

À minha família, aos meus pais Rita de Cassia e Carlos Eduardo por serem o meu alicerce e por estarem sempre me apoiando, me dando forças para realizar meus sonhos. Ao meu irmão Nickolas.

À minha segunda família, Madalena, Domingos, Adalberto, Alessandra, Angélica, Andréia e Alciléia por terem me acolhido quando precisei e por ajudarem a me tornar quem sou hoje.

Ao meu melhor amigo e namorado Gerhard, que esteve sempre presente em todos os momentos, me ajudando e me aconselhando. Obrigada por todo carinho, companheirismo e por tudo que fez e faz por mim.

Aos amigos da turma 2012-2, em especial a Ana Caroline, Beatriz Rodrigues, Beatriz Griffó, Caroline, Fagner, Juçara e Laiza, pelos bons momentos vividos juntos, pelas tristezas e alegrias divididas. Guardarei todos no meu coração.

## RESUMO

Diferente dos estudos realizados até hoje envolvendo modificação térmica de madeiras, o presente estudo analisou as características da superfície da madeira de teca modificada termicamente pelo processo industrial VAP HolzSysteme<sup>®</sup>, que trata a madeira através da aplicação de calor a elevadas temperaturas utilizando vapor saturado, aliado a uma eficiente eliminação de oxigênio. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do tratamento térmico realizado pelo processo VAP HolzSysteme<sup>®</sup> nas características físico-químicas da superfície da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.). Amostras de cerne e alburno tratadas e não tratadas termicamente com dimensões de 50 x 25 x 25 mm<sup>3</sup> (comprimento x largura x espessura) foram utilizadas para avaliar a cor, a molhabilidade e os grupos funcionais da superfície da madeira. As análises colorimétricas foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d no espaço de cor L\*a\*b\* CIE 1976 segundo a norma ISO 11664-4:2008. A molhabilidade foi determinada pela análise de ângulo de contato através do sistema de análise de formato da gota DSA100 da KRÜSS GmbH. A espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier em modo de reflectância difusa (DRIFT) foi utilizada para avaliar a modificação química. O tratamento térmico alterou a cor e a molhabilidade superficial da madeira de teca. O efeito do tratamento na molhabilidade foi mais marcante no alburno do que no cerne da teca. Entretanto, a espectroscopia no infravermelho mostrou que o tratamento causa modificações químicas mais marcantes no cerne do que no alburno. Esses resultados mostram que mesmo com a aplicação de temperaturas mais brandas (160°C) tais como as utilizadas no processo VAP Holzsysteme<sup>®</sup> são capazes de causar modificações físico-químicas na superfície da madeira de teca.

**Palavras-chave:** espectroscopia no infravermelho, modificação química, espaço de cor L\*a\*b\* CIE 1976.

## ABSTRACT

Different from the studies carried out until today about thermal modification of wood, the present study analyzed the surface characteristics of teak wood thermally modified by the VAP HolzSysteme® industrial process, which treats the wood through the application of heat at high temperatures using saturated steam combined with an efficient elimination of oxygen. The objective of this study as to evaluate the effect of the heat treatment performed by the VAP HolzSysteme® process on the physical-chemical characteristics of the teak wood surface (*Tectona grandis* L. f.). Untreated and heat-treated heartwood and sapwood samples measuring 50 x 25 x 25 mm<sup>3</sup> (length x width x thickness) were used to evaluate the color, wettability and functional groups of the wood surface. Color analyses were performed using the CM 2600d portable spectrophotometer in the CIE 1976 L\*a\*b\* space according to ISO 11664-4:2008 standard. The wettability was determined by contact angle analyses through the DSA100 drop shape analyzer system from KRÜSS GmbH. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) was used to evaluate the chemical modification. The heat treatment changed the color and wettability of the teak wood surface. The treatment effect on wettability as more marked on the sapwood than heartwood. However, infrared spectroscopy showed that the treatment causes more marked modifications in the heartwood than sapwood. These results show that even with application of low temperatures (160°C), such as those used in the VAP HolzSysteme® process, they can cause physical-chemical modifications on the teak wood surface.

**Keywords:** infrared spectroscopy, chemical modification, CIE 1976 L\*a\*b\* color space.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo geral .....	2
2.2 Objetivos específicos .....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
3.1 Madeira de teca .....	3
3.2 Modificação térmica .....	4
3.3 Colorimetria.....	5
3.4 Molhabilidade e ângulo de contato .....	8
3.5 Espectroscopia no infravermelho.....	9
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
4.1 Material .....	11
4.2 Tratamento da madeira pelo processo VAP HolzSysteme®.....	11
4.3 Análises colorimétricas .....	11
4.4 Análises de ângulo de contato .....	12
4.5 Espectroscopia no infravermelho .....	13
4.6 Análises estatísticas .....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
5.1 Colorimetria da madeira de teca TMT .....	14
5.2 Molhabilidade superficial da madeira de teca TMT .....	15
5.3 Espectroscopia DRIFT da madeira de teca TMT.....	17
6. CONCLUSÕES .....	21
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Fotomicrografias ilustrando o plano transversal (A), longitudinal tangencial (B), longitudinal radial (C) para a madeira de *Tectona grandis*.....3
- Figura 2.** Coordenadas do Sistema Munsell.....7
- 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.....7
- Figura 4.** Esquema das medidas de ângulo de contato e tensão superficial.....8
- Figura 5.** (A) Espectrofotômetro portátil CM 2600d da Konica Minolta. (B) Placa de calibração do branco CM-A145.....12
- Figura 6.** (A) Equipamento utilizado nas análises de ângulo de contato: Drop Shape Analyser DSA100. (B) Mesa de suporte e seringa dosadora.....13
- Figura 7.** Comportamento dos parâmetros de cor das madeiras de cerne e alburno de teca não tratadas e tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).....15
- Figura 8.** Comportamento do ângulo de contato das madeiras de cerne e alburno de teca tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT) em função do tempo de medição.....16
- Figura 9.** Ângulo de contato das madeiras de cerne e alburno de teca não tratadas e tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).....17
- Figura 10.** Espectro DRIFT da madeira de cerne da teca tratado pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).....19
- Figura 11.** Espectro DRIFT da madeira de alburno da teca tratado pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).....20

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Parâmetros de cor das madeiras de cerne e alburno de teca tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).....15
- Tabela 2.** Ângulo de contato das madeiras de cerne e alburno de teca tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).....16

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie de teca (*Tectona grandis* L.f.) pertence à família Lamiaceae, antigamente Verbenaceae, e ocorre naturalmente no subcontinente índico e no sudeste asiático, principalmente na Índia, Tailândia, Laos e Indonésia (IPEF, 2003). Os plantios florestais de teca no Brasil foram introduzidos na década de 1960, no Município de Cáceres, Estado de Mato Grosso, e ocuparam em 2015 uma área plantada de 87.410 ha, o que equivale a 1,12% da área de florestas plantadas no Brasil, sendo distribuída nos estados do Mato Grosso, Paraná e Roraima (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBA, 2016). As condições climáticas favoráveis, o solo de melhor fertilidade e os tratos silviculturais adequados contribuíram para reduzir o ciclo de produção de 80 anos, na região de origem, para apenas 25 anos na Região Centro-Oeste e Norte do país (RECH, 2009 apud IWAKIRI et al., 2014). Entretanto, devido ao curto ciclo de corte, a madeira de teca cultivada no Brasil apresenta uma alta proporção de madeira juvenil, a qual apresenta características e propriedades tecnológicas diferentes da madeira adulta.

A utilização da madeira de teca é bem ampla, sendo utilizada em construções marinhas, na fabricação de chapas de madeira, em painéis decorativos e móveis entre outros. A madeira possui boa qualidade, sendo essa uma das principais razões para o seu plantio. A espécie apresenta cerne e alburno bem distintos. A madeira do cerne também apresenta alta resistência ao ataque de cupins, brocas marinhas e outros insetos, possuindo alto valor no mercado internacional e preços bem mais elevados que o do mogno (*Swietenia macrophylla* King) (VEIT, 1996). Além desses aspectos qualitativos, outros que se destacam são o desenho, a cor e densidade que a tornam a madeira de folhosa mais valorizada no mundo atualmente (VIEIRA et al., 2002). A madeira do alburno apresenta propriedades similares ao cerne, entretanto, apresenta menor durabilidade, sendo necessária a utilização de tratamentos preservativos.

Entre os tratamentos mais utilizados está o tratamento térmico, também denominado de modificação térmica (HILL, 2006) ou termorretificação (LOPES et al., 2014a, 2014b), o qual tem sido utilizado visando a melhoria das propriedades físicas da madeira, tendo como principais vantagens a menor higroscopicidade, maior estabilidade dimensional, maior durabilidade natural e alteração da sua cor original (ESTEVES et al., 2007; MILITZ, 2002). O tratamento térmico é um processo no qual a madeira é submetida a altas temperaturas, inferiores à sua combustão, que provocam o início da degradação de seus constituintes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor (BRITO et al., 2006).

A madeira tratada/modificada termicamente tem sido comercializada e empregada em escala industrial, principalmente na Europa, onde vários processos foram patenteados, os quais são conhecidos como Retification® e Perdure® (França); Oil Heat Treatment-OHT (Alemanha); Plato® Wood «Proving Lasting Advanced Timber Option» (Países Baixos) e Thermowood® (Finlândia) ou Thermoholz® (Áustria) (RAPP, 2001; MILITZ, 2002; OLTEAN et al., 2007). As principais diferenças entre estes processos são a utilização de oxigênio ou nitrogênio, a presença ou ausência de vapor, processo seco ou úmido e a utilização de óleos (MILITZ, 2002).

No Brasil, os estudos com madeiras tratadas termicamente começaram na década de 1980 e ganharam mais enfoque a partir do ano 2000. Industrialmente, utiliza-se o processo VAP HolzSysteme® que é realizado pela empresa TWBrazil, visando homogeneizar a tonalidade da cor entre cerne e alburno para algumas espécies tal como a teca para a utilização em móveis, revestimentos decorativos, artefatos de paisagismo, decks, etc. No caso específico

da teca, o tratamento é aplicado para modificar a coloração do alburno para marrom caramelo, aproximando a sua tonalidade da madeira de cerne. Adota-se ao produto tratado pelo processo VAP HolzSysteme<sup>®</sup>, a nomenclatura de Thermally Modified Timber ou TMT (RILLING, 2010). A madeira de *Eucalyptus grandis* tratada pelo processo VAP HolzSysteme<sup>®</sup> foi estudada por Batista et al. (2016a, 2016b, 2016c), onde foram avaliadas a resistência ao ataque de termitas e as modificações químicas da parede celular. As propriedades físicas, a colorimetria e a resistência à radiação ultravioleta (UV) da madeira de teca tratada termicamente também foi bastante estudada por Lopes et al. (2014a, 2014b) e Garcia et al. (2014), entretanto, esses tratamentos foram realizados em escala laboratorial e sob condições mais severas de temperatura entre 180 °C e 200°C. Portanto, a originalidade deste estudo consiste em investigar as características da superfície da madeira de teca modificada termicamente pelo processo industrial VAP HolzSysteme<sup>®</sup>, o qual trata a madeira em condições diferentes dos estudos realizados até hoje.

As características da superfície da madeira podem ser avaliadas através de métodos microscópicos, espectroscópicos e termodinâmicos. Os métodos microscópicos avaliam as características físicas da superfície tal como sua morfologia e estrutura celular enquanto que os métodos espectroscópicos fornecem informações sobre a composição química da superfície. Já os métodos termodinâmicos fornecem informações sobre a energia da superfície (ex. análises de ângulo de contato). A análise das características físicas, químicas e termodinâmicas da superfície são importantes para a utilização da madeira já que afetam a qualidade e durabilidade de adesivos e revestimentos (TSHABALALA, 2005). Sendo assim, um melhor conhecimento sobre as propriedades da superfície da madeira de teca tratada pelo processo VAP HolzSysteme<sup>®</sup> contribuirão para a melhoria do produto final e sua melhor utilização.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi avaliar o efeito do tratamento térmico realizado pelo processo VAP HolzSysteme<sup>®</sup> nas características físico-químicas da superfície da madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.).

### 2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

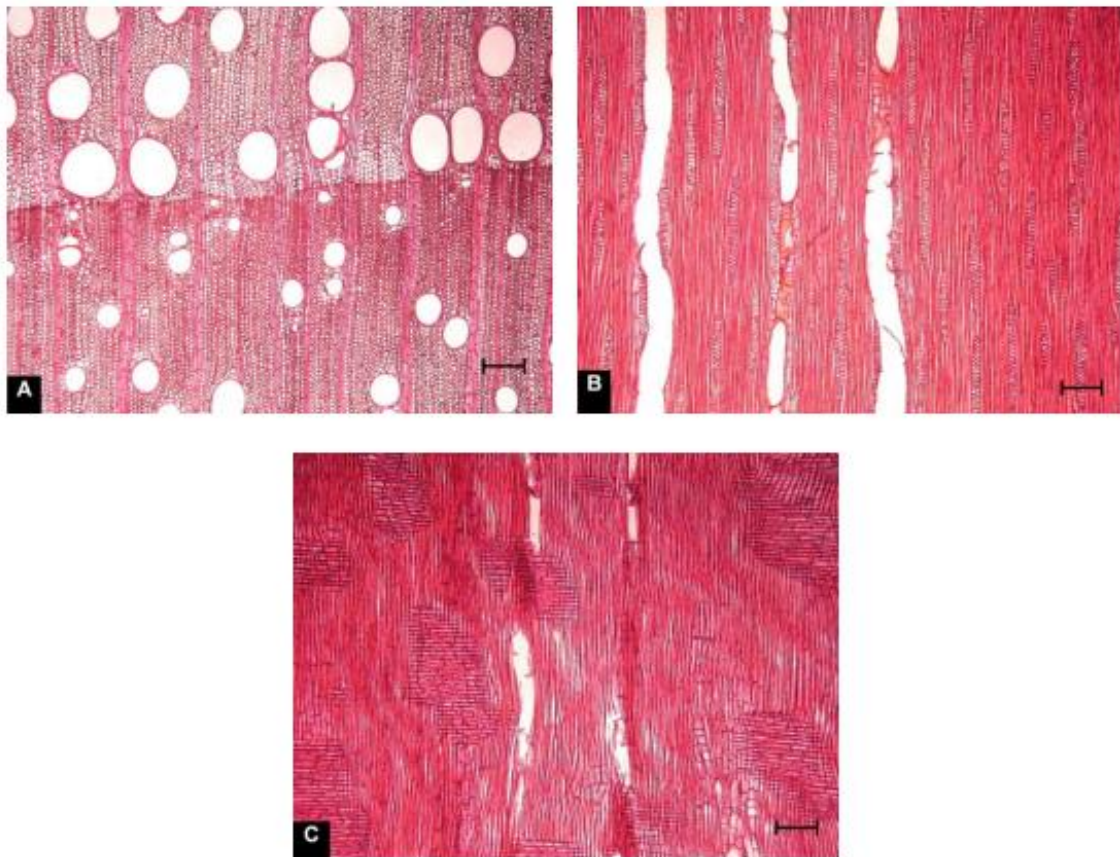
- (i) avaliar o efeito do tratamento térmico na alteração da cor da madeira teca (cerne e alburno) através da espectroscopia da cor utilizando o espaço de cor L\*a\*b\* CIE 1976;
- (ii) avaliar o efeito do tratamento térmico na molhabilidade superficial da madeira de teca através de análises de ângulo de contato; e
- (iii) avaliar as modificações químicas da superfície da madeira de teca tratada termicamente pela espectroscopia no infravermelho.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Madeira de teca

A madeira de teca destaca-se pela sua excelente qualidade, beleza, resistência e durabilidade, sendo por esta razão utilizada em diversas aplicações tais como construção civil (portas, janelas, lambris, painéis, forros, assoalhos e decks), embarcações, lâminas decorativas e móveis de alto padrão (LIMA; FLORSHEIM; LONGUI, 2009; IBÁ, 2016).

A cor da madeira de teca recém-abatida é verde oliva e se altera para marrom claro com a exposição à secagem. O albúrnio é amarelo esbranquiçado e difere marcadamente da cor do cerne. As camadas de crescimento da madeira de teca são delimitadas pela faixa de parênquima marginal e pelo anel semi-poroso. A madeira pode apresentar falsos anéis de crescimento formados por uma porosidade em anel semicircular, possui grã reta, textura uniforme e é oleosa ao tato, apresentando um ligeiro aroma depois da secagem (FLÓREZ, 2012). Além do parênquima axial em faixas marginais, possui também parênquima paratraqueal do tipo vasicêntrico e escasso, poros ocasionalmente em arranjos radiais curtos; médios, solitários e múltiplos; obstruídos por tilos e/ou substância branca (fosfato de cálcio) no lume dos vasos (IPT, 2016). Com relação ao parênquima radial, sua frequência média é baixa, ou seja, poucos raios por mm. A madeira possui fibras librifórmis, com comprimento médio de 1147  $\mu\text{m}$ . A Figura 1 apresenta fotomicrografias dos três planos anatômicos da madeira de teca.



**Figura 1.** Fotomicrografias da madeira de teca nas seções transversal (A), longitudinal tangencial (B) e longitudinal radial (C). Barra = 200  $\mu\text{m}$  (MOTTA, 2011).

A madeira de teca tem uma densidade média de 0,65 g.cm<sup>-3</sup>, alta durabilidade natural (cerne), boa estabilidade dimensional e boa resistência natural ao ataque de fungos e insetos. Características como desenho, cor e ausência de nós, faz com que a madeira de teca seja uma das madeiras de folhosas mais valorizadas do mundo (RECH, 2009).

A densidade básica está relacionada diretamente com as propriedades físico-mecânicas da madeira, possibilitando estabelecê-la como um padrão para avaliar características como resistência e estabilidade dimensional. No aspecto mecânico, a madeira de teca é resistente aos esforços de tração e flexão sendo semelhante ao mogno brasileiro (RECH, 2009).

A durabilidade do cerne deve-se a tectoquinona, um preservativo natural contido nas células da madeira (ANGELI, 2003) que apresenta propriedades antifúngicas, bactericidas e repelentes aos ataques de alguns insetos, que preservam a madeira quando exposta ao intemperismo (RUDMAN; COSTA, 1958; RANGANATHAN et al., 1949; SANDERMANN; SIMATUPANG, 1966 apud MOREIRA, 2006).

### 3.2 Modificação térmica

A modificação térmica da madeira é definida por Hill (2006) como a aplicação de calor à mesma, a fim de provocar melhorias nas propriedades do material visando seu melhor desempenho, tais como: maior estabilidade dimensional, menor higroscopicidade e maior resistência à biodeterioração e ao intemperismo. A aplicação de calor na madeira resulta na degradação de componentes químicos fundamentais do material. Quando as alterações destas propriedades são cuidadosamente controladas pela modificação térmica, os produtos gerados podem ser utilizados para determinadas finalidades (HILL, 2006; IBACH, 2010).

Além das melhorias na estabilidade dimensional e na durabilidade biológica, o tratamento térmico também pode causar um escurecimento na cor da madeira, o que pode agregar maior valor às certas espécies de madeira. Por exemplo, madeiras claras provenientes de reflorestamento (ex. *Pinus* sp.) podem adquirir colorações semelhantes àsquelas de madeiras tropicais de maior valor econômico. Entretanto, a cor da madeira tratada termicamente é instável quando sua superfície é exposta às intempéries (umidade, luz solar, calor/frio e abrasão causada pelo vento e outros materiais), principalmente à radiação ultravioleta (UV). Estudos realizados também têm mostrado que o escurecimento na madeira é acentuado com o aumento da temperatura e tempo de tratamento (POUBEL, 2013; LOPES, 2014a). A aplicação de tratamentos térmicos na madeira geralmente resulta na diminuição da luminosidade (L\*), a qual se acentua com o aumento da temperatura. Esta alteração está ligada à degradação de alguns componentes químicos da madeira.

O tratamento também agrega à madeira perda de massa (GARCIA et al., 2012), maior resistência a ataque de fungos, alterações químicas, maior capacidade de isolamento térmica, com o benefício de não requerer a utilização de químicos, tornando o material interessante do ponto de vista ambiental (KAMDDEM, 2002).

No Brasil, a empresa TWBRAZIL foi a primeira a tratar a madeira com aplicação de calor a elevadas temperaturas utilizando vapor saturado, aliado a uma eficiente eliminação de oxigênio, cujo processo foi denominado “VAP HolzSysteme®”, em que se adotou para a madeira tratada a terminologia TMT (*Thermally Modified Timber*). O equipamento utilizado no processo VAP HolzSysteme® é constituído por um cilindro (vaso de pressão) de 125 cm x 850 cm (diâmetro x comprimento), com capacidade nominal de 6 m<sup>3</sup> de madeira por ciclo; um gerador instantâneo de vapor classe B com capacidade de produção de 216 kgv.h<sup>-1</sup>; um reservatório de água; um controlador lógico programável (CLP); trilhos e vagonete, para abastecimento e descarregamento da madeira (BATISTA, 2012).

O processo de modificação térmica VAP HolzSysteme® caracteriza-se como higrotérmico e é realizado em cinco fases: (1) aquecimento inicial da madeira, cuja duração depende da taxa de aquecimento ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ) utilizada; (2) temperatura constante: após o aquecimento inicial ocorre a primeira etapa em que a temperatura é mantida constante, a  $110^{\circ}\text{C}$ , por 25 minutos; portanto, a taxa de aquecimento é nula; (3) aquecimento secundário: com duração variável, dependendo da taxa de aquecimento utilizada, e se estende até o equipamento atingir a temperatura máxima pré-estabelecida; (4) modificação térmica: temperatura constante, correspondente à temperatura máxima pré-estabelecida para o processo; e (5) resfriamento: ocorre naturalmente após a fase 4, com a madeira ainda no interior do equipamento (BATISTA, 2012).

Atualmente, a empresa TWBRAZIL comercializa a madeira de teca TMT para a aplicação de móveis, revestimentos decorativos e artefatos de paisagismo. A madeira de teca TMT apresenta uma coloração marrom caramelo, a qual apresenta uma boa estabilidade de cor em condições de uso interno. Entretanto, quando a madeira é utilizada em aplicações externas, ela pode sofrer um processo de fotodescoloração e adquirir uma tonalidade acinzentada (TWBRAZIL, 2016).

O desempenho do tratamento térmico depende das características da madeira (ex.: espécie, teor de umidade inicial e dimensões das peças) e das características do processo (ex.: volume de material à ser tratado, temperatura, tempo e condições ambientes). Normalmente, os tratamentos térmicos são realizados entre temperaturas de  $150^{\circ}\text{C}$  e  $280^{\circ}\text{C}$  por períodos de 15 minutos a 24 horas dependendo do processo, do material e das características desejadas ao produto final (KAMDEM et al., 2002).

O tratamento térmico causa modificações físico-químicas na madeira. Segundo Brito et al. (2008), há diferentes reações de acordo com a temperatura, destacando-se cinco fenômenos principais: (1) temperaturas inferiores à  $100^{\circ}\text{C}$ : há retirada de água livre e da água ligada a madeira; (2) temperaturas entre 100 e  $150^{\circ}\text{C}$ : ocorrem transformações nos constituintes da madeira (principalmente aqueles que contêm grupos OH disponíveis) causando uma degradação irreversível; (3) temperaturas entre 250 e  $230^{\circ}\text{C}$ : normalmente ocorre a degradação total das hemiceluloses; (4) temperaturas entre 330 e  $370^{\circ}\text{C}$ : ocorre a degradação da celulose; e (5) temperaturas superiores à  $350^{\circ}\text{C}$ : há a produção de carvão e a degradação severa da lignina.

De forma geral, a madeira tratada termicamente pode ser usada para revestimentos, confecção de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, decks, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parques infantis, móveis externos e internos, portões, cercas, instrumentos musicais, dentre outros (ARAÚJO et al., 2012).

### 3.3 Colorimetria

A classificação visual da cor de qualquer objeto está sujeita à percepção individual, além de outros fatores, resultando em uma classificação subjetiva da mesma. Fatores com diferenças na fonte de luz em que o material é observado, sensibilidade do olho do observador, tamanho das amostras em que se avalia a cor e diferenças de fundo criam condições que afetam a aparência da cor (KONICAMINOLTA, 1998).

Por ser um dos primeiros contatos visuais, fica evidente a importância da determinação de cor de qualquer material, podendo indicar de forma imediata sua finalidade. No caso da madeira, a cor tem essa importância, por ser uma das características que a classifica esteticamente como aceitável ou não (MORI et al., 2005).

A cor da madeira está associada a deposição de substâncias corantes nas paredes das células lenhosas, bem como às reações químicas dessas substâncias após a exposição aos elementos atmosféricos e à luz (ARAÚJO, 2002).

A coloração, principalmente do cerne, deve-se ao depósito de substâncias químicas (extrativos) que ao longo do tempo se acumulam nas paredes de fibras, vasos e raios lenhosos e absorvem seletivamente a luz de diversas fontes luminosas (JANIN, 1988). As características anatômicas, tais como camadas de crescimento, vasos, raios e tipos de parênquima axial também podem influenciar a cor da madeira (MADY, 2000).

Quando exposta à ação do sol e da chuva, a cor natural da madeira varia rapidamente. Primeiro, torna-se mais escura, intensificando as cores amarela ou marrom e, depois de um período, predomina o cinza prateado. A primeira parte do processo é devido à formação de produtos marrons resultantes, principalmente, da decomposição da lignina, componente da parede celular mais sensível à radiação UV (PASTORE, 2008). Portanto, a cor não é estável em uma madeira, uma vez que ela tende a alterar-se com o passar do tempo, escurecendo devido à oxidação causada principalmente pela luz, que reage com os componentes químicos, tais como a lignina.

Com o objetivo de tornar a comunicação mais fácil e mais precisa, vários métodos utilizando fórmulas complexas foram desenvolvidos para quantificar as cores e expressá-las numericamente. Desta forma, a cor da madeira pode ser determinada através de métodos comparativos (ex.: Munsell Soil Color Chart) e métodos quantitativos, os quais possibilitam sua medição precisa por meio de equipamentos específicos (colorímetros e espectrofotômetros) (KONICA MINOLTA, 1998). No Sistema Munsell, a notação das cores baseia-se em três coordenadas ou atributos: matiz (*hue*), luminosidade (*value*) e saturação (*chroma*) (GONÇALEZ et al., 2001), cuja disposição espacial pode ser entendida pelo sólido de cores Munsell, uma esfera, representado pela Figura 2. Para cada coordenada é atribuído uma escala numérica com passos uniformemente separados em termos visuais, o que propicia uma relação lógica entre todas as cores (BEZERRA; NAPPI, 2012).

Os instrumentos para medição de cor que utilizam o método espectrofométrico, medem as características espectrais da luz e depois calculam os valores tristímulus baseados em equações que utilizam as funções dos Observadores Padrão CIE. Além dos dados numéricos em vários espaços de cor, os espectrofotômetros apresentam imediatamente os dados espectrais da cor, fornecendo informações mais detalhadas do objeto medido. Além de fornecer os dados numéricos da cor, o espectrofotômetro também pode fornecer um gráfico de refletância espectral da cor. Um espectrofotômetro mede a luz refletida de um objeto em cada comprimento de onda; ou em determinados intervalos de comprimento de onda; estes dados podem ser apresentados em um gráfico proporcionando informações mais detalhadas a respeito da natureza da cor (KONICA MINOLTA, 1998).

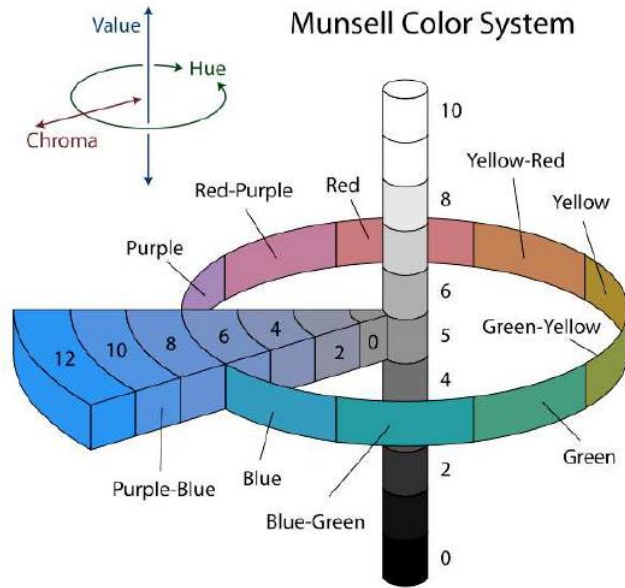
Os colorímetros, por sua vez, são instrumentos mais simples que trabalham a partir das três cores primárias, empregando três filtros: vermelho, verde e azul. A quantidade de luz que passa através dos filtros e incide sobre a amostra é, então, detectada pelos fotodetectores localizados atrás de cada filtro e é convertida diretamente para valores tristímulus, representados por X Y e Z (ITG, 2016).

No método quantitativo, há diferentes espaços de cor ( $L^*a^*b^*$ ,  $L^*C^*h^*$ , Hunter,  $L^*u^*v^*$ ) sendo que um dos mais utilizados é o CIE  $L^*a^*b^*$ , um espaço uniforme de cor tridimensional, como na Figura 3A, definido pela norma CIE - *Commission Internationale de L'Eclairage* ou Comissão Internacional de Iluminantes (1976) (KONICA MINOLTA, 1998). A axe  $L^*$  representa a luminosidade, a qual varia de zero (preto) à 100 (branco) enquanto que,  $a^*$  e  $b^*$  representam as coordenadas cromáticas, ambas variando entre -60 e +60. No diagrama

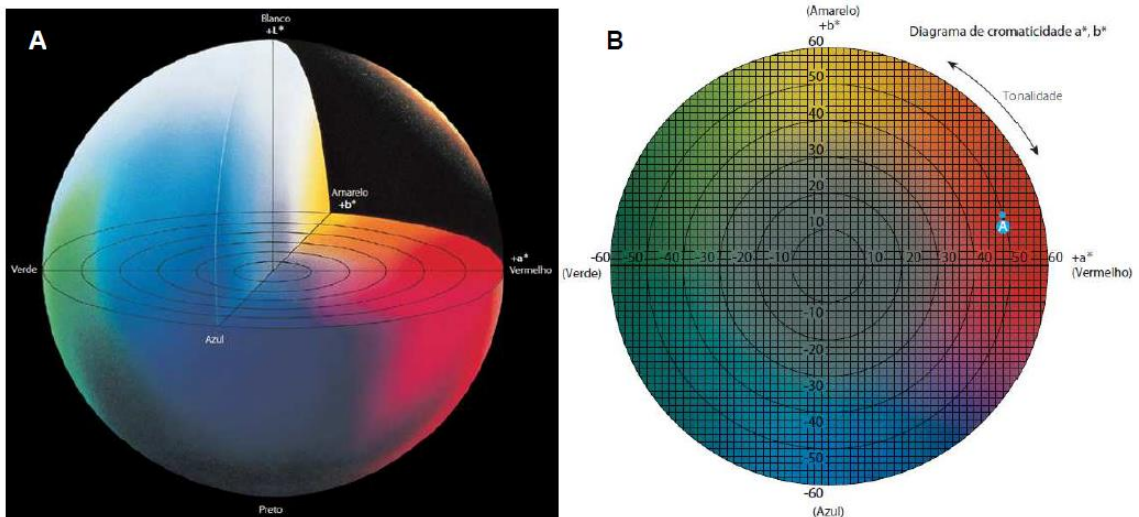


de cromaticidade CIE-L\*a\*b\*, os sinais positivos e negativos significam: +a\* aumento na cor vermelha, -a\* aumento na cor verde, +b\* aumento na amarela e -b\* aumento na cor azul, representando a tonalidade, assim como ilustrado na Figura 3B (KONICA MINOLTA, 1998).

O sistema CIE-L\*a\*b\* tem sido empregado para verificar a modificação de cor das madeiras de coníferas (CASTELLAN et al., 1996; TOLVAJ; FAIX, 1995; MULLER et al., 2003) e folhosas (HON et al., 1986; MAZET et al., 1993; CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001), assim como para quantificar o grau de proteção de produtos de absorção dos raios ultravioletas (GRELEIER et al., 1997; CASTELLAN et al., 1996).



**Figura 2.** Coordenadas do Sistema Munsell (FARKAS, 2008).

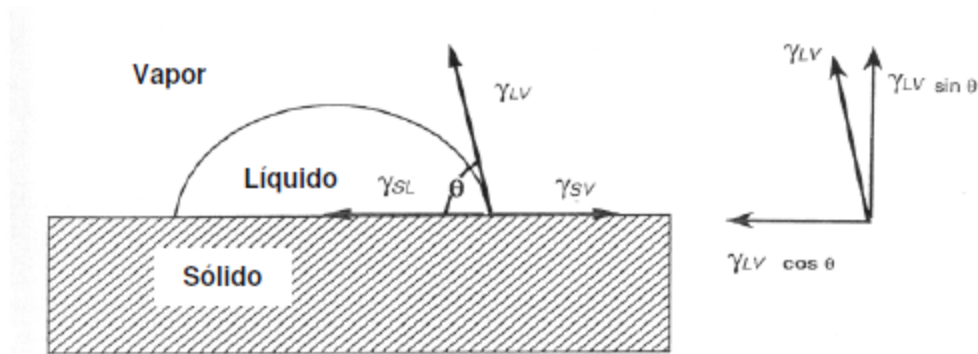


**Figura 3.** (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L\*a\*b\*. L\*: luminosidade (eixo preto-branco). a\* e b\*: variáveis cromáticas (eixos verde-vermelho e azul-amarelo, respectivamente). (B) Diagrama de cromaticidade (Fonte: KONICA MINOLTA, 1998).

### 3.4 Molhabilidade e ângulo de contato

Dentre os ensaios que têm por finalidade a caracterização de alterações superficiais da madeira, pode-se destacar a molhabilidade. O fenômeno de molhabilidade pode ser definido como sendo as manifestações macroscópicas de interações moleculares entre líquidos e sólidos em contato direto na interface (BERG, 1993). A molhabilidade da madeira depende de vários fatores: espécie, teor e natureza dos extrativos, estrutura anatômica, teor de umidade, temperatura e rugosidade superficial (MALDAS; KANDEM, 1999). Pode ser caracterizada usando parâmetros termodinâmicos como os ângulos de contato, energia livre de superfície e trabalho de adesão (CRUZ, 2006).

O ângulo de contato representa uma medida quantitativa da molhabilidade e ocorre devido à tensão superficial do líquido e do sólido. A causa da tensão superficial é a resultante do sistema de forças de atração entre as moléculas que estão localizadas na interface sólido-líquido-vapor (MYERS, 1999). Geometricamente, o ângulo de contato pode ser definido como o ângulo formado pela interseção 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 (MYERS, 1999), normalmente, ar ou vapor, o contorno de contato entre as três fases é comumente referido para as três fases da linha de contato ou de molhabilidade conforme mostrado na Figura 4.



**Figura 4.** Esquema das medidas de ângulo de contato e tensão superficial (CHAN, 1984).

O ângulo de molhabilidade (ângulo de contato) entre um líquido com uma tensão e uma superfície sólida depende da relação entre as forças adesivas, que fariam a gota se espalhar sobre a superfície e as forças coesivas, do líquido, que geram uma gota esférica de superfície mínima. O ângulo de contato em equilíbrio pode ser dado pela equação de Young:

$$\sigma_s = \gamma_{sl} + \sigma_l \cos \theta \quad \text{Equação (1)}$$

onde,  $\sigma_s$  = energia da superfície do sólido;  $\gamma_{sl}$  = energia da interface sólido-líquido;  $\sigma_l$  = tensão superficial do líquido;  $\theta$  = ângulo de contato entre a gota líquida e a superfície do sólido.

O modelo de Young foi estabelecido para superfícies limpas e perfeitamente planas. A madeira é um material heterogêneo e poroso e sua superfície apresenta rugosidade inerente à sua estrutura e anatomia, portanto para mensurar o ângulo de contato é necessário tomar alguns cuidados, por exemplo, os extrativos ou a grã podem causar distorções nas medidas e pode ainda ocorrer um fenômeno conhecido como histerese no ângulo de contato que pode ser

identificado, quando ocorre a diferença entre valores altos e baixos de ângulo ao decorrer da mesma medição. Quando uma gota de líquido é depositada sobre uma superfície porosa, forma-se um ângulo de contato, mas ao mesmo tempo, ocorre penetração e espalhamento do líquido (CRUZ, 2006). Portanto, obtêm-se assim um ângulo de contato aparente.

Várias técnicas podem ser usadas para se medir o ângulo de contato de líquidos sobre superfícies sólidas, dentre elas podemos citar: bolha de ar presa, bolha de ar séssil, placa inclinada de Wilhelmy e, por último a gota séssil, um dos métodos mais utilizados para medir a molhabilidade da madeira, considerando as medições diretas do perfil da gota depositada sobre uma superfície horizontal ou inclinada (SHEIKL; DUNKY, 1998).

### 3.5 Espectroscopia no infravermelho

As regiões espectrais do infravermelho estão situadas após a região do visível e abrange o intervalo de número de onda (de aproximadamente  $12.800\text{ cm}^{-1}$  a  $10\text{ cm}^{-1}$  ou comprimento de onda ( $\lambda$ ) de 780 a 100.000 nm. A região do infravermelho está dividida em três faixas: infravermelho próximo (NIR) com intervalo de número de onda entre  $12.800\text{ cm}^{-1}$  a  $4.000\text{ cm}^{-1}$ , infravermelho médio (MIR) entre  $4.000\text{ cm}^{-1}$  e  $200\text{ cm}^{-1}$  e infravermelho distante (FIR) entre  $200\text{ cm}^{-1}$  e  $10\text{ cm}^{-1}$ .

A espectroscopia NIR é a medição da intensidade de absorção/reflexão de luz infravermelha próxima que vai de 780 a 2500 nm no espectro eletromagnético. É tipicamente utilizada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos, especialmente O-H, N-H e C=O (SAMISTRARO, 2009). Quando um composto orgânico é submetido à energia de infravermelho os grupos funcionais (-OH, -NH, -CO, -CH) sofrem uma série de vibrações e proporcionam bandas características a determinados comprimentos de onda. A energia que se absorve se reflete na forma de espectros que são a representação gráfica desta absorção. A espectroscopia NIR pode ser utilizado para avaliar as propriedades químicas, físicas e anatômicas da madeira já que todas as propriedades da madeira estão associadas à sua constituição química (HEIN et al., 2009). A técnica NIR apresenta como vantagens: análises não destrutivas, sem a utilização de produtos químicos, design robusto e compacto, análise múltipla de componentes, velocidade de resultado de análise (menos de um minuto), transferência de calibrações entre equipamentos. Entretanto, a calibração do espectrofotômetro NIR requer tempo, cuidado e conhecimentos básicos de estatística e computação, o que representa uma desvantagem (CALDEIRA et al., 2008).

A espectroscopia MIR mede a intensidade de absorção de luz infravermelha média no comprimento de onda entre 2.500 a 5.000 nm. De acordo com Pastore (2008), o uso da interferometria acoplada ao desenvolvimento de microprocessadores dedicados, que transformam (via transformada de Fourier) o interferograma (intensidade no domínio do tempo) no espectro (intensidade no domínio da frequência), levou a um aumento significativo na sensibilidade da espectroscopia de absorção no infravermelho (IR), provocando o ressurgimento das técnicas de reflexão tais como a refletância total atenuada (ATR – *Attenuated Total Reflectance*) e refletância difusa (DRIFT – *Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy*) e a espectroscopia fotoacústica (PAS – *Photoacoustic Spectroscopy*), que são as mais apropriadas para o estudo de superfícies.

Os aparelhos dotados com um sistema que utiliza a transformada de Fourier (FTIR) possuem um conjunto óptico interferométrico que modifica o sinal policromático em sua totalidade e permite a análise pelo conteúdo de intensidade e frequência, sem dispersão (GOUVEIA, 2008). O método é baseado no fato de que a relação entre a distribuição da radiação incidente no interferômetro e o sinal (interferograma) produzido pelo detector ao

receber a radiação proveniente do interferômetro são transformadas de Fourier em função cosseno (JORGE, 2004).

Em refletância difusa, a energia que penetra em uma partícula ou em um aglomerado de partículas é refletida em todas as direções. A refletância difusa mede a razão entre a intensidade da luz refletida a partir da amostra, ou seja, a porção de radiação que penetra na superfície da amostra e não é absorvida, mas refletida, e a intensidade da luz incidente. A espectroscopia DRIFT é particularmente útil na análise de finas partículas e pós ou superfícies onde a fração de luz refletida é muito superior à absorvida (MOORE; OWEN, 2001). A espectroscopia DRIFT é a técnica de reflexão mais utilizada na análise de madeiras (MOORE; OWEN, 2001), pois para a ATR é necessário que seja estabelecido um contato ótico eficiente entre a superfície do cristal, onde ocorre a reflexão única ou múltipla da radiação incidente, e a superfície da amostra. Algumas vezes, a madeira investigada tem dureza elevada e é resistente ao corte, o que pode ser um fator limitante para o uso da ATR.

Segundo Pastore (2008), a espectroscopia DRIFT também apresenta anomalia e distorções quando os espectros são obtidos diretamente da superfície de um bloco de madeira em função dos desvios óticos, porém, isto não inviabiliza a utilização da técnica em estudos onde não se deseja uma interferência na superfície da amostra como, por exemplo, no caso de amostras deterioradas por fungos (COSTA, 2011; STANGERLIN, 2013) ou tratadas termicamente (GOUVEIA, 2008).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

O material de estudo foi a madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.) proveniente de um plantio da empresa Floresteca, localizada no município de Cáceres-MT. Amostras tangenciais de cerne e alburno tratadas e não tratadas termicamente com dimensões de 50 x 25 x 25 mm (comprimento x largura x espessura) foram preparadas.

### 4.2 Tratamento da madeira pelo processo VAP HolzSysteme®

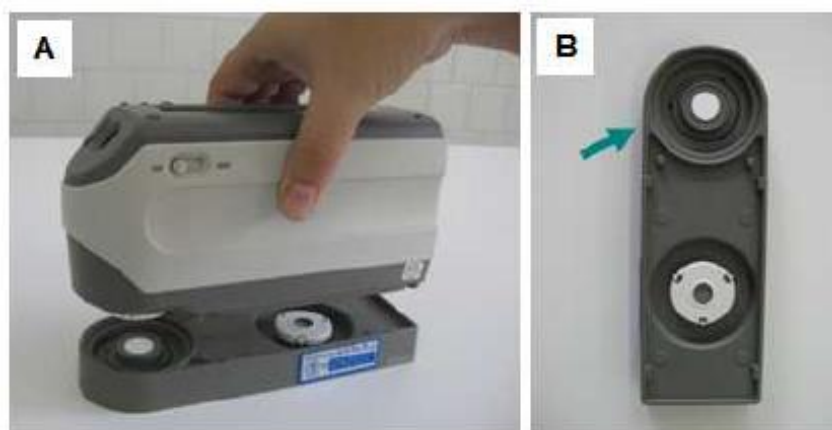
O material foi tratado pelo processo industrial VAP HolzSysteme® na empresa TWBrazil (Ponta Grossa, Paraná), sendo a madeira tratada comercializada pelo nome de Thermally Modified Timber (TMT). O tratamento consistiu na aplicação de calor a temperatura de 160°C utilizando vapor saturado na ausência de oxigênio seguindo o processo atualmente comercializado pela empresa. O tratamento foi realizado no interior de um cilindro de 125 cm de diâmetro x 850 cm de comprimento com capacidade nominal de 6 m<sup>3</sup> de madeira, composto por um reservatório de água, um controlador lógico programável (CLP) de temperatura e tempo, e um sistema de trilhos para carregamento e descarregamento da madeira (BATISTA, 2012). O material tratado e não tratado foi acondicionado em câmara climática à 20°C e 65% de umidade relativa até peso constante para posterior análise.

### 4.3 Análises colorimétricas

As análises colorimétricas foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d, versão 1.41, da Konica Minolta Sensing, Inc. (Figura 5) no espaço de cor L\*a\*b\* CIE 1976 segundo a norma ISO 11664-4:2008. O sistema L\*a\*b\* CIE 1976 é caracterizado por três coordenadas (L\*, a\* e b\*) em um espaço de cor tridimensional em que a eixo L\* representa a luminosidade, a qual varia de zero (preto) à 100 (branco), enquanto que a\* e b\* representam as coordenadas cromáticas, ambas variando entre -60 e +60. No diagrama de cromaticidade, os sinais positivos e negativos significam aumento na tonalidade vermelha (+a\*), aumento na tonalidade verde (-a\*), aumento na tonalidade amarela (+b\*) e aumento na tonalidade azul (-b\*) (KONICA MINOLTA, 1998).

As medições de cor foram feitas através do contato direto entre a superfície da amostra, em pontos pré-determinados, e a área de iluminação do aparelho. Foram feitas 12 amostras para cada tratamento, com 3 pontos de medição por amostra, totalizando 36 observações por tratamento. Os parâmetros utilizados foram iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10° e luz especular incluída. O aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, sendo que para a calibração do branco, utilizando a placa CM-A145 (Figura 5B).

As medições de cor foram realizadas na face tangencial das madeiras tratadas (TMT) e não tratadas. Os dados coletados pelo espectrofotômetro foram transferidos para o software SpectraMagic™ NX (CM-S100w), versão 1.9, da Konica Minolta e então exportados para o software Microsoft Office EXCEL.

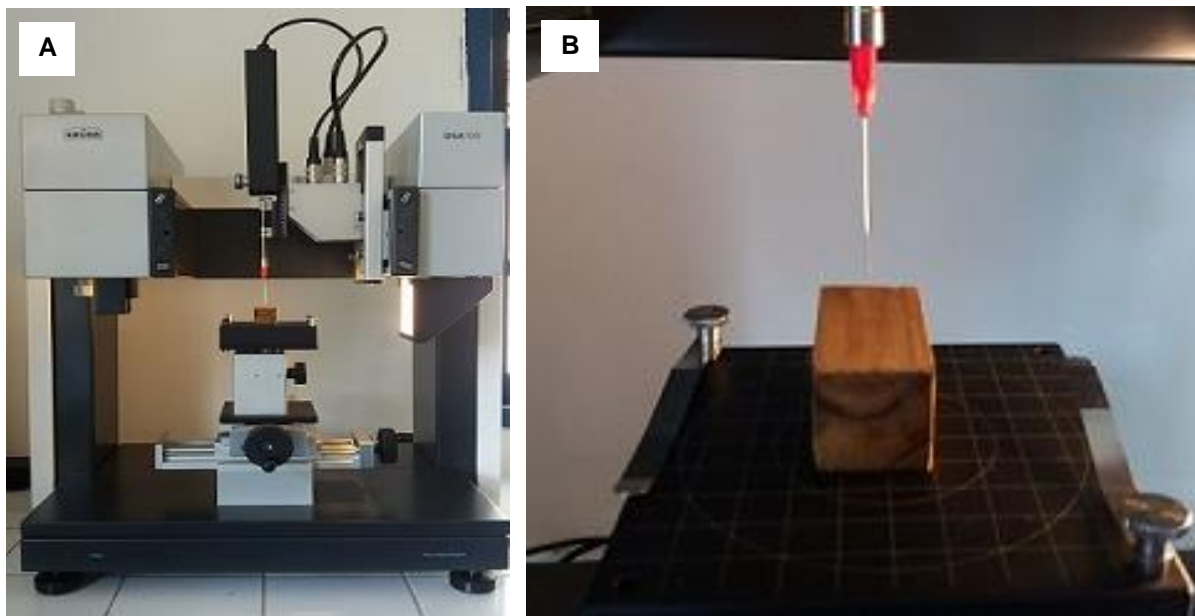


**Figura 5.** (A) Espectrofotômetro portátil CM 2600d da Konica Minolta. (B) Placa de calibração do branco CM-A145.

#### 4.4 Análises de ângulo de contato

As análises de ângulo de contato da superfície da madeira de cerne e alburno de teca tratada (TMT) e não tratada foram realizadas através do sistema de análise de formato da gota «Drop Shape Analyser DSA100», versão 1.92 da KRÜSS GmbH (Hamburg, Alemanha) (Figura 6A). O sistema de análise é composto por três componentes: (1) uma mesa de suporte para fixação da amostra (Figura 6B); (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. O software DSA1 permite gravar as imagens de vídeo e determinar o ângulo de contato, o qual é definido como uma medição quantitativa da molhabilidade da superfície de um determinado material. Quanto menor o ângulo de contato maior será a molhabilidade da superfície e a energia superficial do material analisado. Superfícies com ângulos de contato de  $0^\circ$  apresentam uma molhabilidade completa enquanto que uma superfície completamente hidrofóbica apresenta um ângulo de  $180^\circ$ . A molhabilidade é explicada pelas forças de coesão (líquido-líquido) e adesão (sólido-líquido). Uma forte adesão e fraca coesão diminuem o ângulo de contato e promovem a molhabilidade completa da superfície do material sólido e vice-versa.

As análises foram realizadas em ambiente climatizado em que se utilizou água destilada como líquido teste, uma seringa dosadora de  $100 \mu\text{l}$ , agulha com  $0,5 \text{ mm}$  de diâmetro e distância entre a ponta da agulha e a superfície do material de  $3 \text{ mm}$ . Foram efetuadas medições a cada  $10 \text{ seg}$  durante  $120 \text{ seg}$ , totalizando  $12$  leituras de ângulo de contato para cada gota depositada na superfície. Esse procedimento foi feito em  $3$  pontos distintos e pré-definidos da amostra, o que resultou em  $36$  observações de ângulo de contato por amostra. Foram utilizadas  $12$  amostras para cada tratamento. A partir desses dados, foram consideradas três variáveis: ângulo de contato inicial =  $10 \text{ s}$ ; ângulo de contato final =  $120 \text{ s}$  e ângulo de contato médio = média das  $12$  leituras efetuadas em cada ponto da amostra ao longo de  $120 \text{ s}$ .



**Figura 6.** (A) Equipamento utilizado nas análises de ângulo de contato: Drop Shape Analyser DSA100. (B) Mesa de suporte e seringa dosadora.

#### 4.5 Espectroscopia no infravermelho

A estrutura química da superfície das madeiras de cerne e alburno tratadas (TMT) e não tratadas termicamente foi avaliada através da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier em modo de reflectância difusa (DRIFT). Os espectros DRIFT foram obtidos com o auxílio do espectrômetro VARIAN 640-IR no modo experimental de transmitância, resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , 128 varreduras e amplitude espectral entre  $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ . Os espectros foram obtidos diretamente da superfície das amostras. Obteve-se um espectro para uma amostra de cada tratamento, a qual foi selecionada aleatoriamente.

#### 4.6 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no programa STATISTICA 7.0. Os dados não atenderam os pressupostos da análise de variância, portanto, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

O delineamento experimental foi composto por dois fatores: madeira (cerne e alburno) e tratamento (controle e tratamento térmico). As variáveis dependentes estudadas foram: parâmetros de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) e ângulo de contato (inicial, final e médio).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Colorimetria da madeira de teca TMT

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros de cor da madeira de cerne e alburno de teca tratada (TMT) e não tratada pelo processo VAP HolzSysteme®. A Figura 7 mostra o comportamento dos parâmetros de cor do espaço L\*a\*b\* CIE 1976 da madeira de teca em função dos tratamentos. As análises estatísticas indicaram diferenças significativas para os três parâmetros de cor. Observa-se que o cerne apresentou valores menores para a luminosidade quando comparado ao alburno, caracterizando a madeira mais escura. A luminosidade (L\*) das madeiras de cerne e alburno diminuiu após o tratamento térmico. No cerne a redução de L\* foi significativa, porém menor que no alburno em que a luminosidade foi reduzida drasticamente, tornando-se similar ao valor de L\* do cerne não tratado (Tabela 1). Lopes (2014c) estudando a cor da madeira de teca tratada termicamente em escala laboratorial verificou que ao aplicar o tratamento mais severo a 200°C, tanto a madeira de cerne quanto a madeira de alburno perderam em luminosidade.

**Tabela 1.** Parâmetros de cor das madeiras de cerne e alburno de teca tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).

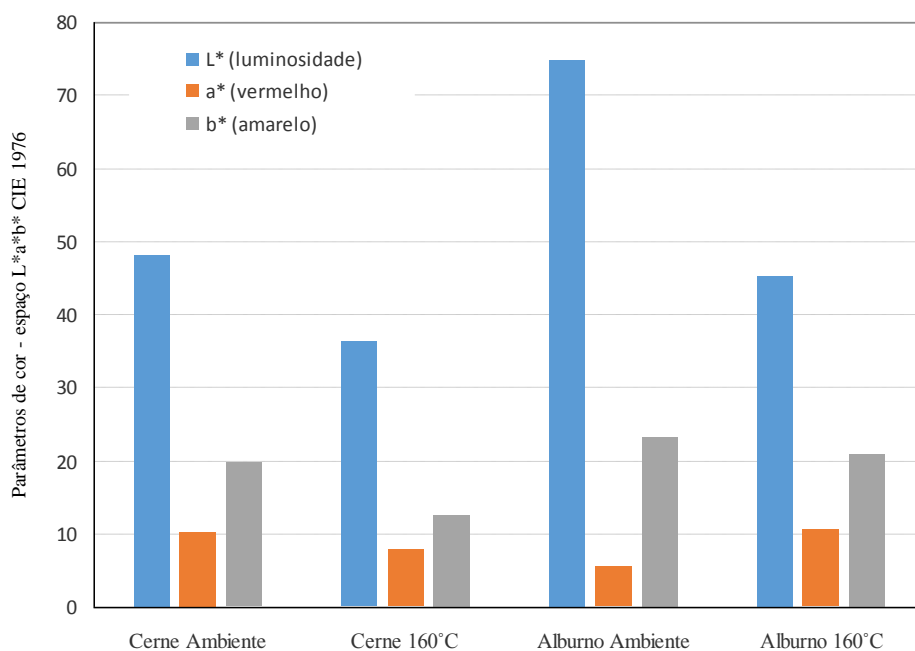
Madeira	Temperatura (°C)	L* (luminosidade)		a* (vermelho)		b* (amarelo)	
		Média	Postos de Kruskal-Wallis	Média	Postos de Kruskal-Wallis	Média	Postos de Kruskal-Wallis
Cerne	Ambiente	48,21	76,24 b	10,05	97,46 a	19,78	71,51 b
	160	36,20	20,25 c	7,87	56,44 b	12,50	21,25 c
Alburno	Ambiente	74,94	126,47 a	5,46	23,67 c	23,24	109,32 a
	160	45,23	67,04 b	10,58	112,43 a	20,98	87,92 ab
Valor H		117,66**		100,55**		87,92**	

Média com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0,05$ ). \*\* Significativo à 99% de probabilidade.

Para a matiz vermelha (a\*), ocorreu uma redução no cerne e um aumento no alburno após o tratamento térmico. As madeiras de cerne não tratado e alburno tratado apresentaram valores estatisticamente iguais para a\* (Tabela 1). Lopes (2014c) também verificou que o alburno ganhou em formação de pigmento vermelho em mesma intensidade para as temperaturas de 180°C e 200°C, enquanto o cerne perdeu em formação do vermelho quando tratado à 180°C e ganhou em vermelho quando tratado a 200°C. Alguns autores afirmam que as variações observadas no pigmento vermelho devem-se provavelmente à alteração dos teores de extrativos na madeira após o tratamento térmico. Poubel et al. (2013) observaram que a coordenada a\* da madeira de *Pinus caribaea* tratada a 180 e 200°C durante 2 h foi diretamente proporcional ao teor de extrativos. Segundo o Thermowood Handbook (2003), o teor de extrativos da madeira aumenta quando o tratamento é realizado a temperaturas de até 180°C e diminui a temperaturas próximas a 230°C.

Para a matiz amarela (b\*), houve uma redução em ambas as madeiras de cerne e alburno. Este resultado corrobora com os resultados obtidos por Ahajji et al. (2009) em que o tratamento térmico ocasionou uma redução de b\* para a madeira de faia (*Fagus sylvatica*).





**Figura 7.** Comportamento dos parâmetros de cor das madeiras de cerne e alburno de teca não tratadas e tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).

Esses resultados mostram que o tratamento térmico realizado pelo processo VAP HolzSysteme® altera significativamente a cor da madeira de teca, sendo esta alteração principalmente remarcável para o alburno. A homogeneidade de peças de madeira de teca contendo cerne e alburno agrega maior valor à madeira já que o contraste natural de cor entre ambos deprecia o material e reduz seu valor comercial; e permite um maior aproveitamento da matéria prima já que o alburno é normalmente descartado por apresentar características estéticas distintas do cerne (BRITO, 1993).

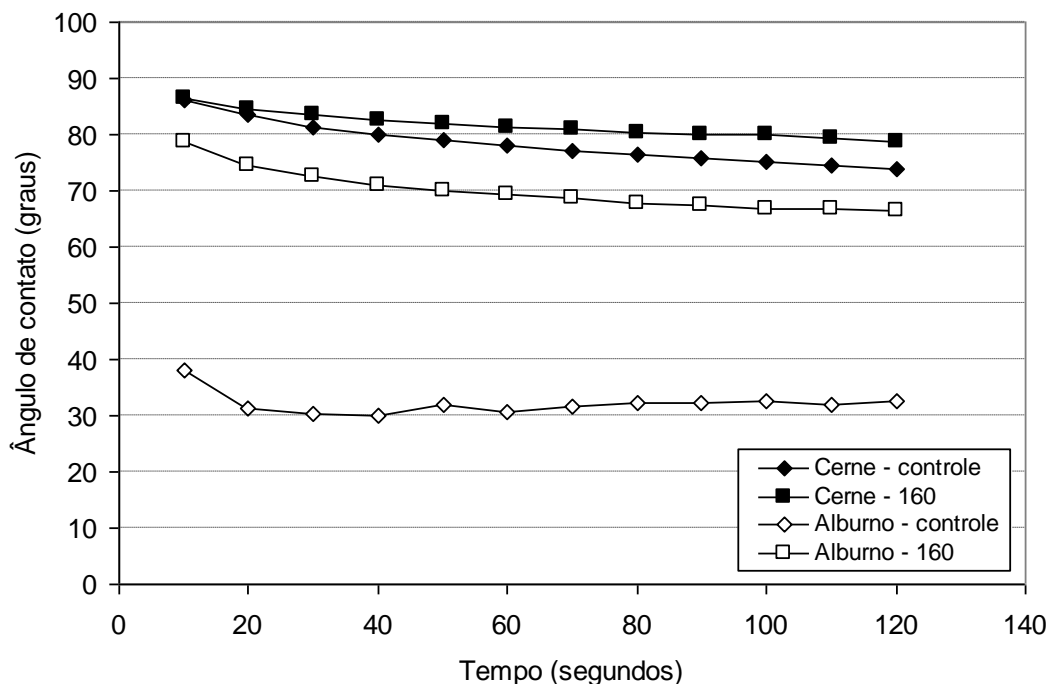
As condições utilizadas no processo VAP HolzSysteme® são muito eficientes para a uniformização da cor de peças contendo cerne e alburno, mesmo se as temperaturas utilizadas no processo são menores (160°C).

## 5.2 Molhabilidade superficial da madeira de teca TMT

A Figura 8 mostra o comportamento do ângulo de contato em função do tempo de medição. A Tabela 2 apresenta os resultados de ângulo de contato da madeira de cerne e alburno de teca tratada e não tratada termicamente. Comparando-se a madeira de cerne e alburno não tratada, observa-se que o cerne apresenta ângulos de contato remarcavelmente maiores que o alburno. Isso deve-se ao fato do cerne apresentar altas quantidades de extrativos hidrofóbicos, os quais estão ausentes ou presentes em menor quantidade no alburno.

Após, o tratamento térmico, ocorreu uma alteração nos valores de ângulo de contato para ambas as madeiras (cerne e alburno). No caso do cerne, o efeito do tratamento foi menor em que observa-se diferenças significativas somente quando avaliou-se o ângulo de contato médio. Para os ângulos inicial (após 10 seg) e final (após 120 seg) não houve diferenças significativas entre cerne tratado e não tratado (Tabela 2). Já no alburno, o ângulo é significativamente afetado pelo tratamento desde o primeiro contato com a superfície. A menor molhabilidade da madeira tratada termicamente pode ser explicada pelas modificações

químicas da parede celular. O tratamento térmico causa a degradação dos polímeros que compõem a parede celular, principalmente, das hemiceluloses que são os polímeros mais higroscópicos e com maior quantidade de grupos hidroxílicos (OH<sup>-</sup>) disponíveis para a absorção de água (POUBEL et al., 2013). Além disso, o tratamento térmico causa a volatilização de extrativos hidrofóbicos, o que também contribui para a redução do ângulo de contato.



**Figura 8.** Comportamento do ângulo de contato das madeiras de cerne e alburno de teca tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT) em função do tempo de medição.

**Tabela 2.** Ângulo de contato das madeiras de cerne e alburno de teca tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).

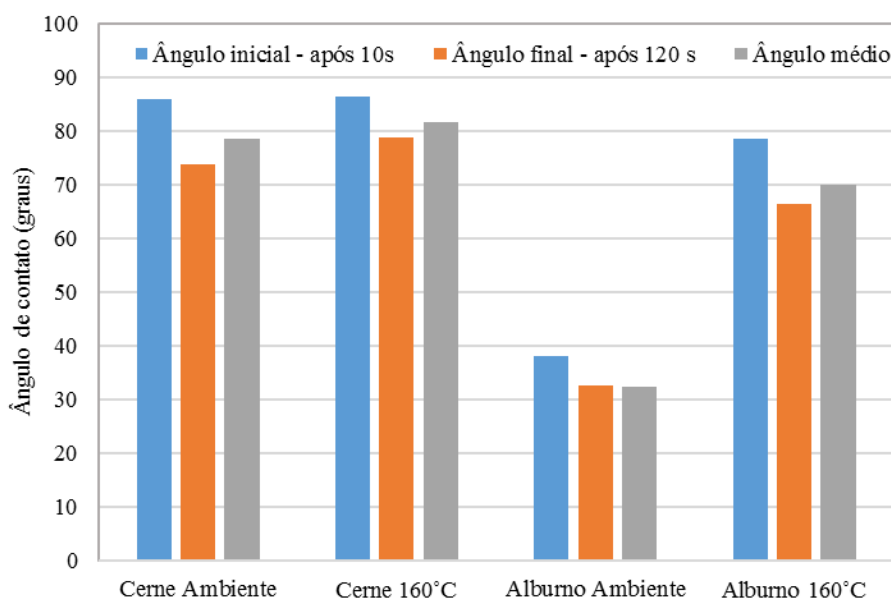
Madeira	Temperatura (°C)	Angulo de contato após 10 s (graus)		Angulo de contato após 120 s (graus)		Angulo de contato médio (graus)	
		Média	Postos de Kruskal-Wallis	Média	Postos de Kruskal-Wallis	Média	Postos de Kruskal-Wallis
Cerne	Ambiente	86,03	97,53 a	73,86	65,80 a	78,48	957,23 b
	160	86,51	99,88 a	78,86	83,28 a	81,64	1092,9 a
Alburno	Ambiente	37,98	19,43 c	32,50	8,86 c	32,33	151,08 d
	160	78,59	69,38 b	66,41	42,19 b	69,98	634,54 c
Valor H		89,35**		62,56**		876,82**	

Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0,05$ ). \*\* Significativo à 99% de probabilidade.

A redução no teor de umidade está associada às modificações químicas que ocorrem nos principais constituintes da parede celular. O tratamento térmico degrada as hemiceluloses, que são os componentes estruturais mais afetados pelo calor, resultando na redução das

ligações OH e na formação de grupos acetílicos, tornando a madeira menos higroscópica, apresentando menor teor de umidade de equilíbrio e por consequência maior estabilidade dimensional. Apesar da degradação das hemiceluloses que são os polímeros mais higroscópicos da madeira, outras modificações químicas colaboram com as propriedades da madeira tratada termicamente, sendo elas a ruptura dos grupos hidroxílicos livres da região amorfa da celulose e a reticulação dos polímeros (BORREGA; KÄRENLAMPI, 2010; BROSSE et al., 2010; KOCAEFE et al., 2008).

Os resultados mostraram que o efeito do tratamento na molhabilidade é mais marcante no alburno do que no cerne da teca nas condições utilizadas no processo VAP HolzSysteme®.



**Figura 9.** Ângulo de contato das madeiras de cerne e alburno de teca não tratadas e tratadas pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).

### 5.3 Espectroscopia DRIFT da madeira de teca TMT

As Figuras 10 e 11 apresentam os espectros das superfícies das madeiras de cerne e alburno tratados e não tratados pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT). Para a comparação dos grupos funcionais da madeira tratada e não tratada termicamente foi utilizado como referencial a linha de base, que é calculada pelo software, tendo como pressuposto que os grupos funcionais tem como ponto de partida a altura 0 (zero).

A região entre  $3.600\text{ cm}^{-1}$  e  $3.200\text{ cm}^{-1}$  corresponde aos grupos hidroxílicos (OH) associados enquanto que a banda entre  $3.640\text{ cm}^{-1}$  e  $3.610\text{ cm}^{-1}$  correspondem aos grupos OH livres. Na Figura 10, observa-se que no cerne, a intensidade dos grupos OH livres em relação a linha base diminui após o tratamento e que a banda referente aos grupos OH apresentaram um formato mais alargado na madeira de cerne não tratada apresentando, portanto, maior quantidade de grupos OH em relação a madeira de cerne tratada. A redução do grupos OH contribui para uma menor molhabilidade da superfície já que estes são responsáveis pela absorção de água. Para o alburno, não foi observado o mesmo comportamento, não ocorrendo a diminuição dos grupos OH após o tratamento térmico (Figura 11). O cerne é mais suscetível

a degradação térmica. A temperatura de 160°C não foi suficiente para provocar uma degradação expressiva dos grupos OH.

Comparando os espectros do cerne não tratado e tratado (Figura 10), observa-se uma alteração a 1000 cm<sup>-1</sup> que refere-se ao estiramento C-O do álcool primário da celulose e das hemiceluloses (FAIX, 1992).

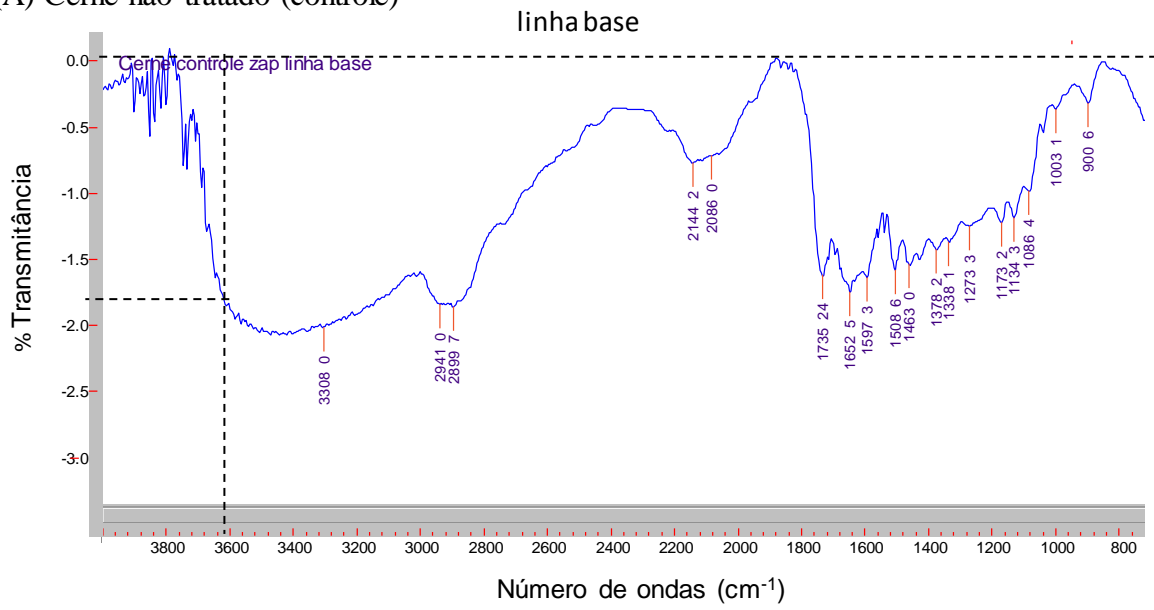
A intensidade do pico a 1640 cm<sup>-1</sup> é atribuída a conjugação da C=O em quinonas e diminuiu após o tratamento térmico na madeira de cerne, enquanto que para o alburno não foi observado o mesmo comportamento. O pico a 1652 cm<sup>-1</sup> é atribuído as quinonas, o qual aparece tanto na madeira de cerne não tratada quanto de alburno não tratado, cuja intensidade pe maior no cerne (Figuras 10A e 11A). No cerne tratado (Figura 10B) o pico atribuído às quinonas aparece à 1636 cm<sup>-1</sup> mas em menor intensidade, enquanto que no alburno tratado (Figura 11B), o pico não aparece.

A região entre 1508 e 1515 cm<sup>-1</sup> corresponde a lignina. No cerne e alburno não tratados o pico da lignina corresponde a 1508 cm<sup>-1</sup>, enquanto que nas madeiras de cerne e alburno tratadas termicamente o pico da lignina aparece a 1519 cm<sup>-1</sup> e 1521 cm<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso ocorre porque o pico da lignina da madeira tratada sofreu conjugação, por isso o valor máximo da faixa sofreu alteração, caindo para uma faixa um pouco acima da faixa de referência. Pelo gráfico, é possível perceber que a lignina na madeira de cerne não sofreu alteração enquanto que na madeira de alburno houve um pequeno acréscimo.

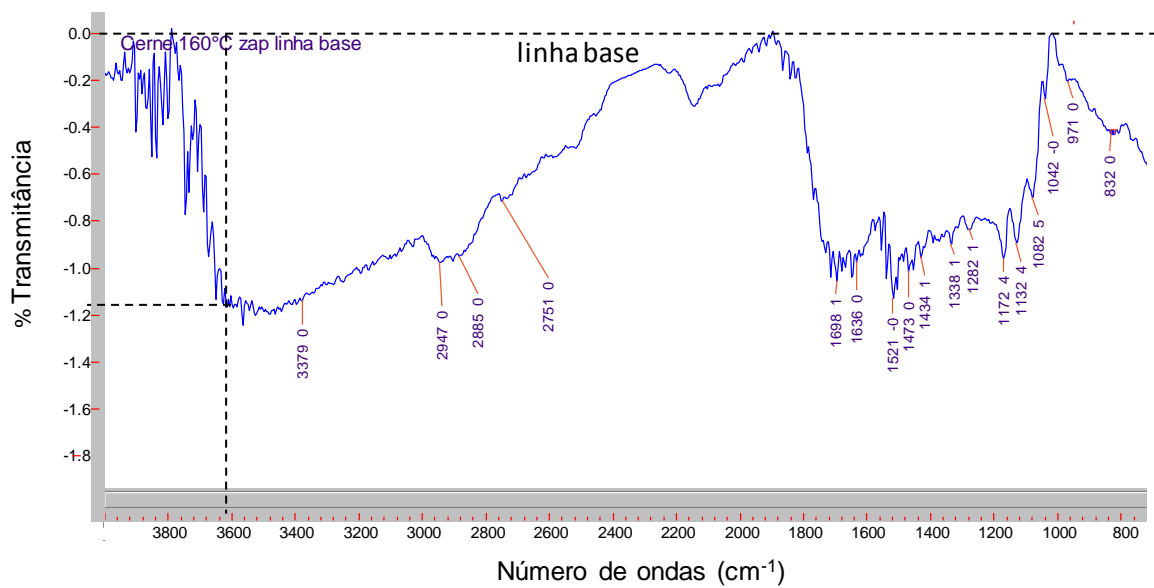
A análise dos espectros mostra que as maiores modificações químicas ocasionadas pelo tratamento ocorreram no cerne. Entretanto, o efeito do tratamento térmico na molhabilidade é muito maior na madeira de alburno quando comparada a madeira de cerne.

Batista et al. (2016b) avaliaram a composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* tratada pelo processo VAP HolzSysteme® na faixa de temperatura situada entre 140 e 180°C e verificaram modificações nos teores de holoceluloses (celulose e hemiceluloses), lignina insolúvel (Klason) e extrativos. Os autores observaram uma redução significativa no teor de holoceluloses de 2,7%, 23% e 23,9% para as madeiras tratadas à 140, 160 e 180°C, respectivamente; um aumento relativo de aproximadamente 10% no teor de lignina insolúvel para a madeira tratada a 180°C enquanto que os tratamentos a 140 e 160°C não apresentam diferenças significativas quando comparados a madeira não tratada; e um aumento significativo no teor de extrativos para as madeiras tratadas a 160 e 180°C. O maior teor de extrativos acompanhou a redução do teor de holoceluloses, indicando que esse aumento refere-se aos produtos resultantes da degradação térmica das holoceluloses, principalmente das hemiceluloses (que se transformaram em outros compostos ou cadeias de menor massa molecular) (BATISTA et al., 2016b). É importante ressaltar que as condições do tratamento realizado por Batista et al. (2016b) para a madeira de *Eucalyptus grandis* pelo processo VAP HolzSysteme® foram as mesmas utilizadas no nosso estudo. Esses resultados indicam que a temperatura de 160°C é suficiente para causar modificações químicas na madeira.

(A) Cerne não tratado (controle)

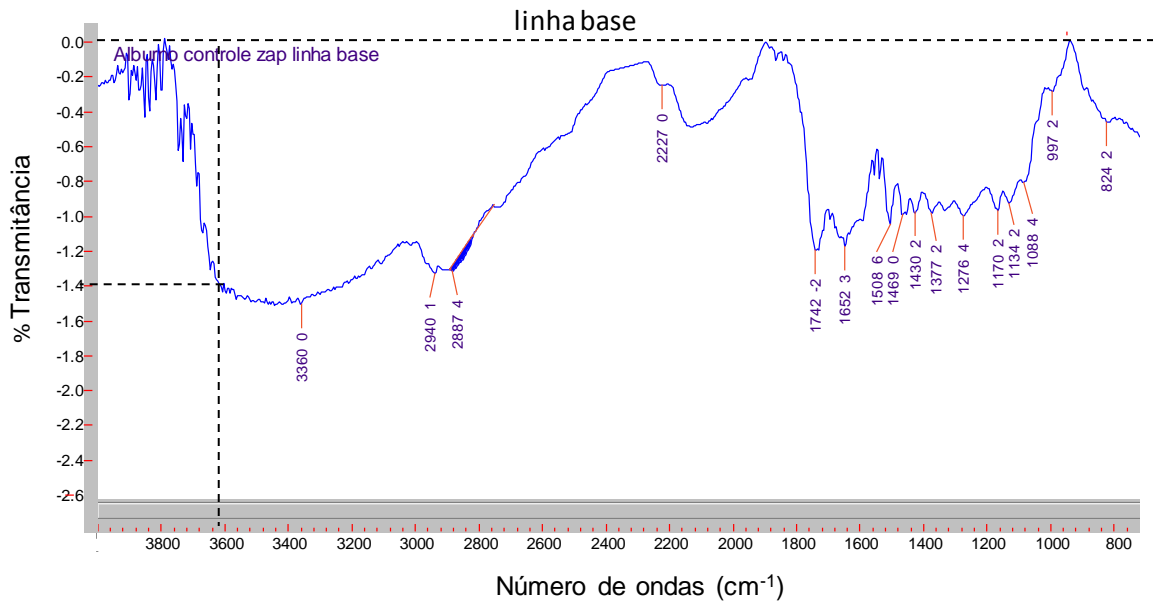


(A) Cerne tratado - TMT

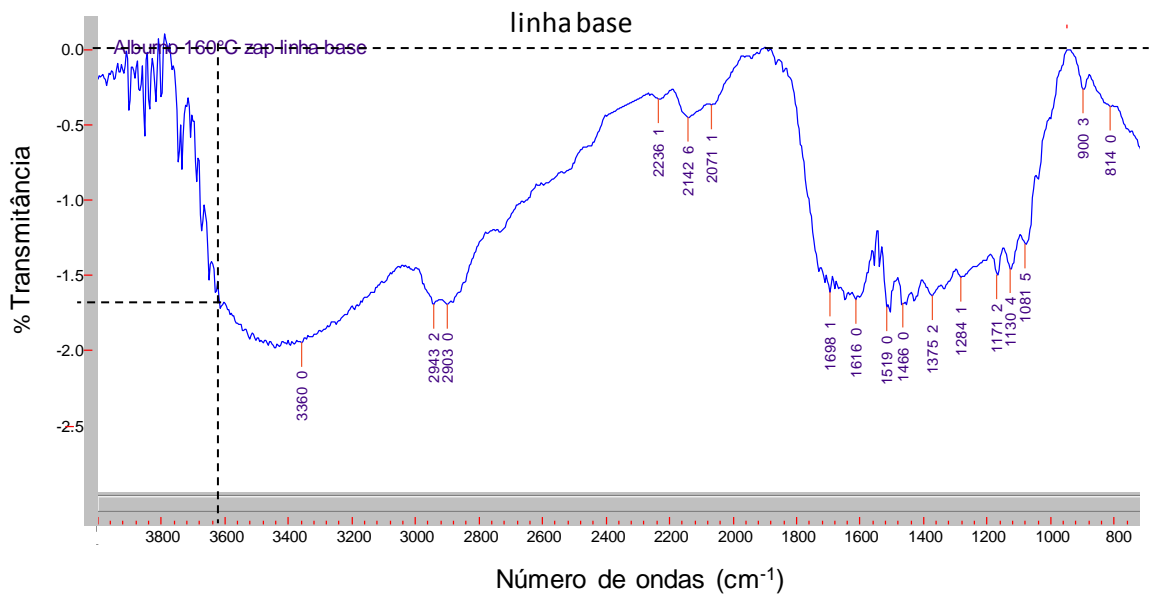


**Figura 10.** Espectro DRIFT da madeira de cerne da teca tratado pelo processo VAP HolzSysteme® (TMT).

(A) Alburno não tratado (controle)



(A) Alburno tratado - TMT



**Figura 11.** Espectro DRIFT da madeira de alburno da teca tratado pelo processo VAP HolzSysteme<sup>®</sup> (TMT).

## 6. CONCLUSÕES

As condições utilizadas no processo VAP HolzSysteme® são muito eficientes para a uniformização da cor de peças contendo cerne e alburno, mesmo se as temperaturas utilizadas no processo são menores (160°C).

O efeito do tratamento pelo processo VAP HolzSysteme® na molhabilidade é mais marcante no alburno do que no cerne da teca. Entretanto, as análises de espectroscopia no infravermelho indicaram que o cerne sofre modificações químicas mais marcantes do que o alburno após o tratamento.

Mesmo a aplicação de temperaturas mais brandas tais como as utilizadas no processo VAP Holzsysteme® são capazes de causar modificações físico-químicas importantes na superfície da madeira de teca original.

Recomenda-se a realização de estudos sobre os efeitos das modificações físico-químicas da superfície da madeira de teca na adesão e na aderência e durabilidade de revestimentos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHAJJI, A.; DIOUF, P. N.; ALOUI, F.; ELBAKALI, I.; PERRIN, D.; MERLIN, A.; GEORGE, B. Influence of heat treatment on antioxidant properties and colour stability of beech and spruce wood and their extractives. **Wood Science and Technology**, New York, v. 43, p. 69-83, 2009.
- ANGELI, A. *Tectona grandis* (Teca). IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP, 2003.
- ARAÚJO, H. J. B., **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 184 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- ARAÚJO, S. O.; VITAL, R. B.; MENDONZA, Z. M. S. H; VIEIRA, T. A.; CARNEIRO, A. C. O. Propriedades de madeiras termorretrificadas de *Eucalyptus grandis* e SP. **Scientia Forestalis**, v. 40, p. 327-336, 2012.
- BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®**. 2012. 339 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BATISTA, D. C.; NISGOSKI, S.; OLIVEIRA, J. T. S.; MUÑIZ, G. I. B.; PAES, J. B. Resistance of thermally modified *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden wood to deterioration by dry-wood termites (*Cryptotermes* sp.). **Ciência Florestal**, v. 26, p. 671-678, 2016a.
- BATISTA, D. C.; MUÑIZ, G. I. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; NISGOSKI, S. Effect of the Brazilian thermal modification process on the chemical composition of juvenile *Eucalyptus grandis* wood - part 1: cell wall polymers and extractives contents. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 18, n. 2, p. 273-284, 2016b.
- BATISTA, D. C.; MUÑIZ, G. I. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; NISGOSKI, S. Effect of the Brazilian thermal modification process on the chemical composition of juvenile *Eucalyptus grandis* wood - part 2: solubility and ash contents. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, v. 18, n. 2, p. 285-292, 2016c.
- BERG, J. C. Role of acid-base interactions in wetting and related phenomena. In: BERG, J. C. (Org.). **Wettability**. New York: Marcel Dekker, 1993. p.75-148.
- BEZERRA, A. L. F.; NAPPI, S. C. B. Identificação das cores de fachadas de edificações históricas. **Revista Museologia e Patrimônio**, v. 5, n. 1, p. 69-86, 2012.
- BORREGA, M.; KARENLAMPI, P. P. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 68, n. 2, p. 233-235, 2010.



BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO, G. Jr.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2006.

BRITO, J. O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba: SBS/ SBEF, 1993, p. 774.

BROSSE, N.; EL HAGE, H.; CHAOUCH, M.; PÉTRISSANS, M.; DUMARÇAY, S.; GÉRARDIN, P. Investigation of the chemical modifications of beech wood lignin during heat treatment. **Polymer Degradation and Stability**, v. 95, n. 9, p. 1721-1726, 2010.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, v. 71, p. 30-41, 2001.

CASTELAN, A.; NOURMAMOUE, A.; GRELIER, S.; DEVIOLET, P. F. Photocoloration du bois de pin maritime en présence d'additifs protecteurs. **Cellulose Chem. Technol.**, v. 30, p. 431-452, 1996.

CALDEIRA, A. F.; ROCHA, A. P. da; SANTOS, C. V. C.; FERREIRA, F. C.; PATELLI, J. E.; CALVOSA, P. S. P.; SACON, V. Online near infrared spectroscopy: innovation in the VCP wood yard. **NIR News**, v. 19, n. 4, p. 4-6, 2008.

CHAN, C. M. **Polymer Surface Modification and Charaterization**. New York: Hanser, 1994.

COSTA, M. A.; COSTA, A. F.; PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; GONÇALEZ, J. C. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 567-577, 2011.

CRUZ, M. M. S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina ureia-formaldeído**. 2006. 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

ESTEVES, B.; MARQUES, A. V.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. **Wood Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 193-207, 2007.

FAIX, O. 1992. Fourier transform infrared spectroscopy. In: Lin, S.Y.; Dence, C.W. (ed.) **Methods in lignin chemistry**. Germany: Springer-Verlag.

FARKAS, C. **Tecnologia da cor e aparência**. São Paulo: Apostila Desenvolvida pela Tecnocor Serviços, 2008. 171 p.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **ThermoWood® handbook**. Helsinki, 2003. 66 p.

FLÓREZ, J. B. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca** (*Tectona grandis* L. f). 2012. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. L. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Science and Technology**, v. 46, p. 41-52, 2012.

GARCIA, R. A.; LOPES, J. O.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Color stability of weathered heat-treated teak wood. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, p. 453-462, 2014.

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F. da; VALLE, A. T. do. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Revista Brasil Florestal**, ano XX, n. 72, p. 47-48, 2001.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 2008. 143f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.

GRELEIER, S.; CASTELLAN, A.; DESROUSSEAU, S.; NOURMAMODE; L. PODGORSKI, A. Attempt to protect wood colour against UV visible light by using antioxidants bearing isocyanate groups grafted to the material with microwave. **Holzforschung**, v. 51, p. 511-518, 1997.

HEIN, P. R. G.; CAMPOS, A. C. M.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; CHAIX, G. Estimativa da resistência e da elasticidade à compressão paralela às fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* usando a espectroscopia no infravermelho próximo. **Scientia Forestales**, v. 37, n. 82, p. 119-129, 2009.

HILL, C. **Wood Modification - Chemical, Thermal and Other Processes**. Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd., 2006. 249 p.

HON, D. N.-S.; CLEMSON, S. C.; FEIST, W. C. Weathering characteristics of hardwood surfaces. **Wood Sci. Technol.**, v. 20, p. 169-183, 1986.

IBACH, R. E. Specialty treatments. In: **Wood handbook**. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. Brasília: Studio 113. 100 p. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Accessed in: 01 nov 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTUDOS FLORESTAIS, IPEF. *Tectona grandis* (Teca). 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>>. Accessed in: 12 abril 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras (Teca)**. Consultas online. São Paulo, SP. 2016. Disponível em: <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras/78.htm](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/78.htm)>. Accessed in: 11 nov 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11664-4:2008 **Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour space**.

ITG. **Glossário sobre cor e colorimetria**. Disponível em: <[http://www.itgcom.com/cor\\_colorimetria.htm](http://www.itgcom.com/cor_colorimetria.htm)>. Accessed in: 10 jan. 2016.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de; PRATA, J. G.; TRIANOSKI, R.; PARCHEN, C. F.; CASTRO, V. G.; IWAKIRI, V. T. Características de vigas laminadas coladas confeccionadas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 269-275, 2014.

JANIN, G. La mesure de la couleur du bois. Intérêts agronomique, technologique et économique. In: **Mesure instrumentation - contrôle-automatisme (MICA)**, Séminaire couleurs et lumière, MICA, Montreuil, 1988.

JORGE, C. Análise Instrumental – Espectroscopia de absorção de IV por transformada de Fourier. **Química e Devidos**, n. 422, 2004.

KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 60, p. 1-6, 2002.

KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; DORÉ, G.; YOUNSI, R. Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 66, n. 5, p. 355-361, 2008.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. **Comunicação precisa da cor: Controle de qualidade da percepção à instrumentação**, 1998. 59 p.

LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244-250, 2009.

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Uniformização da cor da madeira jovem de teca pela termorreificação. **Revista Árvore**, v. 38, p. 561-568, 2014a.

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

LOPES, J. O.; GARCIA, R. A.; NASCIMENTO, A. M.; LATORRACA, J. V. F. Alteração da cor da madeira de teca por tratamento térmico. **FLORAM - Revista Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 521-534, 2014c.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 2000. 212p.

MALDAS, D. C.; KANDEM, D. P. Wettability of extracted southern pine. **For. Prod. J.**, v. 49, n. 11/12, p. 91-93, 1999.

MAZET, J. F.; TRIBOULOUT-TROIT, M. C.; MERLIN, A.; JANIN, G.; DEGLISE, X. Modification de couleur du bois de chênes européens exposés à lumière solaire. **Ann. Sci. For.**, v. 50, p. 119-146, 1993.

MILITZ, R. Heat treatment technologies in Europe: Scientific background and technological state-of-art. In: CONFERENCE ON ENHANCING THE DURABILITY OF LUMBER AND ENGINEERED WOOD PRODUCTS, 2002, Kissimmee, Orlando. **Proceedings...** Madison: Forest Products Society, Madison, 2002.

MOORE, A. K.; OWEN, N. L. Infrared spectroscopic studies of solid wood. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 36, p. 65-68, 2001.

MOREIRA, R. Y. O.; ARRUDA, M. S. P.; ARRUDA, A. C.; SANTOS, L. S.; GUILHON, G. M. S. P.; TERÊZO, E.; SANTOS, A. S. Antraquinonas e naftoquinonas do caule de um espécime de reflorestamento de *Tectona grandis* (Verbenaceae). **Rev. Bras. Farmacologia**, v. 16, n. 3, p. 392-396, 2006.

MORI, C. L. S. DE O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Tectona Grandis* L.f. proveniente de Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.

MÜLLER, U.; RÄTZSCH, M.; SCHWANNINGER, M.; STEINER, M.; ZÖBL, H. Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. **J. Photochem. Photobiol. B: Biology**, v. 69, p. 97-105, 2003.

MYERS, D. **Suface, interfaces and colloids**. New York: VCH Publishers, 1999. cap. 17, p. 349-357.

OLTEAN, L.; TEISCHINGER, A.; HANSMANN, C. Influence of temperature on cracking and mechanical properties of wood during wood drying – a review. **BioResources**, v. 2, n. 4, p. 789-811, 2007.

PASTORE, T. C. M.; OLIVEIRA, C. C. K. de; RUBIM, J. C.; SANTOS, K. O. Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT). **Química Nova**, v. 31, p. 2071-2075, 2008.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; SANTOS, W. A.; OLIVEIRA, G. L.; ABREU H. S. Efeito da termorreificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribaea*. **Cerne**, v. 19, p. 391-398, 2013.

RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes, France. **Proceedings...** Antibes, France: COST ACTION E 22, 2001, 68 p.

RECH C. Características da teca. **Revista da Madeira** 2009; (118): 55-57.

RILLING, E. A. G. **Madeira modificada com calor: TMT – Thermally modified timber**. Ponta Grossa, 2010. Informativo Técnico TWBrazil.

SAMISTRARO G.; MUNIZ G. I. B.; PERALTA-ZAMORA P.; CORDEIRO G. A. Previsão das propriedades físicas do papel *kraft* por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). **Quim Nova**, v. 32, n. 6, p. 1422-1428, 2009.

SHEIKL, M.; DUNKY, M. Measurement of dynamic and static contact angles on wood for the determination its surface tension and penetration of liquids into the wood surface. **Holzforschung**, v. 52, n. 1, p. 89-94, 1998.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 259f. Tese de doutorado - Universidade de Brasília, Brasília.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; GARLET, A.; PASTORE, T. C. M. Resistência Natural da Madeira de Três Espécies Amazônicas Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores. **Ciência da Madeira**, v. 4, p. 15-32, 2013.

TOLVAJ, L.; FAIX, O. Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE-L\*a\*b\* color measurements. **Holzforschung**, v. 49, p. 397-404, 1995.

TSHABALALA, M. A. Surface characterization. In: ROWELL, R. M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2055.

TREATED WOOD BRAZIL – TWBrazil. Ponta Grossa, PR. 2016. Disponível em: <<http://twbrazil.com.br/teca>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

VEIT, L. F. Plante seu fundo de aposentadoria. **Silvicultura**, São Paulo, v. 17, n. 68, p. 20-22. 1996.

VIEIRA, A. H; MARTINS, E. P; PEQUENO, P. L. L; LOCATELLI, M. **Aspectos silviculturais da teca em Rondônia**. Embrapa CPAF – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Documentos 68). 2002, 8p.