

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

REINALDO CALÇADA GUINA LUÍS

PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO NA HOMOGENEIZAÇÃO DA COR DA
MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* Smith E SEU EFEITO NAS
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

CURITIBA

2014

REINALDO CALÇADA GUINA LUÍS

**PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO NA HOMOGENEIZAÇÃO DA COR DA
MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* Smith E SEU EFEITO NAS
PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Florestal no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Co-orientador: Prof. Dr. Márcio P. Rocha
Prof. Dra. Silvana Nisgoski

CURITIBA

2014

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

Luís, Reinaldo Calçada Guina

Processo de vaporização na homogeneização da cor da madeira de *Eucalyptus saligna Smith* e seu efeito nas propriedades tecnológicas / Reinaldo Calçada Guina Luís - 2014.

91f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Co-orientadores: Prof. Dr. Márcio Pereira da Roha

Prof^a. Dr^a. Silvana Nisgoski

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

Defesa: Curitiba, 24/02/2014.

Inclui bibliografia

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Eucalipto – Aplicação industrial. 2. Madeira - Comércio. 3. Madeira - Secagem. 4. Teses. I. Klitzke, Ricardo Jorge. II. Rocha, Márcio Pereira da. III. Nisgoski, Silvana. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. V. Título.

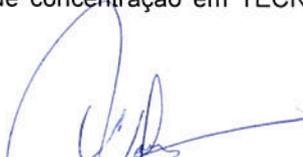
CDD – 634.9
CDU – 634.0.841.2

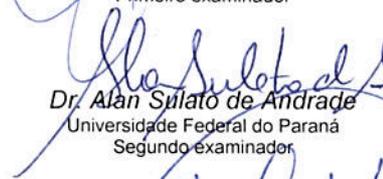


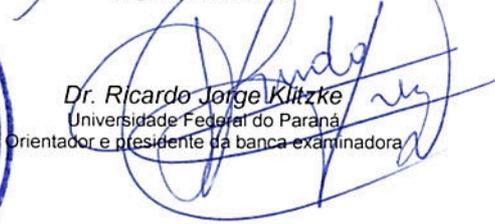
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa nº. 1023

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) *Reinaldo Calçada Guina Luís* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO NA HOMOGENIZAÇÃO DA COR DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* Smith E SEU EFEITO NAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS**", 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. João Vicente de Figueiredo Latorraca
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Primeiro examinador


Dr. Alan Sulato de Andrade
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Ricardo Jorge Klitzke
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 24 de fevereiro de 2014.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

À Pacita, minha esposa, e a minha filha Evelyn.

Aos meus pais Calçado (in memoriam) e Rosa.

Aos meus irmão Evandro e Maria Claudia.

EU DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, bênção e proteção.

Ao Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke, pelos dois anos de orientação, apoio, incentivos, confiança e principalmente pela amizade.

Ao Prof. Dr. Marcio Pereira da Rocha, pela orientação, amizade e apoio ao meu ingresso no Programa de Pós-graduação desta Universidade.

A Prof. Dra. Silvana Nisgoski e professor Dr. Alan Sulato de Andrade, pela amizade e Co-orientação nas áreas que aos poucos começo a adquirir mais experiência, tornando a Calorimetria e Química da madeira tópicos de grande interesse de estudo para este trabalho e para minha vida profissional.

Ao Professor Dartagna Baggio Emerenciano pela sua valiosa contribuição e amizade.

Aos amigos que sempre estiveram presentes em todos momentos e sempre me apoiaram de alguma forma, Antero Gonçalves, Albeandro, Euclides, Luís e Joelma Buchir, Anabela Fernandes, Ivanilda Monteiro.

Aos alunos de graduação que estagiaram no laboratório de Secagem, Cristian, Emanuel, Belika os quais pude contar com o apoio e auxílio durante a coleta de dados e consolidar uma amizade. Ao Pedro Lício, Narciso Bila, Claudio Juízo, Karine Bellon, Rafael e Rosilane (hoje Professora) amigos da Pós que por muitas vezes me ajudaram, aconselharam e enviaram trabalhos para edificação do conhecimento na área de tecnologia.

A MADEMAPE empresa que forneceu todo material de estudo, sem este apoio nada disso seria realizado.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR que somaram e muito com suas vivências na área de Tecnologia ao contribuir para o desenvolvimento de meu conhecimento na área e o aumentar o apresso que tenho por essa área.

À CNPQ, pela concessão da bolsa.

À todos aqueles que não citei por faltar agora na memória mais fizeram de alguma forma parte deste trabalho.

Que cada pequena ação do Homem sobre o nosso planeta não sejam tão desastrosas ao ponto de esgotarem sua capacidade de renovação natural.

A morte do homem começa no instante em que ele desiste de aprender.

(Autor desconhecido)

RESUMO

Um dos grandes problemas na Indústria Madeireira é diferença de cor entre cerne e alburno no *Eucalyptus sp.*. O produto final apresenta uma coloração não homogênea e pouco atrativa. A alteração artificial da cor da madeira, por meio da vaporização, está sendo considerada, por muitos especialistas, como uma alternativa interessante possibilitar a comercialização de espécies pouco atrativas, desde que, apresentem boas propriedades tecnológicas. Este trabalho teve por objetivo homogeneização da cor do cerne e alburno da madeira de *Eucalyptus saligna* por meio da vaporização e o seu efeito nas propriedades. Para isso, foram inicialmente testadas duas curvas de vaporização (90°C/100% umidade relativa) por 12 horas (tratamento 1) e 24 horas (tratamento 2) e comparadas com o tratamento testemunha (sem vaporização), cada tratamento com 66 tábuas. A secagem da madeira foi realizada em estufa piloto de laboratório, utilizando programa de secagem recomendado pela literatura. Como parte do estudo, avaliou-se o efeito do tratamento de vaporização inicial sobre as propriedades físicas, químicas, resistência à flexão estática e colorimétrica da madeira após a secagem. Para condução das análises foram utilizadas as Normas Técnicas COPANT e TAPPI. Os resultados demonstraram que os períodos de vaporização contribuíram significativamente para homogeneidade da coloração da madeira entre o alburno e o cerne. A vaporização da madeira aumentou a taxa de secagem e reduziu os gradientes de umidade e as tensões de secagem. O teor de extrativos totais reduziu com a vaporização da madeira principalmente na região do cerne. A resistência à flexão estática, coeficiente de anisotropia e a massa específica básica não sofreram o efeito da vaporização, sendo também considerado um aspecto positivo do processo.

Palavras chaves: *Eucalyptus*, alburno, cerne, secagem, coloração.

ABSTRACT

A major problem in the Wood Industry is the colour difference between heartwood and sapwood in *Eucalyptus sp.*. The final product is a non-homogeneous and unattractive colouring. The artificial change in the colour of the wood by means of vaporization, is being considered by many experts as an interesting alternative to enable the commercialization of unattractive species, since, have good technological properties. This work aimed at homogenizing the heartwood and sapwood of *Eucalyptus saligna* through vaporization and its effect on properties. For this, were initially tested two curves of vaporization (90°C/100% relative humidity) for 12 hours (treatment 1) and 24 hours (treatment 2) and compared with the control treatment (without vaporization), each treatment with 66 boards. The wood drying was performed pilot kiln laboratory using drying schedule recommended by the literature. As part of this study, we assessed the treatment effect vaporization of the initial physical, chemical, colorimetric resistance to static and bending of the wood after drying properties. To conduct analyzes were used Technical Standards COPANT and TAPPI. Results showed that periods of vaporization contributed significantly to homogeneity of colouring the wood between the sapwood and heartwood. The vaporization timber increased the rate of drying and reduced moisture gradients and stresses drying. The content of total extractives reduced with vaporization of wood especially in the heartwood region. The static bending strength, coefficient of anisotropy and specific gravity did not suffer the effect of vaporization and considered a positive aspect of the process.

Keywords: Eucalyptus, sapwood, heartwood, wood, coloration.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR NA TAXA DE SECAGEM	12
FIGURA 2 - GRADIENTE DE UMIDADE EM UMA PEÇA DE MADEIRA.....	14
FIGURA 3 - RETIRADA DA AMOSTRA PARA O TESTE DE GARFO.....	16
FIGURA 4 - PADRÃO PARA O TESTE DO GARFO - ANÁLISE PRELIMINAR.....	17
FIGURA 5 - CIE L*C*H* E CIE L*A*B* ESPAÇO DA COR COM AS CORDENADAS E A DIFERENÇAS DE COR ΔE^*_{AB}	26
FIGURA 6 - SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TORA: POSIÇÃO DA RETIRADA DAS TÁBUAS.	29
FIGURA 7 - TÁBUAS DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> RETIRADAS DA MADEMAPE 29	
FIGURA 8 - AMOSTRAS DE MADEIRA <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i>	30
FIGURA 9 - SUB-AMOSTRADAS DE MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i>	30
FIGURA 10 -FORMAÇÃO DA CARGA NO CARRO PARA SECAGEM.....	32
FIGURA 11 -RETIRADAS DAS AMOSTRAS PARA A DETERMINAÇÃO DA UMIDADE FINAL (1), GRADIENTE DE UMIDADE (2) E TENSÃO INTERNA (1).	34
FIGURA 12 -FACES DE MEDIÇÃO DA COLORAÇÃO.....	39
FIGURA 13 -MEDIÇÃO DA COR POR ESPECTROFOTÔMETRO CM-5 DE BANCADA ACOPLADO A UM MICRO-COMPUTADOR.	40
FIGURA 14 -CURVA DA VAPORIZAÇÃO DO TRATAMENTO 1(T1).	41
FIGURA 15 -CURVA DA VAPORIZAÇÃO DO TRATAMENTO 2 (T2)	42

FIGURA 16 -CURVA DE PERDA DE UMIDADE MÉDIA NA SECAGEM DO TRATAMENTO TESTEMUNHA.....	43
FIGURA 17 -CURVA DA SECAGEM DO TRATAMENTO 1 (12H).....	44
FIGURA 18 -CURVA DA SECAGEM DOTRATAMENTO 2 (24H).....	44
FIGURA 19 -GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DO <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> PARA CADA TRATAMENTO.....	58
FIGURA 20 -GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO NAOH 1% NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> PARA CADA TRATAMENTO	60
FIGURA 21 -CURVA DE REFLETÂNCIA DA LARGURA (FACE).....	63
FIGURA 22 -REPRESENTAÇÃO VISUAL DA COR DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> DA TESTEMUNHA, T1 E T2.....	64
FIGURA 23 -REPRESENTAÇÃO VISUAL DA COR DA MADEIRA DE <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> TRATAMENTO 2 DAS AMOSTRAS 29 E 40 EM COMPARAÇÃO COM A <i>CARINIANA LEGALIS</i>	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CONSUMO BRASILEIRO DE MADEIRA EM TORA PARA USO INDUSTRIAL POR SEGMENTO, 2012.	4
TABELA 2 -	COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM DOS CONSTITUINTES DA MADEIRA.....	22
TABELA 3 -	DADOS DA VAPORIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	31
TABELA 4 -	PROGRAMA DE SECAGEM ADAPTADO SEGUNDO BATISTA 2009.....	33
TABELA 5 -	FAIXAS DE TEOR DE UMIDADE PARA O CALCULO DA TAXA DE SECAGEM.....	34
TABELA 6 -	NORMAS TÉCNICAS SEGUIDAS PARA REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES QUÍMICAS.....	38
TABELA 7 -	MÉDIAS DAS TAXAS DE SECAGEM POR TRATAMENTO EM (%TU/H.	46
TABELA 8 -	VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DO GRADIENTE DE UMIDADE, APÓS A VAPORIZAÇÃO.	47
TABELA 9 -	TENSÃO INTERNA OBTIDA APÓS A SECAGEM.....	48
TABELA 10 -	VALORES MÉDIOS E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA UMIDADE INICIAL E FINAL DO PROCESSO.	49
TABELA 11 -	VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DA MASSA ESPECIFICA BÁSICA.	51
TABELA 12 -	EFEITO DOS TRATAMENTOS NA CONTRAÇÃO DA MADEIRA. ...	52
TABELA 13 -	VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MOE DE T, T1 E T2.....	54

TABELA 14 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MOR DE T, T1 E T2.....	54
TABELA 15 - TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DO <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> PARA CADA TRATAMENTO	56
TABELA 16 - SOLUBILIDADE EM NAOH 1% NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DO <i>EUCALYPTUS SALIGNA</i> PARA CADA TRATAMENTO.....	59
TABELA 17 - VALORES MÉDIOS E DESVIO-PADRÃO DA LARGURA (FACE) CONSIDERANDO OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS L*, A*, B*..	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	3
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1	<i>EUCALYPTUS</i>	4
3.2	ALBURNO E CERNE.....	5
3.3	PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO DA MADEIRA	7
3.4	ASPECTOS GERAIS SOBRE A SECAGEM DA MADEIRA.....	9
3.4.1	Taxa de Secagem.....	10
3.4.2	Qualidade da Secagem	13
3.5	PROPRIEDADES DA MADEIRA	17
3.5.1	Massa Específica.....	17
3.5.2	Retratibilidade	19
3.5.3	Resistência à Flexão Estática	20
3.6	PROPRIEDADES QUÍMICA DA MADEIRA.....	21
3.6.1	Celulose.....	22
3.6.2	Hemicelulose	23
3.6.3	Lignina	23

3.6.4	Extrativos	24
3.7	COLORIMETRIA	25
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1	COLETA E PREPARAÇÃO DO MATERIAL	29
4.2	TEOR DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA.....	30
4.3	PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO PARA HOMOGENEIZAÇÃO DA COR.....	31
4.4	PROCESSO DE SECAGEM DA MADEIRA	32
4.4.1	Taxa de Secagem.....	34
4.4.2	Análise do Processo de Secagem	34
4.5	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA APÓS O PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO E SECAGEM.....	36
4.5.1	Propriedades Físicas	36
4.5.2	MOE e MOR em Flexão Estática.....	37
4.5.3	Análises Químicas após a secagem.....	37
4.5.4	Medição Colorimétrica	38
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	VAPORIZAÇÃO DAS TÁBUAS PARA HOMOGENEIZAÇÃO DA COR	41
5.2	EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA SECAGEM	43
5.2.1	Curva de Perda de Umidade no Tempo	43
5.2.2	Efeito da Vaporização na Taxa de Secagem.....	45

5.2.3	Avaliação da Secagem da Madeira	47
5.3	EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA	51
5.3.1	Efeito na Massa Específica Básica	51
5.3.2	Efeito na Contração	52
5.4	EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA FLEXÃO ESTÁTICA.....	54
5.5	EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA QUÍMICA DA MADEIRA.....	56
5.5.1	Efeito nos Extrativos Totais	56
5.5.2	Efeito da Vaporização na Solubilidade em NaOH 1%	59
5.6	EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA	61
5.7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
	REFERÊNCIAS.....	68
	ANEXOS	82

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial e conseqüentemente aumento das necessidades por produtos florestais, traz consigo uma pressão ao ambiente.

As florestas de rápido crescimento no Brasil já alcançam 6,6 milhões de hectares, com destaque para o *Eucalyptus*, com mais de 5,1 milhões de hectares plantados (ABRAF, 2013). Esses plantios colocam o Brasil como um dos maiores do mundo no plantio de *Eucalyptus*.

A pouca utilização do eucalipto na indústria madeireira está diretamente associada as limitações próprias e inerentes as 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 das propriedades tecnológicas da madeira potencializa a espécie para utilização na indústria, como é o caso do *Eucalyptus*, contribuindo para introduzir o gênero no mercado. É notório que estudos do comportamento do eucalipto na secagem convencional são fundamentais para contribuir no maior aproveitamento desta matéria prima, na geração de produtos de maior valor agregado.

A presença de diferentes tonalidades de cor entre o albúrnio e cerne de uma espécie numa mesma tábua diminui seu valor no mercado. Este é o caso que acontece na madeira de *Eucalyptus*, que nos últimos anos tem sido introduzida em maior escala no Brasil como sólido serrado, gerando madeira serrada de baixo valor comercial. A coloração do eucalipto apresenta uma tonalidade variável, que vai desde bege-claro a avermelhado-rosado.

O albúrnio nas espécies com cerne avermelhado em geral é de coloração mais clara, existindo a possibilidade de homogeneização da cor da madeira através do desenvolvimento de técnicas adequadas por meio da aplicação de vapor saturado antes da secagem, tornando a madeira de coloração homogênea e parecida com espécies tropicais de maior valor no mercado, abrindo desta forma uma janela de novas oportunidades.

A vaporização da madeira possui um potencial econômico viável, ainda pouco explorado pelas empresas. A alternativa de seu aproveitamento na agregação de valor na madeira é uma ideia que vem ao encontro do apelo social atual.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi propor a valorização comercial da madeira de *Eucalyptus saligna* por meio da homogeneização da coloração através da vaporização.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Analisar o efeito da vaporização no comportamento de secagem;
- ✓ Avaliar o efeito da vaporização nas propriedades da madeira de *Eucalyptus saligna*;
- ✓ Avaliar o efeito vaporização na homogeneização da coloração da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, através dos parâmetros colorimétricos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 EUCALYPTUS

O *Eucalyptus sp.* foi trazido para Brasil na segunda metade do século XIX, originário da Austrália e outras ilhas da Oceania (FAO, 1981). O setor de construção civil queria utilizar a sua madeira para substituir as espécies nativas por conta da redução da sua disponibilidade na produção de dormentes utilizados nas primeiras linhas férreas.

Dados de 2012, no Brasil as florestas de rápido crescimento totaliza 7,1 milhões hectares de floresta plantada, onde se destaca o *Eucalyptus sp.* com 5.1 milhões de hectares plantados (ABRAF, 2013). Atualmente, o país possui a maior área plantada de *Eucalyptus sp* do mundo (Tabela 1).

TABELA 1 - CONSUMO BRASILEIRO DE MADEIRA EM TORA PARA USO INDUSTRIAL POR SEGMENTO, 2012.

Segmento	Consumo de Madeira em Toras	
	<i>Eucalyptus</i> (m ³)	Porcentagem (%)
Celulose e Papel	55.033.172	42,15
Lenha Industrial	37.067.120	28,39
Carvão	23.144.200	17,73
Indústria Madeireira	7.034.315	5,39
Painéis Reconstituídos	5.580.247	4,27
Madeira Tratada	1.650.320	1,26
Outros	1.061.617	0,81
Total	130.570.991	100

FONTE: ADAPTADO DE ABRAF (2013)

O *Eucalyptus* brasileiro se destina basicamente à produção de celulose e papel, lenha industrial e carvão vegetal, a indústria madeireira consome apenas 5 % de toda produção.

O valor da madeira de *Eucalyptus*, para serraria, chega a ser três vezes maior que o da madeira para celulose e carvão vegetal. O aproveitamento na serraria é de aproximadamente 50% do volume da tora e o restante pode ser vendida para lenha, fabricação de celulose ou painéis, deste modo o aproveitamento comercial da tora pode ser melhorado. Apesar das limitações, não há dúvidas de que, dentre as aplicações no Brasil, a sua utilização na indústria moveleira e na construção civil e a que se encontra mais evidenciada e com as melhores perspectivas (CASTRO, 2001).

No gênero *Eucalyptus*, o *Eucalyptus saligna* apresenta um elevado potencial devido ao seu crescimento rápido (KIKUTI & NAMIKAWA, 1990). A espécie é típica de clima quente e úmido, a distribuição natural da espécie situa-se entre as latitudes de 28 a 35°S, em altitudes desde o nível do mar até 1.000 m. A precipitação pluviométrica anual situa-se entre 800 a 1.200mm, onde a precipitação anual varia de 1.000 a 1.800mm. Toleram solos moderadamente férteis, com boa retenção de umidade, porém devem ser bem drenados BARROS *et al.* (1990). Apresenta susceptibilidade às geadas severas, tolera fogo baixo, e tem alta capacidade de regeneração por brotação (TURNBULL & PRYOR, 1978). As características da madeira a tornam indicada para: laminação, móveis, estruturas, caixotaria, poste, celulose e carvão (FERREIRA, 1979).

3.2 ALBURNO E CERNE

A madeira é um material produzido a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas com funções de conduzir água e nutrientes dissolvidos do solo à copa, armazenar materiais de reserva e sustentação (LOBÃO *et al.*, 2008). A parte responsável pela condução ascendente de água e solutos nela dissolvidos é denominada alburno. É formado por células funcionais, de coloração geralmente mais clara. Quando se tornam inativas para o transporte de água, as células do alburno passam a constituir o cerne, que pode conter óleos, resinas, gomas e/ou compostos fenólicos, substâncias que são frequentemente responsáveis pela sua

coloração mais escura e que, geralmente, proporcionam maior durabilidade natural (COSTA *et al.*, 2003).

Segundo BAMBER (1961) a diferença entre alburno e cerne pode ser feita através da cor em algumas espécies. O alburno é claro e o cerne é escuro na maior parte das espécies. O alburno por causa de sua cor e a susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos destruidores, é geralmente considerado inferior ao cerne e muitas vezes descartado durante a conversão na serraria. No entanto, através da utilização de tratamentos adequados, o alburno pode adquirir propriedades semelhantes ao do cerne da mesma espécie mas nunca superior em termos de durabilidade e cor, permitindo deste modo a comercialização da espécies.

Segundo COSTA (2001) pode-se apresentar três tipos distintos de madeira consoante a presença ou não de alburno e cerne: árvores de alburno sem a formação do cerne; árvores com alburno e cerne indistintos pela cor e, finalmente, árvores com o cerne sempre mais escuro.

A transição de alburno para cerne está normalmente associada a uma mudança de cor no lenho, devida à deposição de extrativos. Os extrativos normalmente conferem uma maior durabilidade ao lenho em relação a deterioração e confere ao cerne uma tonalidade mais escura, (MESQUITA, 2000).

Em termos de determinação da qualidade da madeira e dos seus usos, a dimensão e características do cerne são determinantes, sendo este em geral valorizado pela sua dureza e resistência ao ataque por insetos. A madeira de cerne é em geral preferida para usos em que se requeira durabilidade e resistência mecânica (BAMBER, 1961).

Segundo SILVA (2002) existe uma maior procura por madeira de cerne, por proporcionar uma coloração e propriedades específicas, que revelam um maior valor tecnológico para usos em serraria e, por isso, tem sido o alvo de interesses dos usuários de madeira.

3.3 PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO DA MADEIRA

A vaporização é uma técnica que consiste na aplicação de vapor saturado a altas temperaturas e umidades relativas por determinado tempo na madeira. Dentre seus propósitos pode-se citar a redução dos níveis de tensões de crescimento, esterilização da madeira, aumento da permeabilidade, redução da instabilidade dimensional, redução do teor de umidade inicial antes da secagem propriamente dita, redução dos gradientes de umidade, redução do tempo de secagem, aumento da taxa de secagem e mudança da coloração (CALONEGO & SEVERO, 2006).

ROZAS e TOMASELLI (1993) recomendam nos seus estudos a utilização de um programa de secagem para o *Eucalyptus* considerando uma vaporização inicial para facilitar a secagem, uma vaporização intermediária para recuperação do colapso e uma final para redução do gradiente de umidade.

SEVERO (1998) obteve melhor resultado no que concerne as propriedades da madeira, usando no programa de secagem uma vaporização inicial, uma vaporização aos 17% de umidade para recuperação do colapso e no final da secagem para redução do gradiente de umidade.

Os benefícios da técnica da vaporização são garantidos pelos seus possíveis efeitos na madeira. Com a aplicação de vapor saturado há uma facilitação do fluxo em função do aumento da temperatura da madeira e aumento do coeficiente de difusão (CHOONG *et al.*, 1989). KININMONTH (1971) afirma que a vaporização promove uma hidrólise parcial da membrana das pontoações, o que resulta em um aumento da permeabilidade. Para DIAZ-VAZ *et al.* (1998), com a modificação na estrutura da membrana das pontoações, há uma dilatação e facilitação da remoção de água durante a secagem.

AGUIAR & PERRÉ (2005) consideram que com a técnica, os polímeros amorfos da madeira atingem temperaturas de transição vítrea, tornando-os mais fluidos e flexíveis. Com o amolecimento da estrutura física da madeira decorrente de maior fluidez molecular há um alívio de tensões internas, o que possibilita reduzir os níveis de defeitos de secagem (CALONEGO & SEVERO, 2005). Apesar dos benefícios e da proposição atual da técnica para diferentes espécies, ainda não há

um consenso sobre a duração, o momento de aplicação e as condições do tratamento para cada espécie.

ALEXIOU *et al.* (1990) mencionam um tratamento de vaporização a 100°C durante 3 horas, após 1 hora do aquecimento inicial para redução de defeitos de secagem e aumento da taxa de secagem da madeira de *Eucalyptus pilularis*.

Em um estudo com pré-vaporização de tábuas de *Eucalyptus dunnii*, SEVERO (2000) adotou uma condição de vapor saturado a 100°C e 100% de umidade relativa durante 3 horas, empregada antes da fase de aquecimento de um programa de secagem suave. O autor constatou uma redução média no índice de defeitos de colapso e de encanoamento na ordem de 60%, enquanto para rachaduras a redução foi de 84%.

CALONEGO *et al.* (2006) estudando o emprego de vapor aquecido a 90°C e 100% de umidade relativa, durante 3 horas, após 1 hora de aquecimento em secagem convencional da madeira de *Eucalyptus grandis*, constataram que o tratamento promoveu uma redução média de 38% no índice de rachaduras de topo e 30% no empenamento longitudinal.

Segundo ESTEVES *et al.* (2007) a vaporização da madeira de *Eucalyptus* diminuiu a sua higroscopicidade e melhorou substancialmente as propriedades associadas a ela: o conteúdo de umidade de equilíbrio da madeira diminuiu, melhorou a estabilidade dimensional e diminuiu o coeficiente de anisotropia. As propriedades físicas com melhor resultados foi encontrado nas condições de vaporização de 5 h a 190°C.

A vaporização da madeira reduz a sua umidade de equilíbrio (JÄMSÄ e VIITANIEMI, 1997) e aumenta a estabilidade dimensional (KOLLMANN e SCHNEIDER, 1963) e a resistência mecânicas (KIM *et al.*, 1998). Além disso, o tratamento escurece a madeira (MITSUI *et al.*, 2001) o que pode ser uma vantagem para madeiras menos atraentes. A maior desvantagem da madeira vaporizada é a diminuição de algumas propriedades mecânicas e o aumento do custo de produção (KIM *et al.* 1998).

Segundo SEVERO *et al.* (2000) vários estudos sobre o efeito da temperatura nas propriedades mecânicas da madeira se mostram contraditórios, principalmente no que diz respeito aos benefícios ou prejuízos causados pela temperatura.

TOMASELLI (1977) e SEVERO *et al.* (2001) nos seus estudos não observaram nenhuma alteração nas propriedades mecânicas da madeira com o efeito da vaporização. Enquanto outros pesquisadores ainda observaram redução em algumas propriedades mecânicas da madeira com a temperatura (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987).

Segundo ESTEVES (2007) a resistência mecânica da madeira de *Eucalyptus* diminuiu com a vaporização. No seu estudo encontrou uma redução no MOE de pequena magnitude até que a perda de massa atinge-se 8%. A redução no MOE atingiu 25 % para uma perda de massa de 10 %. YILDIZ *et al.* (2002), relataram a madeira de *Eucalyptus* tratada a temperaturas 130-200 °C durante 2-10 horas obteve uma diminuição maior no MOE, superior a 45%, embora a perda de massa correspondente não foi mencionado.

SANTOS (2000) refere um surpreendente aumento no MOE da madeira de *Eucalyptus* na vaporização, mas nenhuma informação foi dada sobre as condições de tratamento.

Após um tratamento de 24 horas em água quente, SKOLMEN (1967) obteve reduções da ordem de 50% das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* com diâmetro de 15-20 cm.

CARVALHO (2011), no seu estudo através da vaporização madeira de *Eucalyptus saligna* em escala industrial, homogeneizou a coloração entre o cerne e o alburno.

3.4 ASPECTOS GERAIS SOBRE A SECAGEM DA MADEIRA

A secagem da madeira é o processo de redução do seu teor de umidade, objetivando leva-la até um determinado ponto, com mínimo de defeito, menor tempo possível e de uma forma economicamente viável, para o uso a que se destina (MARTINS, 1988).

Segundo TOMASELLI (1980), na industrialização a secagem é um fator decisivo e altamente importante. No Brasil, de um modo geral, esta prática além de ser pouco difundida, é também pouco utilizada por aqueles que vivem do ramo

madeireiro. São raras as serrarias que possuem pátios de madeiras, e quando possuem são geralmente de baixa eficiência. Com a secagem da madeira muitos benefícios são obtidos dentre eles a redução na movimentação dimensional, proteção com a redução dos riscos de ataque de fungos apodrece dores e manchadores, redução de custos de transporte, melhoria no processamento, aumento da resistência mecânica, entre outros.

A secagem em estufa convencional é um processo que trabalha-se com temperatura variando de 50 a 100°C, nos quais se pode controlar a temperatura, a umidade relativamente e a velocidade do ar (HILDBRAND, 1970). A velocidade do ar é mantida constante ou variável em torno de 1,5 a 2,5m/s, com capacidade variando de 10 a 150m³ de carga de madeira e o tempo de secagem é de dias, variando com a espécie, espessura, teor de umidade, entre outras variáveis (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1989).

A secagem da madeira se realiza seguindo um programa previamente estabelecido, com etapas climáticas progressivamente mais secas e quentes (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985). O controle das condições climáticas se efetua mediante medição da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro) que podem ser controladas por meio de sistema manual, semiautomático ou automático das condições ambientais desejadas (KOLLMANN & CÔTÉ, 1968).

3.4.1 Taxa de Secagem

Segundo MUNIZ (1993) a taxa de secagem é a quantidade de água evaporada, num intervalo de tempo em relação a área de evaporação da peça de madeira. A taxa de secagem é uma variável que fornece informações importantes sobre o comportamento da madeira em secagem. A saída mais ou menos rápida da água por unidade de tempo é influenciada pela velocidade do ar, temperatura da madeira e umidade relativa do ar (HERZBERG *et al.*, 1985). KOLLMANN e COTE (1968) relatam que a estrutura anatômica, a densidade, a espessura das tábuas e o conteúdo de umidade são características que afetam a taxa de secagem.

Segundo estudos conduzidos por SANTINI (1980) e o TOMASELLI (1981) o aumento da temperatura reduz consideravelmente o tempo de secagem, teor de umidade de equilíbrio e consumo de energia.

A taxa de secagem é influenciada também pelo método empregado para remover a água da madeira. A principal diferença é que, no método de baixa temperatura o movimento da umidade do centro para a periferia, é um fenômeno de difusão, ao passo que, no de alta temperatura, ocorre um fluxo de massa ou hidrodinâmico (SCHAFER, 1973; VERMAAS, 1987). A secagem a alta temperatura envolve três fases distintas (HANN, 1964) e apresenta um comportamento diferenciado dos demais métodos. Além disso, a taxa de evaporação nos primeiros estágios da secagem decresce relativamente menos que aquela observada na baixa temperatura, causando uma equalização da taxa de secagem (SCHNEIDER, 1980).

O aumento linear da taxa de secagem, em razão da elevação da temperatura entre 60 e 180°C, foi observado em estudos anteriores conduzidos em estufa de laboratório (SANTINI, 1980). O emprego de altas temperaturas e altas velocidades de ar, nas estufas de secagem, resulta em aumento da taxa de transferência de calor para a madeira e, conseqüentemente, em maiores taxas de secagem.

TIEMANN (1920) citado por OLIVEIRA *et al.* (1957), foi o pioneiro a mostrar que o pré-vaporização afeta a permeabilidade de determinadas espécies de madeira e, conseqüentemente, tem o potencial para reduzir o tempo de secagem. KOZLIK & MISSOULA (1970) constatou um ligeiro aumento nas taxas de secagem nas madeiras pré-vaporizadas do cerne de *cicuta* ocidental. SIMPSON (1976) estudou a pré-vaporização do Carvalho vermelho e encontrou uma redução de 17 horas no tempo de secagem.

A umidade relativa do ar é a razão entre a quantidade de vapor d'água contida num determinado volume de ar e a quantidade máxima de vapor da água que este mesmo volume poderá conter, na mesma temperatura. Portanto quanto maior a temperatura maior a quantidade de água que o ar poderá conter, acelerando assim a evaporação na superfície da madeira e estimulando a retirada da umidade (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

O efeito da velocidade do ar sobre a taxa de secagem é mais pronunciado quando a madeira possui altos teores de umidade (KOLLMANN & SCHNEIDER, 1963). Em razão disso, a ocorrência de altas taxas de secagem é comum no início

do processo (SCHNEIDER, 1972); porém, a partir do momento em que a água superficial é evaporada da madeira, a taxa torna-se decrescente. Durante o período de taxa de secagem decrescente, o efeito diminui continuamente e, eventualmente, torna-se insignificante (SALAMON e MCINTYRE, 1969).

SIMPSON (1997) observou na secagem de *Pinus* que a velocidade do ar influenciou a taxa de secagem somente na retirada da água livre (Figura 1).

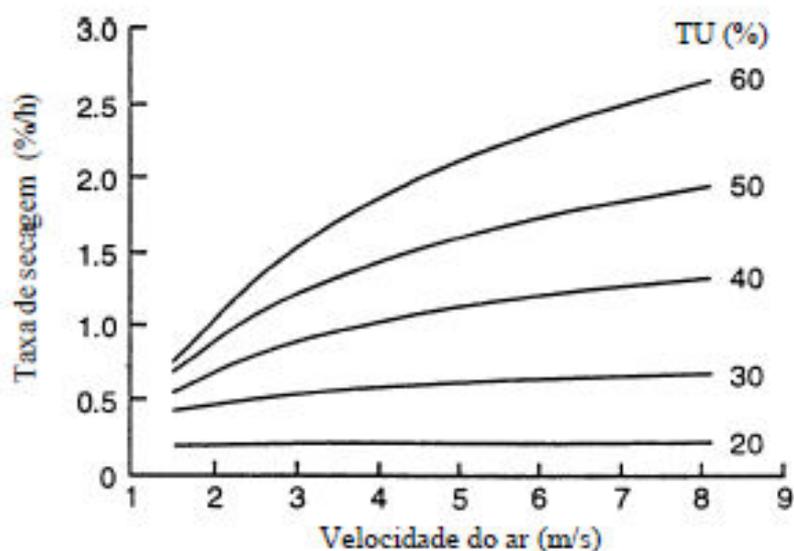


FIGURA 1 - INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO AR NA TAXA DE SECAGEM
 FONTE: ADAPTADO DE SIMPSON, 1997

O teor crítico de umidade em que a velocidade do ar deixa de ser importante varia com a espécie, sendo relativamente baixo para madeiras de pequena espessura, para condições de secagem suaves e para teores de umidade iniciais baixos (KOLLMANN & SCHNEIDER, 1961).

Segundo MARTINS (1988) o alburno, tanto em folhosas como em coníferas, seca mais rápido que o cerne devido a sua alta permeabilidade, apesar de que o alburno quase sempre tem um teor de umidade mais alto que o do cerne. A menor permeabilidade do cerne é devida, entre outras coisas, ao fato de que os extrativos obstruem as pequenas aberturas existentes nas paredes das células que o compõem.

BRANDÃO (1989) obteve taxas de secagem respectivas desde a condição verde até 5% e verde até 30% de umidade de 10,94 g/h e 2,50 g/h, para madeira de *Eucalyptus saligna* com umidade inicial de 91,8%.

BATISTA (2009), na secagem de *Eucalyptus saligna* obteve taxas de secagem respectivas desde a condição verde até 30%, de 30%-5% e de verde até 5% de umidade de 0,0332 g/cm².h, 0,0131 g/cm².h e 0,0191 g/cm².h, com umidade inicial média de 63,49%.

BARBOSA *et al.* (2005) estudaram 10 clones de *Eucalyptus* e obtiveram taxas de secagem medias de 0,0187 g/cm².h, 0,0337 g/cm².h e 0,0082 g/cm².h respectivamente para as condições de verde a 5%, verde a 30% e 30% a 5% de umidade, a um teor de umidade inicial médio de 102,4%.

3.4.2 Qualidade da Secagem

3.4.2.1 Gradiente de umidade

A secagem racional da madeira é uma das operações mais importantes dentro da indústria de transformação da madeira. Nas primeiras etapas do processo de secagem, a superfície da madeira começa a perder umidade por vaporização, provocando a movimentação da água do interior da peça para a superfície, originando gradiente de umidade (Figura 2). Por exemplo, se numa peça temos conteúdo de umidade na superfície de 20% e no interior de 60% o seu gradiente de umidade é de 40% (JANKOWSKY & SILVA, 1985).

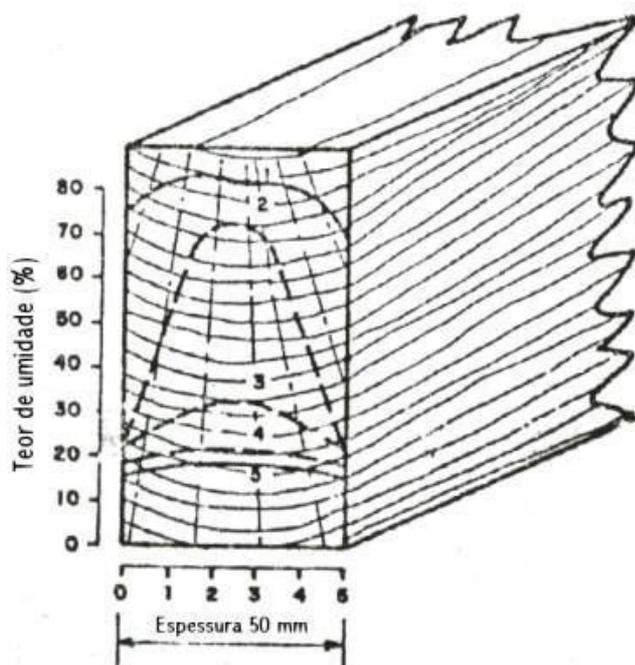


FIGURA 2 - GRADIENTE DE UMIDADE EM UMA PEÇA DE MADEIRA
 FONTE: SIMPSON (1991)

A variação de umidade entre a superfície e o centro da peça (gradiente de umidade) é que nos permite secar madeira, já que a umidade se move desde os setores de maior para os setores com menor conteúdo de umidade, permitindo que a água chegue a superfície por capilaridade e por difusão, onde posteriormente é removida pelo o ar circulante ao redor da madeira (KOLLMANN & COTÉ, 1968).

A rapidez da secagem está relacionada com gradiente de umidade, decresce à medida que a secagem decorre com o tempo, diminuindo também a velocidade da secagem, ou seja, a secagem se dá com maior velocidade nas primeiras horas, com a retirada da água livre, e tende a diminuir progressivamente à medida que a água de impregnação começa a se movimentar para fora da madeira SIMPSON (1991).

Se a madeira possuir alto gradiente de umidade existe o risco que se a superfície da peça estiver com umidade abaixo do Ponto de Saturação de Fibra (PSF), ocorrendo a contração da parede celular, enquanto no seu interior contenha ainda água livre (não tendo contração), o que provocará tensões internas na madeira, dando origem a formação de defeitos e deformações que afetam a qualidade final da madeira (FERNANDES e GALVAO 1977/1978).

É necessário estabelecer gradiente de umidade adequado para os objetivos de cada operação de secagem, procurando diminuir o tempo de processo. O

gradiente de umidade depende da velocidade de secagem e aparição de defeitos associados (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987). As informações relativas à distribuição da umidade no interior da madeira são de grande importância na segregação das peças em teores de umidade uniformes de modo a facilitar a secagem tanto no que diz respeito à minimização de defeitos quanto à obtenção de menor variabilidade em torno do teor de umidade médio pretendido (OLIVEIRA *et al.*, 2005)

O gradiente de umidade depende do efeito da temperatura do ar, efeito da umidade relativa e do efeito da permeabilidade da madeira (KOLLMANN E COTÊ, 1968).

SEVERO (1998), no seu estudo encontrou valores menores gradiente de umidade em madeira vaporizada de *Eucalyptus dunnii* em relação a madeira não vaporizada da mesma espécie.

BATISTA (2009) na secagem de tábuas de 30mm de espessura de *Eucalyptus saligna* com 11 anos, obteve um gradiente de umidade médio de 0,56%, demonstrando que a condução da secagem e o tempo de acondicionamento foram considerados ideais.

3.4.2.2 Tensão de secagem

Há existência de gradiente de umidade durante a secagem proporciona a existência de tensões de compressão na superfície e de tração no interior da peça (SIMPSON, 1991).

Quando os esforços de compressão e de tração ultrapassam o limite de proporcionalidade da madeira, podem causar deformações residuais que permanecem mesmo quando o gradiente de umidade ao longo da espessura é eliminado, conhecido por endurecimento superficial ou encruamento, sendo detectado e analisado pelo teste do garfo (Figura 3). Este teste consiste na retirada de uma amostra de 2,5 cm de comprimento, cortada perpendicularmente ao longo do comprimento da peça de madeira, e no mínimo, a 30 cm do seu extremo. Na amostra retirada, abre-se um ou mais dentes, dependendo da espessura da tábua,

com uma serra de fita. Para espessuras acima de 4 cm, serram-se 6 dentes e retiram-se o segundo e o quinto (MENDES *et al.*, 1998).

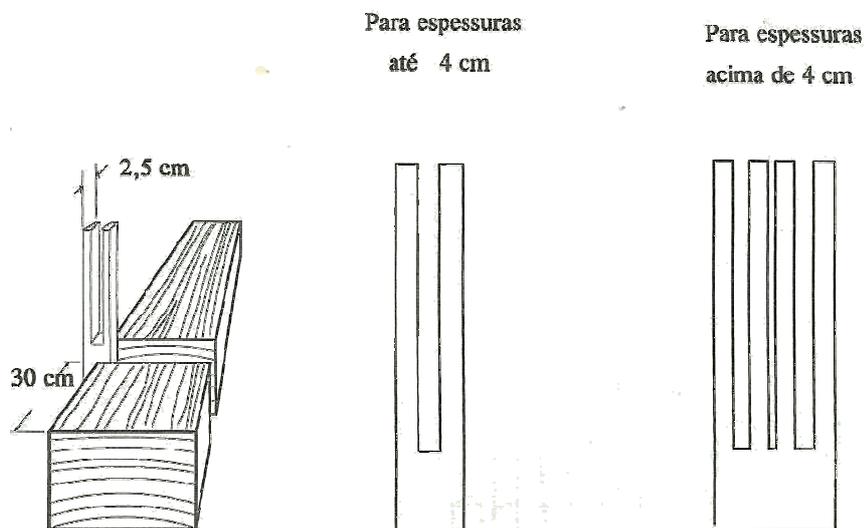


FIGURA 3 - RETIRADA DA AMOSTRA PARA O TESTE DE GARFO
FONTE: MENDES *et al.* (1998).

O procedimento sugerido por RASMUSSEN (1961) para avaliação da tensão da madeira após a secagem expressa, se os dentes externos da amostra arquearem-se para fora a uma distância igual ou ligeiramente maior que a própria espessura do dente, a carga estará livre de tensão, podendo ser retirada e processada. Porém, se estes dentes projetarem-se para dentro, apertando a serra, ou permanecerem retos, a carga estará com tensão, necessitando do acondicionamento após a secagem (Figura 4).

Resultados Espessura	Sem Endurecimento	Com Ligeiro Endurecimento	Com Forte Endurecimento	Endurecimento Reverso
Até 4cm				
Acima de 4cm				

FIGURA 4 -PADRÃO PARA O TESTE DO GARFO - ANÁLISE PRELIMINAR
 FONTE: MENDES *et al.* (1998).

BATISTA (2009) obteve em média 88,89% da madeira com tensão suave e 7,41% livre de tensão de secagem, demonstrando que o tempo de acondicionamento utilizado na secagem de *E. saligna* foi bem aplicado.

3.5 PROPRIEDADES DA MADEIRA

3.5.1 Massa Específica

A massa específica (ME) é uma das propriedades físicas mais importantes da madeira porque está relacionada diretamente com as propriedades, como, resistência mecânica, grau de alteração dimensional e perda ou absorção de água e a sua permeabilidade (KOLLMANN E COTÊ, 1968).

A massa específica é influenciada por diversos fatores, tais como: espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões da fibra, teor de extrativos, origem de semente, condições climáticas, sistema de implantação e condução da floresta. Ela varia significativamente em função da taxa de crescimento, local de

origem, espaçamento, idade, procedência, entre gêneros, espécies, entre árvores da mesma espécie, e dentro da mesma árvore e ainda no sentido base-topo e medula-casca (FERREIRA,1972). Ela tem sido muito usada como um índice de qualidade consagrado pelos pesquisadores. Devido a facilidade de cálculo e de alta herdabilidade comprovada a ME é uma das característica de qualidade mais usada para comparação entre espécies (MARTINS, 1988).

A massa específica aparente da madeira reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume, ou do volume de espaços vazios existentes em uma madeira. É determinada com a relação entre a massa e volume.

$$ME_{ap} = \frac{M_u}{V_u} \quad (1)$$

Onde:

MEap: Massa Específica aparente (g/cm³);

Vu: Volume a um determinado teor de umidade (cm³).

M_u: Massa a um determinado teor de umidade (g);

A grande variabilidade da massa específica está relacionada com as variações existentes entre gêneros, entre espécies pertencentes ao mesmo gênero bem como entre árvores de um povoamento (BUSNARDO *et al.*, 1987).

FERREIRA (1968) concluiu que, para o *Eucalyptus saligna* com idades de 5 e 7 anos, houve um acréscimo da massa específica média da árvore em função do DAP, isto é, as árvores mais vigorosas apresentaram, em média, maior massa específica básica que as menos vigorosas.

BUSNARDO *et al.* (1987), estudando o *Eucalyptus saligna*, verificaram decréscimo da massa específica básica até as posições correspondentes a 25-50% da altura comercial, com valores crescentes partindo desses pontos até o topo.

CARVALHO e CAMARGO (1996) estudaram a variação da massa específica básica entre três procedências e 53 progênies de *Eucalyptus saligna* com 6 anos de idade. Esses autores não verificaram nenhuma diferença significativa ao nível de 5% na comparação das três procedências. No entanto, comparando as progênies uma a uma, foram verificadas diferenças significativas na massa específica básica, as quais variaram entre 0,446 a 0,538 g/cm³. BATISTA (2009) na secagem de três clones de

Eucalyptus saligna, obteve nos resultados massa específica básica média variando de 0,42 a 0,50g/cm³.

SEVERO e TOMASELLI (2001) observaram que a massa específica básica praticamente não altera com a vaporização inicial. Em termos percentuais a vaporização proporcionou um aumento médio na massa específica básica de 0,5% para procedência Urbenville e 0,2% para procedência Dorrigo de *Eucalyptus dunnii*.

CHAFE (1990) citado por SEVERO (1998), conduziu um estudo com madeira de *Eucalyptus regnans*, o qual não mostrou aumento significativo na massa específica básica com a vaporização. Porém, deve-se considerar também que CHAFE (1990) não obteve qualquer alteração significativa no volume inicial da madeira com a vaporização.

O aumento da resistência mecânica está diretamente correlacionado com o aumento da massa específica da madeira. De acordo com MITCHEL (1963), uma mudança de 2% na massa específica da madeira afeta o módulo de ruptura em cerca de 70 Kg/cm².

3.5.2 Retratibilidade

A retratibilidade é a propriedade de variação dimensional da madeira. Ocorre quando há alteração do teor de umidade abaixo do PSF até quando a madeira está absolutamente seca ou anidra. Podendo ser inchamento ou contração, denominado trabalho da madeira (STAMM, 1964).

A retração ocorre quando o teor de umidade diminui, enquanto que o inchamento ocorre quando aumenta. Alteração de volume não é igual em todas as direções. Os ensaios mostram que a retratibilidade longitudinal pode ser desprezível, e a tangencial é o dobro da radial e que a volumétrica é o somatório das três (KOLLMANN e CÔTE, 1968).

A diferença na retratibilidade transversal na madeira está relacionada com a alternância do lenho tardio e juvenil no seu crescimento dentro do anel anual; a influência dos raios de madeira na direção radial; as características da estrutura da

parede celular, tais como alterações de ângulo de microfibrilas e pontuações; a composição química da lamela média (KOLLMANN e CÔTE, 1968).

CHAFE (1987), estudando a influência dos constituintes químicos da madeira de eucalipto, na contração, concluiu que esta foi positivamente relacionada aos teores dos polissacarídeos, sendo negativa a influência de teores de lignina e dos extrativos nessa propriedade.

BATISTA *et al.* (2013), estudou a perda de volume como ferramenta para avaliação da secagem da madeira de *Eucalyptus sp.*, e encontrou valores de retratibilidade para *Eucalyptus grandis* 8.4%, *Eucalyptus saligna* 10.3% e *Eucalyptus dunnii* 13.0%, com uma secagem de 453 horas.

SEVERO e TOMASELLI (1999) observaram que a pré-vaporização proporciona um pequeno aumento na contração volumétrica antes do acondicionamento. Este aumento representa 1,3% em madeira de *Eucalyptus dunnii*, sendo 1,9% para procedência Urbenville e 0,6% para Dorrigo.

OLIVEIRA (2003), estudou o comportamento das amostras pré-aquecidas de *Eucalyptus grandis* em água, constatou um aumento nos valores da contração volumétrica em 41, 28,2 e 19,9%, nas temperaturas de 45, 60 e 75°C, quando comparadas com a testemunha. CHAFE (1992), encontrou resultados similares no seu estudo, ao testar o pré-aquecimento em água na madeira de *Eucalyptus regnans*, constatando que esse pré-tratamento aumenta a contração da madeira.

SANTINI (1981) salienta que o efeito da temperatura de secagem na contração das diferentes direções da madeira deve ser considerado. Evidenciou-se um aumento significativo na contração volumétrica com o aumento da temperatura.

3.5.3 Resistência à Flexão Estática

O Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE) são os dois parâmetros determinados em testes de resistência em flexão estática e são de grande importância na caracterização tecnológica da madeira, porque ambos são essenciais para a determinação da qualidade da madeira, e determinam a aplicação da madeira estruturalmente (SCANAVACA JÚNIOR & GARCAS, 2004).

O Módulo de Elasticidade (MOE expressa a carga necessária para distender um corpo de 1cm^2 de área transversal, a uma distância igual ao seu próprio comprimento, enquanto o MOR a propriedade mecânica de flexão estática se refere ao comportamento que a madeira possui ao ser submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, com o objetivo de provocar seu flexionamento (MORESCHI, 2010).

Para avaliação da qualidade da madeira a resistência a flexão destaca-se dentre as propriedades da madeira e é influenciada pelo teor de umidade e a temperatura (STANGERLIN, *et al.*, 2010).

Vários estudos provaram também que com o aumento da temperatura até um determinado ponto as propriedades mecânicas não alteram significativamente (YAO e TAYLOR, 1979; GERHARDS 1983).

Segundo THOMPSON (1969) variando a temperatura no tratamento térmico de $66,7^\circ\text{C}$ e $83,3^\circ\text{C}$, os resultados mostraram uma redução MOE e MOR a 1,6 % e 6,1%, respectivamente.

SEVERO (1996) na pré-vaporização de toras e madeira observou que a redução chegou a atingir 15% para o MOR.

TEISCHINGER (1992) constatou que o MOE e o MOR da madeira de *Picea abies* mostram uma influência da temperatura menor durante os tratamentos térmicos. O MOE e MOR do *Alnus rubra*, no tratamento térmico de 115°C não teve efeito significativo em comparação a secagem convencional ($54,4$ a $71,1^\circ\text{C}$) (LAYTON *et al.*, 1986).

3.6 PROPRIEDADES QUÍMICA DA MADEIRA

A cor na madeira é influenciada por diversos fatores, tais como, a estrutura anatômica, as condições do meio ambiente, fatores genéticos e a composição química (GONÇALES, 1993).

Segundo TSOUJIS (1991) a parte química da madeira é constituída por celulose, hemicelulose, lignina e constituintes de baixo peso molecular que são

chamados extrativos. A Tabela 2 apresenta as proporções de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos encontrados na madeira.

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PORCENTAGEM DOS CONSTITUINTES DA MADEIRA.

Componentes Químicos	Madeiras de Coníferas	Madeira de Folhosas
Celulose	45 ± 2	45 ± 2
Hemicelulose	27 ± 2	30 ± 5
Lignina	28 ± 3	20 ± 4
Extrativos	3 ± 2	3 ± 2

FONTE: MORAIS *et al.* (2005)

3.6.1 Celulose

A celulose é o principal componente estrutural da madeira e o mais abundante, representando em torno de 45% do peso seco da madeira. Celulose ($C_6H_{10}O_5 + nH_2O$) é um carboidrato de cadeia linear longa, com um grau médio de polimerização de pelo menos 9000 a 10000 (ROWELL, 1984). Um grau de Polimerização de 100000 significa que a cadeia linear é cerca de 5 μm de comprimento. Feixes de cadeias de celulose formam fibrilas, apresentando regiões amorfas e também porções de arranjo ordenado, chamado de região cristalina.

Regiões cristalinas e amorfas das fibrilas estão presentes na parede celular. As regiões cristalinas das fibrilas são referidos como micelas. Estes são interrompidos por regiões amorfas na qual as moléculas de celulose não têm nenhum arranjo ordenado. De acordo com ROSA *et al.* (2004), a cristalinidade da celulose em *Eucalyptus* é de $47,87 \pm 3\%$.

3.6.2 Hemicelulose

Segundo MORAIS *et al.* (2005) as hemicelulose constituem cerca de 30% do material seco da madeira.

As hemicelulose estão em estreita associação com a celulose na parede celular e na construção de fibrilas. As hemicelulose são misturas de polissacáridos sintetizados quase inteiramente a partir de 5 diferentes açúcares neutros: o hexoses glucose, manose e galactose, e as pentoses xilose e arabinose (ROWELL, 1984; FENGEL e WEGENER, 1984).

As hemicelulose tem uma estrutura mais fraca e mais diferenciada da parte cristalina da celulose. As cadeias moleculares são muito mais curtos em comparação com a celulose, têm os grupos laterais e são por vezes ramificados.

As folhosas contêm mais hemicelulose em relação as coníferas, e a composição do açúcar é diferente (FENGEL e WEGENER, 1984). Em folhosas há predominância de glucouranoxilanas (pentosanas) e arabinogalactana (hexosanas), enquanto em coníferas há maiores proporções de glucomanas (hexosanas) e arabinoglucouranoxilana (pentosanas) (LEPAGE, 1986).

3.6.3 Lignina

O terceiro maior componente da madeira é de lignina, uma macromolécula altamente amorfa e complexa, peso molecular indeterminado, responsável por fornecer rigidez à parede celular e com temperatura de transição vítrea em torno de 140°C (HILL, 2006). Constitui de 23 a 33% a estrutura da madeira de coníferas e 16 a 25% a estrutura da madeira de folhosas. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é o último componente incorporada na parede da célula, agindo como um agente de cimentação das células existentes na estrutura da madeira (MILLER, 1999). A lignina está localizada principalmente na lamela média da parede celular secundária. Resinosas contêm mais lignina em relação as folhosas, e

também há diferenças estruturais entre lignina das mesmas (FENGEL e WEGENER, 1984).

3.6.4 Extrativos

A madeira é constituída por materiais auxiliares. De acordo com FENGEL e WEGENER (1984), esses materiais podem ser classificados como matéria inorgânica (cinza) e matéria inorgânica orgânica chamado extrativos.

Extrativos são compostos químicos acidentais, considerados não essenciais para a estrutura das paredes celulares e lamela média. São solúveis em água ou outros solventes orgânicos neutros. Eles contribuem em pequenas quantidades para a massa da madeira. Mas podem ter uma grande influência sobre as propriedades como cor, odor, durabilidade, sorção/dessorção de comportamento e permeabilidade. Em relação a coloração, a migração dos extrativos para a superfície da madeira resulta no seu escurecimento em comparação ao interior do material (DUBEY, 2010).

A composição de extrativos varia entre espécies, mas também dentro da árvore entre alburno e cerne.

É geralmente aceito que extrativos são "a principal fonte de diminuição da resistência" em madeira (SCHEFFER e COWLING 1966). Os ácidos de resina, estilbenos, extrativos solúveis em acetona e da quantidade total de compostos fenólicos são as características químicas que separam as madeiras resistentes das suscetíveis são (HARJU e VENÄLÄINEN 2006). A concentração de ácidos totais de resina, os quais são os principais constituinte extrativista no cerne (LINDGREN e NORIN 1969; MARTÍNEZ-INIGO *et al.*, 1999), verificou-se ser de até cerca de 2 vezes maior no cerne resistente em relação ao cerne suscetíveis (HARJU *et al.*, 2002).

TRUGILHO *et al.* (2007), estudou o eucalipto com idade aproximada de seis anos, e foram encontrados valores de teor de extrativos totais de 1,98% a 7,95% e em NaOH 1 % 18,28% a 24,62%.

TRUGILHO *et al.* (2009), conduziu um estudo sobre os extrativos totais do *Eucalyptus saligna* nas seguintes idades 12, 24, 36 e 48 meses de idade e obteve os seguintes valores correspondentes 5,237; 4,527; 3,96; 3,683%.

Eucalyptus são cortadas com cerca de 10-14 anos de idade, para papel e celulose, mas o eucalipto mais velho, com diâmetros maiores tem muito alto teor de extrativos, por isso não são adequados para o papel e são vendidos como lenha (ESTEVES, *et al.* 2007).

BATISTA (2012), conduziu um estudo sobre a modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro vap holzSystemeos[®], para os extrativos totais encontrou valores médios de 2,22 (testemunha), 3,60 (140°C), 19,04 (160°C) e 15,85 (180°C).

3.7 COLORIMETRIA

A cor é um critério muito importante para avaliar a qualidade de produtos madeireiros. A cor está sendo usada como um índice de classificação e qualidade da madeira (MORI *et al.*, 2004).

A uniformidade da coloração da madeira é um fator crucial no estabelecimento do preço e no valor final do produto (MÖTTÖNEN *et al.*, 2002).

A valorização de espécies pode ser feita através da analogia com outras já tradicionais, o que induz a utilização de termos de referência, como “padrão mogno”, “padrão cerejeira”, entre outros (CAMARGOS & GONÇALEZ, 2001). Portanto, a cor torna-se importante, uma vez que ela é um dos primeiros contatos visuais, podendo indicar de forma imediata a finalidade de um determinado produto (MORI *et al.*, 2005). No caso da madeira, a cor tem uma grande importância, porque participa na sua classificação (MORI *et al.*, 2005).

A classificação visual da cor é, no entanto, está associada com as impressões pessoais, resultando em uma avaliação subjetiva. Portanto, a avaliação precisa de cor deve sempre envolver a utilização de métodos quantitativos e equipamentos padrão (MORI *et al.*, 2004). Vários sistemas foram criados para descrever e quantificar a cor, para complementar o diagrama de cromaticidade proposto pela

Comissão Internacional de Iluminação (CIE). O CIELAB (ou CIE $L^*a^*b^*$), criado em 1976, é recomendado pelo CIE, para medições de cor de madeira. O CIELAB quantifica as cores com base nos parâmetros apresentados na Figura 5 (HUNT, 1995; STANAZIOLA, 1986).

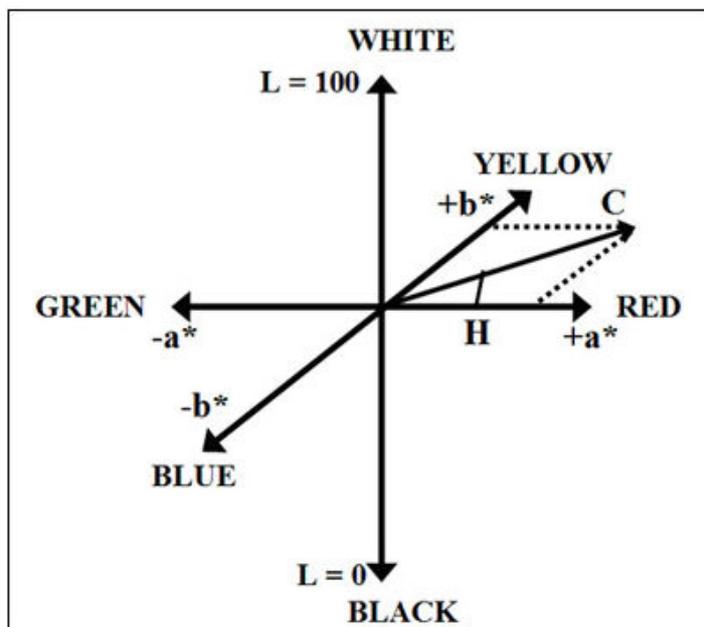


FIGURA 5 - CIE $L^*C^*H^*$ E CIE $L^*A^*B^*$ ESPAÇO DA COR COM AS CORDENADAS E A DIFERENÇAS DE COR ΔE^*_{AB}
 FONTE: STANAZIOLA, 1986

O “L” indica a luminosidade e varia de 0 (preto puro) a 100 (branco puro), é uma escala também chamada "eixo cinza". a^* e b^* são coordenadas cromáticas, localizado no eixo perpendicular ao eixo de cinza. a^* identifica a cor no eixo vermelho-verde. Quando a^* é positivo, está localizado na parte vermelha do eixo, quando a^* for negativo, ele é se encontra no lado verde do eixo. b^* descreve o componente amarelo-azul da cor. Quando b^* é positivo, a cor está localizado no lado do eixo amarelo; quando b^* é negativo, a cor tende para azul. O “C” descreve a saturação da cor, o que representa a distância entre o eixo de luminosidade (eixo cinza). Quanto maior for a distância a partir do eixo de cinza, mais saturado (ou cores vivas, puro) é a cor. O “H” representa o ângulo da cor ou tonalidade ângulo no círculo cromático, cujo valor tem origem no eixo verde-vermelho, contando positivamente no sentido trigonométrico de rotação. Este ângulo indica a dominância de um componente e de uma tonalidade de cor (Hunt, 1995; STANAZIOLA, 1986).

Segundo MADY (2000), a cor da madeira deriva da composição química das substâncias presentes no xilema: polifenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas, dentre outros, conferindo diferenciadas cores no lenho. Características anatômicas, como camadas de crescimento, vasos, raios e tipos de parênquima axial, podem influenciar na cor da madeira. A variação da cor natural da madeira é facilmente perceptível aos olhos humanos. Essa variação é devido à impregnação de diversas substâncias orgânicas nas paredes celulares, sendo depositada de forma mais acentuada no cerne (TSOUMIS, 1968).

Segundo DESH e DINWOODIE (1993), as cores da madeira são causadas pela quantidade de extrativos presentes na parede celular do cerne, que faz com que a madeira, quando exposta à luz, ar, calor ou mesmo, ao longo do tempo, escureça ou clareie, de modo a alterar a sua cor.

A cor da madeira pode ser alterada, isto acontece devido a variação de fatores externos que afetam os componentes estruturais e químicos (extrativos da madeira) (HON, 1975). Entre estes fatores, a literatura menciona radiações ultravioleta, que provocam a deterioração dos componentes químicos da madeira, sobretudo a lignina; oxidação e condensação de alguns componentes químicos (por exemplo, polifenóis e extrativos), PH e teor de umidade do solo, tipo de solo; localização geográfica, o conteúdo de extrativos (ROWELL, 1990).

Vários estudos confirmam que a redução da luminosidade na madeira com o aquecimento (LURO 1997, BEKHTA e NIEMZ 2003, JOHANSSON e MORÉN 2006). BOURGEOIS et al. (1991) explica que o escurecimento da madeira no aquecimento pode estar relacionado com uma redução do teor de holocelulose quando a temperatura aumenta.

Estudos anteriores indicam que o componente de cor vermelha da madeira pode fornecer diferentes respostas ao aquecimento em função da espécie. MOURA e BRITO (2011) relataram que o nível de cor vermelha em *Eucalyptus grandis* diminuiu bruscamente com o aumento da temperatura. No entanto, JOHANSSON e MORÉN (2006) demonstraram um aumento da cor vermelha em madeira de videiro, após um tratamento térmico, em comparação com amostras não tratadas.

Na sua composição química original, a madeira tem quinoídes e estruturas de estilbeno em lignina, assim como compostos organolépticos nos extrativos, as quais conferem uma parte da sua cor amarela (FALKEHAG et al. 1966). Estes compostos

podem ser alterados a altas temperaturas. BEKHTA e NIEMZ (2003) relatam uma redução sensível da cor amarela em *Picea abies* após tratamento em temperaturas acima de 150°C. Da mesma forma, de MOURA e BRITO (2011) encontraram uma diminuição grave da cor amarela em amostras de *Pinus caribaea* depois da retificação térmica acima de 160 °C.

Em espécies que mostram uma diferença distinta entre o cerne e o alburno a cor natural do cerne é geralmente mais escura que o alburno, e muito frequentemente o contraste. Este é produzido por depósitos no cerne de vários materiais resultantes do processo de crescimento, aumentado possivelmente pela oxidação e outras mudanças químicas, que normalmente têm pouco ou nenhum efeito apreciável nas propriedades mecânicas da madeira.

PINCELLI (2012), concluiu no seu estudo com o *Eucalyptus saligna* que a retificação térmica pode ser considerada como uma ferramenta para agregar valor à madeira através da modificação da cor por aquecimento.

MOURA e BRITO (2011), conseguiram com o aumento da temperatura causar escurecimento das amostras (diminuição da claridade, L). O matiz vermelho (coordenada vermelho-verde, a*) foi gradualmente diminuído com o aumento da temperatura, somente para *Eucalyptus*. O matiz amarelo (coordenada azul-amarelo, b*) foi reduzido devido ao aquecimento.

GRIEBELER (2013) fez a análise da cor em condições naturais para a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou diferenças significativas de coloração entre as regiões e entre as faces tangencial e radial.

GRIEBELER (2013) no seu estudo com madeiras tratadas a temperaturas altas apresentaram resultados satisfatórios em relação a homogeneidade da cor. Apesar do tratamento conferir a madeira uma coloração uniforme, a face radial após o tratamento, apresentou-se ligeiramente mais clara do que a face tangencial devido principalmente as características anatômicas.

CARVALHO (2011) fez uma análise visual da madeira não vaporizada e vaporizada de *Eucalyptus spp* e observou que a vaporização causou homogeneização da coloração da madeira e que a tonalidade se apresentou rosácea.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

A espécie estudada foi o *Eucalyptus saligna* com 15 anos de idade, proveniente da empresa MADEMAPE- Indústria Madeireira Ltda. localizada na região de Campina Grande do Sul-Paraná. Foram selecionadas tábuas tangenciais obtidas da região de transição entre o cerne e alburno das toras, conforme é apresentado na Figura 6.



FIGURA 6 -SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TORA: POSIÇÃO DA RETIRADA DAS TÁBUAS.

Foram selecionadas 66 tábuas em média de 25x100x2100mm de dimensão com presença de cerne e alburno (Figura 7).

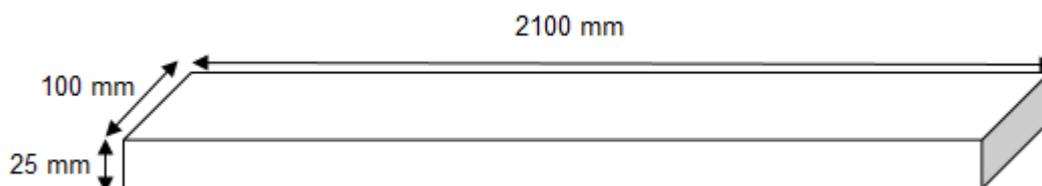


FIGURA 7 -TÁBUAS DE *Eucalyptus saligna* RETIRADAS DA MADEMAPE

Para cada tábua dimensionou-se em 25x100x700mm (espessura x largura x comprimento), obtendo assim, três amostras de madeira em que cada uma corresponde a tratamento T1, tratamento T2 e testemunha T (Figura 8).

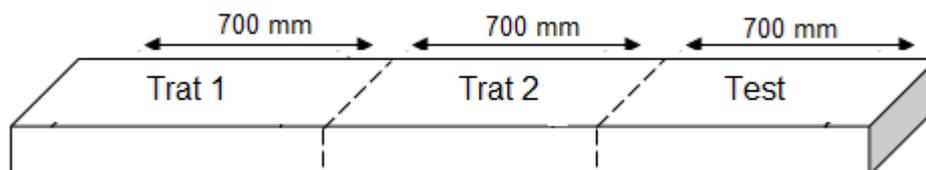


FIGURA 8 - AMOSTRAS DE MADEIRA *Eucalyptus saligna*

Para cada amostra, retirou-se dois tipos de sub-amostras demonstrados na Figura 9. Na sub-amostra A obteve-se a umidade inicial de cada amostra e na B os tratamentos 1 e 2 e a testemunha.

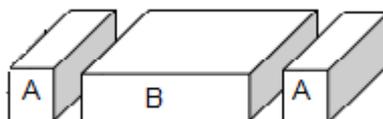


FIGURA 9 - SUB-AMOSTRADAS DE MADEIRA DE *EUCALYPTUS SALIGNA*

4.2 TEOR DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA

Determinou-se o teor de umidade inicial (TUI) da carga de madeira antes de começar a homogeneização. Para isso, retirou-se duas pequenas amostras de 1,5 cm de comprimento das extremidades de cada sub-amostra de cada tratamento. Pesou-se imediatamente numa balança de precisão de 0,01 g e submetidas à secagem em estufa elétrica a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante.

Pela equação (5), obteve-se o teor de umidade inicial (TU_i) de cada sub-amostra, teor de umidade médio da tábua e teor de umidade média da carga.

$$TU_i = \frac{P_u - P_o}{P_o} * 100 \quad (5)$$

Onde:

TU_i: teor de umidade, (%)

P_u: peso úmido da amostra, (g)

P_o: peso seco da amostra, (g)

4.3 PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO PARA HOMOGENEIZAÇÃO DA COR

As amostras foram empilhadas perpendicularmente ao fluxo de ar da estufa sobre o carro transportador. As mesmas foram colocadas sem separação entre elas, seguindo a metodologia adotada por CARVALHO (2011).

Para homogeneização da cor das amostras foram utilizados dois tempos de vaporização, conforme a Tabela 3, com temperatura de 90°C e umidade relativa próximo de 100%, sendo mantidas constantes ambas as variáveis.

TABELA 3 - DADOS DA VAPORIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS

	Temperatura (°C)	UR (%)	Tempo (horas)
1	90	100	12
2	90	100	24
Testemunha	s	s	s

S – controle sem vaporização

Os dois tratamentos (12h e 24h) foram realizados em estufa convencional piloto do Laboratório de Secagem da UFPR, onde a diferença existente entre elas está no tempo de permanência na fase em que a temperatura atinge 90°C. O método foi adaptado segundo CARVALHO (2011).

4.4 PROCESSO DE SECAGEM DA MADEIRA

Após o processo de vaporização, as amostras foram secas numa estufa piloto de laboratório. As amostras foram empilhadas no centro do carrinho no sentido transversal ao fluxo de ar da estufa, sobre o carrinho transportador e separou-se as camadas por sarrafos separadores com dimensões nominais de 2,5x2,5x120cm (largura x espessura x comprimento), os quais permitiram a livre passagem do ar através da pilha.

A carga foi montada contendo 6 camadas de 11 tábuas cada (Figura 10), formando uma carga com altura de aproximadamente 30 cm. Colocou-se sobre a carga de madeira uma camada de madeira compostas por tábuas secas e um anteparo de madeira para direcionar o ar somente para o interior da pilha.



FIGURA 10 - FORMAÇÃO DA CARGA NO CARRO PARA SECAGEM.

O programa de secagem utilizado neste estudo foi adaptado segundo BATISTA (2009), em que sugere através de um estudo de 3 clones de *Eucalyptus saligna* um programa para uma secagem ótima (Tabela 3).

TABELA 4 - PROGRAMA DE SECAGEM ADAPTADO SEGUNDO BATISTA 2009.

Umidade da madeira (%)	Temperatura (°C)		Tempo (h)	Potencial de secagem
	Bulbo seco	Bulbo úmido		
	Aquecimento	40		
45	40	38	-	2,5
35	44	41	-	2,2
31	46	42	-	2,2
28	50	45	-	2,0
25	54	48	-	2,1
20	58	49	-	2,0
17	60	49	-	2,1
15	62	49	-	2,1
12	66	51	-	2,0
10	66	47	-	2,0
Uniformização	64	56	8	-
Condicionamento	62	56	8	-
Resfriamento	44	35	4	-

Foi regulado o fluxo de ar por meio do inversor de frequência na saída da pilha de aproximadamente 2 m/s, medida com termo-anemômetro de fio quente.

A estufa piloto é de marca alemã “Kiefer”, com automação da empresa nacional “Marrari”. Com dimensão nominal de 0,80 x 1,20 x 4,50 m, largura, altura e comprimento, respectivamente e com capacidade para aproximadamente, 1m³ de madeira serrada de uma polegada de espessura. A estufa possui um sistema de aquecimento através de resistência elétrica, um sistema de umidificação através de uma caldeira elétrica e um sistema de circulação de ar com capacidade de produzir um fluxo de ar contínuo e regulável através do inversor de frequência para ajuste da velocidade do ar desejada.

4.4.1 Taxa de Secagem

Calculou-se a taxa de secagem através da relação entre dois intervalos do teor de umidade (Tabela 5) e o tempo decorrido naquele intervalo, sendo expressa em porcentagem de umidade por hora (%U/h). Utilizou-se os dados médios coletados a partir de 3 amostras de controle pelo sistema de pesagem adaptado para o cálculo da taxa de secagem. Para escolha das faixas para o cálculo da taxa de secagem foi utilizado como base diversos autores (BATISTA (2009), BARBOSA *et al.* (2005) e CINIGLIO (1998)).

TABELA 5 - FAIXAS DE TEOR DE UMIDADE PARA O CALCULO DA TAXA DE SECAGEM

FAIXAS DE UMIDADE			
1	Verde	Até	30%
2	30	Até	10%
3	Verde	Até	10%

4.4.2 Análise do Processo de Secagem

Após a secagem foram escolhidas 10 tábuas aleatórias de cada tratamento, de onde foram retirados 3 peças centrais com comprimento de 25mm. Foram determinados a umidade final (1), gradiente de umidade (2) e a tensão de secagem (3), (Figura 11).

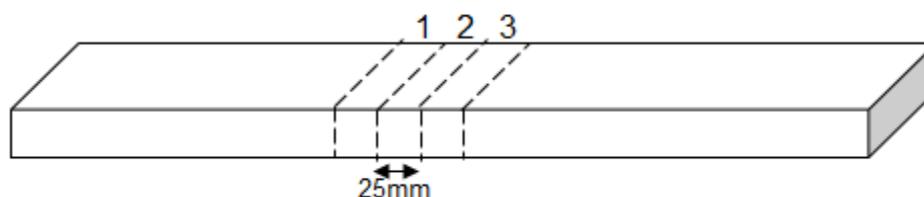


FIGURA 11 - RETIRADAS DAS AMOSTRAS PARA A DETERMINAÇÃO DA UMIDADE FINAL (1), GRADIENTE DE UMIDADE (2) E TENSAO INTERNA (1).

4.4.2.1 Teor de umidade final da madeira

O teor de umidade após a secagem foi obtido pesando-se as amostras para obtenção do peso inicial, a seguir as amostras foram colocadas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até peso constante para serem posteriormente pesadas. Pela equação (1), obteve-se o teor de umidade final das amostras.

4.4.2.2 Gradiente de umidade

A medição do gradiente de umidade seguiu metodologia recomendada por SIMPSON (1991). O cálculo do gradiente de umidade foi obtido segundo a equação:

$$\text{G.U.} = \text{TU}_{\text{INT.}} - \text{TU}_{\text{EXT.}} \quad (6)$$

Onde:

G.U. = Gradiente de umidade (%);

$\text{TU}_{\text{INT.}}$ = teor de umidade interno da amostra (%);

$\text{TU}_{\text{EXT.}}$ = Média do teor de umidade externa das amostras (%).

4.4.2.3 Tensões de secagem

Para verificar a existência de tensão na madeira após a secagem, realizou-se o "teste após garfo", segundo metodologia de SIMPSON (1991). O teste de garfo serviu para avaliar o efeito do acondicionamento durante as secagens e a influência dos tratamentos na qualidade de secagem da madeira. Para avaliação do nível de tensão adotou-se a metodologia sugerida por Rassmusen (1961). A tensão de interna foi avaliada em 10 amostras e classificadas em três níveis (Ausente, Leve, e Forte).

4.5 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA APÓS O PROCESSO DE VAPORIZAÇÃO E SECAGEM

4.5.1 Propriedades Físicas

Visando avaliar a influência da vaporização nas propriedades físicas selecionou-se 10 tábuas de cada tratamento. Transformou-se as tábuas em corpos de prova segundo as dimensões recomendadas pela norma COPANT para realização dos seguintes propriedades:

- Método de determinação de teor de umidade – COPANT 460
- Método de determinação massa específica aparente - COPANT 461
- Método de determinação da contração - COPANT 462;

De cada lote de tratamento após a secagem na estufa convencional até a umidade de 10%, foram retiradas 10 amostras para o cálculo da massa específica básica

Cada amostra devidamente identificada, foi imersa em água. Para acelerar a penetração da água utilizou-se vácuo intermitentemente durante cinco dias. Em seguida as amostras foram mantidas em água até saturação completa o que foi constatado por pesagens sucessivas. Mediu-se o volume verde e colocou-se na estufa a 102 ± 3 °C até atingir o peso constante.

$$MEB = \frac{V_v}{P_o} \quad (7)$$

Onde:

MEB: Massa específica Básica, (Kg/m³).

P_o: massa seca da amostra, (Kg);

V_v: volume úmido, (cm³);

4.5.2 MOE e MOR em Flexão Estática

Após a secagem foram preparados no Laboratório de Usinagem da Madeira da UFPR 10 corpos de prova segundo as dimensões recomendadas pela norma COPANT para realização do teste de resistência à flexão estática, calculando-se:

- Módulo de Elasticidade (MOE) em flexão estática - COPANT 555;
- Módulo de Ruptura (MOR) em flexão estática - COPANT 555.

4.5.3 Análises Químicas após a secagem

Foram feitas as análises químicas dos extrativos totais e NaOH a 1% após a secagem de cada tratamento. Para as análises selecionou-se amostras que apresentassem conteúdo de alburno e cerne em quantidade significativas. Separou-se o alburno do cerne de cada tábua por tratamento no final da secagem, obtendo assim seis lotes (3 alburno e 3 de cerne) de aproximadamente 24g.

Com ajuda de um martelo e um formão transformou-se as amostras em pequenos cavacos, em seguida obteve-se a serragem através de um macro moinho

Wiley. A seguir a serragem foi classificada em um jogo de peneiras, sendo utilizada para as análises apenas a que ficou retida na malha 60 "mesh".

Para cada análise química foram feitas 3 repetições e seguiu-se as normas apresentadas na Tabela 6.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Química da Madeira, pertencente à Universidade Federal do Paraná.

TABELA 6 - NORMAS TÉCNICAS SEGUIDAS PARA REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES QUÍMICAS.

ANÁLISE REALIZADA	NORMA TÉCNICA
Solubilidade em NaOH 1%	TAPPI T 212 OM-12
Teor de Extrativos Totais	TAPPI T 204 Cm-97

4.5.4 Medição Colorimétrica

Para cada tratamento foram escolhidas 20 tábuas de um universo de 66 perfazendo 30 % de cada lote. Os corpos de prova foram aplainados e destopados em 3 faces (largura, espessura e topo), e posteriormente armazenados fora do contato com a luz, até chegar à umidade de equilíbrio (em torno de 12-15%).

Para cada amostra foram tomadas 20 medidas, 10 na largura (1), 5 na espessura (2) e 5 no topo (3). Podendo ser observado os pontos de medição na Figura 12.

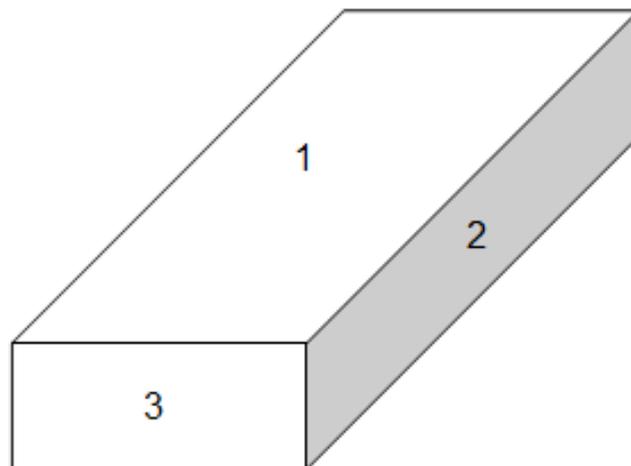


FIGURA 12 - FACES DE MEDIÇÃO DA COLORAÇÃO

As medições de cor foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira na UFPR. Na caracterização da cor foi utilizado um espectrofotômetro CM-5 de bancada acoplado a um computador (Figura 12). Esse tipo de espectrofotômetro tem uma transmissão e facilidade de medição de refletância UV numérica e tecnologia de controle de brilho com o modo de flash, tendo uma área de medição de 3mm, 8mm e 25,4mm e faz uma varredura na superfície do corpo-de-prova, do qual se obtém os parâmetros de cor da madeira. Na Figura 13 pode ser observado o aparelho utilizado para a medição da colorimetria das amostras



FIGURA 13 - MEDIÇÃO DA COR POR ESPECTROFOTÔMETRO CM-5 DE BANCADA ACOPLADO A UM MICRO-COMPUTADOR.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados das diferentes propriedades da madeira foram analisados através do sistema ASSISTAT versão 7.7 BETA. Foi proposta a utilização da análise de variância (ANOVA), comparações múltiplas entre médias (Teste de Tukey), além de estatísticas gerais e análises de correlação (Pearson), visando avaliar as relações entre as diferentes variáveis estudadas. Os dados foram analisados em testes de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 VAPORIZAÇÃO DAS TÁBUAS PARA HOMOGENEIZAÇÃO DA COR

A vaporização das tábuas foram feitas através da saturação usando uma umidade relativa a aproximada de 100% (Figura 14 e 15), por 12 horas (T1) e 24 horas (T2), antes do processo de secagem.

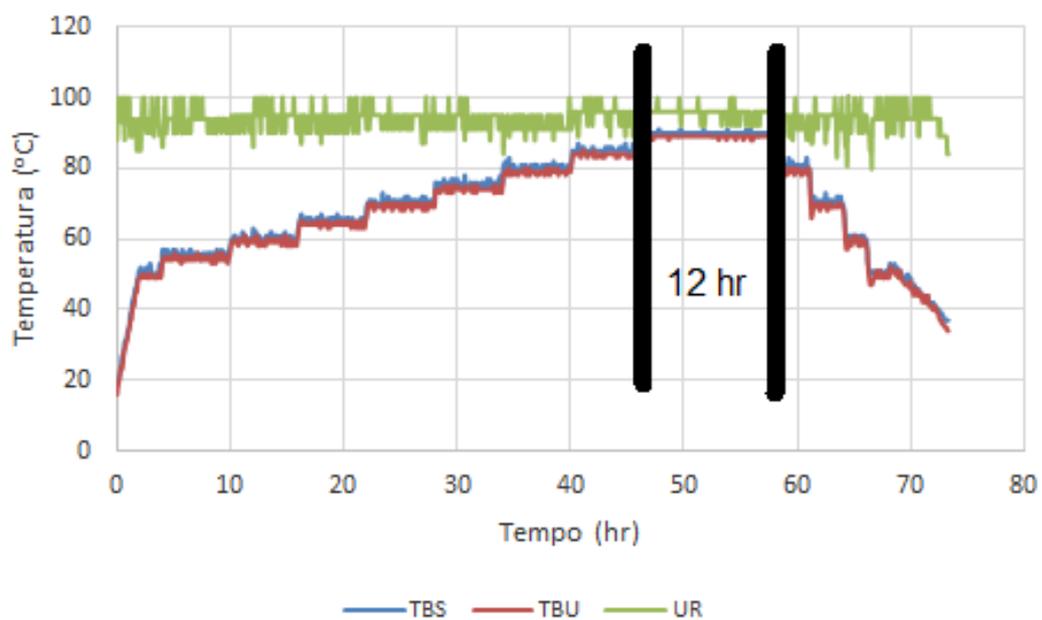


FIGURA 14 - CURVA DA VAPORIZAÇÃO DO TRATAMENTO 1(T1).

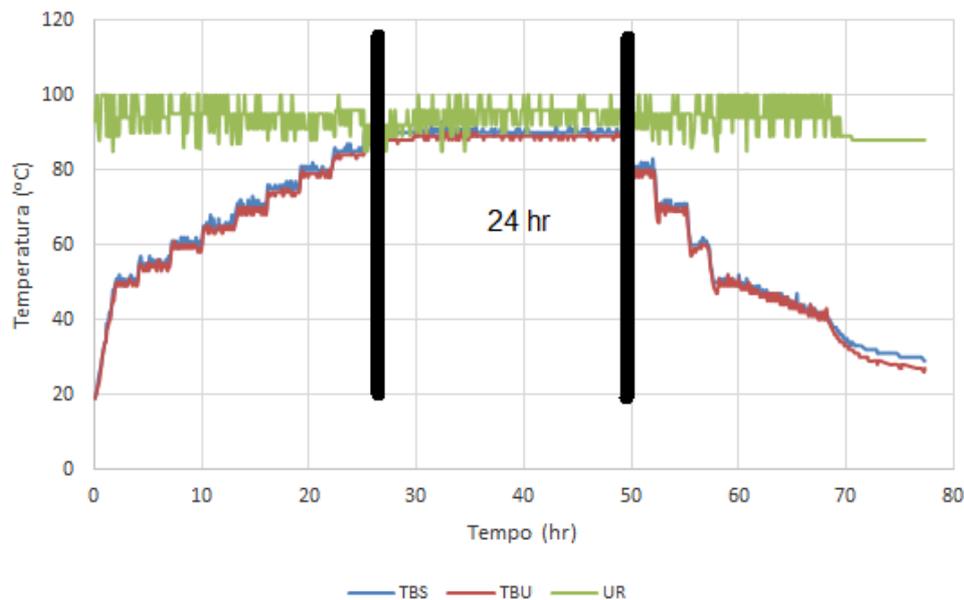


FIGURA 15 - CURVA DA VAPORIZAÇÃO DO TRATAMENTO 2 (T2)

Analisando as informações contidas nas Figuras 14 e 15, o tempo total para o tratamento T1 foi de 73 horas e 78 horas para o tratamento T2. Ao atingir a temperatura de 90°C o tratamento T1 permaneceu por 12 horas (T1) e tratamento T2 por 24 horas. Pode se observar que a umidade relativa foi mantida próxima de 100% em todas as fases do processo. Estes resultados vão de encontro como o que foi estabelecido por ALEXIOU (1990) e CALONEGO (2005), os quais sugerem a manutenção elevada da umidade relativa ao longo de todo o processo de vaporização.

Dos autores RATNASINGAM & GROHMANN (2013), SEVERO (1998), CARVALHO (2011) CALONEGO (2005) onde em seus estudos utilizaram valores aproximados de 100 °C e 100% para temperaturas e umidade relativa respectivamente mas com tempos diferentes.

A variação no tempo para a vaporização do estudo presente em relação aos encontrados em literatura e entre vários autores é devido a muitos fatores. Além da massa específica, teor de umidade e diâmetro das toras, o tratamento é influenciado pela espécie, pelo teor e gradiente de umidade, pela temperatura inicial utilizada no aquecimento e temperatura desejada no final além do tipo de tanque de aquecimento, meio utilizado como aquecedor e o objetivo de cada estudo (STEINHAGEN et al., 1980; ROZAS MELLADO, 1993; SEVERO, 1998; CALONEGO, 2004).

5.2 EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA SECAGEM

5.2.1 Curva de Perda de Umidade no Tempo

As Figuras 16,17 e 18 apresentam as curvas de secagem elaboradas para madeira de *Eucalyptus saligna* para os tratamentos e a respectiva testemunha.

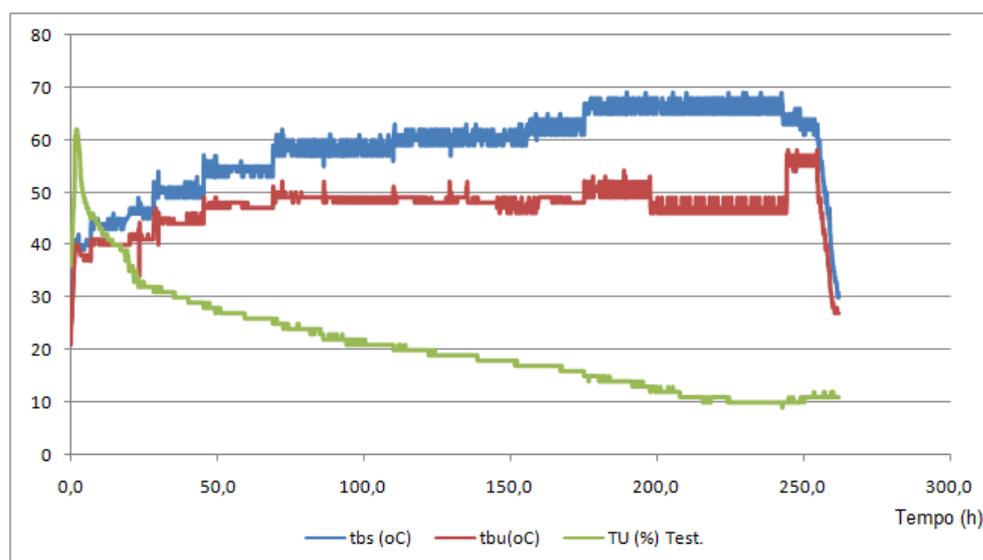


FIGURA 16 - CURVA DE PERDA DE UMIDADE MÉDIA NA SECAGEM DO TRATAMENTO TESTEMUNHA.

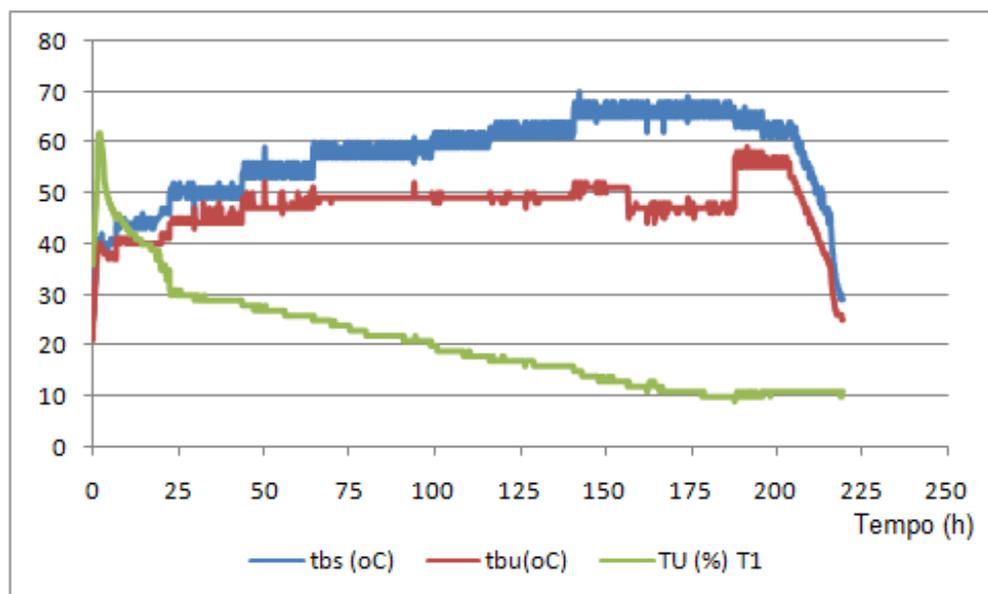


FIGURA 17 - CURVA DA SECAGEM DO TRATAMENTO 1 (12H).

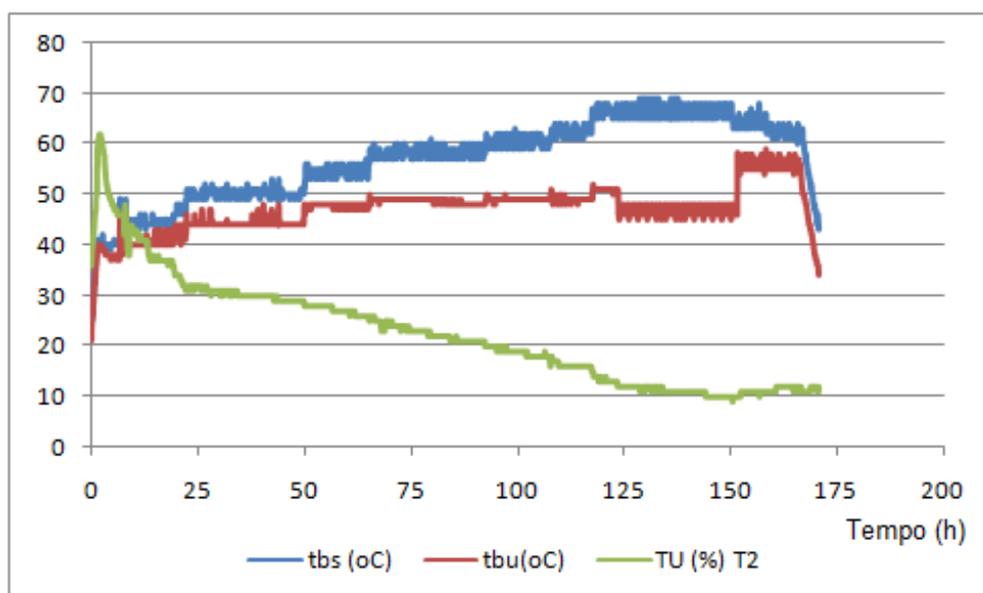


FIGURA 18 - CURVA DA SECAGEM DO TRATAMENTO 2 (24H).

A duração média da secagem convencional em câmara piloto foi de 262,1 horas para a testemunha, 219,3 horas para o tratamento 1 (T1) e 170,8 horas para o tratamento 2 (T2). SANTOS (2002), nos seus estudos sobre a secagem de *Eucalyptus* observou uma duração de 220 horas no seu processo. O resultado do tratamento 2 é significativamente inferior ao obtido pelo SANTOS (2002), que podem ser atribuídos a vaporização inicial.

Uma análise comparativa visual observou-se a influência da vaporização no processo secagem, e que o tempo de secagem diminuiu em função do tempo de vaporização. Segundo ALEXIOU *et al.* (1990) concluiu que a pré-vaporização diminui o tempo de secagem. CHAFE (1990) atribuía a diminuição do tempo de secagem ao aumento da permeabilidade devido a pré-vaporização. A influência da pré-vaporização na diminuição do tempo de secagem está relacionado também com as alterações dos extrativos na madeira MCGINNES & ROSEN (1984). Constatou-se resultados similares nesse estudo onde houve uma diminuição das quantidades de extrativos totais presentes nos tratamentos.

O tratamento 2 teve o menor tempo de secagem, seguido do tratamento 1 e a testemunha respectivamente. Observou-se que houve uma redução no tempo de secagem de 67,3 horas entre o tratamento 2 e a testemunha. CAMPBELL (1961) obteve uma diminuição significativa no período de secagem de *Eucalyptus* na pré-vaporização de 2 e 4 horas.

TIEMANN (1920) citado por OLIVEIRA *et al.* (1957), foi o pioneiro a mostrar que o pré-vaporização afeta a permeabilidade de determinadas espécies de madeira e, conseqüentemente, tem o potencial para reduzir o tempo de secagem. Segundo CHAFE (1990) associa a mudança das propriedades da madeira a pré-vaporização devido a alterações das ligações químicas entre os constituintes da parede celular, nomeadamente através da lignina e hemicelulose.

5.2.2 Efeito da Vaporização na Taxa de Secagem

A Tabela 7 mostra a variação da taxa de secagem obtida na secagem do *Eucalyptus saligna* nos 3 tratamentos (tratamento testemunha, tratamento 1 e tratamento 2).

TABELA 7 - MÉDIAS DAS TAXAS DE SECAGEM POR TRATAMENTO EM (%)TU/h.

Tratamentos	TAXA DE SECAGEM (%)TU/h		
	VERDE - 30%	30% - 10%	Verde - 10%
Testemunha	0,250 b	0,207 a	0,233 c
Tratamento 1	0,360 a	0,182 b	0,262 b
Tratamento 2	0,355 a	0,226 a	0,306 a

Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância. NS: não significativo a 5%.

Observou-se uma diferença significativa a nível de 5% na taxa de secagem total (verde-10%) entre os tratamentos. Houve um aumento da taxa de secagem dos tratamentos 1 e 2 em relação a testemunha, e entre os dois tratamentos o tratamento 2 (24h) foi o melhor.

No geral a vaporização teve um efeito significativo na taxa de secagem, com aumento de aproximadamente 31% para o tratamento 2 e 12% para o tratamento 1 no processo todo de secagem. Mas, especificamente na faixa de umidade de verde até 30%, verificou-se um aumento de aproximadamente 44% para o tratamento 1 e 40% para o tratamento 2, comprovando o efeito positivo da vaporização no aumento da taxa de secagem, principalmente na retirada da água livre, ou seja, acima do ponto de saturação das fibras. A vaporização causou o aumento da permeabilidade na madeira.

Vários autores comprovaram o aumento da taxa de secagem da madeira através da pré-vaporização (ZHAO *et al.* 2003; YU *et al.* 2002; CAI 2006). ALEXIOU *et al.* (1990) relataram que o aumento da velocidade de secagem da madeira era resultado de pré-vaporização, devido ao movimento e eliminação de algumas partes de extrativos de madeira, o que aumenta as moléculas de água a acessibilidade para as paredes das células.

BRODIE (2009) e DASHTI (2012) associa o aumento da relação existente entre a taxa de secagem de madeira, a permeabilidade e o coeficiente de difusão, estes dois fatores desempenham um papel fundamental no comportamento de secagem da madeira no que se refere à água livre e água impregnação.

O coeficiente de permeabilidade é afetado pela porosidade e estrutura anatômica (TARMIAN & PERRE, 2009), e o coeficiente de difusão pela estrutura da

parede celular (TARMIAN *et al.* 2012). Em estudo anterior, DASHTI *et al.* (2012) mostraram que os coeficientes de permeabilidade e de difusão radial da madeira aumentou significativamente com o resultado da pré-vaporização de 160°C. Assim, o aumento da taxa de secagem pode estar relacionado com o aumento da permeabilidade e dos parâmetros de difusividade de madeira. TORGOVNIKOV & VINDEN (2009) referiram que quando vapor é produzido dentro das células da madeira, e alta pressão de vapor interno, as membranas das pontoações da parede celular e dos raios rompem e formam as vias de transferência de fluido.

5.2.3 Avaliação da Secagem da Madeira

5.2.3.1 Efeito da vaporização no gradiente de umidade (G.U.) e nas tensões de secagem.

O efeito da vaporização no gradiente de umidade (Tabela 8) variou em média de 0,63 a 1,98% entre os tratamentos e a testemunha. Pode-se observar que tratamento 1 teve menor gradiente de umidade, isto pode ter acontecido devido ao tempo de secagem proporcionada pelo o tratamento que foi bastante suave em relação aos outros tratamentos.

TABELA 8 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DO GRADIENTE DE UMIDADE, APÓS A VAPORIZAÇÃO.

Tratamento	Gradiente do teor de umidade (%)	Desvio Padrão (s)	Valores mín. / máx. (%)
Testemunha	1,98 a	0,91	0,22/3,6543
Tratamento 1	0,63 b	0,44	0,03/1,68
Tratamento 2	1,11 b	0,88	0,17/2,53

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os resultados desta análise mostram que o gradiente de umidade entre as camadas externas e internas reduz significativamente com a vaporização em ambos os tratamentos. SEVERO (1998), estudando o efeito da pré-vaporização na secagem da madeira encontrou uma diminuição no gradiente de umidade nas amostras vaporizadas.

CALONEGO (2006) avaliou o gradiente de secagem de *Eucalyptus* depois de uma secagem com uma pré-vaporização na madeira de 3 horas, encontrou resultados satisfatórios com a diminuição da variação do gradiente.

O mesmo resultado foi encontrado por ALEXIOU & MARCHANT (1990), a quando do seu estudo sobre a vaporização da madeira *Eucalyptus*. Neste estudo, os autores observaram que o gradiente de umidade, entre as camadas externas e internas da peça reduz cerca de 25% nos oito primeiros dias da secagem e cerca de 12,6%, no período total da secagem desta espécie.

OLIVEIRA *et al.* (1957), no seu estudo fez a pré-vaporização de tábuas de *Eucalyptus* por 20 horas reduziu significativamente a diferença de gradiente de umidade.

BATISTA (2011) observou que o gradiente de umidade tem relação direta com as tensões de secagem, no qual quanto maior o gradiente, maior a incidência de tensões de secagem.

A vaporização preliminar a secagem da madeira proporciona um aumento no coeficiente de difusão (MACKAY, 1971). Segundo ALEXIOU & MARCHANT (1990) este aumento no coeficiente de difusão da madeira em decorrência da vaporização parece ser o principal responsável pela redução do gradiente de umidade.

Na Tabela 9 apresenta a classificação encontrada no teste do garfo por tratamento, o que possibilita avaliar a existência e distribuição das tensões e secagem numa peça de madeira.

TABELA 9 - TENSÃO INTERNA OBTIDA APÓS A SECAGEM

Tensão interna	Testemunha	Tratamento 1	Tratamento 2
Ausente	7	5	7
Leve	1	4	3
Forte	2	1	0

Pode-se notar que a madeira no geral em todos os tratamentos após a secagem estava pouco tensionada, indicando que o tempo fornecido no acondicionamento foi suficiente, apenas em algumas tábuas apresentavam pouca tensão interna, indicando a necessidade de maior acondicionamento. O tensionamento das peças é causado pela compressão na superfície e tração no centro (SKAAR, 1972).

O tratamento da curva 2 apresentou melhores resultados em termos de tensionamento da madeira em relação a testemunha e tratamento da curva 1, apresentando uma maior porcentagem de madeira com médio e leve tensionamento. RATNASINGAM & GROHMANN (2013) e ALEXIOU *et al.* (1990) justificam a influência da pré-vaporização nas tensões de secagem devido ao aumento da permeabilidade na madeira.

RATNASINGAM & GROHMANN • (2013) observou uma redução na tensão de secagem no seu estudo de pré-vaporização da seringueira.

RASMUSSEN (1961) recomenda duas avaliações para as tensões de secagem, uma durante a secagem de modo a eliminar as tensões de secagem e outra após a secagem, para quantificar as tensões de secagem.

5.2.3.2 Umidade inicial e final madeira

Na Tabela 10 encontram-se os resultados médios umidades inicial e final das cargas de secagem dos tratamentos.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DA UMIDADE INICIAL E FINAL DO PROCESSO.

Tratamento	Teor de umidade Inicial (%)	Coef. De Variação	Teor de Umidade Final (%)	Coef. de Variação
Testemunha	59,32 a	23,13	12,96 a	10,80
Tratamento 1	60,15 a	22,01	10,57 b	13,74
Tratamento 2	58,16 a	22,02	11,27 b	13,99

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A umidade inicial não apresentou diferença significativa a 5% entre os tratamentos e a testemunha. A sua homogeneidade na carga, foi uma variável favorável para a análise dos resultados da vaporização e da secagem, uma vez que a umidade influencia nos seus resultados. Assim, a vaporização e taxa de secagem na câmara convencional foi regulada pelos fatores intrínsecos a cada tratamento, uma vez que as condições de umidade inicial não diferiram.

BATISTA (2009) trabalhou no seu estudo com a mesma espécie e observou valores similares de umidade inicial.

Para a umidade final a análise estatística comprovou que houve diferença entre os tratamentos e a testemunha. Fez-se o teste de Tukey, e concluiu-se que somente a carga com teor de umidade final da testemunha foi estatisticamente diferente dos tratamentos 1 e 2 que foram iguais estatisticamente entre si.

Todos os tratamentos apresentaram médias de umidade final superiores aos 10% propostos pelo programa de secagem. O tratamento 1 foi o que mais se aproximou daquele valor, superando em 0,57 pontos percentuais, confirmando os resultados do ensaio de taxa de secagem, que apontavam este como o tratamento que levou mais tempo na secagem, obtendo desta forma melhores resultados. O tratamento 2 superou em 1,21 pontos percentuais a umidade final desejada, sendo melhor que o testemunha que, de acordo com o referido ensaio, teria maior dificuldade de secagem em relação ao tratamento 2.

5.3 EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

5.3.1 Efeito na Massa Específica Básica

A Tabela 11 apresenta os valores médios da massa específica básica de 10 corpos de prova de cada tratamentos e a testemunha.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.

Programa	Massa Específica Básica (g/cm ³)	Desvio Padrão (%)	Valores mín. / máx. (%)
Testemunha	0,58 a	0,09	0,48/0,73
Tratamento 1	0,58 a	0,10	0,45/0,73
Tratamento 2	0,59 a	0,09	0,46/0,74

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O valor médio variou de 0,58 a 0,59 g/cm³ entre os lotes, sendo consideradas iguais estatisticamente. CARVALHO E CAMARGO (1996) obtiveram para 3 procedência e 53 progênes *Eucalyptus saligna* com 6 e 7 anos de idade valores de massa específica básica de 0,446-0,538 g/cm³. SANTOS (2010) determinou no seu estudo a massa específica básica e encontrou valores que variam de 0,49-0,53 g/cm³. A idade das árvores pode ser a provável causa da variação existente na massa específica básica obtida neste estudo e a encontrada na literatura. Vários estudos com *Eucalyptus* provaram que a idade influência na massa específica básica (FERREIRA & KAGEYAMA, 1978) (BARRICHELO & BRITO 1979).

O coeficiente de variação médio foi de 15,71% entre os lotes, considerado alto e a amplitude média encontrada foi de 0,46 a 0,73 g/cm³, esta variação também muito grande, ocorreu em todos os lotes. A variação encontrada dentro dos lotes

podem ter ocorrido devido a diferença existente entre as amostras, com relação a variação do local de onde as tábuas foram retiradas na tora.

Na análise estatística da massa específica básica entre os tratamentos e a testemunha observou-se que não houve diferença entre os mesmos, sendo assim, a vaporização não influenciou esta propriedade. SEVERO (1998) obteve resultados similares no estudo da vaporização *E.dunni*. No estudo conduzido por CHAFE (1990) com madeira de *Eucalyptus regnans* também não se observou nenhum aumento significativo na massa específica básica com a vaporização.

5.3.2 Efeito na Contração

Na Tabela 12 encontram-se as medias do coeficiente de anisotropia de contração e contrações normais (verde-12%) radial (β_r), tangencial (β_t) e volumétrica (β_v) dos três tratamentos.

TABELA 12 - EFEITO DOS TRATAMENTOS NA CONTRAÇÃO DA MADEIRA.

Tratamentos	A_c	β_r (%)	β_t (%)	β_v (%)
T	1,25 a	6,71 b	8,37 a	15,22b
T1	1,25 a	6,81 ab	8,46 a	15,53ab
T2	1,23 a	7,34 a	8,95 a	16,50a

Onde: $\beta_{(r,t e v)}$ = Contração; A_c = Coeficiente de Anisotropia de contração.

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O coeficientes de anisotropia dos tratamentos T1 e T2 e da testemunha não apresentaram diferença estatisticamente, mostrando deste modo não houve influência da vaporização.

No entanto a contração volumétrica não sofreu redução, apresentando um leve aumento desta propriedade, causado provavelmente pela lixiviação dos extrativos da madeira durante o processo de vaporização.

O *Eucalyptus sp*, reconhecidamente, como sendo uma madeira pouco estável dimensionalmente, pode apresentar coeficientes de anisotropia de contração semelhantes a espécies de elevada estabilidade dimensional, como o cedro (1,50) (ROCHA, 2000). BATISTA *et al* (2010), estudando a variação dimensional de 5 clones de *E. saligna* encontrou valor médio da espécie semelhante a testemunha de 2,06 para o coeficiente de anisotropia de contração. Sendo assim, o coeficiente deve ser utilizado de forma criteriosa, em situações em que as demais informações de contração não forem disponíveis para uma determinada espécie (BATISTA *et al*, 2010).

Para a discussão da contração dos tratamentos, tomou-se como base a contração volumétrica (Tabela 12), uma vez que tais valores expressam a redução total de volume da madeira.

O tratamento T2 apresentou maior contração volumétrica, com 16.50%, e diferenciando estatisticamente dos outros tratamentos, que apresentaram valores de contração de 15,22 (T) e 15,53 (T1). O pequeno aumento na contração volumétrica no tratamento 2 é devido provavelmente ao maior tempo de vaporização que esteve exposta a madeira, estando esta variação de contração volumétrica dentro dos valores médios da espécie encontrados na literatura.

Segundo CUTTER (1986) a vaporização da madeira aumenta a permeabilidade da madeira e aumentando deste modo a contração (KININMONTH, 1986). A vaporização da madeira causa aumento da permeabilidade que está associada à remoção parcial dos extrativos solúveis em água, o que permite maior acesso das moléculas de água na parede celular, aumentando o coeficiente de difusão, favorecendo a retirada da água de impregnação. (ALEXIOU *et al*. 1990).

CHAFE (1990) e SEVERO (1998) em estudo sobre o efeito da vaporização do *Eucalyptus* também observaram um aumento da contração volumétrica nas amostras vaporizadas antes do acondicionamento. Segundo CHAFE (1990) este aumento da contração é devido ao aumento na intensidade do colapso. A presença de colapso na vaporização, segundo KAUMAN (1961) e KUBINSKY (1971) citado por CHAFE (1990), é devido as mudanças nas ligações químicas entre os constituintes da parede celular ou mesmo sua degradação, o que torna as células mais susceptíveis a colapsarem quando submetidas a vaporização ou ao tratamento térmico.

5.4 EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA FLEXÃO ESTÁTICA

Nas Tabelas 13 e 14 resumem-se os resultados de 30 ensaios para o cálculo do Módulo de elasticidade (MOE) e o Módulo de ruptura (MOR) com corpos de prova de madeira de *Eucalyptus saligna*. Para cada tratamento foram selecionados 10 corpos de prova.

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MOE DE T, T1 E T2.

Tratamentos	MOE (N/cm ²)	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Valores mín. / máx.
Testemunha	1378610,64 a	196167,18	0,14	1651634,32 / 1106971,25
Tratamento 1	1208898,92 a	190375,84	0,16	1568772,99 / 960863,44
Tratamento 2	1399370,70 a	99070,25	0,07	1571393,74 / 1261087,95

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 14 - VALORES MÉDIOS, MÍNIMOS E MÁXIMOS, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO MOR DE T, T1 E T2.

Tratamentos	MOR (N/cm ²)	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Valores mín. / máx.
Testemunha	9396,73 a	2069,43	0,22	12310,21 / 6315,71
Tratamento 1	9649,57 a	2147,95	0,22	12823,41 / 6440,45
Tratamento 2	11366,44 a	1860,88	0,16	14249,57 / 8592,23

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os resultados de MOR e MOE encontrados na flexão estática para *Eucalyptus saligna* (T, T1 e T2), não apresentam diferença significativa a um nível 5% na análise de variância. Pode-se constatar que não houve nenhuma influência significativa da vaporização na resistência a flexão estática. Os valores médios variaram entre 1208898,92 e 1399370,70 N/cm² MOE e 9396,73 e 11366,44 para o

MOR N/cm². Valores similares foram encontrados por IPT (1989) com MOE e MOR com valores de 1187600 e 10160 N/cm² e HASELEIN (2002) com valores de MOE e MOR de 926700 e 7260 N/cm².

SEVERO (1998) vaporizando o *Eucalyptus dunnii* por um período de 20 horas para toras e 3 horas para as tábuas, os resultados mostraram que o módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras e o esforço no limite proporcional em compressão perpendicular as fibras não sofreram qualquer alteração com a vaporização.

Os resultados apresentados para resistência mecânica dos tratamentos são similares a várias espécies tropicais usadas na construção civil. Pode-se citar como exemplo, o cambará (*Qualea albiflora*) que apresenta o valor de MOR para flexão estática de 107 Mpa, o cedrinho (*Erismia uncinatum*) MOR para flexão estática de 87,4 Mpa.

Segundo MENDES e GARCIA (2009) o *Eucalyptus saligna* demonstra suportar mais carga do que o cambará, devido as disponibilizações das fibras ao longo do corpo de prova. Em função do sucesso alcançado com a espécie exótica no estado de São Paulo, ele pode ser recomendado para usos estruturais em substituição ao cambará. Dessa forma contribui-se significativamente com a preservação da natureza

SEVERO e TOMASELLI (2004), estudaram a pré-vaporização do *Eucalyptus dunnii*, e concluíram com base nos seu resultados que as propriedades mecânicas diminuem com a pré-vaporização da madeira, com exceção do módulo de elasticidade em flexão estática que apresentou um aumento significativo com a pré-vaporização nas condições saturadas.

BARNES *et al.* (2007), mostra no seu estudo o efeito da pré-vaporização do *Pinus sp.* em 30 minutos e em 2 horas na flexão estática. O seus resultados mostra que há uma diferença significativa no que concerne ao MOR, mas em relação ao MOE não diferença significativa nos tratamentos em relação a testemunha.

ESTEVES *et al.* (2007), para madeira de *Eucalyptus* não tratada e tratada a 200 °C por 2h, 6h e 12h, encontrou para o MOE nenhuma diferença significativa nos resultados, mas para o MOR com o aumento da severidade do tratamento da curva o resultados diminuam significativamente. YILDIZ *et al.* (2002) relataram a madeira

de Faia tratada a temperaturas 130-200 ° C durante 2-10 horas uma diminuição maior nas MOE, superior a 45%.

SANTOS (2000) relata um surpreendente aumento no MOE da madeira de eucalipto com tratamento térmico, mas nenhuma informação foi dada sobre as condições de tratamento.

É importante ressaltar que as madeiras tratadas pelo processo de modificação térmica apresentaram comprometimento de suas propriedades mecânicas. Segundo BATISTA (2012), mas as madeiras tratadas por vaporização a 90 °C de *Eucalyptus* não sofreram nenhuma alteração mecânica ao que se refere a resistência mecânica a flexão estática.

5.5 EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NA QUÍMICA DA MADEIRA

5.5.1 Efeito nos Extrativos Totais

A Tabela 16 ilustra os valores médios de extrativos totais do cerne e alburno de cada tratamento.

TABELA 15 - TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DO *Eucalyptus saligna* PARA CADA TRATAMENTO

Programa		Teor de extrativos totais (%)	Desvio Padrão	Diferença (%)
Testemunha	Alburno	3,74 b	0,44	-
	Cerne	5,15 a	0,36	-
Tratamento 1	Alburno	3,58 b c	0,39	4,28
	Cerne	2,47 c	0,48	52,04
Tratamento2	Alburno	2,98 b c	0,34	20,32
	Cerne	2,86 b c	0,54	44,47

Teste de Tukey a nível de 5% de significância. As médias dos valores do teor de extrativos totais seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

O teor médio de extrativos do cerne e alburno nos tratamentos variou de 2,86%-5,15%. Os valores encontrados na presente pesquisa estão de acordo com alguns encontrados na literatura. SANTOS E SANSÍGOLO (2007) e SILVA *et al.* (2005) verificaram valores para o teor de extrativos totais em madeira de *E. urophylla* x *grandis* e *E. grandis* com seis 54 anos e 10 anos de idade, respectivamente, na ordem de 3,29% e 3,41%. ANDRADE *et al.* (2010), que reportaram teor de extrativos totais para *Eucalyptus grandis* com oito anos de idade da ordem de 1,7%. Os autores também analisaram as espécies de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*, as quais apresentaram teores médios de extrativos totais acima de 4%. Tais diferenciações se enquadram na distinção química das espécies, assim como na idade e condições de crescimento (LEPAGE, 1986; TRUGILHO *et al.*, 2007) das madeiras estudadas em cada pesquisa. Alguns autores (HILLIS, 1962; LEPAGE, 1986) salientam que o teor de extrativos totais é variável na faixa de 3% até 30% do peso seco da substância madeira, concluindo que a variação deste componente é normalmente alta.

A pré-vaporização da madeira serrada de *E. saligna* promoveu uma redução de teor de extrativos totais quando comparado à testemunha. Para o tratamento 1 houve uma redução de até 4,28% para o alburno e 52,04% em relação à testemunha e para o tratamento 2 percebeu-se uma redução de cerca 20% para o alburno e 44% para o cerne. A pré-vaporização de tábuas de *Jugans nigra* por 2-16 horas a 100°C reduziu em 9% o teor de extrativos da madeira (CHEN E WORKMAN, 1980).

O efeito da vaporização na redução dos extrativos totais foi maior no cerne em relação ao alburno. ISHIKAWA (2004) verificou a redução de extrativos na madeira *Cryptomeria japonica* quando submetido a tratamento térmico. Segundo SILVA (2010) o cerne tem maior porcentagem de extrativos em relação ao alburno. Assim, a madeira quando submetida a alta temperatura há redução (material volátil) ou movimentação dos extrativos de regiões com maior concentração para com menor concentração. Segundo HILLIS (1984) a pré-vaporização através da água e temperaturas altas favorecem ao amolecimento e a movimentação dos compostos químicos e a movimentação dos extrativos.

A Figura 19 mostra o efeito da vaporização no cerne e alburno dos tratamentos em relação aos extrativos totais

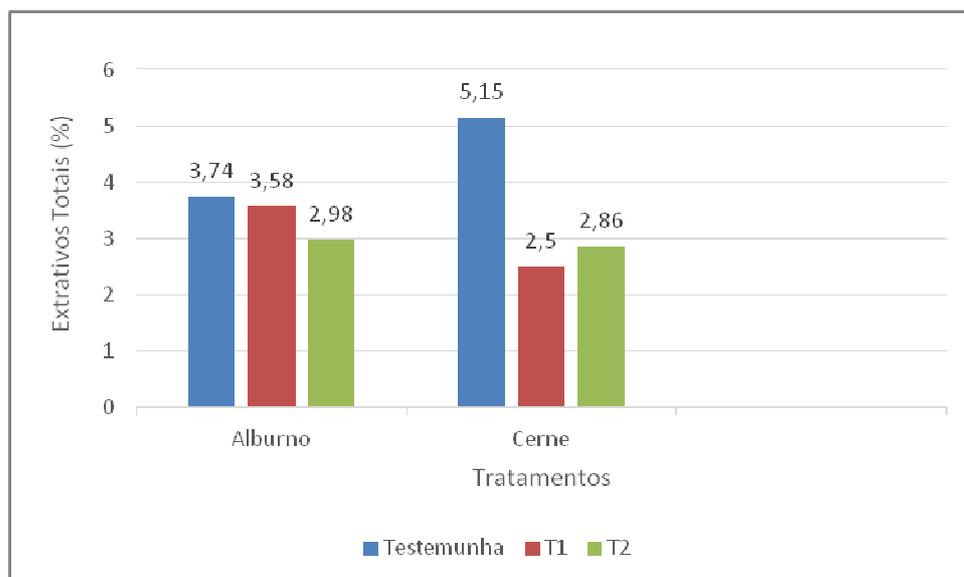


FIGURA 19 - GRÁFICO DA VARIÇÃO DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DO *Eucalyptus saligna* PARA CADA TRATAMENTO.

A Figura 19 ajuda-nos a perceber o comportamento dos tratamentos ao nível dos extrativos totais. A vaporização diminui os extrativos totais, e ela ocorreu mais no cerne em relação ao alburno. Pode-se afirmar que a diferença entre o alburno e cerne no tratamento 2 foi menor em relação ao tratamento 1 e a testemunha. A redução deve ter sido causada pela lixiviação e/ou degradação de extrativos durante a vaporização e a mobilização de certos componentes dentro da madeira (CHEN E WORKMAN, 1980). Além disso, novos compostos formados a partir dos produtos derivados da degradação térmica podem ter sido extraídos pelos solventes como parte da fração de extrativos totais da madeira (ESTEVES *et al.*, 2007; ISHIGURI *et al.*, 2005).

Os extrativos totais apresentaram uma relação com algumas características da cor, obtidas em estudos prévios sobre a madeira (MOURA *et al.* 2011). Neste estudo notou-se que existe uma perda parcial dos extrativos totais, e consequentemente houve um escurecimento e avermelhamento da cor. A redução da claridade da madeira em função da diminuição do teor de extrativos, por ação da temperatura, já havia sido indicada por BOURGOIS *et al.* (1991).

5.5.2 Efeito da Vaporização na Solubilidade em NaOH 1%

Pode-se verificar na Tabela 16 os valores médios da solubilidade em NaOH 1% para alburno e cerne de cada tratamento do *E. saligna*.

TABELA 16 - SOLUBILIDADE EM NaOH 1% NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DO *Eucalyptus saligna* PARA CADA TRATAMENTO.

Programa		NaOH 1% (%)	Desvio Padrão (%)	Diferença
Testemunha	Alburno	12,32 e	0,09	-
	Cerne	14,67 a	0,07	-
Tratamento 1	Alburno	12,42 e	0,03	-0,81
	Cerne	13,48 c	0,09	8,11
Tratamento 2	Alburno	13,06 d	0,03	-6,01
	Cerne	13,76 b	0,04	6,20

A solubilidade em NaOH 1% variou de 12,32% - 14,67%, resultado similares foram observados por vários autores. MARRON e NEVES (2000) em madeira de *Eucalyptus grandis* com sete anos, a qual apresentou 12,58% de solubilidade. BARRICHELO e BRITO (1976) encontraram para várias espécies de eucalipto a solubilidade em NaOH 1% variando entre 10,80% e 18,50%, e encontra-se inserido na faixa da presente pesquisa.

As médias dos valores de NaOH 1% seguidas pela mesma letra na Tabela 17 não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e em alguns valores houve uma diferença significativa estaticamente. Pôde-se perceber a influência dos tratamentos em relação a testemunha sobre o fator NaOH 1%. A diferença entre cerne e alburno para a testemunha foi de 2,35 unidades, do tratamento 1 foi 1,06 unidades, e do tratamento 2 foi 0,7 unidades mostrando desse modo, que tratamento melhoram a variação de NaOH nas peças.

A Figura 20 ilustra o efeito da vaporização no cerne e alburno dos tratamentos em relação a NaOH 1 % do *E. saligna*. Pode-se afirmar que a diferença entre o

alburno e cerne no tratamento 2 foi menor em relação ao tratamento 1 e a testemunha.

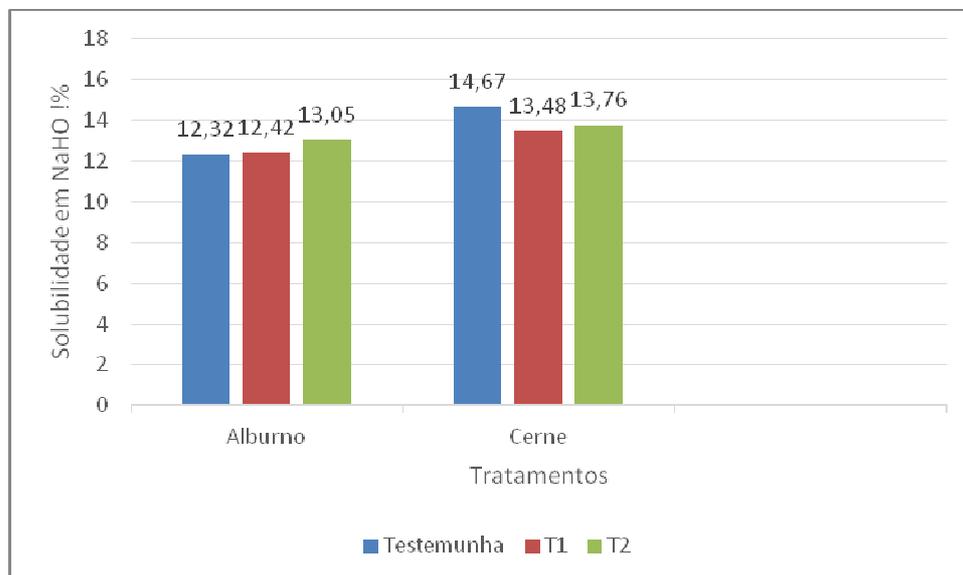


FIGURA 20 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO NaOH 1% NA REGIÃO DE CERNE E ALBURNO DE *Eucalyptus saligna* PARA CADA TRATAMENTO

Segundo as Normas TAPPI (1999) a solução alcalina é responsável pela extração de carboidratos de baixo peso molecular da madeira.

Apesar de se verificar que a vaporização do cerne reduziu significativa em todos os tratamentos, pode-se notar a partir do gráfico que praticamente não houve uma alteração dos solúveis em NaOH 1% entre os tratamentos, apesar da diferença estatística apresentada. Pode-se concluir que a vaporização não degradou a parede celular. Segundo FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999), os valores encontrado para as frações de extraíveis em NaOH 1% serem abaixo de 18% significa que o material não sofreu degradação.

Para o tratamento 1 diminuiu aproximadamente 1% enquanto para o tratamento 2 foi de aproximadamente 6%, a um nível de significância de 5%. No alburno o efeito foi contrário, para o tratamento 1 verificou-se um aumento de aproximadamente 8% enquanto para o tratamento 2 aproximadamente 6%. Segundo a norma FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999), relata sobre a quebra da hemicelulose através de hidrólise ácida em condições de alta umidade relativa. A partir disso, possivelmente, na madeira tratada houve a geração de fragmentos susceptíveis de solubilização pela solução alcalina, o que levou ao aumento da

solubilidade deste material em relação à madeira controle. Segundo CAMPBELL E TAYLOR (1933) o aumento da solubilidade da madeira vaporizada se deve à maior ou menor volatilização e lixiviação de açúcares durante o tratamento, assim como a estrutura química de tais componentes. Essa provável degradação de hemiceluloses e de outros componentes. Segundo ISHIGURI *et al* (2005) hidrolisáveis permitem acesso das moléculas do solvente (NaOH) a um maior número de locais da parede celular, promovendo aumento de retirada de componentes solúveis (YILGOR *et al.*, 2001).

5.6 EFEITO DA VAPORIZAÇÃO NAS PROPRIEDADES COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA

No *Eucalyptus saligna*, a mudança de cor foi visível em função dos tratamentos da vaporização. As diferenças visuais em cada tratamento são perceptíveis, podendo notar que a madeira tratada em relação a testemunha no geral homogeneizou e avermelhou mais.

Com base na classificação dos grupos de cores contidos no agrupamento de Cluster (CAMARGOS & GONCALEZ, 2001), foi possível identificar as cores correspondentes aos grupos de valores dos parâmetros colorimétricos L*, a* e b* obtidos para cada tratamento. Pode-se notar que a pré-vaporização das amostras influenciou de certo modo na sua cor final, podendo-se afirmar que alterou a cor original das amostras.

As cores das amostras dos tratamentos 1 e 2 e a respectiva testemunha estão descritas na Tabela 17 pelo sistema CIELAB 1976.

TABELA 17 - VALORES MÉDIOS E DESVIO-PADRÃO DA LARGURA (FACE) CONSIDERANDO OS PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS L*, A*, B*.

Face analisada	Índice	Testemunha	Tratamento 1	Tratamento 2
Largura	L*	69,41 a (3,8)	63,04 b (3,3)	60,98 c (3,3)
	a*	10,19 a (1,9)	12,45 b (1,9)	13,31 c (1,9)
	b*	19,13 a (1,2)	17,87 b (1,2)	17,51 c (1,2)
	Cor	Amarelo-claro	Rosa	Marrom-claro

Os valores com letras iguais não apresentam diferença significativa estatística pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os valores das coordenadas a* e b* da testemunha e dos tratamentos 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). O desvio padrão, de forma geral, são bem homogêneos, mostrando a uniformidade das amostras.

Os parâmetros colorimétricos apresentam uma diferença significativa em todos os tratamentos. Podendo deste modo afirmar que o tempo de vaporização a 90°C de temperatura e a uma umidade relativa de 100% alteram os níveis de luminosidade e pigmentação vermelha. Segundo PINCELLI (1999), BEKHTA E NIEMZ (2003) e GRIEBELER (2013) com o aumento da temperatura e a da duração do tratamento a madeira apresenta uma coloração mais escura e homogenia.

Para a coordenada a* (espectro do vermelho), observou-se que a testemunha apresentou valores menores em relação ao tratamento 1 e tratamento 2, e a madeira mais avermelhada foi a do tratamento 2. MOURA (2011) e Pincelli (1999), encontraram valores semelhantes para coordenada a* a mesma temperatura no seu estudo de termoretificação de *Eucalyptus*.

Para a coordenada b* (espectro do amarelo), observa-se a testemunha apresentou maior valores em relação a testemunha e o tratamento 2, tornando-se a madeira mais amarela. A coloração amarelada está associada à presença de lignina e complexos organometálicos em extrativos. Menciona-se que a madeira não tratada possui quinonóides e estruturas de estilbeno em sua lignina, os quais conferem parte do matiz amarelo (FALKEHAG *et al.* 1966). Segundo MOURA (2011) o tratamento

térmico interfere na estrutura e/ou quantidade destes compostos na madeira, alterando dessa forma a sua coloração.

Na Figura 21 apresenta o gráfico de refletância da face da largura, onde pode-se observar que o tratamento 2 foi o que apresentou valores mais baixos em relação ao parâmetro L (claridade), tornando desse modo, a madeira mais escura. Este escurecimento é devido a processos oxidativos.

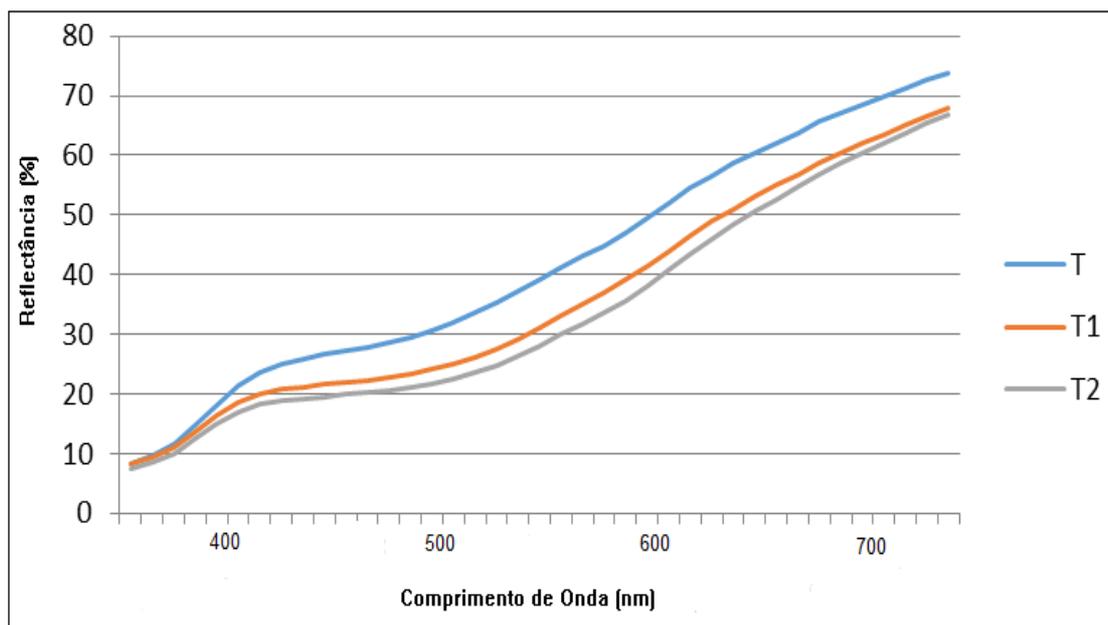


FIGURA 21 - CURVA DE REFLETÂNCIA DA LARGURA (FACE).

À claridade (L^*) diminuiu com o tempo de vaporização da madeira nos tratamentos. RATNASINGAM (2013) obteve resultados semelhantes quando estudou a vaporização da seringueira com três horas diferentes 5h, 10 e 15h. Segundo GRIEBELER (2013) com o aumento da temperatura a luminosidade da madeira decresce gradativamente. ESTEVES *et al.* (2008) com *Eucalyptus globulus* verificou a diminuição da luminosidade após tratamento a 180°C, durante 24 horas.

Quando a madeira é submetida a um tratamento térmico, no geral há um aumento da temperatura causando um escurecimento das amostras, o que confirma resultados previamente obtidos por PINCELLI (1999), BEKHTA E NIEMZ (2003) E MOURA (2011).

Segundo MOURA (2011) os parâmetros da claridade apresentaram nos seus estudos uma correlação negativamente com os extrativos totais. Além disso, as

amostras tenderam a ficar mais escuras à medida que o teor de extrativos foi reduzido por ação da temperatura. A redução da claridade da madeira em função da diminuição do teor de extrativos por ação da temperatura, já havia sido indicada por BOURGOIS *et al.* (1991).

Os tratamentos T1 e T2 apresentaram uma maior homogeneização do lote com relação a coloração rosa avermelhado proporcional em toda peça comparando com a testemunha a testemunha (Figura 22).



FIGURA 22 - REPRESENTAÇÃO VISUAL DA COR DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* DA TESTEMUNHA, T1 E T2.

O tratamento que melhor resultados apresentou em relação a homogeneização e coloração rosa avermelhada foi o 2, com tempo de vaporização de 24 horas. A condição mais drástica de vaporização causou melhor homogeneização da cor. Para ALEXIOU (1990), o tempo de vaporização influencia diretamente e proporcionalmente na homogeneização da cor.

Na Figura 23 ilustra a comparação as amostras 40 e 29, ambas do tratamento 2 (24h) com a espécie *Cariniana legalis*, mostrando visualmente a possibilidade de valorização que a madeira vaporizada de *Eucalyptus* pode ter por meio da alteração da sua cor.



FIGURA 23 - REPRESENTAÇÃO VISUAL DA COR DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* TRATAMENTO 2 DAS AMOSTRAS 29 E 40 em COMPARAÇÃO COM A *Cariniana legalis*.

A partir da comparação apresentada na Figura 23 é possível inferir que a madeira vaporizada pode ser uma alternativa favorável para agregar valor à 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. Efeito da vaporização nas Propriedades Químicas da madeira

5.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados e discussões apresentados conclui-se que:

- a) Em relação a avaliação do efeito da vaporização no comportamento de secagem obteve-se:
- O processo de vaporização aumentou a taxa de secagem na madeira.
 - O processo de vaporização de tábuas, por 24 horas, aumentou a taxa de secagem, especialmente, durante a transferência de massa de água por capilaridade
 - A vaporização reduz o gradiente de umidade e tensão secagem.
- b) Em relação a avaliação do efeito da vaporização nas propriedades físicas, mecânicas e químicas da madeira obteve-se:
- A vaporização não influenciou significativamente na massa específica básica e no coeficiente de anisotropia de contração da madeira.
 - Ambos os tratamentos de vaporização na temperatura de 90°C e UR de 100% não alteraram a resistência mecânica da madeira em flexão estática;
 - A vaporização reduziu o teor de extrativos totais da madeira de *E. saligna*.
- c) Em relação a avaliação do efeito da vaporização na cor das tábuas através da Calorimetria obteve-se:
- A vaporização homogeneizou a coloração da madeira, tornando a sua tonalidade mais avermelhada.
 - O período de vaporização de 24 horas, contribuiu com maior intensidade na homogeneidade da madeira de *Eucalyptus saligna*.

Com base nos resultados, análises realizadas e as conclusões deste estudo recomendam-se:

- Aprimorar o sistema utilizado neste estudo visando otimizar o controle, de forma a ter uma atuação contínua com base em informações precisas de umidade do material.
- Transferir os conhecimentos para o setor industrial para que a tecnologia aqui testada possa ser melhor aplicada.
- Expandir os estudos para avaliação do impacto da vaporização em outras espécies, incluindo como prioridade o gênero *Eucalyptus* e *Pinus*.
- Avaliar economicamente o investimento adicional da vaporização na secagem da madeira.

REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF**. Brasília. 2013. 148p.

ALEXIOU PN, MARCHANT JF, GROVES KW. Effect of pre-steaming on moisture gradients, drying stresses and sets, and face checking in regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. **Wood Sci Technol** 24:201–209. 1990

BAMBER, R. K. **Sapwood and Heartwood. Technical publication**. Forestry Commission of New South Wales. n2. New York.1961.

BARBOSA *et al.* **Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones híbridos de *Eucalyptus* spp.** Cerne, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2005.

BARRICHELLO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ, 125 p. 1985.

BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. A utilização da madeira na produção de celulose, **Circular técnica. IPEF**, Piracicaba (68): 1-16, 1979.

BARROS, N.F., NOVAIS, R.F., CARDOSO, J.R. et al. Algumas relações solo-espécies de eucalipto em suas condições naturais. In: BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.1-24.

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. 339f.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J. E SANTOS, C. V. T. **Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus***. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, out.-dez., 2010.

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

BHUÍYAN, T. R.; HIRAI, N.; SOBUE, N. Changes of crystallinity in wood cellulose by heat treatment under dried and moist conditions. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 46, p. 431-436, 2000.

BOURGOIS, P.J.; JANIN, G; GUYONNET, R. La mesure de couleur: Une méthode d'étude et d'optimisation des transformations chimiques du bois thermolysé. **Holzforschung**, Berlin, v.45, n.5, p.377-382, 1991.

BRODIE, G. Innovative wood drying: Applying microwave and solar technologies to wood drying, **Saarbrücken**, Germany : VDM Verlag Dr. Muller. 2009.

BUSNARDO, C.A. et al. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. IV. Altura ideal de amostragem para avaliação da densidade média para árvores de *Eucalyptus grandis*. In: **CONGRESSO ANUAL DA ABCP**, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1987.

CAI, L. Using steam explosion to improve the dryability of wet pochet wood. **Forest Products Journal**, 75-78p. 2006

CALONEGO, F. W. **Estimativa do tempo de vaporização das toras e sua implicação no desdobro e na secagem da madeira de *Eucalyptus grandis***. 2004. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Efeito da vaporização de toras na redução dos defeitos associados a tensões de crescimento de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n. 4, p. 431-440, 2005.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; CONEGLIAN, A.; BARREIROS, R. M. Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toros e em madeira serrada. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, n. 2, p. 168-180, 2006.

CAMARGOS, J. A. A. & GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Floresta**, n. 71, 2001.

CAMPBELL, W. G.; TAYLOR, K. F. The chemical changes induced in wood by saturated steam under pressure. **Biochemical Journal, London**, v. 27, n. 1, p. 158-164, 1933.

CARVALHO, A.M. & CAMARGO, F.R.A. Variação da densidade básica entre procedências e progênies de *Eucalyptus saligna*. **O Papel**, São Paulo, n.6, p.56-59, 1996.

CARVALHO, HÉFER JOÁS OLIVEIRA. **Desenvolvimento de metodologia para homogeneização de coloração de madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus grandis***. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, 2011.

CASTRO, J. S. Madeira de eucalipto tendências e usos. In: SEMINARIO MADEIRA DE EUCALIPTO: TENDENCIAS E USOS, 2001. Universidade Federal de Viscosa, p. 29-30, 2001.

CHEN, P. Y. S.; WORKMAN, C. J. Effect of steaming on some physical and chemical properties of black walnut heartwood. **Wood and Fiber Science**, Hanover, v. 1, n. 4, p. 218-227, 1980.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla***. 1998. 73 p. Dissertação (Mestrado em tecnologia da madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

COSTA, A. Coletâneas de anatomia da madeira. 2001, 42 p.

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. **Ciencia Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, dez. 2006.

COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CORADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Eds.) Anatomia Vegetal. Viçosa: UFV, 2003. cap. 5, p. 129-154.

CUTTER, B. E.; PHELPS, J.E. High-pressure steam drying: Effects on permeability. **For Prod. J.** 36:19-20. 1986

DASHTI, H., TARMIAN, A., FAEZIPOUR, M., HEDJAZI, S., AND SHAHVERDI. M. Effect of pre-steaming on mass transfer properties of fir wood (*Abies alba* L.); A gymnosperm species with torus margo pit membrane," *BioResources* 7(2), 1907-1918. 2012.

DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. *Timber: its structure, properties and utilization*. 6. ed. London: McMillan, 1993. 410 p.

DUBEY, M. K. **Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiata pine wood after heat-treatment in a vegetable oil**. 2010. 211f. (Doutorado). Universidade de Canterbury, Canterbury.

ESTEVEZ, B.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, H. **Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C**. *Forest Products Journal*, 57 (1/2). 2007 47-52 P.

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

FAO. **El eucalipto en la repoblación forestal Roma**. 1981. 723p.

FENGEL, D. AND WEGENER, G. 1984. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin: Walter de Gruyter.

FERNANDES, P.S. & GALVÃO, A.P.M.. Gradiente de umidade em peças de jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayme). *Silvicultura em São Paulo*, São Paulo, 11/12: 87-92, 1977/1978.

FERREIRA, M. & KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade básica da madeira do eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3, **Manaus**, 1978. Anais. São Paulo, SBS, 1978. v.2, p. 148-52.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, v.47, p.1-30, 1979.

FERREIRA, M. **Estudo da variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith**. Piracicaba, 1968. 72p. (Tese Doutorado).

FOREST PRODUCTS LABORATORY FPL. **Wood handbook**: Wood as an engineering material. Washington: U.S.D.A., 1987. 466p. (Agriculture Handbook, 72).

FORRER, J.B. An electronic system for monitoring gradients of drying wood. For. prod. J., **Madison**, v. 34, n 7/8, p. 34-38, July/Aug. 1984.

GALVÃO, A . P.M. & JANKOWSKY, J.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, NOBEL, 1985, 112p.

GONÇALEZ, J. C. **Caractérisation technologique de quatre espèces peu connues de la forêt amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 1993. 445 p. Tese (Doutorado) – École Nationale de Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Université de Nancy I, Nancy.

GRIEBELER, CAROLINA GOMES DE OLIVEIRA. **Desenvolvimento de metodologia para homogeneização de coloração de madeira de cerne e alburno de *Eucalyptus grandis***. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 2013.

HARJU, A.M. AND VENÄLÄINEN, M. 2006. Variation in natural durability of scots pine heartwood. Proceedings of ECOWOOD 2nd **International Conference** on Environmentally-Compatible Forest Products Fernando Pessoa University, O Porto, Portugal, 20–22 September.

HILDEBRAND, R. Kiln **Drying os Sawn Timber**. Germany: R.H. Maaschinenbau Gmbh, 1970. 204p.

HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. 1st. Chichester: John Wiley & Sons, 2006. 260p.

HUNT, R.W.G. **The Reproduction of Colour in Photography**, Printing and Television: 5th Edition. Fountain Press 1995.

ISHIGURI, F. et al. Changes in the physical and chemical properties of six Japanese softwoods caused by length smoke-heating treatments. **Journal of Wood Science** Tokyo, v. 51, n. 2, p. 161-166, 2005.

JANKOWSKY, IVALDO PONTES; SILVA, LUIZ EDUARDO SILVA. Gradiente de umidade durante a secagem da madeira de *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KTZE. **IPEF**, n.31, p.57-59, dez.1985.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA/JUNAC. 1989. **Manual del Grupo Andino para el secado de maderas**. 1ª Ed. Lima.

KAUMAN, W. G. Effect of thermal degradation on shrinkage and collapse of wood from 3 Australian species. **For. Prod. J.**, v. 11, p.445-52. 1961.

KIKUTI, P., NAMIKAWA, I.S. Estudo da interação clone x níveis da adubação em *Eucalyptus saligna*. **O papel**, n.3, p.37-44, 1990.

KIM, G., K. YUN, AND J. KIM . Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood. **Material und Organismen**. 101-108. 1998

KININMONTH, J. A. Effect of steaming on the fine structure of *Nothofagus fusca*. **NZ J Forest Sci**. 1: 129-139.

KLITZKE, R J .**Uso do inversor de frequência na secagem de madeira**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2002. 218f.

KLITZKE, R.; **Apostila de Secagem da Madeira**. Curitiba, 2005.

KOLLMANN, F. AND A. SCHNEIDER. 1963. On the sorption behaviour of heat stabilized wood. **Holz als Roh und Werkstoff**. 21 (3): 77-85.

KOLLMANN, F.F.P. AND COTE, W.A.J. (1968). **Principles of Wood Science and Technology**. I. Solid Wood. Springer-Verlag, NewYork. 592p.

KOZLIK, C.J E MISSOULA, MT. **Problems of drying western hemlock heartwood to a uniform moisture content**. Proc. Western Dry Kiln Assoc. May 21-22. 1970.

KUBINSKY, E. Influence of steaming on steaming on the properties of *Que reus rubra* L. Wood. **Holz-forschung**, v.25, p.78-83. 1971.

LEAPAGE, E. S. Química da madeira. In:_____. Manual de preservação de madeira. 2. Ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1986. Cap. 4, 69-98.

LINDGREN, B. AND NORIN, T. 1969. Hartsets kemi. *Hartskompendium*. Stockholm: **Svenska Pappers** och Cellulosaingenjörsföreningen, pp. 20–29 (In Swedish).

LOBÃO, M. S, et al. **Tecnologia da Madeira – Propriedade Físicas e Mecânicas da Madeira**. Rio Branco Universidade Federal do Acre, Departamento de Ciências Agrárias. 1 edição. Série tecnologia da Madeira; V. 1, n1. FUNTAC. 2005. 44p

LOPES, CAMILA S. D. 2011. ESTUDO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES DE EUCALIPTO PARA A INDÚSTRIA. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, abr.-jun.

LORENZI, H., SOUZA, H.M., TORRES, M.A.V. BACHER, L.B. Arvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MACKAY, J F G Influence of steaming on water vapor diffusion in hardwoods, **Wood Sci.**, V.3, p.156-160. 1971.

MÁRCIO GOULART et al. MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MASSA SECA DE MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* SOB O EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO E DA POSIÇÃO AXIAL NO TRONCO. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175 167.

MARCOS A. *et al.* Variação da massa específica da madeirade *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **SCIENTIA FORESTALIS** n. 53, p. 71-78, jun. 1998.

MARRON, A.; NEVES, J. M. Aproveitamento de resíduos de serraria de árvores de *Eucalyptus grandis* de 15 anos. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2000, Puerto Iguazú. **Anales...** Puerto Iguazú, 2000. 1 CD-ROM.

MARTÍNEZ-INIGO, M.J.M., IMMERZEEL, P., GUTIERREZ, A., DEL RÍO, J.C. AND SIERRA-ALVAREZ, R. 1999. Biodegradability of Extractives in Sapwood and Heartwood from Scots Pine by Sapstain and White-Rot Fungi. *Holzforschung* 53(3):247–252.

MARTINS, VARLONE ALVES. Secagem de madeira serrada. Brasília, IBDF/DPq LPF, 1988. 52 p.

MCGINNES, E. A. JR.; ROSEN, H. N. Macroscopic and microscopic analyses of color changes of wood pressure steam-dried above atmospheric pressure. **Wood Fiber Sci.** 16: 48-56. 1984.

MENDES, A. S. MARQUES, M. H. B., MARTINS, V. A. **Programas de secagem para madeiras brasileiras.** Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renváveis. 114p. 1998.

MENDES, LOURIVAL MARIN. Movimentação de água abaixo do ponto de saturação das fibras. **Manual.** Curitiba. 1999

MILLER, R. B. Structure of wood. In: **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material.** Madison, WI: Forest Products Laboratory, 1999.

MITSUI, K., H. TAKADA, M. SUGIYAMA, AND R. HASEGAWA. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment: Part 1 Effect of treatment conditions on the change in colour. *Holzforschung*. 55, 601-605. 2001

MORI, C. L. S. DE O.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, 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. **Ciencia Florestal**. Santa Maria-RS: Universidade Federal de Santa Maria. v. 14, n.2, p.123-132, 2004.

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

MOURA, L.; BRITO, J. Efeito da termorreificação sobre as propriedades colorimétricas das madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 069-076, mar. 2011.

MUNIZ, 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.

OLIVEIRA, JOSÉ TARCÍSIO DA SILVA; HELLMEISTER, JOÃO CESAR & TOMAZELLO, MÁRIO FILHO. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Árvore**. Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, LUIZ C. ET AL. EFFECT OF PRESTEAMING ON SHRINKAGE AND MOISTURE CONTENT DISTRIBUTION OF 4" BY 4" HEMFIR LUMBER. Forintek Canada Corp. Vancouver B.C. Stavros Avramidis University of British Columbia. Vancouver B.C. 1957.

PERKITNY, T LAWNICZAK, M. & MARCINIAK, H. Uber den Einfluub des Dampfens auf den Quellungsdruck Holzes. **Holz Roh-Werstoff** 17: 54-61. 1959.

PINCELLI, A.L.P.S.M. **Efeito da termorreificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de Eucalyptus saligna e Pinus caribaea var. hondurensis**. 1999. 115p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) –Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

RATNASINGAM, JEGATHESWARAN & GROHMANN, RAINER. Effects of pre-steaming on the drying quality of Rubberwood. **Springer-Verlag**. Berlin Heidelberg 2013

ROCHA, CINTHIA DIAS. **Efeito da vaporização na madeira de *Eucalyptus grandis* sobre as suas propriedades químicas e na reistencia natural a fungos e cupins.** Botucatu, Faculdade de Ciência Agrinomicas, 2011. 121p. (Tese M.S.).

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para Serrarias.** 2000. 185 f. Tese (Doutorado)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROWELL, R. 1984. **The Chemistry of Solid Wood.** Advances in Chemistry 207. Washington, DC: merican Chemical Society.

ROZAS MELLADO, E. C & TOMASSELLI, IVAN. E. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciencia Florestal.**Santa Maria. v3. n1. 147-150p. 1993.

ROZAS MELLADO, E. C. E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado.** 1993. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

SANTINI E. J. **Alternativas para Monitoramento e Controle do Processo de Secagem de Madeira Serrada em Estufa.** Curitiba, 1996. 203 p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná.

SANTINI, E. J.; TOMASELLI, I. Colapso na madeira de algumas experiências brasileiras. **Série Técnica**, Curitiba, n.3, p. 1-21, 1980.

SANTOS, GILSON ROBERTO VASCONCELOS DOS. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* [Hill ex Maiden].** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. Dissertação (mestrado). 70p. 2002.

SANTOS, J. 2000. Mechanical behaviour of Eucalyptus wood modified by heat. *Wood Science and Technology* 34: 39-43.

SANTOS, Patrícia Soares Bilhalva dos **Determinação da massa específica e estudo da variação do comprimento de fibras da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith e *Eucalyptus globulus* Labill.** Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2010.54f.

SCANAVACA JÚNIOR, L.; GARCIA, J. N. Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.65, p.120-129, 2004.

SCHEFFER, T.C. and Cowling, E.B. 1966. Natural resistance of wood to microbial deterioration. **Annual Review of Phytopathology** 4:147–170.

SEHLSTEDT-PERSSON, M. 2002: The effect of extractive content on moisture diffusion properties for Scots pine and Norway spruce. COST Action E15 Advances in the drying of wood (1999–2003). 3rd Workshop on SOFTWOOD DRYING TO SPECIFIC END-USES. Helsinki, Finland, June 11-13.

SEVERO, E. et al. Efeito da vaporização em madeira de eucalyptus dunnii sobre algumas propriedades mecânicas. **Ciência Florestal**, v. 10 , n. 2, pp. 123-133 2000, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

SEVERO, ELIAS *et al.* Tomaselli Efeito da pré-vaporização em algumas propriedades físicas da madeira de Eucalyptus dunnii. **CERNE**, vol. 7, núm. 2, 2001, pp. 35-42, Universidade Federal de Lavras, Brasil.

SEVERO, ELIAS T. D.; TOMASELLI, IVAN. Efeito da pré-vaporização em algumas propriedades físicas da madeira de Eucalyptus dunnii. **Revista Cerne**. vol. 7, n 002. Universidade Federal de Lavras, Brasil. 2001. 35-42 p.

SEVERO, ELIAS T. D.; TOMASELLI, IVAN. Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de Eucalyptus dunnii sobre a flexão estática. **Revista Floresta**. V. 29, n. 12. 1999.

SEVERO, ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração tecnologia e utilização de produtos florestais. 1998. 200 f.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SIMPSON, W.T. 1976. Effect of pre-steaming on moisture gradients of northern red oak during drying. **Wood Sci.** 8:272-276. 1976

SIMPSON, W.T. **Dry kiln operator's manual.** Madison: USDA/FS/FPL, 1991.

SKOLMEN, R. G. Heating logs to relieve growth stresses. **Forest Products Journal.** Madison, v. 17, p. 41-2, 1967.

STAMM, A. J. (1964). **Wood and Cellulose Science.** Ronald Press, New York. 509p.

STANGERLIN, DIEGO MARTINS; MELO, RAFAEL RODOLFO; GATTO, DARCI ALBERTO; CADEMARTORI, PEDRO HENRIQUE GONZALEZ. Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 70-79, 2010.

STEINHAGEN, H. P.; MEYERS, G. E.; KUBLER, H. Heating times charts for frozen and nonfrozen veneer logs. **Forest Products Journal**, Madison, v. 30, n. 4, p. 27-37, 1980.

TARMIAN, A., AND PERRE, P. Air permeability in longitudinal and radial directions of compression wood of *Picea Abies* L. and tension wood of *Fagus Sylvatica* L. **Holzforschung** 63(3), 352-356p. 2009

TARMIAN, A., REMOND, R., DASHTI, H., & PERRE, P. Moisture diffusion coefficient of reaction woods: Compression wood of *Picea abies* L. and tension wood of *Fagus sylvatica* L. **Wood Science Technology** 46(1/3), 405-417p. 2012.

TIEMANN, H.D. **The kiln drying of lumber.** Lippincott Co. 1920

TRUGILHO, P.F. et al. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus saligna*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n 73, p. 55-62, 2007.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L. M. Influências da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.2, n. 94, 1996.

TRUGILHO, P. FERNANDO; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. INFLUÊNCIA DA IDADE NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ANATÔMICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna*. **Cerne**. v2. n1. 2009.

TSOUMIS, G. Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

TSOUMIS, G.T. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York : Chapman & Hall, 1991.

TURNBULL, J.W., PRYOR, L..D. Choice of species and seed sources. in: hillis, w.e., brown, a.g. *Eucalypts* for wood production. Adelaide: Csiro, 1978. p.6-65.

VIITANIEMI, P., S. JÄMSÄ, AND H. VIITANEN. 1997. Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. United States Patent N° 5678324 (US005678324).

WEHR, T.R. **Variação nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos Kraft**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1991. 84p. (Tese M.S.).

WIEDENHOEFT, A. Structure and function of wood. In: Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, **Forest Service**. Forest Products Laboratory, 2010. p.62-79.

YILDIZ, S., G. ÇREOLAKOGLU, Ü. YILDIZ, E. GEZER, AND A. TEMİZ. Effects of heat treatment on modulus of elasticity of beech wood. International Research Group on Wood Preservation, Section 4-Processes, N° IRG/WP 02-40222. 2002.

YILGOR, N.; UNSAL, O.; KARTAL, S.N. Physical, mechanical, and chemical properties of beech wood. **Forest Product Journal**, Madison, v. 51, n. 11/12, p. 89-93, 2001.

YU, Z. M., ZHAO, L., AND LI, W. J. Study on permeable mechanism with dyestuff during wood dyeing. **J. Beijing Forest Univ.** 24(1), 79-82p. 2002.

ZHAO, R. J., WANG, X. M., & JIANG, Z. H. Study on drying collapse properties and schedule of Eucalypts treated by MW. In: proceedings of 9th wood drying symposiums in China, China. 2003.

ANEXOS
ANÁLISE DA VARIÂNCIA

TABELA A-1. ANOVA DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE VERDE Á 30% ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	0,03073	0,01537	96,9187**
Resíduo	9	0,00143	0,00016	
Total	11	0,00472		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

TABELA A-2. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE VERDE Á 30% ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	0.2500	b
Tratamento 1	0,3600	a
Tratamento 2	0,3545	a

Diferença mínima significativa = 0,02487. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA A-3. ANOVA DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE 30% Á 10% ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	0,00381	0,00190	18,720**
Resíduo	9	0,00092	0,00010	
Total	11	0,00472		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

TABELA A-4. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE 30% Á 10% ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	0,207	a
Tratamento 1	0,182	b
Tratamento 2	0,226	a

Diferença mínima significativa = 0.01992. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-5. ANOVA DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE VERDE Á 10% ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	0,01071	0,00536	31,5086**
Resíduo	9	0,00153	0,00017	
Total	11	0,01224		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

TABELA A-6. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DA TAXA DE SECAGEM EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE VERDE Á 10% ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	0.23300	c
Tratamento 1	0,26250	b
Tratamento 2	0,30575	a

Diferença mínima significativa = 0,02575. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-7. ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	10,27562	5,13781	8,6685**
Resíduo	30	17,78100	0,59270	
Total	32	28,05662		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

TABELA A-8. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	1,974555	a
Tratamento 1	0,62636	b
Tratamento 2	1,10546	b

Diferença mínima significativa = 0,80779. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-9. ANOVA DA UMIDADE INICIAL ANTES DA VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	131,31800	65,65900	0,3448 ns
Resíduo	195	37128,01853	190,40010	
Total	197	37259,33653		

ns não significativo ($p \geq .05$)

TABELA A-10. ANOVA DA UMIDADE FINAL APÓS A SECAGEM ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	33,43217	16,71608	7,6509**
Resíduo	30	65,54542	2,18485	
Total	32	98,97759		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

TABELA A-11. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DA UMIDADE FINAL APÓS A SECAGEM ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	12,96364	a
Tratamento 1	10,56545	b
Tratamento 2	11,26909	b

Diferença mínima significativa = 1,55093. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-12. ANOVA DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	0,00128	0,00064	0,0763 ns
Resíduo	24	0,20162	0,00840	
Total	26	0,20290		

ns não significativo ($p \geq .05$)

TABELA A-13. ANOVA DO COEFICIENTE DE ANISOTROPIA APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	0,00001	0,00001	0,0003 ns
Resíduo	24	0,67889	0,028429	
Total	26	0,67890		

ns não significativo ($p \geq .05$)

TABELA A-14. ANOVA DA CONTRAÇÃO RADIAL APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	2,07950	1,03975	4,0648 *
Resíduo	24	6,13898	0,25579	
Total	26	8,21847		

* significativo ao nível de 5%

TABELA A-15. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DA CONTRAÇÃO RADIAL APÓS A VAPORIZAÇÃO TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	6,70667	B
Tratamento 1	6,81556	Ab
Tratamento 2	7,34222	A

Diferença mínima significativa = 0,59511. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-16. ANOVA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL DE ANISOTROPIA APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	1,77709	0,88854	1,3721 ns
Resíduo	24	15,54218	0,64759	
Total	26	17,31927		

ns não significativo ($p \geq .05$)

TABELA A-17. ANOVA DA CONTRAÇÃO VOLUMETRICA APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	49,55250	24,77625	19,6385 **
Resíduo	24	30,27884	1,26162	
Total	26	79,83134		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

TABELA A-18. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DA CONTRAÇÃO VOLUMETRICA APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos	Média	Grupos homogêneos
Testemunha	10,24	b
Tratamento 1	13,51	a
Tratamento 2	11,41	b

Diferença mínima significativa = 1,32165. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-19. ANOVA DO MOE APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	174700160068.6	87350080034.3	3.0997ns
Resíduo	21	591775963471.7	28179807784.4	
Total	23	766476123540.3		

ns não significativo ($p \geq .05$)

TABELA A-20. ANOVA DO MOR APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	78847042.49438	39423521.2472	2.3793 ns
Resíduo	21	347957498.6631	16569404.6982	
Total	23	426804541.1575		

ns não significativo ($p \geq .05$)

TABELA A-21. ANOVA DOS EXTRATIVOS TOTAIS APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	13,36089	2,67218	13,1170 **
Resíduo	12	2,44463	0,20372	
Total	17	15,80552		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

TABELA A-22. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DOS EXTRATIVOS TOTAIS APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos		Média	Grupos homogêneos
Testemunha	Alburno	3,74	b
	Cerne	5,15	a
Tratamento 1	Alburno	3,58	bc
	Cerne	2,50	c
Tratamento 2	Alburno	2,98	bc
	Cerne	2,86	bc

Diferença mínima significativa = 1,2378. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

TABELA A-23. ANOVA DO NaOH 1% APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE OS TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	11,70461	2,34092	560,2893 **
Resíduo	12	0,05014	0,00418	
Total	17	11,75475		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

TABELA A-24. TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO NaOH 1% APÓS A VAPORIZAÇÃO ENTRE TRATAMENTOS DO *Eucalyptus saligna*

Tratamentos		Média	Grupos homogêneos
Testemunha	Alburno	3,74	e
	Cerne	5,15	a
Tratamento 1	Alburno	3,58	e
	Cerne	2,50	c
Tratamento 2	Alburno	2,98	d
	Cerne	2,86	b

Diferença mínima significativa = 1,2378. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade