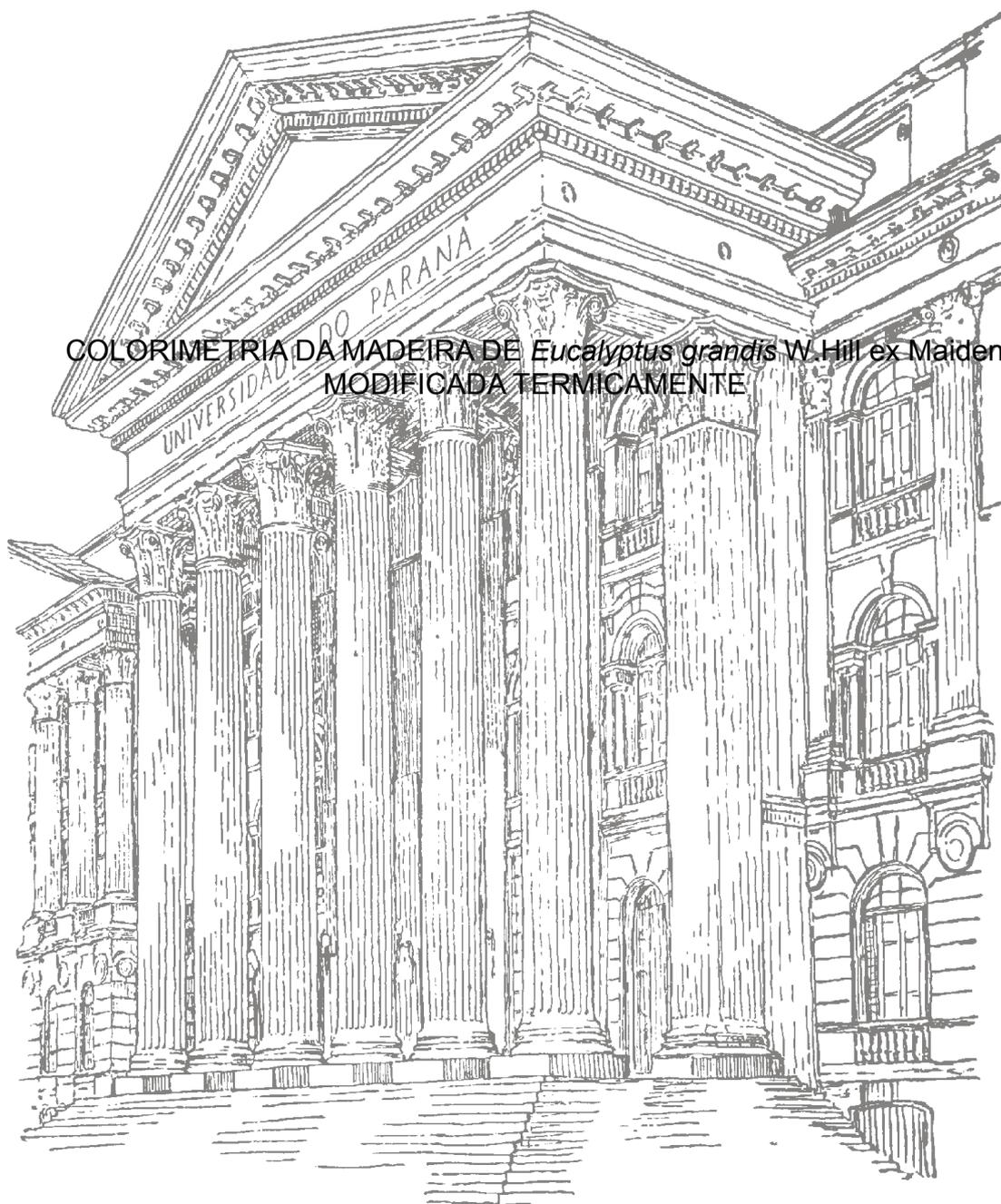


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA GOMES DE OLIVEIRA GRIEBELER



COLORIMETRIA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden
MODIFICADA TERMICAMENTE

CURITIBA
2013

CAROLINA GOMES DE OLIVEIRA GRIEBELER

COLORIMETRIA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden
MODIFICADA TERMICAMENTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Florestal. Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos.

Co-orientadoras: Prof^a. Dr^a. Graciela Inês Bolzón de Muñiz.

Prof^a. Dr^a. Silvana Nisgoski.

CURITIBA

2013

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Griebeler, Carolina Gomes de Oliveira

Colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden modificada termicamente / Carolina Gomes de Oliveira Griebeler - 2013. 66 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Co-orientadoras: Prof. Dr^a. Graciela Inês Bolzón de Muñiz

Prof. Dr^a. Silvana Nisgoski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 01/03/2013

Inclui bibliografia

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. *Eucalyptus grandis*. 2. Eucalipto – Aplicação industrial. 3. Madeira - Comércio. 4. Teses. I. Matos, Jorge Luis Monteiro de. II. Bolzón Muñiz, Graciela Inês. III. Nisgoski, Silvana. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. V. Título.

CDD – 634.9
CDU - 634.0.841.2



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

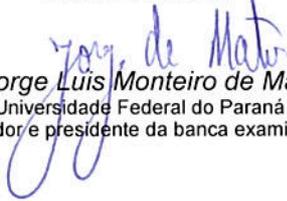
PARECER

Defesa nº. 962

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Carolina Gomes de Oliveira Griebeler* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**COLORIMETRIA DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden MODIFICADA TERMICAMENTE**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.


Dr. Joaquim Carlos Gonzalez
UNB - Universidade Federal de Brasília
Primeiro examinador


Dr. Ghislaine Miranda Bonduelle
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 01 de março de 2013.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso

Dedico esse trabalho a meu Pai, Flávio, que não está mais entre nós, pelo menos fisicamente e a minha Mãe Marilene, por estarem sempre me apoiando e me motivando para seguir em frente, e a todos aqueles que acreditaram em meu potencial e direta ou indiretamente me ajudaram e me impulsionaram para a conquista dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Flávio e Mari, pelo apoio, amor, exemplo de vida e dedicação. Agradeço a eles pela educação que tive, ao estímulo que recebi desde muito nova para os estudos e ao exemplo de homem e profissional do meu pai, engenheiro civil da turma de 1964 da UFPR.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos, pela oportunidade, compreensão, paciência, orientação e amizade.

À minha co-orientadora, Prof^a. Dr^a. Graciela Inês Bolzón de Muñiz, pela compreensão nos momentos difíceis, conselhos, orientação e amizade ao longo desses anos.

À minha co-orientadora, Prof^a. Dr^a. Silvana Nisgoski, pelas contribuições, sugestões no trabalho, orientação e amizade.

À professora e amiga Dr^a. Mayara Elita Carneiro, pelo apoio e conselhos.

Ao professor Dr. Djeison Cesar Batista pela idealização do projeto que gerou além de sua tese este estudo de colorimetria e por acreditar na minha capacidade para realizá-lo.

A todos os professores e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, por proporcionar o conhecimento, oportunidades de estudo e a realização deste projeto.

Ao LANAQM – Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da UFPR por permitir a utilização de suas instalações ao longo da minha graduação e agora na pós-graduação por disponibilizar seus equipamentos para execução das análises e por todas as oportunidades e a ajuda dos estudantes do laboratório.

À CAPES e ao CNPQ pela oportunidade da realização deste projeto e por me proporcionar a continuidade dos meus estudos.

Aos meus amigos e colegas de equipe de estudos do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, Thaís Alves Pereira Gonçalves, Elaine Cristina Lengowski e Cláudio Manuel Ismael Afonso pelos conselhos, motivação, companheirismo e amizade.

À Universidade Federal do Paraná e a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

RESUMO

A alteração artificial da cor da madeira, por meio de tratamentos de modificação térmica, está sendo considerada, por muitos especialistas, como uma alternativa interessante para aumentar a comercialização de espécies pouco utilizadas e agregar valor à madeira com boas propriedades tecnológicas, mas com coloração pouco atrativa. A colorimetria vem merecendo destaque na indústria madeireira nos últimos anos por ser uma técnica não destrutiva, que permite avaliar de forma precisa a cor da madeira, garantindo níveis mais elevados de qualidade e a obtenção de produtos visualmente mais homogêneos. Este trabalho teve por objetivo geral determinar as variações de cor ocorridas na madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, após ser submetida ao processo brasileiro de modificação térmica VAP HolzSysteme®. As análises colorimétricas foram realizadas, utilizando o sistema de medição de cor CIELAB 1976, antes e após a aplicação de tratamentos de modificação térmica à temperaturas de 140°C, 160°C e 180°C, que proporcionaram três padrões de cor distintos à madeira de eucalipto. As diferenças de coloração entre os planos de corte tangencial e radial e entre três regiões da tora também foram analisadas e discutidas. Por último, foram feitas comparações entre os valores dos parâmetros colorimétricos das amostras modificadas termicamente e de espécies tradicionalmente utilizadas na indústria. Os resultados indicaram que a modificação térmica causou elevadas alterações na coloração e parâmetros de cor da madeira de eucalipto em estado natural. As novas colorações obtidas a partir dos tratamentos a elevadas temperaturas (140°C, 160°C e 180°C) levaram a madeira de eucalipto a apresentar parâmetros colorimétricos semelhantes à de espécies tropicais tradicionalmente comercializadas.

Palavras-chave: Colorimetria, Modificação Térmica, *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, sistema CIELAB 1976.

ABSTRACT

Artificial wood color change, through thermal modification treatments, is considered by many experts as an interesting alternative to increase the marketing of underutilized species and add value to the wood with good technological properties, but with coloring unattractive. The colorimetry is worth mentioning in the timber industry in recent years for being a non-destructive technique, which allows evaluating precisely the color of the wood, ensuring the highest levels of quality products and achieving visually more homogeneous. This study aims to determine the overall color variations occurring in *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, after being subjected to the Brazilian thermal modification process VAP HolzSysteme®. The colorimetric analyzes were performed using the measurement CIELAB 1976 color system before and after application of thermal modification treatments at temperatures of 140°C, 160°C and 180°C, which showed three different patterns of color to the eucalyptus wood. The differences in color between the cutting planes tangential and radial and between three regions of the log were also analyzed and discussed. Finally, comparisons were made between the values of the colorimetric parameters of the samples thermally modified and species traditionally used in the industry. The results indicate that the thermal modification caused high changes in color and color parameters of eucalyptus wood in its natural state. The new color obtained from treatment with high temperatures (140°C, 160°C and 180°C) led the eucalyptus wood to provide colorimetric parameters similar to tropical species traditionally marketed.

Key-words: Colorimetry, Wood heat modification, *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, CIELAB 1976 system.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| FIGURA 1- | AS CORES E OS COMPRIMENTOS DE ONDA CORRESPONDENTES..... | 15 |
| FIGURA 2- | DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO ESPECTROFOTÔMETRO..... | 19 |
| FIGURA 3- | REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA COLORIMÉTRICO CIELAB 1976..... | 21 |
| FIGURA 4- | SISTEMA DE COORDENADAS DE CORES CIELAB 1976..... | 22 |
| FIGURA 5- | MODELOS DE CORTE DO DESDOBRO PRINCIPAL..... | 28 |
| FIGURA 6- | MODELO DE CORTE DO DESDOBRO SECUNDÁRIO..... | 28 |
| FIGURA 7- | DIAGRAMA DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®..... | 29 |
| FIGURA 8- | VISTA GERAL DO EQUIPAMENTO UTILIZADO NO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®..... | 31 |
| FIGURA 9- | ESPECTROFOTÔMETRO KONICA MINOLTA CM-5..... | 32 |
| FIGURA 10- | APARÊNCIA NATURAL DA MADEIRA E APÓS OS TRATAMENTOS TÉRMICOS..... | 40 |
| FIGURA 11- | APARÊNCIA DA MADEIRA ANTES E APÓS OS TRATAMENTOS TÉRMICOS..... | 40 |
| FIGURA 12- | REPRESENTAÇÃO VISUAL DA COR DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> MODIFICADA TERMICAMENTE E ESPÉCIES TOMADAS PARA COMPARAÇÃO..... | 55 |
| FIGURA 13- | COMPARAÇÃO VISUAL ENTRE O ASPECTO DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE E DAS ESPÉCIES TOMADAS COMO REFERÊNCIA..... | 56 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| TABELA 1- | CLASSIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO TOTAL DA COR (ΔE^*) DE MADEIRAS..... | 34 |
| TABELA 2- | VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DE <i>Eucalyptus grandis</i> EM CONDIÇÃO NATURAL E APÓS A APLICAÇÃO DOS TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA..... | 36 |
| TABELA 3- | VARIAÇÕES OCORRIDAS ENTRE OS VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> APÓS A APLICAÇÃO DE TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM RELAÇÃO AO ESTADO NATURAL DA MADEIRA..... | 38 |
| TABELA 4- | CORES CORRESPONDENTES AOS VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS L^* , a^* e b^* OBTIDOS PARA CADA TRATAMENTO..... | 41 |
| TABELA 5- | VALORES MÉDIOS E DESVIO-PADRÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS L^* , a^* , b^* , C e h^* CONSIDERANDO AS FACES TANGENCIAL E RADIAL DAS TRÊS REGIÕES DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> , ANTES DA REALIZAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA..... | 42 |
| TABELA 6- | VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS CONSIDERANDO AS FACES TANGENCIAL E RADIAL DAS TRÊS REGIÕES DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> , ANTES DA REALIZAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA..... | 44 |
| TABELA 7- | VALORES DA VARIAÇÃO DA COR (ΔE^*) ENTRE AS FACES TANGENCIAL E RADIAL PARA CADA REGIÃO DA MADEIRA..... | 45 |
| TABELA 8- | VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS CONSIDERANDO AS FACES TANGENCIAL E RADIAL DAS TRÊS REGIÕES DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> , APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO | |

| | | |
|------------|---|----|
| | TÉRMICA..... | 46 |
| TABELA 9- | VARIAÇÕES OCORRIDAS ENTRE OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> APÓS A APLICAÇÃO DOS TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM RELAÇÃO AO ESTADO NATURAL DA MADEIRA..... | 48 |
| TABELA 10- | VARIAÇÕES EM PORCENTAGEM DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> APÓS A APLICAÇÃO DOS TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM RELAÇÃO AO ESTADO NATURAL DA MADEIRA..... | 50 |
| TABELA 11- | VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> MODIFICADA TERMICAMENTE COMPARADOS COM OUTRAS ESPÉCIES..... | 52 |
| TABELA 12- | VALORES DA VARIAÇÃO TOTAL DA COR ENTRE AS ESPÉCIES TOMADAS PARA COMPARAÇÃO E A MADEIRA DE <i>Eucalyptus grandis</i> MODIFICADA TERMICAMENTE..... | 54 |
| TABELA 13- | GRUPOS DE CORES OBTIDOS NO AGRUPAMENTO DE CLUSTER USANDO AS VARIÁVEIS CROMÁTICAS L, a*, b* e h..... | 66 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 10 |
| | 1.1 OBJETIVO GERAL..... | 11 |
| | 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 12 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 13 |
| | 2.1 O EUCALIPTO NA INDÚSTRIA..... | 13 |
| | 2.2 COR..... | 14 |
| | 2.3 TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DA COR..... | 16 |
| | 2.4 COLORIMETRIA..... | 18 |
| | 2.5 CIELAB..... | 20 |
| | 2.6 TRATAMENTO TÉRMICO..... | 23 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| | 3.1 MATERIAL..... | 28 |
| | 3.2 PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®..... | 29 |
| | 3.3 MEDIÇÃO DA COR..... | 31 |
| | 3.4 CLASSIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO TOTAL DA COR..... | 34 |
| | 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 35 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 36 |
| | 4.1 EFEITO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA COLORIMETRIA DA MADEIRA..... | 36 |
| | 4.2 VARIAÇÃO DA COR ENTRE REGIÕES E AS FACES DA MADEIRA, ANTES DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA..... | 41 |
| | 4.3 EFEITO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA COLORIMETRIA ENTRE REGIÕES E FACES DA MADEIRA..... | 45 |
| | 4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS MODIFICADAS TERMICAMENTE E DAS ESPÉCIES TRADICIONAIS..... | 51 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 58 |
| 6 | RECOMENDAÇÕES..... | 60 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 61 |
| | ANEXOS..... | 66 |

1 INTRODUÇÃO

A percepção da qualidade de um produto está relacionada com a utilização do mesmo. Um dos principais critérios de determinação da qualidade é a aparência superficial, principalmente se o uso final da madeira for a fabricação de móveis, de assoalhos ou de objetos decorativos. Padrões específicos de cores e desenhos são apontados como tendências e modismos na indústria moveleira, tornando o visual do material um fator limitante na escolha de uma espécie.

“A cor é uma das características mais importantes para a identificação e indicação de usos de espécies de madeira, principalmente quando associada aos aspectos de textura e desenho” (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001, p.31).

Conforme puderam concluir Gonzalez et al. (2006) em estudo mercadológico, o consumidor ao comprar artefatos de madeira, além de privilegiar quesitos como preço, qualidade e durabilidade, observa também a aparência do objeto, seu “design” e seus componentes, por consequência, a cor torna-se um fator importante na escolha.

A utilização acentuada e a exploração de uma determinada espécie de madeira podem estar relacionadas, entre outros fatores, à sua aparência, especialmente a cor, que seria a característica mais observada em um primeiro contato com o material. O uso de uma técnica objetiva e precisa para a determinação da cor da madeira é importante para permitir a valorização de espécies pouco comercializadas, fazendo analogias com outras espécies já bastante exploradas e consolidadas no mercado.

Para responder ao aumento das exigências do mercado internacional e também do nacional, equipamentos para a especificação e reprodução exata da cor tornam-se cada vez mais importantes e necessários para a obtenção de produtos de qualidade superior e para garantir um mercado mais competitivo.

De acordo com Mori et al. (2005), a análise final da cor de qualquer produto lhe garante um padrão de qualidade de mercado, exigido mundialmente. Associada à superfície e ao desenho de uma peça de madeira a cor é um dos componentes estéticos. Por isso, esta propriedade deve ser incorporada ao planejamento visando à caracterização tecnológica da madeira, para atender aos usos mais nobres desse material. Entre as diferentes formas existentes de determinação da cor a colorimetria

surgiu da necessidade de descrever esta característica cientificamente e de modo preciso.

Ferramentas de medição de cor facilitam e aceleram o trabalho de comparação e a diferenciação das cores e ainda permitem que os produtos conquistem uma maior homogeneidade.

Nas últimas décadas muito investimento tem sido feito no desenvolvimento de tecnologias que gerem produtos a base de madeira ecologicamente corretos. Muitas dessas tecnologias agregam valor por meio da modificação e melhorias nas propriedades da madeira.

A alteração artificial da cor da madeira, por meio de tratamentos térmicos, pode ser uma alternativa para aumentar a comercialização de espécies pouco utilizadas devido a este aspecto particular da cor.

As tecnologias utilizadas nos tratamentos térmicos a altas temperaturas são conhecidas por alterarem a cor original da madeira durante o processo, embora esta mudança não seja a principal função desses tratamentos já que o controle do grau de alteração e de homogeneidade da cor é limitado.

A modificação superficial de peças de madeira pela ação do calor tem forte apelo técnico, econômico e ambiental, pois a técnica de modificação térmica, além de exigir baixo investimento tecnológico e de mão de obra, pode ser realizada uma única vez e ainda pode eliminar a aplicação de produtos químicos como vernizes, tintas e *stains*, que demandam aplicações anuais (GOUVEIA, 2008).

O aumento da estabilidade dimensional e a resistência à biodegradação são exemplos de como os tratamentos térmicos aplicados à madeira se mostram processos cada vez mais viáveis do ponto de vista tecnológico e comercial.

A importância da colorimetria para a análise da cor da madeira modificada termicamente é abordada neste trabalho sob o ponto de vista científico, mas também como uma possível aplicação prática pela indústria madeireira.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve por objetivo geral determinar a variação da cor da madeira modificada termicamente de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, submetida a três diferentes temperaturas, utilizando o sistema colorimétrico CIELAB 1976.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência das temperaturas dos tratamentos de modificação térmica na cor das amostras.
- Determinar os valores dos parâmetros colorimétricos de regiões e faces da madeira, antes e após a modificação térmica.
- Comparar os valores dos parâmetros colorimétricos das amostras modificadas termicamente com a cor de espécies tradicionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O EUCALIPTO NA INDÚSTRIA

O interesse pela utilização de madeiras provenientes de florestas plantadas pelo setor industrial madeireiro no Brasil incentiva a implantação de florestas renováveis. Por meio de técnicas silviculturais modernas o setor produz grandes volumes de madeira para o abastecimento da indústria, e ainda promovem a manutenção de ecossistemas naturais.

Segundo Ponce (1995), o aproveitamento de florestas de rápido crescimento na produção de madeira serrada é fundamental para a diminuição das concentrações de CO₂ na atmosfera, pois o gás absorvido da atmosfera e contido na madeira é imobilizado durante toda a sua existência, sendo tanto mais efetivo, quanto mais duradoura é a peça deste material. Enquanto a madeira existe na forma de móveis, objetos, construções e componentes para edificações, a atmosfera terrestre estará com menor concentração de CO₂. Desta forma o uso do produto florestal como madeira sólida além dos benefícios econômicos e sociais, gera também consequências positivas para o meio ambiente.

De acordo com Gonzalez et al. (2006), as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* se apresentam como grandes alternativas para a produção de madeira serrada no Brasil para os próximos anos, sendo que a indústria está investindo nessas espécies, projetando os seus suprimentos de matéria-prima futuro.

O eucalipto vem merecendo uma atenção especial entre as espécies alternativas que estão sendo introduzidas para o uso na indústria madeireira. É um gênero de rápido crescimento e de boa aparência, com características físicas e mecânicas desejáveis ou passíveis de melhoramento, potencializando-o como matéria-prima alternativa para o mercado madeireiro (GONÇALEZ; MACEDO, 2003).

A madeira de *Eucalyptus grandis* tem acolhido crescente interesse para aplicações estruturais, proporcionando a identificação de vários aspectos técnicos ligados à sua qualidade, para os quais ainda se faz necessária a indução de melhorias (BRITO et al., 2006).

Segundo Gonzalez et al. (2006), embora o *Eucalyptus* se apresente como uma alternativa para o abastecimento da indústria madeireira, este gênero possui limitações próprias e inerentes às madeiras oriundas de florestas de rápido crescimento. Além deste fator, outro entrave à utilização econômica da espécie é a falta de conhecimentos tecnológicos desta matéria-prima.

O conhecimento tecnológico sobre madeiras que têm potencial para utilização na indústria, como é o caso do eucalipto, contribui para introduzir essas espécies no mercado (GONÇALEZ et al., 2006).

Para Mori et al. (2004), a importância da descrição ou da medição da cor de uma espécie é maior quando a madeira é menos conhecida ou nova no mercado. Este é o caso da madeira de *Eucalyptus*, que nos últimos anos tem sido introduzida em maior escala no Brasil como sólido serrado.

O *Eucalyptus* apresenta características visuais interessantes, inclusive em sua coloração, que vão desde uma coloração bege-clara a avermelhado-rosado. O eucalipto apresenta como características gerais do gênero alburno fino (menos de 3 cm) e coloração clara. Seu cerne pode variar desde um amarelado a bege (*Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*) até tons variando de pardo-avermelhados a vermelhos (*Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus resinifera*), apresentando pouco brilho, grã direita e reversa, textura fina a média (MUÑIZ, 2002).

Quase toda a madeira de eucalipto até então utilizada para os usos nobres foi proveniente de plantios voltados para a produção de celulose e carvão. Apesar das limitações, não há dúvidas de que, dentre as aplicações no Brasil, a sua utilização na indústria moveleira e na construção civil é a que se encontra mais evidenciada e com as melhores perspectivas (CASTRO, 2001).

2.2 COR

A cor pode ser definida de várias formas devido ao seu peculiar caráter abstrato. É uma característica de objetos que emitem, refletem ou transmitem radiação na faixa visível. É, também, uma sensação criada pela radiação e interpretada ou lembrada pelo homem e alguns seres vivos (SILVA, 2004).

Para o ser humano, através de seu olho, a cor será percebida pela emissão,

reflexão ou transmissão da radiação eletromagnética, na faixa visível de 380 a 780nm, de um objeto (RÉGULA, 2004). No espectro visível destacam-se sete cores que refletem a luz em intervalos de comprimento de onda característicos chamados de domínios da cor. A divisão aproximada entre esses domínios está apresentada na FIGURA 1.

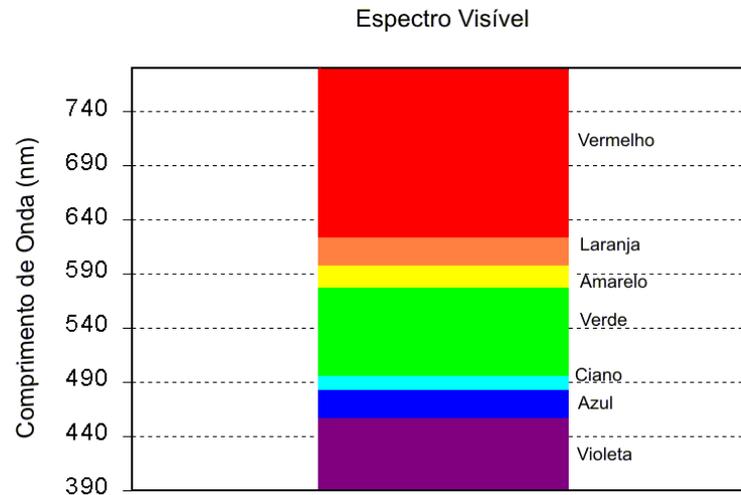


FIGURA 1 – AS CORES E OS COMPRIMENTOS DE ONDA CORRESPONDENTES.
 FONTE: Gouveia , 2008.

A cor e sua percepção se tornaram muito importantes em diversas áreas da indústria que trabalham com a imagem. Todas fazem uso do estudo das cores para alcançar melhores níveis de qualidade.

Cada vez mais as organizações utilizam recursos de publicidade e propaganda para atingirem seus mercados. Isso ocorre porque as imagens de produtos ou de empresas despertam através da cor, desejos e promessas de satisfação aos consumidores.

Segundo Lucas et al.¹ (1996, p. 76 citado por BERTOLINI, 2010), a cor e sua percepção são extremamente importantes na vida humana. O sucesso ou o fracasso de um novo produto é principalmente influenciado pela impressão visual que as pessoas têm do produto. Por este motivo, a especificação e reprodução exata da cor se fazem necessárias.

A importância da determinação da cor de qualquer material se torna evidente, uma vez que ela é um dos primeiros contatos visuais, podendo indicar de forma imediata sua finalidade. No caso da madeira a cor tem essa importância, por ser

¹ LUCAS, J. et al. **Colour measurement: fundamentals**. Azurém: Eurotex, 1996.

uma das características que a classifica esteticamente como aceitável ou não (MORI et al., 2005).

Deve-se destacar que as exigências relativas à qualidade do produto madeireiro são cada vez maiores e têm ocasionado sérias restrições na procura da madeira brasileira, por parte dos países importadores de madeiras (COSTA, 2009).

Conforme Costa (1999), uma das causas que contribui não apenas para a diminuição da procura da madeira brasileira, mas também para reduzir seu valor comercial, é a falta e/ou inadequado tratamento preventivo contra a infestação de microrganismos que a danificam, em especial os fungos, que comprometem diretamente seu aspecto estético alterando a sua cor.

2.3 TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DA COR

Desde meados do século XVIII, o homem já expressava a sua preocupação em construir um sistema de ordenação de cores, para ultrapassar as dificuldades, nos campos artístico e comercial, que essa ausência provocava. Em 1766, Moses Harris divulgou o primeiro Sistema Natural de Cores, ordenado segundo as cores “prismáticas”: vermelho, amarelo e azul; “intermediárias”: laranja, verde e púrpura; e as “compostas”: azeitona (laranja mais verde), ardósia (verde mais púrpura) e marrom (laranja mais púrpura). A partir do início do século XIX, surgiram vários outros sistemas, dentre os quais se destaca o Sistema Munsell (SILVA, 2004).

Existem dois métodos para a determinação da cor, o método comparativo e o quantitativo. O método comparativo ou sistema de ordenação de cores mais conhecido é o sistema Munsell que tem como base um atlas de cor que serve para selecionar, medir e comparar a aparência dos objetos. Por sua vez, o método quantitativo mais utilizado é a colorimetria, a ciência da medição da cor (GONÇALEZ et al., 2001).

Munsell propôs um sistema que estabeleceu as três dimensões da cor e mediria cada uma delas mediante uma escala apropriada. Desde então muito se tem feito para melhorar este sistema e melhor adaptar as necessidades de precisão e exatidão exigidas pelo desenvolvimento atual da indústria (FERNANDES, 2002).

Criado em 1905 pelo artista A. H. Munsell, o sistema consiste em uma coleção de páginas de tonalidade constante, com linhas de luminosidade constante e decrescentes para baixo e croma crescente da esquerda para a direita. Ele tem

como principais características a estrutura lógica, a conformidade com a percepção visual em termos de diferenças, uma notação não ligada ou limitada por amostras existentes e a possibilidade de seleção de combinações harmônicas (SILVA, 2004).

O sistema Munsell determina a cor por codificação alfa numérica numa tabela colorimétrica tridimensional, tendo como componentes a matiz, o valor (luminosidade) e o croma (saturação). Baseia-se numa tabela de amostras pintadas de igual percepção visual entre um intervalo de uma amostra e sua adjacente. As amostras em cada página são de igual matiz, variando apenas a claridade e o croma. Os matizes são indicados pelos primeiros caracteres do código, variando numericamente de 0 a 10, acompanhado de uma ou duas letras. À medida que o número cresce a tonalidade aumenta. As letras Y, R, G, B e P, indicam respectivamente, Yellow (amarelo), Red (vermelho), Green (verde), Blue (azul) e Purple (púrpuro). Para indicação de matizes intermediários, podem ser utilizadas combinações destas letras, como por exemplo, YR (Yellow/Red), expressando o amarelo avermelhado e assim sucessivamente (GONÇALEZ et al., 2001).

O sistema Munsell de ordenação de cor é fácil de ser utilizado e de fácil entendimento, talvez seja por esse motivo que ele seja tão difundido. Por outro lado ele apresenta desvantagens, como diferenças em uma mesma cor que podem ser apontadas por diferentes observadores; algumas cores podem não ser consideradas nas amostras disponíveis do sistema; e a dificuldade em determinar a cor de materiais que apresentam aspecto heterogêneo. Isso pode levar a uma única classificação de cor para diferentes materiais, no caso de amostras de madeiras de cores muito parecidas.

A colorimetria é a medição quantitativa das cores, que permite registrar objetivamente uma cor e de traduzi-la em dados numéricos (LAVISCI et al., 1989). Segundo Fernandes (2002) a colorimetria é a ciência da medição da cor. Por meio dela, a impressão sensorial cor deixa de ser subjetiva para ser objetiva, podendo ser expressa quantitativamente, de uma forma numérica, pela medição por refletância em espectrofotômetro de um determinado objeto. Uma forma objetiva na colorimetria é possível, desde que se trabalhe com valores normalizados quanto às fontes luminosas, geometrias de observação e sensibilidade média do olho humano.

Para a pesquisa científica e para o controle de qualidade industrial Gonçalves e Macedo (2003) afirmam que são necessários métodos de determinação da cor mais precisos e eficientes, como a colorimetria.

2.4 COLORIMETRIA

Há muito tempo que a colorimetria tem aplicação em diversas áreas que trabalham com a imagem e a cor, como a fotografia, propaganda, farmácia estética, arte digital, indústria têxtil, de tintas, de automóveis, etc. Na indústria madeireira a realidade é outra, a medição das cores ainda é uma técnica pouco conhecida e utilizada, que começa aos poucos a ser introduzida com o objetivo principal de agregar valor aos produtos.

Segundo Costa (2009), é necessária a implementação de novas tecnologias para que o conhecimento prévio das propriedades da madeira a ser utilizada e comercializada seja dinâmico e menos oneroso. Dentro desse contexto, as técnicas não destrutivas apresentam vantagens em relação aos métodos convencionais para caracterização da madeira, permitindo avaliar uma peça sem ter de extrair amostras de maiores dimensões como é o caso dos ensaios destrutivos. Além disso, um grande volume de material pode ser analisado com maior rapidez e precisão, tornando-se versátil seu enquadramento numa rotina de linha de produção. Dentre estas técnicas inclui-se a colorimetria.

A colorimetria quantitativa é uma metodologia objetiva e eficaz para a medição da cor da madeira. Existem dois tipos de aparelhos apropriados para descrever numericamente cada elemento da composição de uma cor em superfícies, os colorímetros e os espectrofotômetros (GONÇALEZ et al., 2001).

Segundo Rappold e Smith (2004) os colorímetros possuem uma série de filtros e fotodetectores para quantificar a cor dos materiais expostos à luz; e os espectrofotômetros iluminam a superfície do objeto a ser medido e calculam o comprimento de onda e a quantidade de luz por ela refletida.

Os colorímetros já foram os principais aparelhos para análise numérica da cor, por serem portáteis, de fácil manuseio, apresentarem baixo custo de fabricação e permitirem a obtenção direta dos valores das medidas dos componentes cromáticos. Porém estes instrumentos são incapazes de gerar dados de reflectância espectral, e limitam os resultados (GONÇALEZ; MACEDO, 2003).

Hoje, com o avanço da tecnologia, os espectrofotômetros se tornaram portáteis e com uma grande redução em seu custo. Assim os colorímetros perderam as vantagens competitivas que apresentavam no passado (ITG, 2006).

O espectrofotômetro é um aparelho que apresenta a curva de reflectância de uma amostra em função do comprimento de onda. O seu princípio de funcionamento (FIGURA 2), consiste em uma luz policromática e difusa que ilumina a amostra e passa por um prisma ou por uma grade e sofre uma difração. Os componentes monocromáticos, então, atingem detectores espectrais, cada um localizado no ponto correspondente ao seu comprimento de onda. Cada um desses detectores manda, para um processador de sinais, o sinal correspondente à energia relativa recebida e o fator de reflectância é, então, registrado e apresentado em forma de gráfico (SILVA, 2004).

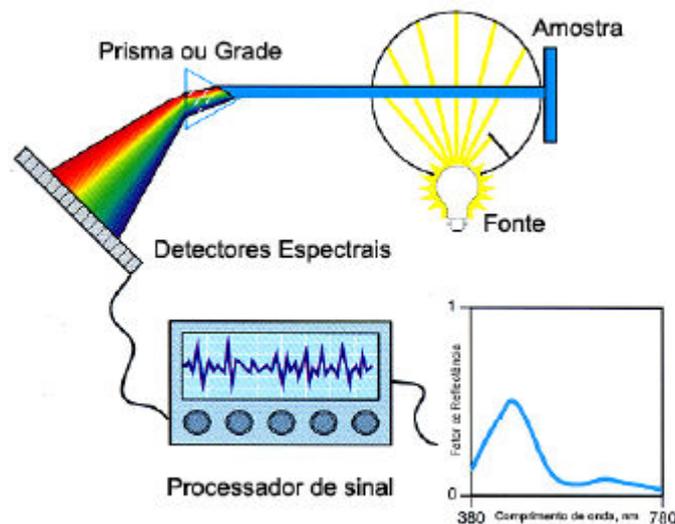


FIGURA 2 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO ESPECTROFOTÔMETRO.
FONTE: Silva , 2004.

Espectrofotômetros medem a quantidade de cada comprimento de onda da luz que uma superfície reflete ou transmite. Espectrofotometria é a ciência de medir a reflectância espectral, ou seja, a relação entre a intensidade de cada comprimento de onda da luz que incide sobre uma superfície e a luz de mesmo comprimento de onda que reflete de volta para o detector de um instrumento. Enquanto intensidade é um único valor que representa o número total de fótons refletidos ou transmitidos, reflectância espectral é o conjunto de valores que representam o número de fótons sendo refletidos ou transmitidos em diferentes comprimentos de onda. Os espectrofotômetros utilizados em artes gráficas normalmente dividem o espectro visível em faixas de 10nm ou 20nm, e produzem um valor para cada faixa (HOLDSHIP, 2008).

Segundo Fernandes (2002), a maioria das avaliações é feita visualmente, comparando uma amostra da produção a um padrão pré-aprovado. O espectrofotômetro é usado, sobretudo, de forma suplementar ao processo visual da avaliação. Esta técnica fornece uma maneira consistente para quantificar as variações facilitando a determinação de tolerâncias de diferenças de cor do produto. Os sistemas de tolerância da cor são usados na gerência de atividades do controle de qualidade da produção.

2.5 CIELAB

A CIE (*Comission Internationale de l'Eclairage*, ou *International Commission on Illumination*, ou ainda Comissão Internacional de Iluminação) foi fundada em 1913 por um grupo internacional de pesquisadores autônomos com objetivo de promover um fórum para a troca de ideias e informações e para padronizarem todos os termos relativos à iluminação. A CIE, como parte da sua missão, tem um comitê técnico para estudar o sistema visual e as cores, resultando numa diretriz para a colorimetria, desde a primeira padronização em Cambridge em 1931, na Inglaterra. (LEÃO et al., 2005).

Segundo Gonzalez et al. (2001) o sistema CIELAB-1976 é o mais utilizado para a quantificação e medição da cor, pois ele fornece um espaço mais uniforme da distribuição das cores.

O sistema CIELAB é resultado do contínuo desenvolvimento de espaços de cores e variações do espaço XYZ com o objetivo de fornecer uma melhor uniformidade perceptiva e correlação com a percepção humana das cores. Foi adotado pela CIE em 1976 e é baseado em seu antecessor (1942) sistema de Richard Hunter chamado L, a, b, o qual está baseado na teoria da oposição das cores correlacionada com a descoberta (1960) de que em algum lugar entre o nervo óptico e o cérebro os estímulos coloridos na retina são traduzidos em distinções entre claro e escuro, vermelho e verde, azul e amarelo. CIELAB indica estes valores com o uso de três eixos: L^* , a^* , e b^* (HOLDSHIP, 2008).

Com a finalidade de aumentar a uniformidade das cores percebidas pelo sistema visual humano o modelo de cor uniforme CIELAB foi definido pela CIE. O valor de luminosidade L^* é aproximadamente o valor da luminância Y (para o CIE xyY) variando de branco a preto, o valor de a^* pode variar de verde a vermelho e o

valor de b^* pode variar de azul a amarelo; analogamente à percepção das cores pelo cérebro, ou seja, cores-opostas (LEÃO et al., 2005).

O sistema de medição de cores CIELAB 1976 é baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade (CARMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

O sistema CIELAB 1976 (FIGURA 3) apresenta no eixo vertical a luminosidade ou claridade, que define a escala cinza entre o branco e o preto. É expressa pelo parâmetro colorimétrico L^* e assume valor 0 (zero) para o preto absoluto e 100 para o branco total. A tonalidade é expressa pelas cores vermelho, verde, amarelo e azul, sendo representada em forma de um círculo cortado por duas retas perpendiculares passando pelo centro. Os valores destas variáveis encontram-se na faixa de 0 a 60, sem unidade de medida. Os pigmentos vermelho, verde, amarelo e azul são definidos pelas coordenadas $+a^*$, $-a^*$, $+b^*$ e $-b^*$ respectivamente, e assim, qualquer variação destas coordenadas significa que a cor pode avermelhar ($+a^*$), esverdear ($-a^*$), amarelar ($+b^*$) ou azular ($-b^*$) (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

Na FIGURA 4, o ângulo de tinta (h^*) é o ângulo do círculo, que também pode expressar a tonalidade. Já a saturação ou cromaticidade (C) seria o raio do círculo de tonalidade, partindo do ponto cinza do eixo de luminosidade até a cor pura espectral localizada na extremidade do círculo. Quanto mais distante do eixo, mais saturada será a cor. A variável de saturação (C) pode ir de 0 a 60 (sem unidade de medida). Estes dois parâmetros são derivados dos valores de a^* e b^* (CAMARGOS; GONÇALEZ, 2001).

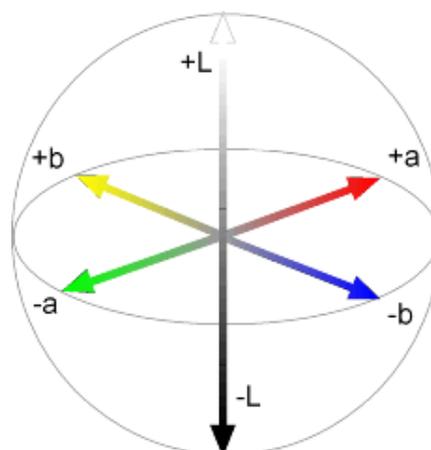


FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA COLORIMÉTRICO CIELAB 1976.
 FONTE: Modificado pela autora, 2013.

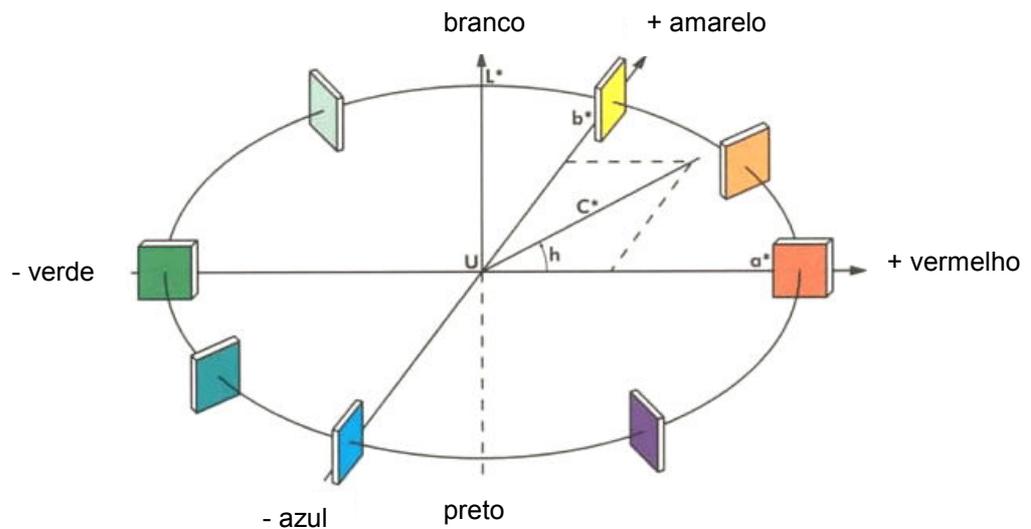


FIGURA 4 - SISTEMA DE COORDENADAS DE CORES CIELAB 1976.
 FONTE: Modificado pela autora, 2013.

Os elementos-chave do modelo CIE são as definições dos *iluminantes padrões* e as especificações para o *observador padrão* (LEÃO; ARAÚJO; SOUZA, 2005).

Na medição do objeto, os iluminantes são a fonte de luz utilizada. A CIE desde a sua fundação percebeu que era uma configuração muito importante e definiu os valores espectrais de cada comprimento de onda para os tipos de iluminantes. O iluminante padrão A foi criado para representar a iluminação interna artificial (lâmpada de tungstênio). Sua luz é relativamente amarelada, deficiente em azul e rica em comprimentos de onda vermelhos e a temperatura é de cerca de 2856K (SILVA, 2004).

Em 1963, a CIE encomendou um novo iluminante padrão (o iluminante D), definindo sua distribuição espectral sobre o UV, a luz visível e as proximidades do infravermelho, para representar as várias fases da luz do dia. O iluminante D65 foi, então, aceito como um iluminante padrão (SILVA, 2004).

O iluminante D65 destina-se a representar a luz do dia e tem uma temperatura de cor correlacionada de cerca de 6500 K. Este iluminante deve ser usado em todos os cálculos colorimétricos que requerem a representação da luz do dia (BERTOLINI, 2010).

Como a cor depende do observador, tornou-se necessário padronizar este atributo. Em 1931, criou-se o observador padrão de ângulo de 2° e, em 1964, criou-

se o observador de 10°. O observador padrão é a definição da sensibilidade do olho humano com a mistura das três cores primárias (SILVA, 2004).

2.6 TRATAMENTO TÉRMICO

A aplicação de tratamentos térmicos com a finalidade de alterar as propriedades da madeira não é um recurso novo. Stamm, Burr e Kline (1946) foram responsáveis pelos primeiros estudos para melhorar a estabilidade dimensional da madeira por meio de altas temperaturas, e chamaram o processo de “*Staywood*”, onde a madeira não prensada atinge a estabilização dimensional apenas com o calor.

A modificação térmica da madeira pode ser definida como um processo que tem como principal objetivo melhorar suas propriedades e consiste simplesmente na aplicação de calor, a certa temperatura, por determinado período de tempo, que é definido considerando a utilização final da madeira.

Inúmeras vantagens são garantidas às propriedades tecnológicas da madeira pela aplicação dos tratamentos térmicos. As características incorporadas à madeira variam principalmente em função da temperatura final do processo, do tempo do tratamento, da velocidade de aquecimento e das propriedades iniciais da madeira (ARAÚJO, 2010).

Nos últimos anos o interesse em processos de tratamentos térmicos, principalmente para agregar valor à madeira, cresceu significativamente. Este crescimento deve-se principalmente à maior procura por produtos duráveis, à crescente demanda por materiais de construção sustentáveis, às preocupações ambientais e ao aumento de regulamentações restritivas quanto ao uso de aditivos químicos para a preservação da madeira (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

Atualmente, existem cinco processos diferentes de tratamentos térmicos comercializados no mundo: um na Finlândia (*ThermoWood*), um na Holanda (*Plato Wood*), um na Alemanha (*OHT - Oil-Heat Treatment*), e dois na França (*Bois Perdure Retificação*). Novos métodos de tratamento térmico também estão surgindo em outros países, tais como Dinamarca (*WTT*) e Áustria (*Huber Holz*). Alguns destes processos estão em fase de instalação, e outros já estão em plena produção. Várias espécies de madeira são utilizadas, com diferentes condições de processo, dependendo das espécies e da utilização final do produto. Todos os tratamentos

térmicos usam madeira serrada e temperaturas de tratamento entre 160°C e 260°C, mas eles diferem em termos de condições de processo, usando diferentes formas de aquecimento, como: vapor d'água saturado, vapor quente, água, óleo quente e nitrogênio (ESTEVEES; PEREIRA, 2009).

O tratamento a temperaturas acima de 150°C pode alterar a cor, melhorar a resistência à biodegradação e aumentar a estabilidade dimensional da madeira. No entanto, perdas na resistência mecânica também podem ocorrer, e esta desvantagem é uma limitação para a utilização da madeira tratada termicamente em uma ampla variedade de produtos (SUNDQVIST, 2004).

Modes (2010) avaliou o efeito de duas condições de tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas, higroscópicas e biológicas das madeiras de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Ao final do trabalho, os resultados obtidos possibilitaram à autora indicar que os tratamentos térmicos foram eficientes na redução da higroscopicidade e aumento da estabilidade dimensional de ambas as espécies.

Quando se avaliam as propriedades mecânicas, nota-se aumento ou diminuição de tais propriedades. Algumas divergências entre os resultados encontrados por alguns autores levam a acreditar que estas mudanças, variam entre espécies de madeiras e dependem dos parâmetros usados nos tratamentos térmicos (ARAUJO, 2010).

Sundqvist (2004) ao avaliar o efeito do tratamento térmico sobre a resistência da madeira de *Betula pubescens* constatou que há um aumento de cerca de 20% na resistência mecânica da madeira tratada a 180-200°C durante aproximadamente 1 hora e que as medições de cor podem ser utilizadas como um modo de monitorar e controlar o fenômeno.

Os tratamentos térmicos proporcionam outras características à madeira além da durabilidade, estabilidade dimensional e diminuição da higroscopicidade, entre estas a alteração de sua cor original, que tem sido utilizada para agregar valor às espécies de baixo valor comercial (LOPES, 2010).

Lopes (2010) determinou a variação da cor da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden modificada termicamente sob quatro temperaturas distintas: 180, 200, 215 e 230°C; e três períodos: 15 minutos, 2 e 4 horas. Pode-se observar neste estudo que a combinação tempo-temperatura foi determinante para a coloração final da madeira. Neste caso, todas as amostras tratadas escureceram ao final do

experimento, porém a madeira tratada a 230°C por 4 horas apresentou, segundo a autora, coloração marrom-escuro enquanto que os demais tratamentos foram caracterizados com a coloração marrom-clara.

Esteves et al. (2008), submeteram amostras de *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus* a dois tipos de tratamentos térmicos: a ar quente em um forno a 170-200°C por 2-24 horas e em autoclave em atmosfera anaeróbica a 190-210°C por 2-12 horas. O plano transversal das duas espécies escureceu menos após os dois tratamentos com uma pequena diferença de luminosidade entre os planos radial e tangencial.

Quanto à alteração da cor, Esteves et al. (2008) constataram que os tratamentos térmicos demonstraram um potencial interessante para melhorar a qualidade e a estética da madeira para produtos sólidos de pinus e eucalipto.

Na Europa, os tratamentos térmicos são utilizados para o escurecimento de madeiras claras, de baixo valor comercial, tornando-as mais próximas a coloração das madeiras tropicais, as quais são mais escuras e consideradas de alto valor no mercado, processo denominado “tropicalização” (LOPES, 2010).

Mitsui (2004) afirma que a alteração artificial da cor da madeira pode ser um método capaz de intensificar a comercialização de espécies que, apesar de possuírem boas propriedades tecnológicas, não são procuradas no mercado devido à sua baixa atratividade estética.

Cademartori et al. (2012), avaliaram a alteração da cor da madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente. Foram utilizados quatro níveis de temperatura: 180, 200, 220 e 240°C; e dois períodos de duração: 4 e 8 horas. Segundo os autores o plano tangencial das amostras apresentou-se mais escurecido ao final dos experimentos que o plano radial, a modificação térmica a 180 e 200°C apresentou padrões semelhantes, assim como a 220 e 240°C e o tempo de exposição só foi significativo para o tratamento a 200°C.

Sundqvist (2004) comenta que a cor natural da madeira, amarelo clara, não é estável a exposição à luz. As superfícies de madeira expostas ao ar livre tornam-se branqueadas e podem acabar com um aspecto acinzentado quando expostas à luz solar. O tratamento térmico da madeira dá um tom castanho avermelhado que é apreciado. No entanto, esta nova coloração gerada pode também não ser estável a radiação solar.

Ao avaliar a estabilização colorimétrica de madeiras tropicais submetidas à modificação térmica Gouveia (2008) constatou que tratamentos térmicos mostraram-se eficientes para as madeiras de marupá (*Simarouba amara*) e louro-vermelho (*Sextonia rubra*), que apresentaram maior resistência à fotodescoloração após 84 horas de irradiação ultravioleta. As espécies foram tratadas a 200°C por uma hora e 150°C por 2 horas.

As alterações nas propriedades da madeira acontecem quando a mesma é aquecida ou esfriada rapidamente e os efeitos da temperatura aplicada sobre ela podem ser reversíveis ou irreversíveis. Abaixo de 100°C, dependendo do período de exposição ao calor, os efeitos são reversíveis. As mudanças passam a ser irreversíveis com o aumento da temperatura e a duração do tratamento e estão principalmente ligadas à degradação da madeira que resulta em perda de massa e resistência. As perdas dependem de fatores como o teor de umidade, o meio de aquecimento, a temperatura, a duração e, em alguns casos, a espécie e o tamanho da peça envolvida (ARRUDA, 2012).

Segundo Sundqvist (2004) o escurecimento da madeira acontece desde a primeira hora de tratamento mesmo com uma temperatura baixa. À medida que aumenta a temperatura do tratamento a madeira escurece mais e entre 160°C-180°C ocorre o maior decréscimo de luminosidade.

A cor da madeira é dependente tanto do tempo como da temperatura, e uma formação mais lenta da cor produzida a uma temperatura mais baixa pode ser equilibrada pelo prolongamento do tempo de tratamento. Sundqvist (2004) ao avaliar a relação tempo-temperatura de tratamento constatou que a cor marrom-escuro da madeira tratada termicamente a temperaturas em torno de 200°C é alcançada por tratamento a temperaturas inferiores a 100°C por um período de semanas.

Um fator ambiental muito importante do tratamento térmico é que durante o processo não são utilizados produtos químicos, desta forma, considerando todas as melhorias que este tipo de tratamento pode proporcionar à madeira, a modificação térmica pode se transformar em uma opção para a substituição de madeiras tradicionais, principalmente para aquelas que apresentam alto custo de obtenção e para as espécies em extinção (ARAUJO, 2010).

De acordo com Araújo (2010), a madeira tratada termicamente pode ser usada para revestimentos, confecção de paredes à prova de som, assoalhos, terraços, decks de barcos, móveis para jardim, batentes de porta e janela, parques

infantis, móveis externos e internos, portões, cercas, instrumentos musicais, dentre outros.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

O material utilizado neste estudo é proveniente de material remanescente utilizado por Batista (2012) de cinco árvores de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, com 18 anos de idade, obtidas de um plantio comercial na região Centro Norte do Paraná. Depois de selecionadas, de cada árvore foram obtidas três toras de 3,3 metros de comprimento, resultando em um total de 15 toras, que passaram por desdobro principal em serra de fita vertical dupla, até a obtenção de um bloco, de acordo com os modelos de corte da FIGURA 5. Em seguida as peças das posições “A”, “I” e “M” (FIGURA 6) foram produzidas.

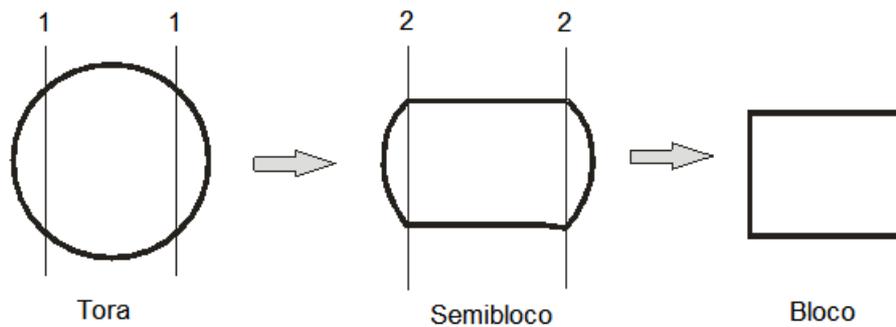


FIGURA 5 – MODELOS DE CORTE DO DESDOBRAMENTO PRINCIPAL
 FONTE: Batista, 2012.

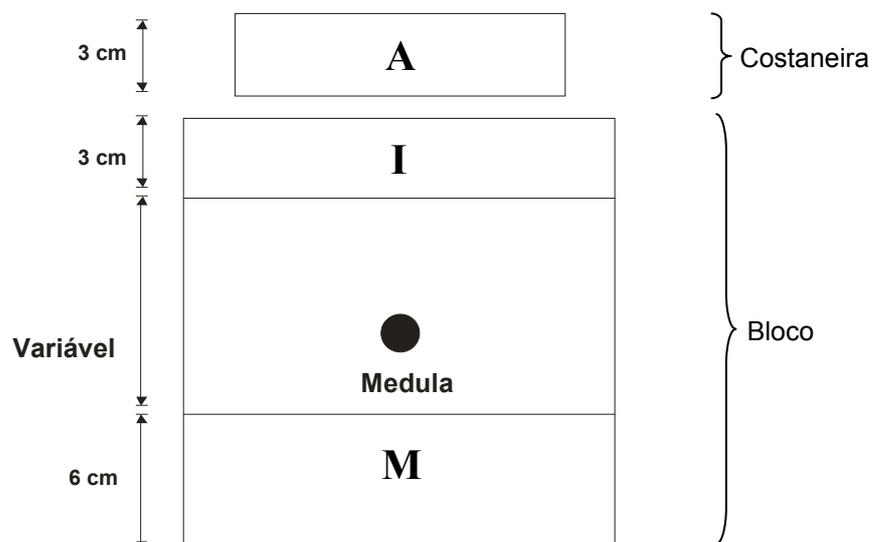


FIGURA 6 – MODELO DE CORTE DO DESDOBRAMENTO SECUNDÁRIO

Na FIGURA 6, a posição “A” representa a região próxima ao alburno, a posição “I” é a região intermediária e a posição “M” é a região oposta a estas duas, que equivale à região próxima à medula e à região intermediária.

3.2 PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®

O processo de modificação térmica VAP HolzSysteme® foi realizado na empresa *TWBrazil*, localizada em Ponta Grossa, Paraná. As amostras de madeira foram submetidas a aplicação de calor a elevadas temperaturas utilizando vapor saturado, aliado a um sistema eficiente de eliminação de oxigênio. As temperaturas finais aplicadas foram de 140°C, 160°C e 180°C, resultando em três tratamentos e produtos distintos, que a empresa denomina *Thermally Modified Timber* ou *TMT*.

A FIGURA 7 mostra um diagrama que exemplifica o ciclo completo de modificação térmica do processo VAP HolzSysteme®, utilizado neste estudo.

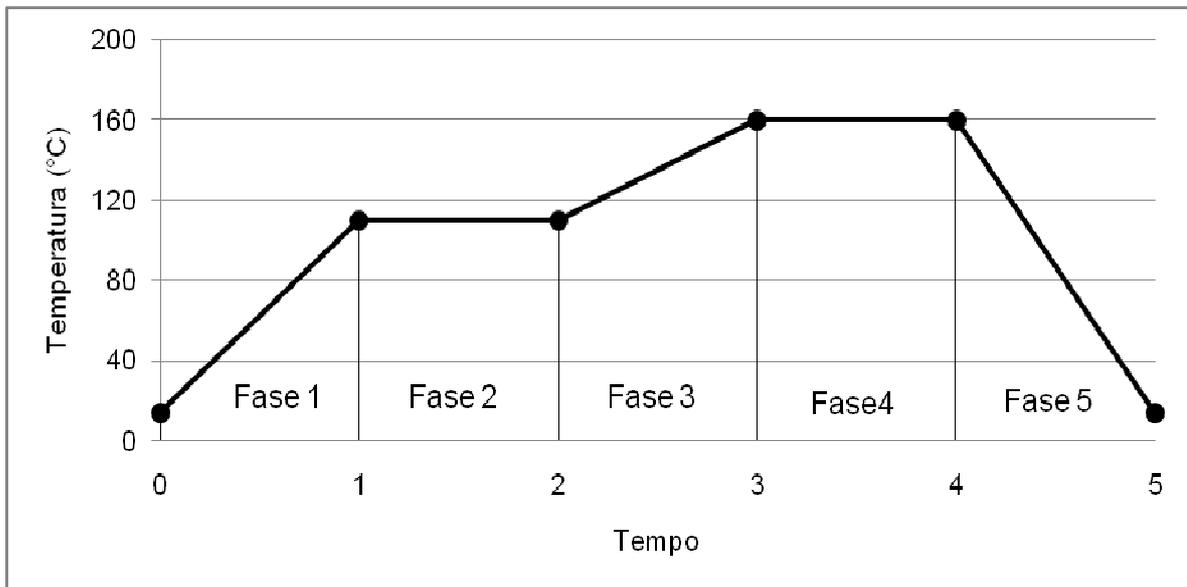


FIGURA 7 – DIAGRAMA DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®, REPRESENTANDO O TRATAMENTO A 160°C.
FONTE: Batista, 2012.

O processo de modificação térmica VAP HolzSysteme® é realizado em cinco fases, segundo Batista (2012):

- Fase 1 - Aquecimento inicial: corresponde ao início do processo, em que a madeira, depois de adequadamente carregada no cilindro do equipamento, começa a ser aquecida juntamente com todo o sistema, de

acordo com uma dada taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$). A duração desta fase é variável, de acordo com a taxa de aquecimento utilizada;

- Fase 2 – Temperatura constante: após o aquecimento inicial ocorre a primeira etapa em que a temperatura é mantida constante, a 110°C , por 25 minutos; portanto, a taxa de aquecimento é nula;
- Fase 3 – Aquecimento secundário: decorrida a fase 2, inicia-se a segunda fase de aquecimento, de acordo com uma determinada taxa. A duração é variável, de acordo com a taxa de aquecimento utilizada, e se estende até o equipamento atingir a temperatura máxima pré-estabelecida;
- Fase 4 – Modificação térmica: esta é a etapa de modificação térmica propriamente. Nela, a temperatura é mantida constante novamente, correspondente à temperatura máxima pré-estabelecida para o processo, pelo período de 45 minutos;
- Fase 5 - Resfriamento: corresponde ao resfriamento, que ocorre naturalmente após a fase 4.

O equipamento utilizado para o processo de modificação térmica da madeira é constituído basicamente por: cilindro (vaso de pressão) de 125 cm de diâmetro, 850 cm de comprimento, com capacidade nominal de 6 m^3 de madeira por ciclo; gerador instantâneo de vapor classe B com capacidade de produção de 216 kgv/h ; reservatório de água; controlador lógico programável (CLP), que controla as variáveis do processo e; trilhos e vagonete, para abastecimento e descarregamento da madeira. De um modo geral, o equipamento é semelhante a uma autoclave de preservação de madeira (BATISTA, 2012).

Na FIGURA 8 encontra-se um exemplo do equipamento utilizado no processo de modificação térmica VAP HolzSysteme[®].



FIGURA 8 – VISTA GERAL DO EQUIPAMENTO UTILIZADO NO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA VAP HolzSysteme®
FONTE: Batista (2012).

3.3 MEDIÇÃO DA COR

Para determinação da cor da madeira foi empregada a técnica de reflectância difusa no intervalo visível do espectro eletromagnético, a espectrocolorimetria, metodologia adotada por Gonçalez (1993).

Os dados colorimétricos foram coletados no *Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira* – LANAQM, da UFPR, utilizando um espectrofotômetro KONICA MINOLTA CM-5 (FIGURA 9), acoplado a um microcomputador. Esse tipo de espectrofotômetro faz uma varredura na superfície do corpo-de-prova, do qual se obtém os parâmetros de cor da madeira.



FIGURA 9 – ESPECTROFOTÔMETRO KONICA MINOLTA CM-5.
FONTE: A autora, 2013.

Sempre que o espectrofotômetro era utilizado, este era calibrado com os padrões fornecidos pelo fabricante.

Cada amostra foi previamente lixada manualmente, com lixa de grana 100, para conferir uma superfície uniforme e garantir resultados mais precisos. As amostras foram acondicionadas em ambiente sem luz para manter a condição de recém-aplainadas.

O iluminante utilizado foi o da luz difusa D65, uma lâmpada de xenônio que simula a radiação solar diurna. O ângulo de observação foi de 10°, padrão da CIE. As leituras foram feitas com abertura de diâmetro de 3 mm, em temperatura ambiente de 22°C e umidade relativa do ar de 60%. Observa-se que ainda não existem normas para padronização de amostras para o estudo da colorimetria aplicada a madeira.

Uma varredura em todas as superfícies das amostras foi realizada aleatoriamente, perfazendo um total de 20 leituras por face (tangencial, radial) e por amostra. Dispondo de 6 corpos-de-prova por tratamento de modificação térmica e da condição natural da madeira, das 3 regiões da tora (A, I e M), foram obtidas 240 leituras por grupo de amostras.

As medições de cor foram feitas nas faces tangencial e radial de cada uma das amostras, obedecendo ao sistema CIE L*a*b* recomendado pela CIE 1976.

Os parâmetros colorimétricos obtidos foram os seguintes:

L*: claridade.

a*: matizes do eixo vermelho (+a) – verde (-a).

b*: matizes do eixo amarelo (+b) – azul (-b).

O parâmetro C (saturação) foi calculado a partir da equação:

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

Onde: C = saturação

a* = coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho

b* = coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo

O parâmetro h* (ângulo de tinta) foi determinado pela equação:

$$h^* = \arctang(b^*/a^*) \quad (2)$$

Onde: h* = ângulo de tinta

Os dados colorimétricos foram coletados em duas etapas:

- a) Após as amostras terem atingido teor de umidade de equilíbrio, tido como condição natural da cor da madeira;
- b) Após a realização dos três tratamentos de modificação térmica.

Os dados brutos de cor foram processados no programa Excel para que as variáveis colorimétricas utilizadas pelo sistema CIELAB 1976 pudessem ser avaliadas. Para análise final foram calculados valores médios das leituras feitas para cada parâmetro colorimétrico.

Para mensurar as alterações na cor da madeira, após a aplicação dos tratamentos de modificação térmica, as diferenças entre as cores das faces da madeira e comparar a coloração de espécies distintas utilizou-se a variação total da cor, metodologia adotada por diversos autores (Barreto e Pastore, 2009; Gouveia, 2008; Silva et al., 2007; Oyarce, 2006; Pastore, 2004) expressa pela seguinte equação:

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (3)$$

Onde: ΔE^* = variação total da coloração

ΔL^* = variação da Luminosidade (L^* da amostra tratada menos L^* da testemunha)

Δa^* e Δb^* = variação das coordenadas cromáticas (amostra tratada menos testemunha)

Os sinais positivo e negativo resultantes da expressão significam: $+\Delta L^*$ aumento da luminosidade; $-\Delta L^*$ redução da luminosidade; $+\Delta a^*$ aumento na cor vermelha; $-\Delta a^*$ aumento na cor verde; $+\Delta b^*$ aumento na cor amarela; e $-\Delta b^*$ aumento na cor azul.

Para o cálculo da variação da cor também foi utilizada metodologia adotada por Esteves et al. (2008), com a diferença dos valores médios dos parâmetros L^* , a^* e b^* entre madeira tratada e não tratada, em percentagem do valor inicial, como segue o exemplo para ΔL^* :

$$\Delta L^* (\%) = (L^* \text{ tratada} - L^* \text{ não tratada}) / L^* \text{ não tratada} \quad (4)$$

3.4 CLASSIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO TOTAL DA COR

A TABELA 1 foi elaborada por Hikita et al.¹ (2001, citado por BARRETO; PASTORE, 2009) que se baseou em níveis de percepção da cor. Esta tabela foi criada para classificar os valores de variação de cor, ΔE^* .

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO TOTAL DA COR (ΔE^*) DE MADEIRAS.

| VARIAÇÃO DA COR (ΔE^*) | CLASSIFICAÇÃO |
|----------------------------------|--------------------------|
| 0,0 - 0,5 | Desprezível |
| 0,5 - 1,5 | Ligeiramente perceptível |
| 1,5 - 3,0 | Notável |
| 3,0 - 6,0 | Apreciável |
| 6,0 - 12,0 | Muito apreciável |

¹ HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. **Weathering testing of timber – discoloration**. In: IMAMURA, Y. High performance utilization of wood for outdoor uses. Kyoto, Japão: Press-net, 2001.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para auxiliar a avaliação desse experimento foi realizada análise de variância fatorial e as médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados pelo pacote estatístico Statgraphics.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios realizados que geraram os valores dos parâmetros colorimétricos apresentados neste estudo para a espécie *Eucalyptus grandis*, tiveram como objetivo acompanhar as alterações ocorridas nos valores de cor das amostras submetidas ao processo de modificação térmica VAP HolzSysteme[®], comparar os valores dos parâmetros colorimétricos das três regiões da espécie e das faces tangencial e radial, e não a simples caracterização colorimétrica da espécie.

4.1 EFEITO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA COLORIMETRIA DA MADEIRA

As cores das amostras de *Eucalyptus grandis*, em condição natural e após a aplicação dos três tratamentos de modificação térmica (TABELA 2) estão descritas pelo sistema CIELAB 1976.

Em todos os tratamentos os valores das coordenadas a^* e b^* foram positivos, o que classifica as amostras no primeiro quadrante de cores no Sistema CIELAB 1976, padrão de comportamento esperado para a coloração de madeiras (CAMARGOS, 1999).

TABELA 2 - VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DE *Eucalyptus grandis* EM CONDIÇÃO NATURAL E APÓS A APLICAÇÃO DOS TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.

| TRATAMENTO | L* | a* | b* | C | h* |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Natural | 70,44a | 11,04a | 18,70a | 21,74a | 59,56a |
| 140°C | 60,92b | 12,58b | 17,12b | 21,30b | 53,70b |
| 160°C | 44,92c | 12,34c | 18,60a | 22,38c | 55,98c |
| 180°C | 37,04d | 9,68d | 14,13c | 17,13d | 55,31d |

Em que: L* = claridade; a^* e b^* = coordenadas cromáticas; C = saturação; h^* = ângulo de tinta. Os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra não apresentam diferença estatística pelo Teste de Médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ao analisar os valores médios dos parâmetros colorimétricos obtidos no estudo, observa-se que a claridade (L*) das amostras após a aplicação do tratamento de modificação térmica a 140°C é 13,52% menor que antes do

tratamento. Ainda, a diminuição da luminosidade, que caracteriza o escurecimento das amostras, foi de 36,23% para as amostras tratadas a 160°C, e de 47,42% para aquelas tratadas a 180°C, em relação à madeira em seu estado natural.

Entre os três tratamentos de modificação térmica e a condição natural da madeira, verificou-se que os valores dos parâmetros L^* , a^* , C e h^* apresentaram diferenças significativas pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. A partir desta observação é possível afirmar que as madeiras submetidas ao processo de modificação térmica VAP HolzSysteme® assumem níveis de luminosidade, pigmentação vermelha, saturação e ângulo de tinta distintos. O parâmetro b^* exibiu médias estatisticamente iguais para a madeira tratada a 160°C e a madeira em seu estado natural, o que significa que não houve variação da pigmentação amarela entre essas duas condições.

A coordenada a^* apresentou médias mais elevadas para as amostras tratadas a 140°C e a 160°C, representando aumento da pigmentação vermelha após a aplicação destes tratamentos de modificação térmica, sendo a principal responsável pelo escurecimento da madeira.

A coordenada b^* exibiu médias estatisticamente iguais para a madeira tratada a 160°C e madeira em seu estado natural, o que significa que não houve variação da pigmentação amarela entre essas duas condições.

É interessante observar que tanto a coordenada a^* como a b^* diminuíram seus valores no tratamento a 180°C. No entanto o valor de L^* também diminuiu, caracterizando um escurecimento da madeira. Isso sugere que modificações químicas ocorreram e não foram captadas pela colorimetria. Talvez uma análise química mais fina pudesse ajudar a entender o fato.

A variação total da coloração (ΔE^*), determinada pela Equação 3, exibida na metodologia, leva em consideração as diferenças das coordenadas cromáticas e de luminosidade, fornecendo assim, uma visão mais ampla do desempenho dos tratamentos de modificação térmica sobre a aparência das amostras. Na TABELA 3 estão descritas as variações dos valores dos parâmetros de cor entre os tratamentos e a madeira em seu estado natural.

TABELA 3 – VARIAÇÕES OCORRIDAS ENTRE OS VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* APÓS A APLICAÇÃO DE TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM RELAÇÃO AO ESTADO NATURAL DA MADEIRA.

| TRATAMENTO | ΔL^* | Δa^* | Δb^* | ΔE^* |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 140°C x natural | -9,52 | 1,54 | -1,57 | 9,77 |
| 160°C x natural | -25,52 | 1,30 | -0,10 | 25,56 |
| 180°C x natural | -33,41 | -1,36 | -4,57 | 33,74 |

A mudança de cor da madeira causada pela aplicação do tratamento de modificação térmica a 140°C ($\Delta E^* = 9,77$) ocorreu, sobretudo, pela perda da luminosidade, aumento da coordenada a^* (coloração vermelha) e diminuição da coordenada b^* (coloração amarela) e foi classificada como muito apreciável de acordo com os critérios da TABELA 1. As variações na coloração das amostras tratadas a 160°C ($\Delta E^* = 25,56$) e a 180°C ($\Delta E^* = 33,74$) ficaram muito acima do mais alto intervalo de valores da tabela de classificação de ΔE^* (TABELA 1), caracterizando mudança de cor bastante acentuada.

É possível verificar na TABELA 3, por meio dos valores negativos de ΔL^* , que ocorreu escurecimento de todas as superfícies, em relação ao estado natural da madeira, para todas as temperaturas dos tratamentos de modificação térmica. A luminosidade diminuiu gradativamente conforme o aumento das temperaturas de tratamento, atingindo o nível mais escuro no tratamento a 180°C.

É interessante observar que a expressiva variação da luminosidade L^* ($\Delta L^* = -33,41$) que ocorreu após a aplicação do tratamento a 180°C foi acompanhada de uma redução dos valores do parâmetro a^* ($\Delta a^* = -1,36$) e b^* ($\Delta b^* = -4,57$), que indicam a diminuição dos teores dos cromóforos vermelhos e amarelos, permitindo que esta madeira assumira um novo padrão de cor, diferente de sua origem.

A variação dos valores do parâmetro de luminosidade (L^*) também foi negativa para a madeira tratada a 140°C ($\Delta L^* = -9,52$) e a 160°C ($\Delta L^* = -25,52$) sempre ocorrendo escurecimento das amostras. Porém a variação dos valores do parâmetro a^* foi positiva ($\Delta a^* = 1,54$ e $\Delta a^* = 1,30$) para estes mesmos tratamentos, proporcionando aumento da pigmentação vermelha da madeira. Fato este que explica o tom rosado que pode ser visualmente observado nas amostras tratadas a 140°C, que apresentaram aumento de 1,54 do parâmetro a^* ao mesmo tempo em que o parâmetro b^* foi reduzido ($\Delta b^* = -1,57$), diminuindo os teores da pigmentação amarela. Este fato proporcionou o surgimento de uma nova tonalidade de cor para a

madeira.

Os valores da variação total da cor (ΔE^*) apresentados na TABELA 3 confirmaram a hipótese de que cada temperatura de tratamento do processo de modificação térmica VAP HolzSysteme[®], aplicada sobre a madeira confere um novo padrão de cor para a mesma e altera suas características estéticas iniciais.

Por outro lado, sob o ponto de vista de utilização da madeira para fins estruturais, o processo de modificação térmica VAP HolzSysteme[®] alterou as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* tratada, comprometendo o seu uso (BATISTA, 2012).

Segundo Sundquist (2004), a madeira termicamente tratada em um intervalo de temperatura de 150°C - 250°C exibe uma notável alteração de suas propriedades e pode, portanto, de certo modo, ser considerada como um “novo” material.

Nas FIGURAS 10 e 11 é possível verificar, claramente, a influência das temperaturas dos tratamentos de modificação térmica sobre a cor das amostras da madeira de *Eucalyptus grandis*. Observa-se, a partir de análise visual das amostras termicamente modificadas, escurecimento gradual com o aumento da temperatura.

Visualmente, as mudanças são muito apreciáveis em todas as amostras tratadas e mais drásticas nas amostras correspondentes ao tratamento a 180°C. Após a aplicação dos tratamentos todas as amostras escureceram, comprovando o comportamento indicado na literatura. Analisando as figuras é possível perceber quatro padrões de cor distintos, incluindo a aparência natural da espécie.

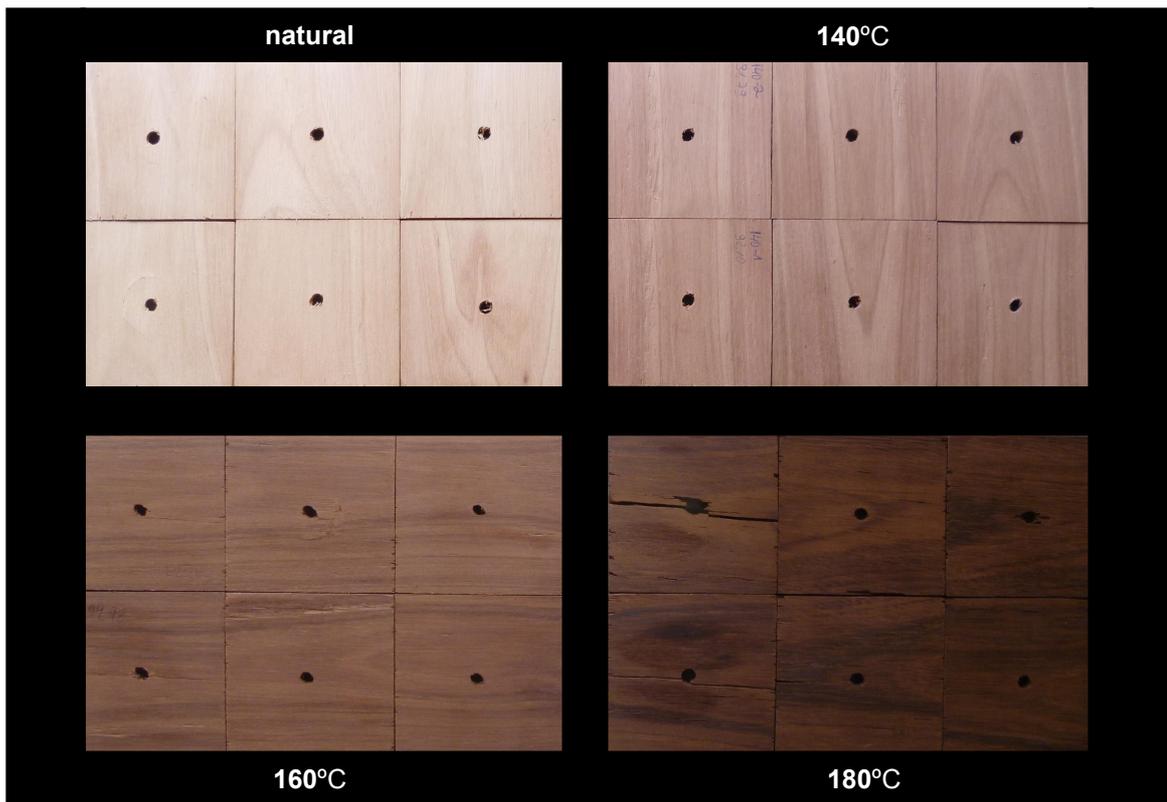


FIGURA 10 – APARÊNCIA NATURAL DA MADEIRA E APÓS OS TRATAMENTOS TÉRMICOS.

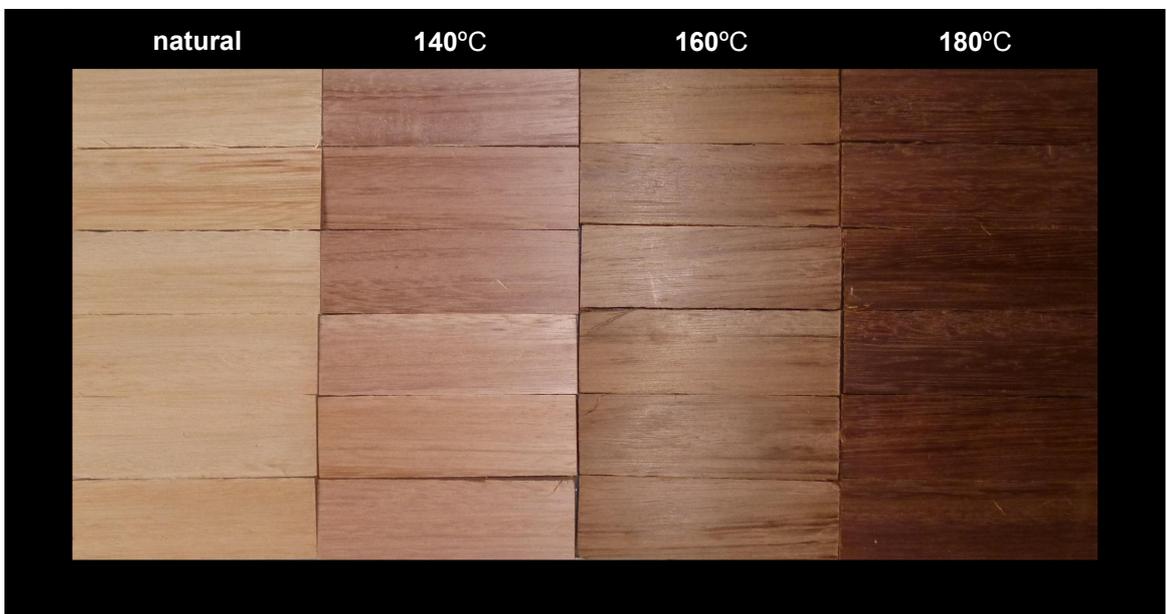


FIGURA 11 – APARÊNCIA DA MADEIRA DE ANTES E APÓS OS TRATAMENTOS TÉRMICOS.

Com base na classificação dos grupos de cores contidos no agrupamento de Cluster (Camargos e Gonçalez, 2001), apresentado na TABELA 13 (ANEXO 1), é

possível identificar as cores correspondente aos grupos de valores dos parâmetros colorimétricos L^* , a^* e b^* obtidos para cada tratamento (TABELA 4).

TABELA 4 – CORES CORRESPONDENTES AOS VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS L^* , a^* e b^* OBTIDOS PARA CADA TRATAMENTO.

| TRATAMENTO | L^* | a^* | b^* | COR |
|------------|-------|-------|-------|----------------------------|
| Natural | 70,44 | 11,04 | 18,70 | Rosa-acinzentado |
| 140°C | 60,92 | 12,58 | 17,12 | Rosa |
| 160°C | 44,92 | 12,34 | 18,60 | Marrom-claro (avermelhado) |
| 180°C | 37,04 | 9,68 | 14,13 | Marrom-escuro |

Com o aumento da temperatura e da duração do tratamento a madeira apresenta coloração mais escura, e valores mais elevados de variação da cor, tendo como referência o seu aspecto natural. Gouveia (2008) observou que a cor da madeira de jequitibá-rosa tratada à 200°C por 2 horas, ficou visualmente semelhante à madeira de ipê.

Estas variações da coloração original da espécie por meio de processos de modificação térmica podem fazer com que este “novo produto” possa ser indicado para substituir, esteticamente, outras espécies madeireiras, que sejam de difícil obtenção ou tenham preços elevados.

4.2 VARIAÇÃO DA COR ENTRE AS REGIÕES E AS FACES DA MADEIRA, ANTES DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C e h^*) correspondentes às leituras feitas nas faces tangencial e radial das três regiões da madeira de *Eucalyptus grandis* são apresentados na TABELA 5. Estes dados representam a média aritmética de 120 leituras sobre a face tangencial e 120 leituras sobre a face radial das seis amostras analisadas, de cada região da tora, antes da aplicação de qualquer tratamento de modificação térmica.

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS E DESVIO-PADRÃO DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS L*, a*, b*, C e h* CONSIDERANDO AS FACES TANGENCIAL E RADIAL DAS TRÊS REGIÕES DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, ANTES DA REALIZAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA.

| | | L* | a* | b* | C | h* |
|------------|--------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Região | | Média | Média | Média | Média | Média |
| TANGENCIAL | A | 70,65ab (1,89) | 10,91a (0,79) | 17,35a (0,73) | 20,51a (0,83) | 57,86a (1,91) |
| | I | 69,29a (3,24) | 11,89b (1,68) | 19,29b (1,03) | 22,69b (1,66) | 58,51a (2,78) |
| | M | 71,96b (2,31) | 9,64c (1,08) | 18,04a (0,53) | 20,47a (0,83) | 61,95b (2,43) |
| | Média | 70,63A | 10,81A | 18,23A | 21,22A | 59,44A |
| RADIAL | A | 68,09a (2,30) | 11,41a (0,87) | 20,08a (1,09) | 23,10a (1,30) | 60,40a (1,29) |
| | I | 70,59b (3,00) | 12,04b (1,64) | 19,27b (0,95) | 22,74a (1,59) | 58,16b (2,67) |
| | M | 72,07c (3,45) | 10,38c (1,82) | 18,15c (0,95) | 20,95b (1,63) | 60,48a (3,45) |
| | Média | 70,25B | 11,28B | 19,16B | 22,26B | 59,68B |

Em que: A – região próxima ao alburno; I – região intermediária; M – região próxima a medula; L* = claridade; a* e b* = coordenadas cromáticas. Para cada plano de corte (tangencial ou radial) os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra não apresentam diferença estatística pelo Teste de Médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Entre as médias os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra são estatisticamente iguais. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão da média.

Observa-se na TABELA 5, que o alto valor da luminosidade, evidente nas três regiões, classifica a madeira como uma espécie de cor clara. Apesar da importante participação da coordenada a* (coloração vermelha) na formação da cor da madeira, a cor amarela, representada pelo parâmetro b*, é determinante para a coloração final da espécie. O ângulo de tinta (h*) (TABELA 5) colabora na definição da cor, pois, devido ao seu alto valor a madeira se aproxima do eixo da coordenada b*, evidenciando a cor rosa-acinzentado, dado principalmente pela forte presença da pigmentação amarela. A coloração da espécie também é classificada como de média saturação (C), de acordo com Camargos, 1999.

Verifica-se ainda que os desvios-padrão, de forma geral, são bem homogêneos, mostrando a uniformidade das amostras.

A TABELA 5 apresenta os maiores valores do parâmetro L*, na face tangencial (71,96) e na face radial (72,07), indicando que a região que apresenta os

valores mais elevados de claridade é a “M”, que equivale à região próxima a medula. Segundo Gonzalez e Macedo (2003), que obtiveram resultado similar com a madeira de *Eucalyptus grandis* em trabalhos realizados na Universidade de Brasília, a presença de células mais jovens, portanto mais curtas, com paredes menos espessas e menos lignificadas contribui para a claridade mais pronunciada desta região.

A coordenada a^* para os dois planos, tangencial e radial, apresentou a tendência de aumento da medula para a casca, sendo que a região intermediária “I” foi a que exibiu os maiores valores de a^* , representando maior pigmentação vermelha. Entre as regiões, considerando os dois planos de corte, os valores de a^* se diferenciaram estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de médias de Tukey.

Observando as médias das leituras referentes à face radial da madeira, nota-se que o parâmetro b^* apresenta valores que aumentam da medula para a casca. Considerando a face tangencial, a região intermediária “I” apresentou a média mais elevada para o parâmetro b^* ($b^* = 19,29$), representando maior concentração da pigmentação amarela para esta região, enquanto os valores médios de b^* para as regiões “A” e “M” não se diferenciaram estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de médias de Tukey. Provavelmente o aumento das coordenadas a^* e b^* para esta região (I) na face tangencial é que resultou na diminuição da claridade em relação às outras regiões.

Observa-se ainda que, no plano de corte radial, os valores dos parâmetros de L^* , a^* e b^* entre as três regiões – A, I e M – apresentam diferenças significativas pelo teste de médias Tukey a 5% de probabilidade. Considerando que os parâmetros L^* , a^* e b^* são os mais importantes e mais decisivos na classificação da cor da amostra, uma vez que os parâmetros C e h^* são obtidos a partir dos valores de a^* e b^* , sugere-se que as três regiões da madeira apresentam cores distintas estatisticamente.

Na TABELA 5 é possível observar que a variável C, para as médias da face radial, diminui da casca para a medula, devido às interferências dos parâmetros a^* e b^* . Isto significa que a cor da região “A” é mais saturada que a da região “M”. Por outro lado, na face tangencial a maior saturação da cor é na região “I”. Isso pode ajudar a entender o menor valor de L^* para esta região nesta face.

A variável h^* (ângulo de tinta), também é derivada dos valores de a^* e b^* , e

apresenta, para todas as regiões e faces, médias mais próximas do eixo b*, caracterizado pela cor amarelo que exerce influência marcante na coloração desta madeira.

Na TABELA 6 são apresentados os valores médios dos parâmetros colorimétricos correspondentes aos planos de corte tangencial e radial de cada região da madeira.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS CONSIDERANDO AS FACES TANGENCIAL E RADIAL DAS TRÊS REGIÕES DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, ANTES DA REALIZAÇÃO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA.

| REGIÃO | DIREÇÃO | L* | a* | b* | C | h* |
|--------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| A | tangencial | 70,65a | 10,91a | 17,35a | 20,51a | 57,86a |
| | radial | 68,09b | 11,41a | 20,08b | 23,10b | 60,40b |
| | Média | 69,37A | 11,16A | 18,72A | 21,81A | 59,13A |
| I | tangencial | 69,29a | 11,89a | 19,29a | 22,69a | 58,51a |
| | radial | 70,59a | 12,04a | 19,27a | 22,74a | 58,16a |
| | Média | 69,94B | 11,97B | 19,28B | 22,72B | 58,34B |
| M | tangencial | 71,96a | 9,64a | 18,04a | 20,47a | 61,95a |
| | radial | 72,07a | 10,38b | 18,15a | 20,95a | 60,48b |
| | Média | 72,02C | 10,01C | 18,10C | 20,71C | 61,22C |

Para cada região os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra não apresentam diferença estatística pelo Teste de Médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Entre as médias os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra são estatisticamente iguais.

Para a região “A”, próxima ao alburno, os valores dos parâmetros L*, b*, C e h*, entre as direções, são estatisticamente diferentes. Analisando os valores dos parâmetros a* e h* da região “M”, verificou-se que existem diferenças significativas entre as duas faces da madeira para esta região.

Por outro lado, observa-se que a região “I”, foi a única em que os valores de todos os parâmetros (L*, a*, b*, C e h*), entre as orientações de corte, não apresentaram diferenças significativas pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Analisando o conjunto dos parâmetros colorimétricos da TABELA 6 verifica-se que a coloração da madeira entre as direções de desdobro (tangencial e radial) não apresentam diferenças estatísticas quanto a claridade (L*), exceto para a região A (alburno). Neste caso esta região é mais clara na direção tangencial.

Na TABELA 7 é possível verificar o valor calculado da diferença de cor entre os dois planos de corte para cada região da madeira.

TABELA 7 – VALORES DA VARIAÇÃO DA COR (ΔE^*) ENTRE AS FACES TANGENCIAL E RADIAL PARA CADA REGIÃO DA MADEIRA.

| REGIÃO | ΔL^* | Δa^* | Δb^* | ΔE^* |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| A | -2,57 | 0,50 | 2,72 | 3,78 |
| I | 1,30 | 0,14 | -0,02 | 1,31 |
| M | 0,11 | 0,74 | 0,12 | 0,76 |

Em que: ΔL^* = variação da luminosidade (variação entre os valores médios de L^* nos planos tangencial e radial); Δa^* e Δb^* = variação das coordenadas cromáticas (variação entre os valores médios de a^* e b^* nos planos tangencial e radial) e ΔE^* = variação total da cor.

De acordo com os critérios da TABELA 1, a variação de cor entre os planos tangencial e radial da região “A” ($\Delta E^* = 3,78$) é classificada como apreciável, sendo desta forma a região que apresentou a maior diferença de cor medida entre as faces da madeira, confirmando as diferenças estatísticas entre as duas direções encontradas na TABELA 6. As variações de cor na região “I” ($\Delta E^* = 1,31$) e na região “M” ($\Delta E^* = 0,76$) são classificadas como ligeiramente perceptível, não sendo detectado pela estatística conforme TABELA 6.

Com base nos valores apresentados nas TABELAS 6 e 7, é possível afirmar que para a obtenção de produtos com coloração homogênea entre os planos de corte, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis*, o emprego da madeira proveniente das regiões intermediária (I) e próxima à medula (M) é mais indicado, por estas demonstrarem comportamento similar dos parâmetros colorimétricos. A região externa (A) apresenta diferenças entre as claridades das direções tangencial e radial, devendo, se possível, separar a madeira desta região para obtenção de maior homogeneidade da cor.

4.3 EFEITO DO PROCESSO DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA COLORIMETRIA ENTRE REGIÕES E FACES DA MADEIRA

Os valores médios dos parâmetros colorimétricos referentes à luminosidade (L^*) e as coordenadas cromáticas (a^* e b^*) das amostras modificadas termicamente estão representados na TABELA 8.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS CONSIDERANDO AS FACES TANGENCIAL E RADIAL DAS TRÊS REGIÕES DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis*, APÓS A APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA.

| TEMPERATURA DO TRATAMENTO | REGIÃO | L* | | a* | | b* | |
|---------------------------|--------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL |
| Natural | A | 70,65ab (1,89) | 68,09a (2,30) | 10,91a (0,79) | 11,41a (0,87) | 17,35a (0,73) | 20,08a (1,09) |
| | I | 69,29a (3,24) | 70,59b (3,00) | 11,89b (1,68) | 12,04b (1,64) | 19,29b (1,03) | 19,27b (0,95) |
| | M | 71,96b (2,31) | 72,07c (3,45) | 9,64c (1,08) | 10,38c (1,82) | 18,04a (0,53) | 18,15c (0,95) |
| | Média | 70,63A | 70,25A | 10,81A | 11,28A | 18,23A | 19,17A |
| 140°C | A | 58,23a (2,11) | 58,66a (1,96) | 13,11a (0,52) | 12,97a (0,68) | 15,20a (0,48) | 16,08a (0,73) |
| | I | 64,23b (3,54) | 66,58b (4,59) | 12,00b (1,80) | 11,18b (1,82) | 17,98b (0,87) | 17,41b (0,96) |
| | M | 58,76a (1,85) | 59,06a (2,11) | 13,34a (0,56) | 12,88a (0,96) | 17,66b (0,54) | 18,42c (0,54) |
| | Média | 60,41B | 61,43B | 12,82B | 12,34B | 16,95B | 17,30B |
| 160°C | A | 41,60a (1,58) | 41,54a (3,11) | 12,08a (0,66) | 12,14a (1,67) | 15,49a (1,10) | 15,31a (2,41) |
| | I | 43,75b (3,04) | 45,59b (1,66) | 12,38a (0,61) | 12,82b (0,35) | 18,03b (2,02) | 19,31b (1,36) |
| | M | 46,90c (2,69) | 50,14c (1,76) | 12,15a (0,45) | 12,49ab (0,34) | 20,92c (1,50) | 22,54c (1,14) |
| | Média | 44,08C | 45,76C | 12,20C | 12,48C | 18,15C | 19,05C |
| 180°C | A | 36,28a (2,54) | 35,79a (1,38) | 9,65a (1,39) | 9,16a (0,81) | 14,10a (2,80) | 12,76a (1,46) |
| | I | 36,61a (6,02) | 38,04b (6,36) | 9,32a (1,77) | 10,16b (1,86) | 13,13b (3,29) | 14,24b 2,82 |
| | M | 37,53a (2,82) | 37,97b (2,19) | 9,83a (0,87) | 9,96b (0,86) | 14,97c (2,01) | 15,55c (2,14) |
| | Média | 36,81C | 37,27D | 9,60D | 9,76D | 14,06D | 14,18D |

Para cada temperatura de tratamento de modificação térmica os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra não apresentam diferença estatística pelo Teste de Médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão da média. Entre as médias os valores em uma coluna seguidos por uma mesma letra são estatisticamente iguais.

Como esperado, todas as regiões e faces da madeira apresentaram alterações em seus parâmetros colorimétricos após a aplicação dos tratamentos de modificação térmica, havendo escurecimento da madeira em relação ao seu estado natural.

Em relação ao estado natural da madeira, as amostras modificadas termicamente apresentaram valores menores para o parâmetro L*, em todas as

regiões, nas faces radial e tangencial. A redução de luminosidade foi maior para as amostras tratadas a 180°C. De maneira geral, é possível observar que a face radial das amostras apresentou valores de L^* superiores aos da face tangencial.

Obtendo resultados semelhantes no estudo do efeito da termorretificação na colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*, Lopes (2010) observou o escurecimento das amostras por meio da redução dos valores do parâmetro L^* (luminosidade). O menor valor da claridade ($L^* = 30,98$) foi observado na face radial, para o tratamento mais severo (temperatura mais elevada e tempo mais prolongado). Já o maior valor da claridade ($L^* = 67,03$) foi verificado para o tratamento de menor temperatura e menor tempo. De modo geral estes resultados são semelhantes aos encontrados neste estudo, onde o menor valor da claridade ($L^* = 35,79$) também foi observado na face radial, na região externa (A), para o tratamento a 180°C e o maior valor de claridade ($L^* = 66,58$) corresponde ao tratamento de menor temperatura e conseqüentemente de menor tempo, 140°C.

Lopes (2010) ainda verificou que a face radial da madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou-se mais clara (valores de L^* mais elevados) em relação à face tangencial. Essa tendência foi observada tanto para os valores das amostras testemunhas como após a aplicação dos tratamentos térmicos. A mesma tendência foi observada neste estudo, como já citado.

Entre os tratamentos, há uma tendência dos valores da coordenada cromática a^* diminuir com o aumento da temperatura para as duas faces (tangencial e radial). Em relação à coordenada b^* , os valores para o tratamento a 180°C são menores que os demais tratamentos. Esta combinação de menores valores de a^* e b^* levaram ao escurecimento mais pronunciado da madeira, provavelmente pela fotodegradação dos compostos fenólicos (Ishiguri et al., 2003) que ocorrem nesta faixa de temperatura.

Entre as regiões (A, I, M), tanto para a coordenada a^* como b^* , os seus valores não mostram tendências lógicas para os tratamentos, sendo necessário considerar o comportamento das coordenadas para cada caso na definição precisa das cores.

Os valores dos parâmetros L^* e a^* entre as regiões "A" e "M" tratadas a 140°C, face tangencial e radial, não apresentam diferenças significativas. A região intermediária "I", tratada a 140°C apresentou comportamento distinto as outras regiões, devido às suas características anatômicas, como a presença de células

mais jovens, que lhe garantem maior luminosidade e estabilidade de cor frente a tratamentos térmicos que utilizam temperaturas inferiores a 150°C. De acordo com Sundqvist (2004) a modificação térmica só provoca alterações significativas de fato na madeira quando a temperatura de tratamento é superior a 150°C. Portanto, a 140°C o tratamento de modificação térmica não foi capaz de proporcionar uma coloração uniforme à madeira.

O tratamento de modificação térmica utilizando temperaturas mais elevadas (160°C e 180°C) foi capaz de amenizar as diferenças de cor entre as regiões e os planos de corte, e proporcionar maior uniformidade de cor para a madeira tratada.

De acordo com os valores exibidos na TABELA 8, entre as três regiões da madeira tratadas a 180°C, plano tangencial, os valores dos parâmetros L* e a* são estatisticamente iguais a 5% de probabilidade de erro pelo teste de médias de Tukey, comprovando a influência da temperatura do tratamento de modificação térmica na homogeneidade da cor entre as regiões da madeira. Acima de 150°C, conforme já citado, os efeitos dos tratamentos térmicos sobre as características iniciais da madeira são maiores e mais uniformes, praticamente eliminando a diferença de coloração na direção medula casca da madeira, proporcionando um material com aspecto mais homogêneo.

Na TABELA 9 são apresentadas as variações ocorridas nos valores dos parâmetros colorimétricos da madeira e a variação total da cor após a aplicação dos tratamentos de modificação térmica, em relação ao estado natural da madeira.

TABELA 9 – VARIAÇÕES OCORRIDAS ENTRE OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* APÓS A APLICAÇÃO DOS TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM RELAÇÃO AO ESTADO NATURAL DA MADEIRA.

| TRATAMENTO | REGIÃO | ΔL^* | | Δa^* | | Δb^* | | ΔE^* | |
|------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL |
| 140°C | A | -12,42 | -9,43 | 2,20 | 1,56 | -2,15 | -4,00 | 12,80 | 10,36 |
| | I | -5,06 | -4,01 | 0,11 | -0,86 | -1,31 | -1,86 | 5,23 | 4,50 |
| | M | -13,20 | -13,01 | 3,70 | 2,50 | -0,38 | 0,27 | 13,71 | 13,25 |
| 160°C | A | -29,05 | -26,55 | 1,17 | 0,73 | -1,86 | -4,77 | 29,13 | 26,98 |
| | I | -25,54 | -25,00 | 0,49 | 0,78 | -1,26 | 0,04 | 25,58 | 25,01 |
| | M | -25,06 | -21,93 | 2,51 | 2,11 | 2,88 | 4,39 | 25,35 | 22,46 |
| 180°C | A | -34,37 | -32,30 | -1,26 | -2,25 | -3,25 | -7,32 | 34,55 | 33,20 |
| | I | -32,68 | -32,55 | -2,57 | -1,88 | -6,16 | -5,03 | 33,35 | 32,99 |
| | M | -34,43 | -34,10 | 0,19 | -0,42 | -3,07 | -2,60 | 34,57 | 34,20 |

A variação nos valores de L^* obedeceu ao padrão relatado na literatura (Gouveia, 2008; Esteves et al., 2008; Lopes, 2010), ou seja, quanto maior o tempo de exposição ou quanto maior a temperatura empregada por um tratamento térmico, maior será a degradação provocada. Neste caso, à medida que os tratamentos tornaram-se mais agressivos as amostras das três regiões ficaram mais escuras, resultando em um ΔL^* negativo.

A mudança total de cor das amostras ocorreu, sobretudo, pela perda da luminosidade, que foi mais significativa que a alteração dos valores dos outros parâmetros. No entanto, as variações em ΔL^* são consequência das alterações ocorridas com Δa^* e Δb^* .

É possível verificar na TABELA 9, que a grande maioria dos valores foram positivos para Δa^* e negativos para Δb^* nos tratamentos a 140°C e a 160°C, ocorrendo uma fase de aumento da coloração vermelha e diminuição da coloração amarela, o que indica a formação dominante de cromóforos vermelhos, principais responsáveis pela cor rosada das amostras submetidas a estes tratamentos. Entre os dois tratamentos, verifica-se ainda que a 160°C os valores de ΔE^* são mais altos, evidenciando a coloração mais escura explicada principalmente pelos valores mais elevados de ΔL^* , negativo para este tratamento. Por outro lado, a perda da pigmentação vermelha é evidenciada pelos valores negativos das amostras submetidas ao tratamento a 180°C, indicando coloração marrom-escura para essas superfícies.

Ao observar a variação total da cor (ΔE^*) das superfícies tratadas, é possível verificar que quando aquecidas a 180°C, a face tangencial das amostras apresenta as maiores alterações de cor. A região “M” foi a que apresentou o maior valor de variação ($\Delta E^* = 34,57$). Porém, nota-se, por meio dos valores de ΔE^* , que a 180°C as variações de cor entre as regiões são muito próximas, evidenciando homogeneidade na coloração final da madeira.

A madeira submetida à modificação térmica, dependendo da temperatura e do tempo de tratamento, apresenta grandes alterações de suas propriedades a ponto de se tornar um “novo” material, como sugeriu Sundquist (2004). Confirmando esta teoria, a madeira pesquisada mostrou ser, ao final do tratamento a 180°C, um material de coloração mais estável e de cor completamente diferente do seu estado natural.

Ainda de acordo com Sundquist (2004) a modificação térmica da madeira ocorre a um intervalo de temperatura de 150-250°C. Por este motivo, a madeira tratada a 140°C apresentou valores de ΔE^* com grandes variações entre as regiões. Certamente, os constituintes anatômicos e químicos presentes em cada uma destas regiões (A, I, M), contribuíram para a instabilidade de cor.

De acordo com os critérios da TABELA 1, as variações de cor da madeira da região “I” tratada a 140°C, $\Delta E^* = 5,23$ e $\Delta E^* = 4,50$, planos tangencial e radial respectivamente, são classificadas como apreciáveis, a variação de cor da madeira da região “A” tratada a 140°C, plano radial, $\Delta E^* = 10,36$ é classificada como muito apreciável e todas as outras variações apresentadas na TABELA 9 estão acima do último intervalo de classificação, mostrando a influência de temperaturas mais elevadas na “formação” de um “novo” produto em termos de coloração.

A TABELA 10 mostra as variações em porcentagem dos parâmetros colorimétricos das amostras após o tratamento de modificação térmica, em relação a madeira em seu estado natural.

TABELA 10 – VARIAÇÕES EM PORCENTAGEM DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* APÓS A APLICAÇÃO DOS TRÊS TRATAMENTOS DE MODIFICAÇÃO TÉRMICA EM RELAÇÃO AO ESTADO NATURAL DA MADEIRA.

| TRATAMENTO | REGIÃO | ΔL^* (%) | | Δa^* (%) | | Δb^* (%) | |
|------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| | | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL | TANG | RADIAL |
| 140°C | A | -17,58 | -13,85 | 20,16 | 13,67 | -12,39 | -19,92 |
| | I | -7,30 | -5,68 | 0,93 | -7,14 | -6,79 | -9,65 |
| | M | -18,34 | -18,05 | 38,38 | 24,08 | -2,11 | 1,49 |
| 160°C | A | -41,12 | -38,99 | 10,72 | 6,40 | -10,72 | -23,75 |
| | I | -36,86 | -35,42 | 4,12 | 6,48 | -6,53 | 0,21 |
| | M | -34,82 | -30,43 | 26,04 | 20,33 | 15,96 | 24,19 |
| 180°C | A | -48,65 | -47,44 | -11,55 | -19,72 | -18,73 | -36,45 |
| | I | -47,16 | -46,11 | -21,61 | -15,61 | -31,93 | -26,10 |
| | M | -47,85 | -47,32 | 1,97 | -4,05 | -17,02 | -14,33 |

A luminosidade da madeira modificada termicamente decresce gradativamente com o aumento da temperatura.

A redução máxima de luminosidade (48,65%) foi obtida após o tratamento a 180°C no plano tangencial, na região próxima ao alburno (A). Resultados similares foram apresentados por Esteves et al. (2008) com *Eucalyptus globulus*, onde foi

verificado o decréscimo de 55,6% de luminosidade no plano tangencial após tratamento a 180°C, durante 24 horas.

É importante lembrar que os resultados encontrados na literatura são descritos com o objetivo de fazer uma simples comparação, pois se deve levar em conta que muitos fatores interferem no desenvolvimento do tratamento de modificação térmica, como a relação tempo-temperatura, aquecimento inicial, resfriamento, espécie, entre outros. Além das condições utilizadas durante os tratamentos, o equipamento usado para a medição dos valores dos parâmetros colorimétricos e as condições do ensaio podem contribuir para a obtenção de valores de cor distintos para uma mesma espécie.

Após modificação térmica a redução mais suave de luminosidade ocorreu a 140°C na face radial da madeira proveniente da região intermediária, e foi de apenas 5,68%. A região intermediária demonstrou por meio dos valores de L* ser mais resistente ao escurecimento após aplicação deste tratamento térmico.

A redução de luminosidade foi, para todos os casos analisados, maior no plano tangencial. Independentemente da região ou da temperatura de tratamento aplicada sobre a madeira, esta face foi a que apresentou maior perda de claridade. Esteves et al. (2008) também observaram que o plano tangencial da madeira de *Eucalyptus globulus* superou os planos radial e transversal no decréscimo de luminosidade. Comportamento similar a este, na madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente, foi observado por Lopes (2010) e Cademartori et al. (2012), que verificaram que a face radial foi menos susceptível ao escurecimento que a face tangencial, devido aos maiores valores do parâmetro L*. Segundo Moreschi (2005), a face radial é sempre a mais reluzente, por efeito de faixas horizontais do tecido que formam os raios da madeira. Para Nishino et al. (2000), as diferenças de cor entre as faces radial e tangencial podem ser atribuídas às características anatômicas como arranjo das células, raios largos e grã espiralada.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS AMOSTRAS MODIFICADAS TERMICAMENTE E DE ESPÉCIES TRADICIONAIS.

Na TABELA 11 são apresentados os valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida aos três tratamentos de

modificação térmica, e de outras espécies conhecidas na literatura, tomadas como referências: Muirapiranga (*Brosimum rubescens*), Ipê (*Tabebuia serratifolia*), Mogno (*Swietenia macrophylla*) e Pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum*), citados por Autran e Gonzalez (2006); Fava-amargosa (*Vataireopsis speciosa*), Jequitibá-rosa (*Cariniana micrantha*), Peroba-d'água (*Rauwolfia parensis*), Peroba-mico (*Aspidosperma macrocarpum*), citados por Gonzalez et al. (2001); Andira (*Andira* sp), Andiroba (*Carapa guianensis*), Sucupira-preta (*Diplotropis purpurea*), Acapu (*Vouacapoua americana*), citados por Nishino et al. (1998). Os valores são referentes à face tangencial das madeiras.

TABELA 11 – VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* MODIFICADA TERMICAMENTE COMPARADOS COM OUTRAS ESPÉCIES.

| | L* | a* | b* | C | h* | COR ¹ |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|
| Eucalipto natural | 70,63 | 10,81 | 18,23 | 21,22 | 59,44 | Rosa-acinzentado |
| Eucalipto 140°C | 60,41 | 12,82 | 16,95 | 21,29 | 52,86 | Rosa |
| Eucalipto 160°C | 44,08 | 12,20 | 18,15 | 21,91 | 55,71 | Marrom-claro (avermelhado) |
| Eucalipto 180°C | 36,81 | 9,60 | 14,07 | 17,04 | 55,36 | Marrom-escuro |
| Muirapiranga | 42,39 | 22,02 | 15,56 | 26,99 | 35,10 | Vermelho |
| Ipê | 39,00 | 10,00 | 16,00 | 18,90 | 58,00 | Marrom-escuro |
| Mogno | 55,48 | 19,23 | 29,41 | 35,20 | 56,64 | Amarelo-amarronzado |
| Hevea | 77,55 | 6,56 | 19,61 | 20,74 | 71,74 | Branco |
| Pau-marfim | 84,10 | 3,30 | 21,80 | 22,10 | 81,40 | Branco-acinzentado |
| Fava-amargosa | 56,20 | 15,26 | 31,45 | 34,96 | 64,12 | Amarelo-alaranjado |
| Jequitibá-rosa | 55,45 | 13,00 | 18,37 | 22,50 | 54,71 | Rosa |
| Peroba-d'água | 69,49 | 10,81 | 27,94 | 29,96 | 68,85 | Marrom-oliva |
| Peroba-mico | 58,73 | 14,64 | 34,30 | 37,29 | 66,89 | Amarelo-alaranjado |
| Andira | 40,51 | 12,89 | 15,16 | 19,90 | 49,63 | Marrom-escuro |
| Andiroba | 44,04 | 15,09 | 20,02 | 25,07 | 53,00 | Marrom-avermelhado |
| Sucupira-preta | 36,17 | 8,10 | 12,64 | 15,01 | 57,36 | Marrom-escuro |
| Acapu | 36,69 | 9,79 | 13,87 | 16,98 | 54,77 | Marrom-escuro |

¹A classificação das cores das espécies foi feita com base na TABELA 13 (ANEXO 1).

A madeira de *Eucalyptus grandis* modificada termicamente à temperatura de 140°C é classificada como uma madeira de coloração clara, segundo Camargos e Gonzalez (2001), pois apresenta valor de L* superior a 54. Comparando com os valores de outras espécies madeireiras (TABELA 11), verifica-se que esta madeira tem uma maior proximidade com o jequitibá-rosa, que também exibiu valor de L* superior a 54. O valor da pigmentação vermelha (coordenada a*) dessas duas

madeiras é muito similar, 13,00 para jequitibá-rosa e 12,82 para o eucalipto a 140°C. Os outros parâmetros também indicam proximidade, para a pigmentação amarela (b^*) entre 16 e 18, saturação (C) entre 21 e 22 e ângulo de tinta entre 52 e 54, o que pode classificar a cor destas madeiras como sendo rosa de acordo com a classificação dos grupos de cores contidos no agrupamento de Cluster (Camargos e Gonzalez, 2001), conforme apresentado na TABELA 13 (ANEXO 1).

Comparando os valores dos parâmetros colorimétricos do eucalipto tratado a 160°C com os valores da madeira de andiroba é possível observar grande semelhança. O valor de L^* para ambas é de 44, o que indica que apresentam o mesmo nível de claridade. Para a pigmentação vermelha, as espécies têm valores entre 12 e 15, pigmentação amarela entre 18 e 20, saturação entre 21 e 25 e ângulo de tinta entre 53 e 55. Entre os intervalos das variáveis cromáticas, nos grupos de cores de Camargos e Gonzalez (2001), essas madeiras correspondem melhor ao agrupamento de Cluster 25, que classificada a cor das madeiras como marrom-avermelhado.

Analisando os valores médios dos parâmetros de cor da madeira de eucalipto tratada a 180°C, verifica-se que sua baixa luminosidade ($L^* = 36,81$) a classifica como uma madeira de coloração escura, com a claridade bem inferior a 54. Os valores de cor das espécies ipê, sucupira-preta e acapu, utilizados para comparação, são bastante próximos aos valores de cor do eucalipto a 180°C. Observa-se maior semelhança de cor desta madeira modificada termicamente com a madeira de acapu. Ambas apresentam valor de claridade igual a 36, coordenada a^* igual a 9, coordenada b^* entre 13 e 14, saturação (C) entre 16 e 17 e ângulo de tinta entre 54 e 55. Na classificação das cores de madeiras tropicais brasileiras de Camargos e Gonzalez (2001), essas espécies de coloração escura, anteriormente citadas, se enquadram melhor no grupo Cluster 3, que classifica a cor das madeiras como marrom-escuro.

Ao considerar que quanto menor for o valor da variação total da cor da madeira (ΔE^*) maior será a semelhança entre as cores observadas, a percepção da alteração da cor pode variar de desprezível, para colorações iguais ou muito parecidas, a muito apreciável para colorações distintas, conforme classificação estabelecida na TABELA 1. A variação total da cor (ΔE^*), apresentada na TABELA 12, foi utilizada para comparar e verificar o nível de proximidade da coloração das

espécies conhecidas com a madeira de eucalipto submetida a três temperaturas de tratamento, tomadas como referência.

TABELA 12 – VALORES DA VARIAÇÃO TOTAL DA COR ENTRE AS ESPÉCIES TOMADAS PARA COMPARAÇÃO E A MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* MODIFICADA TERMICAMENTE.

| | ΔE^* | | |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | EUCALIPTO 140°C | EUCALIPTO 160°C | EUCALIPTO 180°C |
| Muirapiranga | 20,28 | 10,29 | 13,70 |
| Ipê | 21,61 | 5,94 | 2,95 |
| Mogno | 14,86 | 17,50 | 26,02 |
| Hevea | 18,44 | 33,97 | 41,23 |
| Pau-marfim | 25,99 | 41,16 | 48,33 |
| Fava-amargosa | 15,30 | 18,25 | 26,65 |
| Jequitibá-rosa | 5,16 | 11,40 | 19,43 |
| Peroba-d'água | 14,40 | 27,26 | 35,53 |
| Peroba-mico | 17,53 | 21,94 | 30,26 |
| Andira | 19,98 | 5,48 | 5,07 |
| Andiroba | 16,81 | 3,44 | 10,86 |
| Sucupira-preta | 25,06 | 10,48 | 2,17 |
| Acapu | 24,11 | 8,88 | 0,30 |

Observa-se (TABELA 12) que a madeira de eucalipto tratada a 140°C apresenta menor valor de variação total da cor (ΔE^*) quando comparada aos valores dos parâmetros colorimétricos da madeira de jequitibá-rosa. A diferença de cor entre essas duas madeiras é de 5,16, que de acordo com os critérios da TABELA 1 é classificada como apreciável. Apesar de a diferença ser apreciável, a representação visual das duas cores (FIGURA 12) as exibe bastantes semelhantes para o observador, porém nota-se visualmente uma maior claridade para a cor correspondente a madeira de eucalipto a 140°C.

A classificação da diferença de cor entre a madeira de eucalipto tratada a 160°C e a madeira de andiroba também é apreciável, com ΔE^* igual a 3,44, menor valor obtido entre as espécies comparadas. Ao observar a FIGURA 12 a coloração da madeira de andiroba parece ser mais clara que a madeira de eucalipto a 160°C. Apesar de ambas apresentarem o mesmo valor para o parâmetro L^* , a madeira de andiroba apresenta médias mais altas para a pigmentação amarela e para a

saturação, o que pode explicar a sensação visual de maior claridade quando comparada à madeira de eucalipto a 160°C.

Na última coluna da TABELA 12 a madeira de referência é o eucalipto tratado a 180°C e os menores valores de variação total da cor foram verificados entre esta madeira e as madeiras de andira, ipê, sucupira-preta e acapu. A diferença de cor entre o eucalipto tratado a 180°C e a madeira de andira foi de 5,07, classificada como apreciável. A classificação foi de notável para duas diferenças de coloração entre a madeira modificada termicamente a 180°C e a madeira de ipê ($\Delta E^* = 2,95$); e a madeira de sucupira-preta ($\Delta E^* = 2,17$). Porém, foi quando comparada a madeira de acapu que a madeira de eucalipto tratada a 180°C obteve menor valor para a diferença de cor, ΔE^* igual a 0,30, classificando essa diferença como desprezível de acordo com a TABELA 1. Na FIGURA 12 é possível observar a semelhança entre a representação das cores da madeira de eucalipto tratada a 180°C e da madeira de sucupira-preta.



*As representações das cores das madeiras foram geradas a partir do website EasyRGB utilizando os valores dos parâmetros colorimétricos apresentados na TABELA 11.

FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO VISUAL DA COR DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* MODIFICADA TERMICAMENTE E ESPÉCIES TOMADAS PARA COMPARAÇÃO.
FONTE: EasyRGB.

As imagens apresentadas na primeira coluna da FIGURA 13 são de algumas das amostras do estudo da madeira de eucalipto modificada termicamente. Na

segunda coluna, imagens de espécies comparadas as da primeira coluna que podem ser relacionadas por meio da cor.



FIGURA 13 – COMPARAÇÃO VISUAL ENTRE O ASPECTO DA MADEIRA MODIFICADA TERMICAMENTE E DAS ESPÉCIES TOMADAS COMO REFERÊNCIA.

A comparação visual entre a superfície das madeiras (FIGURA 13) serve para ilustrar a possível valorização que a madeira termicamente modificada de eucalipto pode ter por meio da alteração de sua cor. Verifica-se também que o visual da madeira pode satisfazer tendências de moda de cores de madeira usadas para a fabricação de móveis, assoalhos, decoração, entre outros.

A partir da comparação apresentada na FIGURA 13 é possível inferir que a madeira modificada termicamente pode ser uma alternativa favorável para agregar valor a espécies pouco atrativas esteticamente, mas com boas propriedades tecnológicas, substituir espécies que tenham preço elevado ou de difícil obtenção e preservar outras que já foram muito exploradas.

É importante ressaltar que as madeiras tratadas pelo processo de modificação térmica VAP HolzSysteme[®] apresentaram comprometimento de suas propriedades mecânicas, segundo Batista (2012), e não são recomendadas para fins estruturais. Portanto, outros estudos considerando as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* tratada termicamente deverão ser realizados para averiguar o comportamento destas propriedades.

5 CONCLUSÕES

As temperaturas dos tratamentos de modificação térmica VAP HolzSysteme® provocaram alterações muito apreciáveis à coloração da madeira de *Eucalyptus grandis*. Após a aplicação dos tratamentos a 140°C, 160°C e 180°C todas as amostras escureceram e apresentaram três padrões de cor distintos, correspondentes a cada temperatura.

Antes da modificação térmica, em condições naturais, a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou diferenças significativas de coloração entre as regiões e entre as faces tangencial e radial;

- As regiões apresentaram cores distintas estatisticamente, no plano radial;
- A região mais clara foi a “M” devido aos valores mais elevados de luminosidade (L^*);
- A variação de cor entre os planos de corte é apreciável para a região “A” e ligeiramente perceptível para a região “I” e “M”.

Após a modificação térmica, as diferenças de cor entre as regiões e entre os planos de corte da madeira de *Eucalyptus grandis* foram amenizadas;

- A madeira tratada a temperaturas mais altas apresentou coloração mais homogênea entre as regiões e as faces. A 160°C e 180°C a cor da madeira se tornou mais uniforme;
- Apesar do tratamento de modificação térmica conferir à madeira uma coloração mais uniforme, a face radial, mesmo após o tratamento, apresentou-se ligeiramente mais clara do que a face tangencial devido principalmente às características anatômicas;
- A temperatura de tratamento de 140°C não foi suficiente para reduzir as diferenças colorimétricas iniciais dentro da madeira;
- A luminosidade da madeira modificada termicamente decresceu gradativamente com o aumento da temperatura.

A madeira de eucalipto tratada a 140°C apresentou valores para os parâmetros colorimétricos semelhantes aos da madeira de jequitibá-rosa.

A madeira de eucalipto tratada a 160°C obteve valores para os parâmetros de cor muito semelhantes aos da madeira de andiroba.

A madeira de eucalipto tratada a 180°C apresentou valores para os parâmetros colorimétricos muito próximos aos da madeira de acapu, sucupira-preta, ipê e andira.

RECOMENDAÇÕES

Para a continuação deste estudo sugere-se a determinação dos constituintes químicos da madeira, para cada região, com a finalidade de encontrar “elementos” que ajudem a compreender a variação colorimétrica entre diferentes regiões e fazer conjecturas com a aplicação de temperaturas.

Recomenda-se também o estudo das propriedades físicas e mecânicas, assim como dos elementos anatômicos, de cada região da madeira, relacionando com a colorimetria.

Novos trabalhos devem buscar processos de modificação térmica que utilizem temperaturas mais elevadas ou com maior tempo de exposição, com o objetivo de diminuir as diferenças de coloração dentro da madeira e que garantam uma maior homogeneidade de cor ao produto final.

Para obter uma melhor equivalência de cor entre espécies tradicionais e espécies modificadas termicamente, recomenda-se o estudo do controle dos níveis de coloração gerados por tratamentos térmicos aplicados na madeira.

Recomenda-se a realização de ensaios de fotodegradação para a análise da resistência à radiação ultravioleta da madeira de eucalipto modificada termicamente, e a aplicação de produtos de acabamento em sua superfície para a verificação das variações de cor em relação ao estado natural da madeira.

Para avaliar o comportamento do mercado e a viabilidade de utilização e aceitação de espécies modificadas termicamente, com o mesmo padrão de cor de espécies tropicais, deve-se realizar um estudo de mercado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. O. **Propriedades de madeiras termorretificadas**. Viçosa, 93f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, M.G., 2010.

ARRUDA, L. M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

AUTRAN, C.S.; GONÇALEZ, J.C. **Caracterização colorimétrica das madeiras de muirapiranga (*Brosimum rubescens* Taub.) e de seringueira (*Hevea brasiliensis*, clone Tjir 16 Müll Arg.) visando à utilização em interiores**. Ciência Florestal, Santa Maria, v.16, n.4, p.445-451, 2006.

BARRETO, C. C. K.; PASTORE, T. C. M. **Resistência ao intemperismo artificial de quatro madeiras tropicais: o efeito dos extrativos**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 23-30, mar. 2009.

BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme®**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

BERTOLINI, C. **Sistema para medição de cores utilizando espectrofotômetro**. Blumenau, 96f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Universidade Regional de Blumenau, S.C., 2010.

BRITO, O. T., GARCIA, J. N., JUNIOR, G. B., PESSOA, A. M. DAS C., SILVA, P. H. M. **Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação**. Revista Cerne, Lavras, M.G., v.12,n.2, p.182-188. 2006.

CADEMARTORI, P. H. G., SCHNEID, E., GATTOM D. A., STANGERLIN, D. M., BELTRAMEM R. **Thermal modification of *Eucalyptus grandis* wood: variation of colorimetric parameters**. Maderas, Ciencia y tecnología, Concepción, 2012. Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-221X2013005000005&script=sci_arttext. Acesso em 26/01/2013.

CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. 1999. 99 f.. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

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

CASTRO, J. S. **Madeira de eucalipto tendências e usos**. In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDÊNCIAS E USOS, 2001. Universidade Federal de Viçosa, p. 29-30, 2001.

COSTA, A.F. **Utilização de interações entre produtos químicos preservantes no desenvolvimento de formulações para a prevenção de fungos manchadores e emboloradores na madeira**. Curitiba, 103f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

COSTA, M. A. **Avaliação de metodologias alternativas para caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras**. Brasília, 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

EasyRGB. Color Calculator. Disponível em:
<http://www.easyrgb.com/index.php?X=CALC>. Acesso em: 26/01/2013.

ESTEVES, B.; MARQUES, A. V.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. **Heat-Induced colour changes of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood**. Wood Science and Technology, v. 42, n. 5, p. 369-384, 2008.

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

FERNANDES, A. C. **Protótipo de visualização para modelos de cor para medição de objetos em espectrofotômetros por reflectância**. Blumenau, 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2002.

GONÇALEZ, J.C. **Caracterisation technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Nancy, 1993. 446f. : il. Thèse (Doctorat) – Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

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.

GONÇALEZ, J.C.; BRENDA, L.C.S.; BARROSM J.F.M.; MACEDO, D.G.; JANIN, G.; COSTA, A.F; VALE, A.T. **Características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F.Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, dez. 2006.

GONÇALVES, J.C.; MACEDO, D.G. **Colorimetria aplicada à madeira de eucalipto.** In: SILVA, J.C.; GOMES, J.M. (Eds.) II Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto. Belo Horizonte. p.81-95, 2003.

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

HOLDSCHIP, R. **A influência dos sistemas de gerenciamento de cores em provas digitais.** Bauru, 123f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

ISHIGURI, F.; MARUYAMA, S.; TAKAHASHI, K.; ABE, Z.; YOKOTA, S.; ANDOH, M.; YOSHIZAWA, N. **Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Cryptomeria japonica*) by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure.** J. Wood Sci., v. 49 (2):135-139. Japão, 2003.

ITG. **Glossário sobre cor e colorimetria,** 2006. Disponível em: http://www.itgcom.com/cor_colorimetria.html. Acesso em: 10/08/2012.

KONICA MINOLTA. 2007. **Precise color communication: Color control from perception to instrumentation.** Konica Minolta Sensing Inc., Japan.

LAVISCI, P.; JANIN, G.; UZIELLI, L. **Qualité du bois de six essences du maquis méditerranéen.** Forêt Méditerranéenne, Marseille, t. XI, n°1, julho 1989.

LEÃO, A.C.; ARAÚJO, A. de A; SOUZA, L.A.C. **Implementação de sistema de gerenciamento de cores para imagens digitais.** Editora PUC-Minas, Poços de Caldas, MG, Brasil, cap. 3, p. 61-96. 2005.

LOPES, J. **Colorimetria da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. Rio de Janeiro, . Monografia de Graduação (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2010.

MITSUI, K. **Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. Part 2. Effect of light-irradiation time and wavelength**. Holz Roh Werkst. p. 62:23-30. 2004.

MODES, K., S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis***. 2010. 9 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Manual didático, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, Curitiba, 169p., 2005.

MORI, C. L. S. O, LIMA, J. T., MORI, F. A., TRUGILHO, P. F., GONÇALEZ, J. C. **Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp.** Revista Cerne. Lavras-MG: Universidade Federal de Lavras. v. 11, n.2, p.137-146, 2005.

MORI, C. L. S. O, MORI, F. A., LIMA, J. T., TRUGILHO, F., OLIVEIRA, A. C. **Características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos**. Ciência Florestal. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria. v. 14, n.2, p.123-132, 2004.

MUÑIZ, G. I. B. **Fatores que limitam a utilização da madeira de *Eucalyptus***. In: SEMINARIO SOLIDOS DE EUCALIPTO, Lavras, 2002. Avanços Científicos e Tecnológicos. Lavras: UFLA, p. 30-63, 2002.

NISHINO, Y., JANIN, G., CHANSON, B., DÉTIENNE, P., GRIL, J., THIBAUT, B., (1998) **Colorimetry of wood specimens from French Guiana**. Journal of Wood Science 44(1):3-8, 1998.

NISHINO, Y., JANIN, G., YAMADA, Y., KITANO, D. 2000. **Relations between the colorimetric values and densities of sapwood**. *Journal of Wood Science* 46(4):267-272, 2000.

OYARCE, C. D. B., **Modification of wood color via electroheating technology**. Thesis (Degree of Masters of Science with a Major in Forest Products) - College of Natural Resources, University of Idaho, 2006.

PASTORE, T.C.M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias Raman (FTRaman), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L*a*b*)**. 2004. 117f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PONCE, R. H. **Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA 1995, São Paulo, IPT, IPEF. p.50-58. São Paulo. Anais. 1995,

RAPPOLD, P.M.; SMITH, W.B. **An investigation of the relationships between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber**. Forest Products Journal. v.54. n.12. p.178 – 184. Dez. 2004.

RÉGULA, L. M. **Padrões virtuais e tolerâncias colorimétricas no controle instrumental das cores**. 2004. 135 f. Dissertação (mestrado em Metrologia) – Curso de pós-graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, 2004.

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

SILVA, J. O., PASTORE, T.C.M., PASTORE JR, F. **Resistência natural ao intemperismo artificial e proteção de cinco madeiras tropicais**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17 , n. 1 e 2 , p. 17-23 , 2007.

STAMM, A. J., BURR, H. K., KLINE, A. **Staybwood...Heat-Stabilized Wood**. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 38, n. 6, p. 630-634, 1946.

SUNDQVIST, B. **Color Changes and Acid Formation in Wood During Heating**. 2004. 154 f. Thesis (Doctoral) - Division of Wood Material Science, Lulea University of Technology, Skellefteå, Sweden, 2004.

ANEXOS

TABELA 13 – GRUPOS DE CORES OBTIDOS NO AGRUPAMENTO DE CLUSTER USANDO AS VARIÁVEIS CROMÁTICAS L, a*, b* e h.

| GRUPO CLUSTER | COR | INTERVALOS DAS VARIÁVEIS CROMÁTICAS | | | | |
|------------------|---------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | L | a* | b* | C | h |
| 01 | Amarelo-oliva | 64-64 | 06-06 | 46-46 | 47-47 | 82-82 |
| 02 | Branco | 69-80 | 04-08 | 19-27 | 21-28 | 71-79 |
| 03 | Marrom-escuro | 38-51 | 06-11 | 10-16 | 12-19 | 50-61 |
| 04 | Rosa | 55-68 | 11-27 | 18-27 | 23-30 | 53-64 |
| 05 | Amarelo-claro | 65-76 | 07-11 | 26-37 | 28-38 | 71-77 |
| 06 | Roxo | 36-39 | 12-07 | 03-07 | 12-16 | 14-29 |
| 07 | Preto-avermelhado | 28-35 | 04-08 | 03-06 | 05-10 | 35-44 |
| 08 | Marrom-arroxeadado | 29-44 | 08-11 | 08-12 | 11-16 | 34-52 |
| 09 | Oliva | 40-55 | 05-10 | 12-22 | 13-24 | 60-71 |
| 10 | Oliva-claro | 70-73 | 01-04 | 22-26 | 22-27 | 81-87 |
| 11 | Branco-acinzentado | 74-86 | 03-06 | 16-25 | 17-26 | 74-83 |
| 12 | Marrom-escuro | 35-51 | 11-16 | 13-18 | 17-23 | 43-55 |
| 13 | Marrom-oliva | 48-71 | 09-13 | 22-30 | 25-32 | 64-72 |
| 14 | Preto | 26-36 | 01-06 | 02-08 | 03-09 | 49-64 |
| 15 | Vermelho-escuro | 35-38 | 17-21 | 13-15 | 21-26 | 33-38 |
| 16 | Cinza-rosado | 61-76 | 04-08 | 13-20 | 14-21 | 67-76 |
| 17 | Vermelho | 37-52 | 17-24 | 16-23 | 24-31 | 39-52 |
| 18 | Oliva-amarelado | 51-69 | 06-09 | 20-27 | 21-28 | 69-76 |
| 19 | Laranja-amarelado | 53-54 | 24-27 | 34-38 | 42-46 | 54-55 |
| 20 | Amarelo-alaranjado | 49-66 | 12-19 | 31-36 | 33-40 | 61-67 |
| 21 | Marrom-claro | 45-61 | 10-13 | 16-25 | 19-28 | 54-66 |
| 22 | Rosa-acinzentado | 55-71 | 07-11 | 14-22 | 16-25 | 59-68 |
| 23 | Amarelo-amarronzado | 45-61 | 12-19 | 23-30 | 27-34 | 52-65 |
| 24 | Amarelo | 73-76 | 04-07 | 38-42 | 39-42 | 81-84 |
| 25 | Marrom-avermelhado | 39-57 | 13-17 | 18-23 | 23-29 | 50-58 |

FONTE: Camargos e Gonzalez, 2001.