

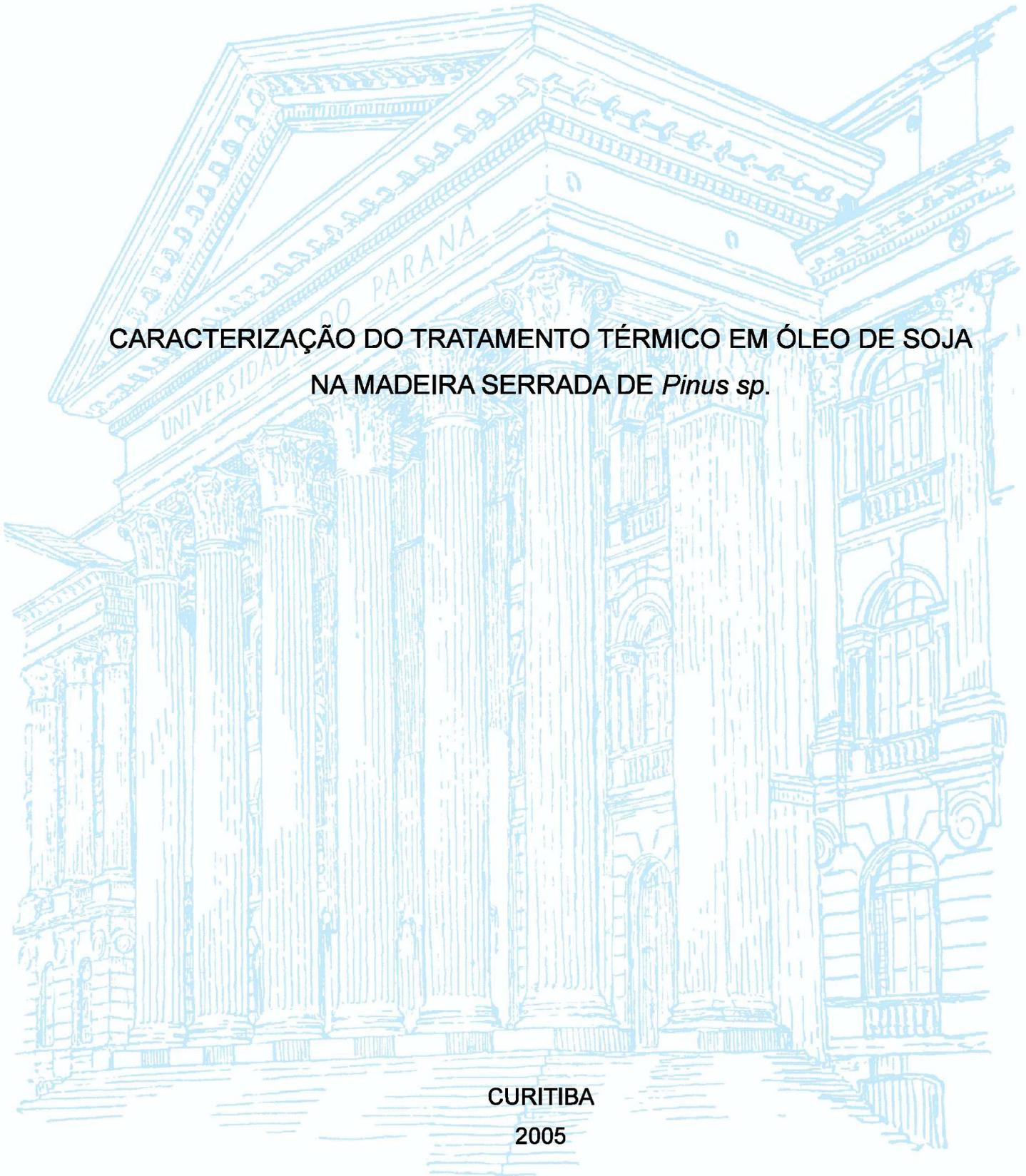
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KARINE MAFRA ZABLONSKY

CARACTERIZAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO EM ÓLEO DE SOJA
NA MADEIRA SERRADA DE *Pinus sp.*

CURITIBA

2005



KARINE MAFRA ZABLONSKY

CARACTERIZAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO EM ÓLEO DE
SOJA NA MADEIRA SERRADA DE *Pinus sp.*

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ghislaine Miranda Bonduelle

CURITIBA

2005

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Zablonsky, Karine Mafra

Caracterização do tratamento térmico em óleo de soja na madeira serrada de *Pinus sp.* / Karine Mafra Zablonsky. - Curitiba, 2005.

1 recurso on-line : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Ghislaine Miranda Bonduelle

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 10/06/2005.

1. Madeira serrada. 2. Madeira serrada - Secagem. 3. Madeira serrada - Qualidade. 4. Madeira serrada - Tratamento térmico. 5. Óleo de soja.
I. Bonduelle, Ghislaine Miranda. II. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. III . Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.854

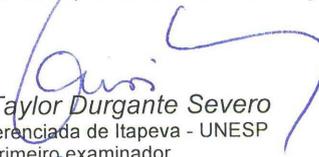


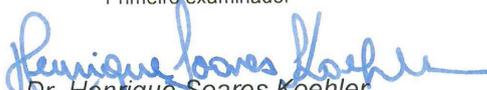
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

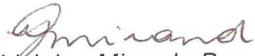
PARECER

Defesa nº. 603

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) *Karine Mafra Zablonsky* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**Caracterização do tratamento térmico em óleo de soja na madeira serrada de *Pinus sp.***", 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. Elias Taylor Durgante Severo
Unidade Diferenciada de Itapeva - UNESP
Primeiro examinador


Dr. Henrique Soares Koehler
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Ghislaine Miranda Bonduelle
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 10 de junho de 2005.


Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-Coordenador do Curso

À coragem e à resiliência, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e apoio.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, à sua coordenação e secretaria pela dedicação e trabalho.

À orientadora Prof^a Dr^a Ghislaine Miranda Bonduelle pelos ensinamentos, competência e amizade.

Aos Professores Dr. Henrique Soares Koehler e Dr. Elias Taylor Durgante Severo que além de membros da banca examinadora, fizeram contribuições valiosas à pesquisa.

Aos meus pais, pelo apoio e cuidados.

Ao meu filho José Lucas que conviveu com meus momentos de dedicação a este estudo, sempre com seu carinho e abraços.

À minha amiga Jaqueline, gratidão.

A você Aurélio Sant'Anna, meu amor, marido, parceiro, por acreditar em mim e principalmente por me amar, sem isso não teria chegado até aqui.

E com fé, agradeço a Deus, a quem sempre peço sabedoria e discernimento.

RESUMO

A madeira apresenta excelentes propriedades, mas possui também características como, alta higroscopicidade, heterogeneidade e anisotropia, das quais derivam grande parte dos problemas apresentados em seu uso. Estas características próprias da madeira geram a necessidade da aplicação de tratamentos que permitam uma maior utilização, principalmente em sua forma sólida. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo, verificar o efeito do tratamento térmico em óleo de soja na madeira serrada de *Pinus sp.*, por meio da análise da influência do tratamento térmico com óleo de soja em propriedades físicas, tais como a variação dimensional, a massa específica, a alteração na cor, o empenamento e possíveis defeitos oriundos do tratamento. Os dados foram analisados segundo delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições, sendo que os tratamentos representaram o arranjo fatorial de duas espessuras iniciais das amostras (5 mm e 20 mm), com e sem 2ª Imersão (imersão em óleo de soja à temperatura ambiente após tratamento térmico) e com quatro tipos de tratamentos térmico em óleo de soja (Tratamentos A, B, C e D) nos quais foram combinados temperaturas (80°C e 160°C) e tempos (20 minutos e 40 minutos) de tratamento. Os efeitos dos tratamentos foram comparados com testemunhas à 12% de umidade e testemunhas secas em estufa com temperatura e tempo referentes aos tratamentos A, B, C e D. A análise estatística demonstrou que a maior intensidade dos efeitos observados na madeira submetida ao tratamento térmico com óleo de soja, foram para os níveis dos seguintes fatores: altas temperaturas de tratamentos (160°C); menor espessura inicial (5 mm); o maior tempo de tratamento (40 minutos); e submissão à 2ª Imersão. Onde a alta temperatura do tratamento térmico com óleo de soja, influenciou mais significativamente que os demais fatores analisados. Sendo que sua associação à 2ª Imersão, implicou em contrações, empenamentos e escurecimento mais acentuados e maiores valores de massa específica. Em relação às testemunhas (à 12% de umidade), as amostras tratadas à temperatura de 80°C apresentaram contração menores e à 160°C foram superiores apenas para as amostras com 5 mm de espessura inicial. Comparadas às testemunhas secas em estufa, as amostras tratadas independente dos fatores, sofreram maiores contrações.

Palavras-chaves: Tratamento Térmico, Variação Dimensional, Empenamento, Óleo de Soja.

ABSTRACT

Wood has excellent properties, but it also has characteristics such as high hygroscopicity, heterogeneity and anisotropy, from which a large part of the problems presented in its use derive. These characteristics of wood generate the need to apply treatments that allow greater use, especially in its solid form. In this context, this work aims to verify the effect of heat treatment in soybean oil on sawn wood from *Pinus sp.*, through the analysis of the influence of heat treatment with soybean oil on physical properties, such as dimensional variation, the specific mass, the change in color, warping and possible defects arising from the treatment. The data were analyzed according to a completely randomized design with five replications, with the treatments representing the factorial arrangement of two initial sample thicknesses (5 mm and 20 mm), with and without 2nd Immersion (immersion in soybean oil at room temperature after heat treatment) and with four types of heat treatments in soybean oil (Treatments A, B, C and D) in which temperatures (80°C and 160°C) and treatment times (20 minutes and 40 minutes) were combined. The effects of the treatments were compared with controls at 12% humidity and oven-dried controls with temperature and time corresponding to treatments A, B, C and D. Statistical analysis demonstrated that the greater intensity of the effects observed in wood subjected to heat treatment with soybean oil, were for the levels of the following factors: high treatment temperatures (160°C); smaller initial thickness (5 mm); the longest treatment time (40 minutes); and submission to the 2nd Immersion. Where the high temperature of heat treatment with soybean oil influenced more significantly than the other factors analyzed. Since its association with the 2nd Immersion resulted in more pronounced contractions, warping and darkening and higher specific mass values. In relation to the controls (at 12% humidity), the samples treated at temperatures of 80°C showed smaller contractions and at 160°C they were higher only for samples with an initial thickness of 5 mm. Compared to oven-dried controls, the treated samples, regardless of the factors, suffered greater contractions.

Keywords: Heat Treatment, Dimensional Variation, Warping, Soybean Oil.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – Esquema da porção de celulose ordenada (porção cristalina) e porção desordenada (região amorfa) | 20 |
| FIGURA 2 – Parede celular da madeira..... | 23 |
| FIGURA 3 – Deformações da madeira de acordo com a direção dos anéis de crescimento..... | 14 |
| FIGURA 4 – Sistema CIELAB 1976..... | 30 |
| FIGURA 5 – Amostras com espessura de 20mm e 5mm..... | 48 |
| FIGURA 6 – Equipamento utilizado e disposição das amostras ao serem submetidas ao tratamento térmico com óleo de soja..... | 50 |
| FIGURA 7 – Disposição das amostras ao serem retiradas da fritadeira após o tratamento térmico em óleo de soja..... | 51 |
| FIGURA 8 – Amostras, durante o procedimento de 2ª imersão após à aplicação do tratamento térmico com óleo de soja..... | 52 |
| FIGURA 9 – Espectrômetro Datacolor Microflash 200d conectado a um microcomputador..... | 57 |
| FIGURA 10 – Variação de cor das amostras tratadas com banho térmico em óleo de soja em relação às testemunhas..... | 76 |
| FIGURA 11 – Rachaduras observadas em amostras secas em estufa sob alta temperatura (160°C)..... | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 – Resumo da análise de variância das medidas em espessura das amostras em estado saturado e após tratamentos térmicos em óleo de soja | 59 |
| TABELA 2 – Resumo da análise de variância das medidas em espessura das amostras em estado saturado e após tratamentos térmicos em óleo de soja..... | 60 |
| TABELA 3 – Variação dimensional em espessura e largura das amostras tratadas e testemunhas de 20mm e 5mm de espessura..... | 61 |
| TABELA 4 – Análise de variância da variação dimensional em espessura e largura das amostras tratadas em relação às testemunhas à 12% de umidade de equilíbrio..... | 65 |
| TABELA 5 – Razão entre amostras tratadas e testemunhas a 12% de umidade (razão em espesura e largura das amostras)..... | 67 |
| TABELA 6 – Resumo da análise de variância para a variação dimensional em espessura e largura das amostras tratadas em relação às testemunhas secas em estufa..... | 68 |
| TABELA 7 – Razão entre amostras tratadas e testemunhas secas em estufa (razão da espessura e largura das amostras)..... | 69 |
| TABELA 8 – Variação dimensional das amostras tratadas e testemunhas após dois meses de tratamento..... | 70 |
| TABELA 9 – Resultados da análise de variância para massa específica das amostras tratadas..... | 71 |
| TABELA 10 – Comparação das médias de massa específica das amostras tratadas e testemunhas..... | 72 |
| TABELA 11 – Valores médios dos parâmetros colorimétricos em função dos tratamentos aplicados comparados com a testemunha..... | 77 |
| TABELA 12 – Valores dos parâmetros colorimétricos para cada tratamento aplicado (T1, T2, T3 e T4)..... | 78 |
| TABELA 13 – Valores dos parâmetros colorimétricos para cada tratamento aplicado (T5, T6, T7 e T8)..... | 79 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|------|---------------------------------------|
| ASE | Eficiência Anti-Inchamento |
| cm | Centímetro |
| d | Distância entre os Transdutores |
| GM | Ganho de Massa |
| kg | Kilograma |
| kgf | Kilograma força |
| mm | Milímetro |
| MOEd | Módulo de Elasticidade Mecânico |
| MOR | Módulo de Ruptura |
| ms | Microsegundo |
| R | Eficiência de Contração |
| s | Segundo |
| t | Tempo de Propagação da Onda de Tensão |
| V | Velocidade da Onda Longitudinal |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------|---------------------------------|
| A | Tratamento A (80°C, 20minutos) |
| B | Tratamento B (80°C, 40minutos) |
| C | Tratamento C (160°C, 20minutos) |
| D | Tratamento D (160°C, 40minutos) |
| δ | Massa Específica da amostra |
| β_r | Contração Radial |
| β_t | Contração Tangencial |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2 OBJETIVOS..... | 18 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 19 |
| 3.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O GÊNERO <i>Pinus sp.</i> | 19 |
| 3.2 UMIDADE DA MADEIRA..... | 20 |
| 3.3 VARIAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA..... | 22 |
| 3.4 TRATAMENTOS PARA A ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA... 27 | |
| 3.4.1 Tratamento Térmico da Madeira..... | 27 |
| 3.4.1.1 Tratamento Térmico com Óleo Vegetal..... | 32 |
| 3.4.1.2 Processos de Secagem..... | 34 |
| 3.4.1.3 Processo PLATO..... | 35 |
| 3.4.1.4 Processo Thermo Wood..... | 36 |
| 3.4.1.5 Processo de Retificação..... | 36 |
| 3.4.1.6 Processo “Le Bois Perdure”..... | 37 |
| 3.4.2 Laminação Cruzada..... | 37 |
| 3.4.3 Revestimento com Camadas de Produtos Repelentes à Água..... | 38 |
| 3.4.4 Acetilação..... | 38 |
| 3.4.5 Entrelaçamento “Cross-linking”..... | 39 |
| 3.4.6 Tratamento por Impregnação “Bulking”..... | 40 |
| 3.5 ÓLEO DE SOJA..... | 44 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 45 |
| 4.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS..... | 46 |
| 4.2 TESTES PRELIMINARES..... | 46 |
| 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS..... | 47 |
| 4.4 COLETA DAS AMOSTRAS..... | 48 |
| 4.5 PREPARO DAS AMOSTRAS..... | 49 |
| 4.6 APLICAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO COM ÓLEO DE SOJA..... | 50 |
| 4.7 TRATAMENTO DAS TESTEMUNHAS..... | 54 |
| 4.8 PROPRIEDADES FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS..... | 55 |
| 4.8.1 Cálculo da Variação Dimensional..... | 55 |

| | |
|---|----|
| 4.8.2 Empenamento..... | 56 |
| 4.8.3 Massa Específica..... | 56 |
| 4.8.4 Colorimetria..... | 57 |
| 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS..... | 59 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 60 |
| 5.1 VARIAÇÃO DIMENSIONAL DAS AMOSTRAS TRATADAS..... | 60 |
| 5.2 RAZÃO ENTRE AS AMOSTRAS SUBMETIDAS AO TRATAMENTO TÉRMICO COM ÓLEO VEGETAL DE SOJA E TESTEMUNHAS..... | 65 |
| 5.2.1 Razão entre Amostras Tratadas e Testemunhas à 12% de Umidade de Equilíbrio..... | 65 |
| 5.2.2 Razão entre Amostras Tratadas e Testemunhas Secas em Estufa..... | 67 |
| 5.3 VARIAÇÃO DIMENSIONAL DAS AMOSTRAS APÓS 2 MESES DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS COM ÓLEO DE SOJA..... | 69 |
| 5.4 VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA..... | 71 |
| 5.5 EMPENAMENTO..... | 75 |
| 5.6 RACHADURAS..... | 81 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 83 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 85 |
| APÊNDICE..... | 88 |

1 INTRODUÇÃO

A madeira é formada por vários componentes químicos que diferem entre si, e a partir da relação entre eles, forma-se sua estrutura que é classificada como um compósito natural polimérico com características como: porosidade, heterogeneidade, orgânico, higroscopicidade e anisotropia.

Estas características próprias da madeira, associadas às condições de umidade e temperatura do ambiente permitem o ganho e perda de água pela madeira, devido principalmente à sua higroscopicidade, resultando nos efeitos de contração e inchamento. A intensidade destes efeitos dependem de fatores relacionados ao ambiente, mas também da estrutura da parede celular, da interação madeira outonal e primaveril, das direções de corte (tangencial, radial ou longitudinal), entre outros.

O fato da madeira contrair e inchar, é um dos maiores problemas para a sua industrialização e uso do seu produto final, devido à variação nas dimensões da peça e conseqüentes influências nas suas propriedades físicas. Em geral, a principal conseqüência desta instabilidade dimensional da madeira, é a ocorrência de empenamentos, abaulamentos, fissuras na superfície, grã irregular e outros defeitos.

A contração e inchamento são inerentes a todas as espécies e subprodutos e a sua compreensão é objeto de estudo de muitas pesquisas. Diversos tipos de tratamentos têm sido desenvolvidos e otimizados a fim de reduzir a higroscopicidade da madeira para melhorar a sua estabilidade dimensional e aumentar a resistência biológica frente a organismos xilófagos.

Os diferentes tratamentos envolvem métodos por preenchimento, químico ou térmicos. Alguns dos tratamentos térmicos são aplicados em escala industrial sendo que dentre estes, os tratamentos térmicos com a utilização de óleos vegetais têm sido utilizados e aperfeiçoados ao longo dos anos.

Atualmente são conhecidas diferentes aplicações dos óleos vegetais. Na madeira, é geralmente aplicado para tratamentos de superfície, imersão, aplicação com pressão associado ao vácuo e à secagem. Estudos mostram que a madeira tratada com óleos vegetais apresentam maior resistência ao ataque de organismos xilófagos quando comparada à madeira tratada com produtos preservantes químicos geralmente utilizados (RAPP & SAILER, 2001; THÉVENON, 2001; TREU, MILITZ e BREYNE, 2001). De acordo com OLSSON, MARKLUND & LINDEBERG (2001),

grande parte dos produtos preservantes usados são baseados em sais de metais inorgânicos, que são substâncias questionadas do ponto de vista ambiental.

O crescimento da consciência ambiental e da demanda por alternativas ecologicamente corretas faz com que pesquisas sejam desenvolvidas. Alguns resultados mostram que os tratamentos com a adição de óleos vegetais na madeira apresentam menor impacto ambiental.

2 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é o de caracterizar os efeitos do tratamento térmico com óleo de soja na madeira serrada de *Pinus sp.*

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este estudo apresenta como objetivos específicos:

Verificar a influência das seguintes variáveis:

- a) Temperatura de tratamento térmico;
- b) Tempo de tratamento térmico;
- c) Espessura inicial das amostras;
- d) Altura de corte das amostras;
- e) Imersão em óleo à temperatura ambiente após aplicação do tratamento térmico.

Analisar o efeito das variáveis citadas, nas seguintes propriedades da madeira:

- a) Variação Dimensional;
- b) Massa Específica;
- c) Empenamento;
- d) Alteração de cor;
- e) Rachaduras.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O GÊNERO *Pinus*

O gênero *Pinus* é composto por cerca de 100 espécies nativas de regiões temperadas de todo o mundo, desde a região do Mediterrâneo até os países escandinavos e da região da antiga União Soviética (TSOUMIS, 1968).

As espécies do gênero *Pinus* vêm sendo plantadas no Brasil há mais de um século. Inicialmente, foram introduzidas espécies europeias e dos Estados Unidos para fins ornamentais. Posteriormente, foram buscadas espécies para fins silviculturais, visando à produção de celulose, papel e madeira serrada. Ao longo de décadas de ensaios de espécies e testes de procedências, ficaram bem definidas as espécies mais apropriadas para plantios comerciais de *Pinus* para produção de madeira e subprodutos, em cada região bioclimática do Brasil. Estas definições foram feitas segundo fatores limitantes ao desenvolvimento de cada espécie. Entre estes, a ocorrência de geadas severas, deficiência hídrica, ocorrência de pragas, altitude e profundidade do lençol freático. (REVISTA DA MADEIRA, 2002).

Nos estados do sul do Brasil, os plantios de *Pinus* são da espécie de *P. taeda* e *P. elliottii* var. *elliottii*. A indústria de transformação mecânica iniciou a utilização da madeira de *Pinus* para serrados e lâminas, devido ao seu baixo custo e à escassez da *Araucaria angustifolia* (KLOCK, 2000).

Da família botânica das Pinaceae, o *Pinus* é caracterizado como planta lenhosa, em geral arbóreas, de altura entre 30 a 50m. Seu tronco é reto, mais ou menos cilíndrico, com copa em forma de cone. Possuem folhas caracteristicamente em forma de acículas, agrupadas em fascículos.

No Brasil, a madeira de *Pinus sp* é a base da matéria prima da indústria madeireira. De 1990 a 2001, o consumo de toras de *Pinus* no Brasil apresentou taxa média de crescimento da ordem de 7% ao ano. Em 2002, a indústria de serrados foi o principal segmento consumidor de toras de *Pinus sp* no país, representando 48% da demanda nacional.

3. 2 UMIDADE DA MADEIRA

A higroscopicidade da madeira permite a absorção ou perda de água proveniente do meio no qual estiver inserida. TSOUMIS (1968), afirma que esta propriedade origina-se da composição química da madeira: celulose, hemicelulose, pectinas, lignina, e certamente, extrativos e outras substâncias. Como resultado desta higroscopicidade, a madeira sempre terá algum teor de umidade.

Variações do ambiente como temperatura e umidade relativa, bem como variações da constituição entre as espécies, podem provocar alterações no teor de umidade da madeira. Estas alterações influenciam as propriedades físicas e mecânicas da madeira e a resistência ao ataque de organismos xilófagos.

A importância do teor de umidade transcende a “matéria-prima” madeira interferindo nos processos industriais no que diz respeito ao rendimento volumétrico para a indústria primária (madeira serrada) e secundária (celulose, painéis de constituição, esquadrias, móveis, etc.)

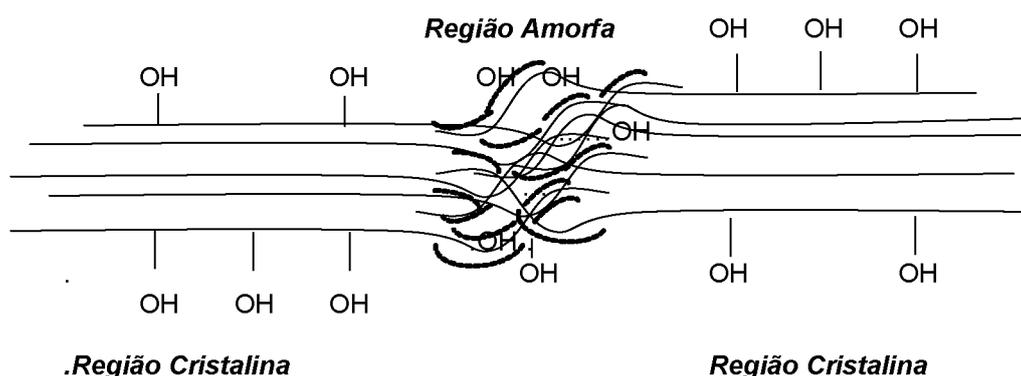
A umidade na madeira ocorre em duas formas. Estas são o vapor de água nos espaços na cavidade das células, denominada de “água livre” e “água de adsorção”. Esta “água de adsorção pode ainda ser classificada em dois diferentes tipos: “água de impregnação”, encontrada na forma de vapor, aderida às paredes das células por forças elétricas polares e “água química” ou “água de constituição” que é ligada às paredes celulares da madeira por meio de ligações de hidrogênio e forças de “Van der Waals”, envolvendo a atração de moléculas de água aos sítios de hidrogênio presentes na celulose, na hemicelulose e na lignina (SKAAR, 1972).

A razão básica para a umidade penetrar na parede celular da madeira é a atração das moléculas de água pelos grupos hidroxilas da madeira. Como resultado, a camada monomolecular de água é formada e fixada pelas hidroxilas com fortes ligações de hidrogênio (TSOUMIS, 1968). Esta adsorção de moléculas de água nos grupos hidroxila além de ser monomolecular ou seja, quando apenas uma molécula está adsorvida naquele sítio, pode também ser polimolecular, quando há várias moléculas de água adsorvidas. Em madeira saturada, de cinco a seis moléculas podem ser atraídas em cada sítio disponível.

As moléculas que compõem a parede celular são compostas por duas regiões: amorfa e cristalina. Na *região cristalina*, os grupos OH das moléculas de celulose estão interligados o que significa que não há sítios livres para a adsorção

das moléculas de água. Trata-se de uma região bastante ordenada do ponto de vista químico. Por outro lado, na *região amorfa*, há uma certa desordem, e os grupos OH não estão interligados, encontrando-se disponíveis para fazer ligações com as moléculas de água (DEL MENEZZI, 2004). A Figura 1 mostra esquematicamente estas regiões.

FIGURA 1 – Esquema da porção de celulose ordenada (Região Cristalina) e porção desordenada (Região Amorfa).



Fonte: Adaptado de STAMM (1964).

DEL MENEZZI (2004) cita PANSHIN e DE ZEEUW (1970) que afirmam que estas ligações de hidrogênio ocorrem nos grupos hidroxila (OH) presentes nos componentes químicos da madeira. A formação dessas ligações libera energia que é medida como sendo o calor de hidratação da madeira. O autor afirma que por esse motivo, é necessário fornecer energia para remover as moléculas de água durante o processo de secagem da madeira.

Como citado anteriormente, o teor de umidade influencia as propriedades físicas da madeira, mas deve ser observado que apenas a água contida nas paredes celulares é responsável por esta influência. Enquanto que a água presente nos capilares, a “água livre”, meramente adiciona massa à madeira. Segundo KOLLMANN & COTÊ (1968), qualquer movimento de água ou outros líquidos ou gases na madeira, envolve a permeabilidade das estruturas submicroscópica e microscópica.

Ao teor de umidade em que todas as paredes celulares estão saturadas e não há água livre no lúme das células é denominado Ponto de Saturação das Fibras, "PSF" (TIEMMANN, 1906 citado em SIAU, 1971). Ainda segundo STAMM (1964), este é o ponto natural de transição entre a água de impregnação ou higroscópica e a água livre.

Segundo HANN (1964) citado em TOMASELLI (1981), a água capilar ocorre na madeira, do estado saturado até o ponto de saturação das fibras, considerando este em torno de 28%. Entretanto, a água de impregnação ocorre abaixo deste teor de umidade. O movimento de água livre é causado por forças capilares, enquanto que a água de impregnação move-se através da estrutura celular da madeira devido aos gradientes de umidade pela parede celular.

O limite entre a existência de água livre e capilar não é, no entanto fixo, podendo variar entre 25% a 32%. Esta variação depende principalmente da espécie, do teor de extrativos, estrutura anatômica, de fatores ambientais, etc. Madeiras com altos valores de extrativos e cinzas resultaram em valores mais baixos do PSF.

Na prática, o ponto de saturação das fibras pode ser expresso como o grau acima do qual a madeira terá apenas variação em massa, como citado anteriormente. Isto pode influenciar em alguns usos da indústria da madeira, como por exemplo, o transporte de toras. Por outro lado, se esta variação de umidade ocorrer entre o PSF e teor de umidade de 0%, influenciará praticamente em todas as propriedades físicas e mecânicas da madeira e em atividades como, secagem, processamento mecânico, usinagem, tratamento com preservantes, colagem, etc.

A umidade de equilíbrio da madeira é definida como o teor de umidade no qual esta não ganha e nem perde umidade, então uma condição de equilíbrio dinâmico com o ambiente é alcançada (WOOD HANDBOOK, 1999) ou seja, a quantidade de água que entra na madeira é igual àquela que sai.

3.3 VARIAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA

Como citado anteriormente, quando a umidade entra em contato com a madeira com teor de umidade abaixo do PSF, ocorre a penetração das moléculas de água entre as cadeias celulósicas e as moléculas de hemicelulose da parede celular por meio de ligações de hidrogênio. Desta forma, a adição de água na parede celular, faz com que o volume da madeira aumente aproximadamente proporcional

ao volume de água adicionado. O inchamento ocorre até o ponto de saturação das fibras ser alcançado. A água que é adicionada à madeira além deste ponto, permanece como água livre no lúmen e não causa inchamento adicional. Este processo é reversível e pode explicar as alterações dimensionais que ocorrem quando a madeira entra em contato com a água na forma líquida ou vapor (ROWELL & YOUNGS, 1981; TSOUMIS, 1968).

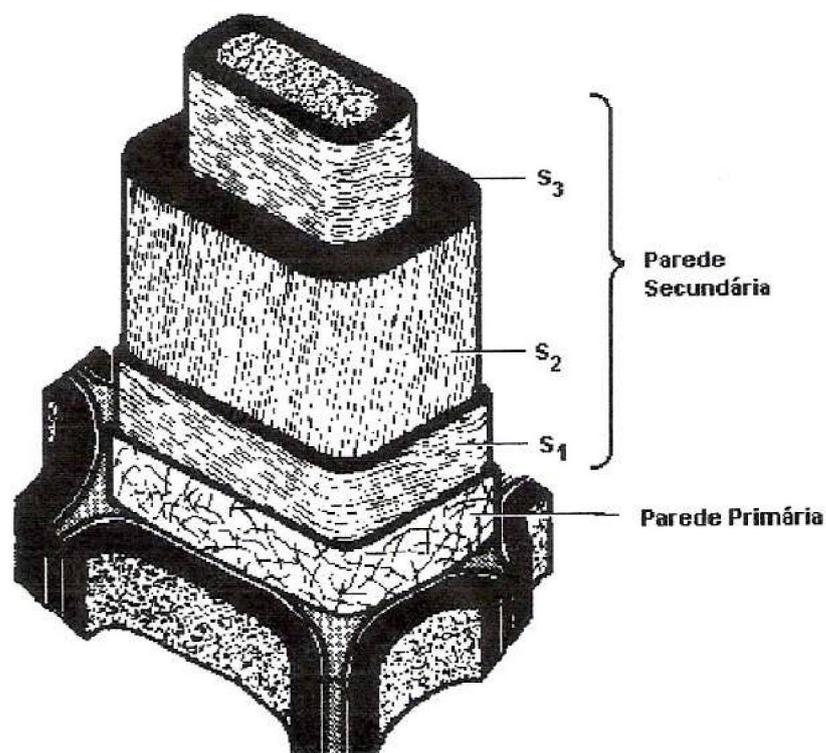
Quando a madeira perde água higroscópica, contrai-se, reduzindo assim suas dimensões. Esta contração ocorre porque a água higroscópica, adsorvida entre as cadeias de celulose e hemicelulose, é retirada forçando então a aproximação destas cadeias (DEL MENEZZI, 2004). O autor cita HAYGREEN e BOWYER (1996) que afirmam que a contração da madeira ocorre na proporção da retirada da água higroscópica. PANSIN e DE ZEEUW (1970), citados pelo mesmo autor descrevem que esta retirada é na proporção da quantidade de massa de parede celular.

A contração e inchamento da madeira são afetados por muitos fatores além do teor de umidade, são eles: a massa específica, estrutura anatômica, extrativos, composição química e stress mecânico (TSOUMIS, 1991). Madeiras mais densas contraem e incham mais porque a contração e inchamento são proporcionais à quantidade de parede celular presente (SIAU, 1971).

Segundo KOLLMANN & COTÉ (1968), a maior variação dimensional ocorre na direção tangencial aos anéis de crescimento. Esta diferença de contração segundo a direção de corte da madeira é denominada anisotropia da madeira ou seja, a contração e inchamento são diferentes nos sentidos radial, tangencial e longitudinal.

A anisotropia é altamente influenciada pela estrutura da parede celular, principalmente pela parede secundária que possui seu componente celulósico em maior quantidade que a parede primária. Deve-se observar que o ângulo microfibrilar da camada S2 da parede secundária possui menor inclinação em relação à camada S1 da mesma parede, conforme mostrados na Figura 2.

FIGURA 2 – Parede celular da madeira.

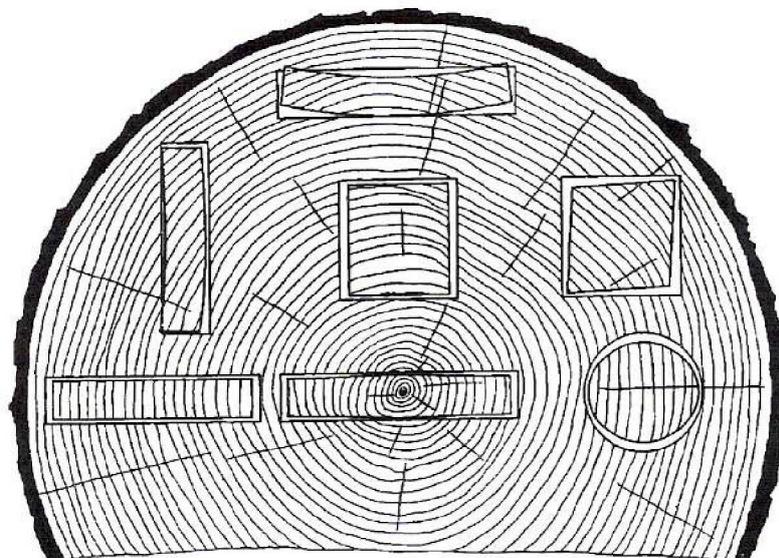


Fonte: HAYGREEN e BOWYER (1996) citado em DEL MENEZZI (2004).

Na Figura 3 são mostrados que os efeitos combinados de contração radial e tangencial, podem causar deformações na peça de madeira como empenamentos, rachaduras, curvamentos e outros defeitos que dificultam ou até mesmo, impedem a industrialização e uso da madeira.

A proporção de contração tangencial para contração radial é denominado de coeficiente de anisotropia e geralmente é de 2 : 1. Esta diferença tem sido apontada como responsável pelas deformações da madeira durante a secagem ou durante o uso do produto final (KOLLMANN e COTÉ, 1968).

FIGURA 3 – Deformações da madeira de acordo com a direção dos anéis de crescimento.



Fonte: WOOD HANDBOOK (1999).

KOLLMANN e COTÊ (1968), afirmam que a contração no sentido radial é consideravelmente menor que a contração tangencial, enquanto que a contração longitudinal ou contração ao longo da grã é bem menor que a contração transversal na madeira. Na direção tangencial, os limites de contração (β_t), para secagem a partir de condições verde para seca, são de 3,5 a 15% das dimensões verde. Os limites de contração radial (β_r), são de 2,4 a 11%. Contração longitudinal a partir de condições verdes para seca atinge entre 0,1 a 0,9% ou seja, a contração ao longo da grã apresenta valor que pode ser, segundo os autores, praticamente desconsiderado.

BARBER E MEYLAN (1964) citados em SKAAR (1972), consideram a contração transversal da madeira muito mais alta que a longitudinal porque a maioria das cadeias celulares nas paredes das células são orientadas ao longo do eixo da fibra. A parede celular longitudinal consiste em uma matriz amorfa higroscópica na qual estão ligadas as microfibrilas cristalinas paralelas que agem para restringir o inchamento ou contração na direção paralela aos seus eixos. Porém, PANSIN & ZEEUW (1970), citados por pelo mesmo autor, afirmam que pode ocorrer em madeiras juvenis contração longitudinal mais acentuada que em madeiras adultas,

devido ao ângulo das microfibrilas na camada S2. As conseqüências de uma contração longitudinal excessiva são apresentadas por KOEHLER (1946), citado em KOLLMANN (1959):

.“Aparecimento de indevido encurtamento no comprimento da peça, provocando um desalinhamento da estrutura da madeira, como em postes e colunas ou ainda abrindo extremidades de juntas em assoalhos e paredes;
.Quebras na madeira ou ondulações em lâminas devido à contração desigual.”

As razões para as diferenças entre contração e inchamento tangencial e radial não são bem conhecidas. Em parte, pode ser atribuída também à presença dos raios, os quais devido à sua orientação, exercem uma influência de restrição a contração e inchamento radial. Outro fator que é considerado para produzir uma menor contração radial, em coníferas, é o desvio das microfibrilas causada pela presença de um grande número de pontuações na parede radial dos traqueídeos axiais. A diferença de densidade entre lenhos inicial e tardio é também considerado uma causa da anisotropia (TSOUMIS, 1968).

PENTONEY (1953), citado em SKAAR (1972), revisou as teorias que se propõem a explicar a anisotropia na contração transversal e descreve três delas. A primeira é a “Teoria da Restrição dos Raios”, baseada na afirmação que os tecidos radiais dos raios contraem menos no sentido radial do que os tecidos tangenciais restringindo então a contração radial. MORSCHAUSER e PRESTON (1954), citados pelo autor, atribuem isto ao fato do tecido radial ser menos denso e higroscópico que o tangencial.

Segundo SKAAR (1972), a segunda teoria descreve a interação entre madeira primaveril e outonal, a qual postula que a madeira outonal contrai mais tangencialmente do que a primaveril. Consequentemente a contração tangencial será maior que a radial por causa da alteração de lenho outonal e primaveril na direção radial. MUNIZ (1993), afirma que a proporção entre lenhos primaveril e outonal é um dos fatores que influenciam na qualidade da madeira pois, mostra significativa afinidade com a massa específica devido ao fato do lenho outonal conter maior quantidade de material lenhoso por unidade de volume do que o lenho primaveril.

A terceira teoria descrita por MORSCHAUSER e PRESTON (1954), citados por SKAAR (1972), envolve as características e disposição das camadas da parede celular. Como já foi discutido anteriormente, existem algumas controvérsias quanto à isto porque a proporção de contração transversal em relação à radial, varia com o nível de umidade higroscópica. A proporção de contração tangencial em relação à radial (T/R), decresce com o aumento da massa específica da madeira.

3. 4 TRATAMENTOS PARA A ESTABILIZAÇÃO DIMENSIONAL DA MADEIRA

A madeira é um dos poucos produtos naturais utilizados que não sofreu quase modificações em suas propriedades básicas. Entretanto, nos últimos anos, diversos tratamentos têm sido desenvolvidos para modificar a estrutura da madeira, com o objetivo de aumentar suas aplicações (ROWELL e KONKOL, 1987).

DEL MENEZZI (2004), cita outros autores que descrevem o método por preenchimento; a modificação química e o tratamento térmico, como tratamentos utilizados. Além destes métodos, esta classificação pode ainda ser feita pelo tipo de tratamento, se físico ou químico, de superfície ou de penetração, de ligação química ou não (ROWELL & YOUNGS, 1981).

3. 4. 1 Tratamentos Térmicos da Madeira

Os processos atualmente utilizados e pesquisados para o tratamento térmico da madeira são: *OHT-Process* – Tratamento com óleo Quente (Alemanha), secagem, *Plato-Process* (Holanda), *Thermo Wood Process* (Finlândia), Retificação (França) e *Bois Perdure* (França) (MILITZ, 2002).

Os tratamentos térmicos da madeira têm como principal objetivo, reduzir o seu comportamento hidrofílico por meio da modificação de sua estrutura química (VERNOIS, 2000). Intensas pesquisas provaram que de fato, diferentes processos de transformações físicas e químicas ocorrem na madeira durante os tratamentos à temperaturas elevadas (MILITZ, 2002).

DEL MENEZZI (2004), cita que entre os principais polímeros da madeira, a celulose é a mais estável com relação à degradação química pelo tratamento térmico, seguida pela lignina e por fim pela hemicelulose.

As mudanças na natureza dos componentes químicos da madeira diminui sua higroscopicidade resultando em alterações no processo de sorção de água da madeira. Conseqüentemente, a estabilidade dimensional, a difusibilidade e a permeabilidade da madeira serão alterados. Como os produtos da degradação térmica da madeira são na sua totalidade oriundos da decomposição de seus compostos químicos primários, os principais compostos produzidos são os ácidos fórmico e acético, ésteres, aldeídos e cetonas, resultantes principalmente das hemiceluloses; álcool metílico, dos grupos metoxil da lignina e fenóis, resultantes dos núcleos aromáticos da lignina (ROWELL & YOUNGS, 1981). A formação de ésteres, através das reações de esterificação que ocorrem durante os tratamentos térmicos, contribuem para um decréscimo da higroscopicidade da madeira (TJEERDSMA & MILITZ, 2000 e STAMM, 1964).

STAMM (1964) citado em DEL MENEZZI (2004), afirmou que a madeira pode ter alguns de seus constituintes degradados ao ser submetida à temperaturas superiores a 105°C por longos períodos, ou mesmo por curto período, embora sob temperatura mais altas. O autor cita BROWN et al. (1952), onde afirma que a degradação térmica da madeira pode ser dividida em 4 fases:

- a) fase 1 - Até 100°C: baixa liberação de gases, sendo os principais produtos água e óleos voláteis, e uma pequena quantidade de ácido acético e traços de metanol;
- b) fase 2 - 100 a 275°C: liberação de ácido pirolenhoso e gases;
- c) fase 3 - 275 a 350°C: reações exotérmicas, formação da maior parte dos destilados e liberação de gases inflamáveis;
- d) fase 4 - Acima de 350°C: ocorre após a finalização das reações exotérmicas e inicia-se a formação do carvão.

A madeira quando exposta a uma fonte de calor constante de elevada temperatura e por um período relativamente longo estará sujeita a dois fenômenos químicos consecutivos que serão descritos a seguir (IPT, 1986 citado em DEL MENEZZI, 2004):

- a) Pirólise da madeira: transformação dos constituintes da madeira de elevado peso molecular, por meio da degradação térmica, em compostos de reduzido peso molecular;

- b) Combustão dos produtos da pirólise: oxidação, pelo oxigênio do ar, das substâncias geradas na etapa anterior.

A exposição ao calor, faz com que a superfície da madeira seja aquecida por irradiação, convecção ou condução. Devido a algumas características físicas da madeira como: baixa condutibilidade térmica, baixa densidade, elevado calor específico, forma-se zonas isotérmicas que, desprezando os efeitos de borda, terão a forma definida pela superfície exposta ao aquecimento e ser-lhe-ão paralelas. No decorrer do aquecimento, estas isoterms irão avançar pela peça de madeira, no sentido do fluxo de calor, até que a temperatura do meio da peça de madeira, se equilibre com a dos meios que contêm a fonte de calor. O avanço destas isoterms cria regiões definidas como “Zonas” onde segundo a classificação definida em IPT (1986) citado em BORTOLETTO (1999), até 200°C é definida como Zona A.

O autor descreve que nesta Zona A, o processo de pirólise é endotérmico e, do ponto de vista da combustão, a mistura gasosa não é inflamável, onde ocorre basicamente a secagem da madeira. A presença de água na madeira aumenta a necessidade de maior quantidade de calor para elevar a temperatura da madeira, pois parte dela será consumida por evaporação. Por outro lado, a presença da água aumenta a condutibilidade térmica da madeira, aumentando, conseqüentemente, o fluxo de calor pela região úmida. Considerando que na superfície da madeira origina-se uma região rica em vapor d'água e que, no centro da peça de madeira, haverá um fluxo efluente de vapor, pode-se admitir que, no interior da peça de madeira, se tenha expulsado o ar, impedindo sua penetração, gerando um ambiente sem oxigênio, onde não ocorrerão reações de combustão, mas apenas de pirólise.

A maneira como é conduzido o processo de pirólise e a seleção dos vários parâmetros envolvidos nos tratamentos térmicos como: atmosfera, temperatura, duração do processo, gradiente de calor, espécies tratadas, massa e dimensão das peças de madeira, influenciam consideravelmente nas propriedades do produto final (VERNOIS, 2000). Além das alterações nas propriedades químicas, são apresentados também relatos sobre as modificações que ocorrem nas propriedades físicas e organolépticas da madeira tratada com calor.

São demonstrados em estudos realizados por STAMM et al. (1946), BURMESTER (1973) e GIEBER (1983) citados em MILITZ (2002), que diferentes propriedades da madeira como, durabilidade, comportamento de sorção,

comportamento de contração e inchamento, propriedades de resistência mecânica e coloração também apresentam modificações devido aos tratamentos térmicos. VERNONIS (2000) afirma que estas modificações têm por efeito uma alteração na cinética da absorção de umidade da madeira.

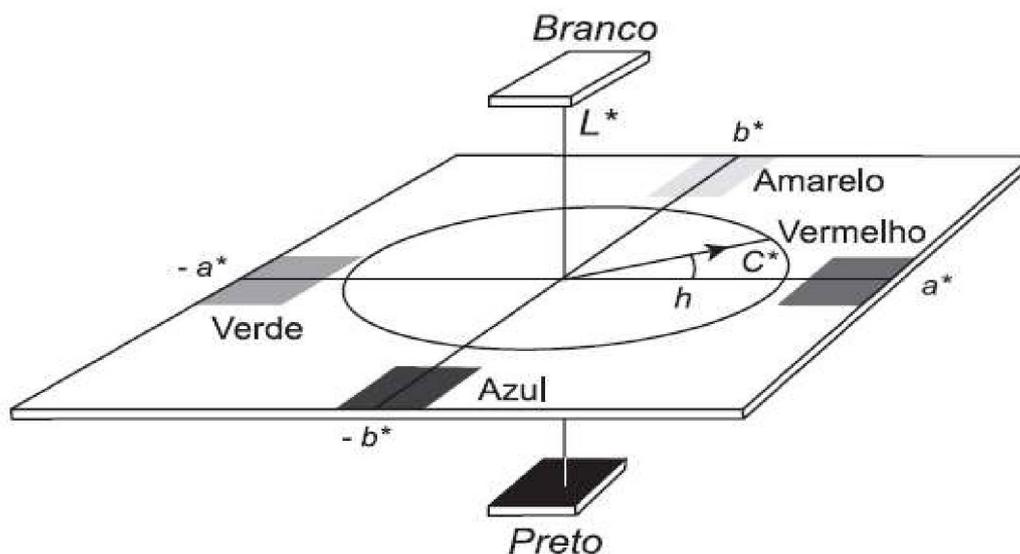
MILITZ (2002) citou estudos de KOTILAINEN (2000), onde foram apresentadas as mudanças na composição química de diferentes espécies de coníferas e folhosas, tratadas a temperaturas entre 150°C e 260°C por diversas horas, sob atmosferas de vapor, ar e nitrogênio. Por estes estudos observou-se que espécies de folhosas sofrem decomposição mais intensas que espécies de coníferas. Outra alteração verificada na madeira de *Pinus sp* é em relação à mudança na sua coloração quando submetida a tratamento térmico.

Em relação a esta alteração, estudos realizados por RAPP & SAILER (2000), mostram que devido às altas temperaturas dos processos térmicos (180°C a 200°C), as espécies tratadas apresentam coloração marrom quando comparada com a cor natural de cada espécie. As superfícies da madeira ficam levemente castanhas tratadas com temperaturas mais baixas e castanho escuro com tratamentos com temperaturas mais altas. No processo de secagem descrito por TOMASELLI (1981), praticamente a única diferença que pode ser observada na madeira seca a baixa e alta temperatura, foi um escurecimento superficial que desaparece quando a madeira é aplainada.

Esta variação de cor pode ser dimensionada e de acordo com MORI (2003), para a medição de cores na madeira podem ser utilizados dois principais tipos de aparelhos: os colorímetros e os espectrofotômetros. O autor cita MICHOT (1994) que descreve os colorímetros como equipamentos com uma série de filtros (azul, amarelo, verde, vermelho) e de fotodetectores que tratam de reconstituir a resposta de um observador a uma cor. Enquanto que os espectrofotômetro medem a refletância de uma amostra e de um branco padrão nos mesmos comprimentos de onda, o que leva à porcentagem de luz refletida pelo objeto em função de um padrão. O método espectrométrico utiliza sensores múltiplos para medir a reflexão espectral de um objeto para cada alcance de comprimento de onda. O microcomputador acoplado ao instrumento por integração e os utiliza em outros espaços de cor, tais como $L^*a^*b^*$ ou Yxy (Figura 4) (SANTORO, 1977 citado em MORI, 2003). O sistema CIE (Comissão International de L'Eclairage ou Comissão

Internacional de Iluminantes) é um método que define a sensação da cor baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade, (GONÇALEZ, 1993) citando STANZIOLA, (1979).

FIGURA 4 – Sistema CIELAB 1976.



Fonte: GONÇALEZ (2001).

Como já foi descrito anteriormente, existem diferenças entre os efeitos causados pelos tratamentos térmicos nas propriedades da madeira tratada que têm em comum, a aplicação de elevadas temperaturas que podem atingir de 150°C até 260°C (VIITANIEMI & JÄNSÄ, 1998). Em geral, as principais diferenças, são os parâmetros que caracterizam cada um destes tratamentos, como: quantidade de etapas do processo, atmosfera de oxigênio ou nitrogênio, processos secos ou úmidos, utilização de óleos, condução do programa, temperatura e duração do processo.

Para descrever o grau de estabilidade dimensional dado à madeira após aplicação dos tratamentos ROWELL & YOUNGS (1981), descrevem uma variedade de coeficientes utilizados: eficiência anti-inchamento (ASE), porcentagem de inchamento, eficiência de estabilização dimensional, eficiência anti-inchamento, e redução de porcentagem de inchamento (R).

3.4.1.1 Tratamento Térmico Com Óleo Vegetal

RAPP & SAILER (2000), apresentaram estudo com a descrição do tratamento térmico com óleo vegetal, que originalmente é denominado OHT – Process (Oil Heat Treatment). Os autores afirmam inicialmente que as principais características necessárias do óleo vegetal para sua utilização no tratamento térmico, são:

- Ponto de fumaça e a tendência de polimerização, importantes para a secagem do óleo na madeira e para a estabilidade da respectiva quantidade de óleo;
- Habilidade do óleo em permanecer aquecido em temperatura de no mínimo de 230°C;
- Consistência e a cor do óleo pois, estes se alteram durante o tratamento por calor acima de 230 C.

A pesquisa apresentada pelos autores, mostra que para obter o máximo de durabilidade e o mínimo consumo de óleo, o processo pode ser operado a 220 C.

Entretanto, para atingir o máximo de durabilidade e o máximo de resistência da madeira, temperaturas entre 180 C e 200 C são usadas melhorando o controle da aquisição de óleo. O tempo do processo utilizado neste estudo foi de 2 a 4 horas para peças de madeira com dimensões de 9cm de largura x 9cm de espessura e 400cm de comprimento. Onde o tempo de imersão foi determinado segundo o tamanho da peça de madeira. Os autores descrevem que a rápida e igual transferência do calor pela madeira, como sendo uma das principais vantagens deste tratamento térmico.

RAPP & SAILER (2000) afirmam ainda que se este tratamento térmico com óleo for executado por 4 horas a 220 C, o teor de umidade de saturação das fibras pode atingir a 14%, enquanto que o teor de umidade de amostras não tratadas controladas, fica em torno de 29% sob mesmas condições. No final do ciclo do tratamento o óleo vegetal restante na superfície da madeira, é adsorvido por esta muito rapidamente durante o resfriamento das amostras, de modo que uma secagem da superfície da madeira ocorre a poucos minutos após o tratamento.

Os autores descrevem ainda que a madeira tratada com óleo aquecido não apresentam manchas de descoloração devido à distribuição irregular da resina exsudada. Diferentemente de amostras tratadas sob ar quente. Neste sentido, alguns dos parâmetros a serem controlados para o tratamento da madeira com óleo vegetal segundo os autores, são:

- a) tempo de exposição;
- b) consumo de óleo;
- c) temperatura interna da madeira;
- d) temperatura do óleo;
- e) pressão.

Este tratamento permite melhorias em várias características da madeira quando comparados com tratamentos térmicos em atmosfera gasosa. No tratamento térmico com óleo, os valores mais altos encontrados para o Módulo de Elasticidade (MOE), foram verificados em madeiras tratadas a 200°C, não sendo observados redução em relação a madeira de coníferas não-tratadas. O valores de Módulo de Ruptura (MOR) para madeiras tratadas com óleo a 220°C, foi de aproximadamente 70% do valor de madeiras não-tratadas. Em relação à resistência ao curvamento, a madeira submetida ao tratamento térmico com óleo vegetal apresentaram 51% e com ar, 37% de valores encontrados para madeiras não-tratadas. Ainda segundo dados deste estudo, a madeira tratada com óleo vegetal quente demonstra capacidade de receber acabamento com pinturas acrílica à base de água, equivalente aos sistemas baseados em solventes alcalinos. Apresentando resultados positivos durante dois anos de exposição ao tempo. Sendo que após este período, a adesão de tintas e vernizes em madeira tratada com óleo quente foi melhor do que madeira tratada com gás quente (RAPP & SAILER, 2000).

3.4.1.2 Processos de Secagem

Os processos de secagem podem ser realizados ao ar livre, denominado secagem natural e em câmaras apropriadas, secagem artificial. Neste último, as condições de temperatura, umidade relativa e circulação de ar podem ser

controlados, enquanto que na secagem natural, as condições de controle são limitadas. Ambos são utilizados e sua escolha depende do objetivo de uso do produto final. A secagem em câmaras ou estufas pode ser realizada com baixa e alta temperatura.

A secagem é um tratamento aplicado em larga escala e consiste em um processo de redução de umidade da madeira, com o objetivo de atingir um teor de umidade pré-determinado, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável para o uso a que se destina (MARTINS, 1988 citado em ANDRADE, 2000).

Na secagem convencional é utilizado secador convencional que consiste em um equipamento para secagem de madeira serrada, com sistema de aquecimento para operar entre temperaturas de 40°C a 90°C, sistema de ventilação para forçar o fluxo de ar através da pilha de madeira, sistema de umidificação do ar e janelas que permitam a exaustão do ar saturado e admissão de ar externo (não saturado). Como citado anteriormente, temperatura, umidade relativa e circulação de ar podem ser controlados e em geral, os programas de secagem são realizados com valores de temperaturas de 50°C até aproximadamente de 100°C, velocidade do ar de 1,5 m/s a 2,5 m/s. A duração do processo pode ser de alguns dias, dependendo da espécie, tempo, temperatura, etc. (JANKOWSKY, 2000).

O termo secagem sob alta temperatura é usado para identificar o processo no qual a madeira é seca em estufa e a temperatura utilizada é acima do ponto de ebulição da água (100°C).

A principal diferença entre o método a altas temperaturas e o método convencional para a secagem da madeira está no fato de que o primeiro utiliza-se de temperaturas de secagem mais elevadas, ou seja, a temperatura do bulbo seco de um psicrômetro é sempre maior que 100°C; enquanto a de bulbo úmido pode ser menor que 100°C no caso da secagem com ar úmido superaquecido, ou 100°C no caso de secagem com vapor superaquecido isto é, somente vapor (TSOUMIS, 1991).

TOMASELLI (1981) realizou estudos sobre a secagem da madeira de *Pinus radiata*, a temperatura de 180°C e velocidade do ar de 5 m/s e 140°C com 5 m/s. Em outros estudos, o autor comparou as propriedades da madeira seca à 70°C, 140°C e 180°C, demonstrando que em geral, as propriedades mecânicas da madeira não são afetadas pela temperatura de secagem dentro dos níveis estudados, desde

que seja aplicada velocidade de ar adequada e que a madeira não seja seca a teores de umidade extremamente baixos.

3.4.1.3 Processo PLATO

MILITZ (2002) descreve o tratamento “PLATO” como um processo que utiliza diferentes fases de tratamento e combina sucessivamente uma primeira etapa de hidrotermólise com secagem. Na primeira fase (hidrotermólise), a madeira verde ou seca, é tratada a temperaturas de aproximadamente 160 - 190°C sob aumento de pressão, associada a uma etapa de cura. Em seguida, um processo de secagem convencional é utilizado para secar a madeira tratada a baixos teores de umidade, aproximadamente 10%.

O impacto da hidrotermólise neste tratamento resulta na ocorrência de diferentes transformações químicas. Durante esta etapa é usado a presença de umidade abundante da parede celular da madeira. Isto provoca um aumento da despolimerização da hemicelulose da parede celular sob temperatura relativamente baixa (TJEERDSMA & MILITZ, 2000).

Na segunda etapa, o produto intermediário é aquecido novamente a temperaturas entre 170 - 190°C. MILITZ (2002) descreve que a duração do processo depende da espécie tratada, da espessura, da forma da madeira, etc.. A etapa final aplicada é a termólise, por 4 a 5 horas, seguida por uma secagem, de 3 a 5 dias e uma cura final de 14 a 16 horas. Em alguns casos, uma última etapa de acondicionamento de 2 a 3 dias, é necessário. Dependendo da espécie e da espessura da madeira, estes tempos de duração podem ser diminuídos.

3.4.1.4 Processo Thermo Wood

Aplicado em escala industrial, este processo de tratamento térmico foi desenvolvido na Finlândia e registrado sob o nome de “Thermo Wood” (SYRJÄNEN & OY, 1999). Pode ser dividido em três principais etapas. Na primeira delas, a temperatura do forno é elevada rapidamente usando calor e vapor, em torno de 100°C. Imediatamente após, é elevada regularmente à 130°C e o teor de umidade reduzido aproximadamente a zero. Na segunda etapa, a temperatura do forno é elevada entre 185°C e 230°C e mantida por 2 a 3 horas dependendo da aplicação e

uso final da madeira. O estágio final, terceira etapa, a temperatura é reduzida com a utilização de spray de água, diminuindo a temperatura até alcançar de 80°C a 90°C. Ocorre o reumidecimento e o teor de umidade da madeira atinge em torno de 4% (JÄNSÄ & VIITANIEMI, 1999).

Quando ocorre o aumento ou decréscimo da temperatura, um sistema de ajuste especial do processo pode ser utilizado para prevenir rachaduras. A madeira ao ser tratada pode ser verde ou seca em estufa, podendo ocorrer uma modificação do processo para cada espécie de madeira (MILITZ, 2002). O autor descreve que conseqüências negativas nas propriedades mecânicas de madeiras tratadas com o processo “Thermo Wood” foram observadas, onde as resistências ao curvamento e tração apresentaram redução de 10% a 30%. Não foram observadas alterações nas resistências de compressão e impacto.

Segundo JÄNSÄ & VIITANIEMI (1999), este processo permite uma redução do teor de umidade de equilíbrio da madeira em 50% e uma redução da contração e inchamento de 50% a 90%.

3.4.1.5 Processo de Retificação

O Processo de Retificação também é denominado “NOW – NEW OPTION WOOD” e tem sido desenvolvido e amplamente pesquisado na França. Consiste na utilização de madeira previamente seca, com teor de umidade de aproximadamente 12%. A madeira é aquecida lentamente a 210°C - 240°C, em câmara específica, sob atmosfera de nitrogênio com menos de 2% de oxigênio. A superfície da madeira é drasticamente afetada após o tratamento, sendo que nenhum tipo de acabamento e pintura usada para madeira não-tratada pode ser usada após a aplicação deste tratamento. Entretanto, é possível a aplicação de produtos para madeiras tratadas com calor, através de ajustes com aditivos. Um dos principais problemas pode ser, a exudação de resinas da própria madeira, isto fator depende da espécie utilizada (VERNOIS, 2000).

3.4.1.6 Processo “LE BOIS PERDURE”

Desenvolvido na França, o denominado “Le Bois Perdure”, em vez de apenas madeira previamente seca, permite também o uso de madeira verde.

A primeira etapa do processo consiste em uma rápida secagem artificial em estufa. Em seguida, a madeira é aquecida a aproximadamente 230°C. Este processo é realizado sob atmosfera de vapor de água saturado, no qual o vapor é gerado a partir da umidade da madeira (VERNOIS,2000).

Segundo o mesmo autor, em ambos os tratamentos, “Le Bois Perdure” e “Retification Process”, provocando alterações em algumas propriedades físicas e mecânicas. A madeira pode apresentar após o tratamento, melhor durabilidade e menores valores de resistência a ruptura. A madeira tratada entre 230°C e 240°C é mais resistente, mas apresenta perdas de até 40% em Módulo de Ruptura e é mais frágil, apresentando melhores resultados em temperaturas de tratamento de 210°C.

3.4.2 Laminação Cruzada

Sabe-se que a contração e o inchamento da madeira são diferentes em seus 3 eixos estruturais e sua intensidade é maior no eixo tangencial, seguida pelo radial e apresentando menor intensidade no eixo longitudinal (DEL MENEZZI, 2004). Portanto, este tratamento consiste na colagem perpendicular de lâminas de madeiras, onde cada chapa é mecanicamente restringida pela outra, quando ocorrer o contato com umidade.

Segundo STAMM (1964), o processo de laminação cruzada, consiste em impor uma restrição de um laminado sobre o outro com a mudança de suas direções de inchamento. Esta restrição reduz a variação dimensional da madeira. Quando um compensado é secado, tende a fendilhar na superfície devido aos efeitos de compressão na direção das fibras. Conclui-se que a laminação cruzada proporciona alguma estabilidade dimensional, mas é possível ocorrer o fendilhamento da face. Isto pode ser reduzido com tratamentos de resina fenólica e polietileno-glicol que reduzem o inchamento tangencial e a tensão de compressão.

O tratamento pela laminação cruzada tem sido usado ao longo dos anos como a base de estabilidade de produto em compensados. A estrutura da laminação cruzada pode ser estável para o vapor de água ou líquido adquirido, mas depende também da estabilidade da cola junto à água. O compensado de madeira incha em espessura mas, é muito estável nas duas direções longitudinais cruzadas, desde que seja envolvida pela linha de cola (ROWELL & YOUNGS, 1981).

O princípio da laminação cruzada também tem sido utilizado na produção e desenvolvimento de painéis reconstituídos de madeira, conhecidos como OSB (*Oriented Strand Board*). Na produção do OSB são utilizadas partículas de madeira orientadas formando camadas dispostas perpendicularmente entre si. Assim como no compensado, as camadas externas do painel de OSB são paralelas entre si, com a camada interna disposta perpendicularmente (DEL MENEZZI, 2004).

3.4.3 Revestimento com Camadas de Produtos Repelente à água

Camadas de produtos repelentes à água podem ser aplicadas tanto na superfície externa da madeira ou nas superfícies internas (lúmen das células). Esta aplicação de camadas externas ou internas reduzem a razão de aquisição de umidade mas, em tempo suficiente, a umidade penetrará em todas as camadas (ROWELL & YOUNGS, 1981).

Para madeiras envolvidas em camadas de papel-alumínio entre camadas de verniz, são obtidos valores de 99% de eficiência de exclusão à umidade, enquanto que para pintura com óleo base pigmentado sobre óleo “primer”, apresentou valores de 60 a 90% e, valores de 50 a 85% para duas camadas de verniz ou esmalte.

3.4.4 Acetilação

O tratamento envolve a substituição dos grupos hidroxila da parede celular por grupos acetil muito menos higroscópicos, o que provoca um aumento do volume seco da madeira. O produto empregado neste tratamento é o anidrido acético (STAMM, 1964 citado em DEL MENEZZI, 2004).

Na acetilação, a redução da contração e inchamento é maior do que a redução da higroscopicidade devido ao fato dos grupos acéticos agirem como impregnadores. Este processo aumentou significativamente a hidrofobicidade e a estabilidade dimensional da madeira quando medido por testes de inchamento. Isto demonstra entretanto, que a acetilação usando o produto citado, permite ganhos em repelência a água e estabilidade dimensional, porém com a redução nas propriedades mecânicas (RAMSDEN, BLAKE & FEY, 1995).

3.4.5 Entrelaçamento – “Cross-linking”

No tratamento chamado de *cross-linking*, os grupos hidroxila da parede celular são interligados através de pontes de metileno (-CH₂-), indisponibilizando esses grupos para a formação de ligações com as moléculas de água. Desse modo uma boa estabilização dimensional pode ser obtida, reduzindo o inchamento de 50% a 75%, com um pequeno ganho de massa (GM), aproximadamente 4%. Um dos produtos mais empregados é o formaldeído que na presença de catalisadores ácidos age como um agente de interligação, para as pontes de metileno (WALKER, 1993 citado em DEL MENEZZI, 2004).

Segundo ROWELL & YOUNGS (1981), unidades estruturais da parede celular da madeira estão quimicamente entrelaçadas. Estas ligações impedem as unidades de incharem quando a umidade estiver presente. Um dos sistemas químicos amplamente estudados para “crosslinking” é a reação entre hidróxidos da parede celular e formadeído, como apresentado a seguir:



Este fenômeno de “entrelaçamento” pode ocorrer entre grupos hidroxílicos na mesma ou em diferentes polímeros de celulose, hemicelulose e lignina. A reação é usualmente catalisada com ácidos fortes. Os autores ainda citam que um ganho de massa (GM) de 3,1% resulta em um R ou ASE (eficiência anti-inchamento) de 47%, enquanto que a 5,5% GM, R de 60%; e a 7% GM, R de 90%.

Algumas propriedades mecânicas da madeira tratada com formaldeído sofrem redução em relação aquelas não tratadas. Dureza e resistência dos produtos para acabamentos em madeira são grandemente reduzidas. As forças de compressão e de flexionamento diminuem em torno de 20%. A força de flexão dinâmica apresenta redução de mais de 50%.

3.4.6 Tratamento por Impregnação – “Bulking”

O tratamento teoricamente ideal para a estabilização dimensional da madeira, seria remover os grupos hidroxílicos dos polímeros da parede celular e então, remover os sítios para ligação dos hidrogênios para água. Isto é seria possível através de redução de reações. No entanto, a madeira seria destruída pelo tratamento. Na prática, os grupos hidroxílicos podem reagir com os sítios através de ligações químicas que formam grupos hidrofóbicos (repelentes a água) e assim reduzir a tendência de atração e ligação de água. As reações químicas com grupos hidroxílicos da parede celular preenchem a parede celular com ligações químicas (ROWELL & YOUNGS, 1981). Este tipo de tratamento é conhecido como tratamentos “bulking”.

Neste tipo de tratamento, os produtos químicos são impregnados na parede celular ou no lúmen das células, substituindo ou impedindo a movimentação de parte da água. Assim, quando a madeira é seca, a presença desses produtos na parede celular evita parte da contração que normalmente ocorreria sem o tratamento (WALKER, 1993 citado em DEL MENEZZI, 2004).

Tem sido mostrado que o aumento de volume de madeira tratado é proporcional ao volume de substância química adicionada. Quando a madeira impregnada entra em contato com a água, um pequeno inchamento ocorre. Este é o mecanismo para a eficiência dos tratamentos por impregnação na estabilidade dimensional da madeira (ROWELL & YOUNGS, 1981).

Os autores dividem estes tratamentos por impregnação em três classes que serão descritas a seguir:

a) Não-ligação e lixiviável

No tratamento que envolve produtos de não-ligação e lixiviáveis, a parede celular da madeira pode ser impregnada com soluções concentradas de sais e açúcares. Soluções de manganês, sódio, bário, magnésio, e cloreto de lítio e soluções de sacarose, glucose e frutose têm sido usada para reduzir o inchamento da madeira. Estes produtos químicos tornam a madeira ainda mais higroscópicas. Além disto, também são muito solúveis em água e facilmente lixiviáveis se a madeira tratada entrar em contato com água. A madeira então precisa ser acabada com pelo menos duas camadas de verniz para selar o produto na madeira (ROWELL & YOUNGS, 1981).

Segundo WILLIAMS & FEIST (1985), pesquisas com sais inorgânicos demonstram repelência à água na superfície da madeira, com grande aumento da durabilidade desta após receber acabamento.

Outro tratamento de não-ligação-lixiviável utiliza polietileno glicol (PEG). Este produto é semelhante à parafina e é denominado de PEG – 1000. Possui um peso molecular médio de 1000, de acordo com os autores é uma molécula pequena suficiente para penetrar na parede celular. Este produto funde-se a 40°C, dissolve-se prontamente em água morna, é não-corrosivo, inodoro, incolor, e possui um ponto de combustão muito alto, de aproximadamente 305°C (ROWELL & YOUNGS, 1981).

No tratamento utilizando PEG, a madeira pode ser tratada em condições verdes e não é necessário pressão pois o tratamento é baseado na difusão e são utilizadas temperaturas de 21°C a 60°C. Este processo pode ser acelerado pelo aumento da temperatura, bem como pelo aumento da concentração da solução. O tempo necessário para aplicação depende da espessura e da densidade da madeira. Após o tratamento a madeira é empilhada com ventilação adequada. O PEG não é fixado na estrutura da madeira, ou seja, se esta madeira tratada entrar em contato com a água, haverá a lixiviação do produto sendo necessário então, a aplicação de adesivos na superfície da madeira (MITCHELL, 1972).

A estabilização dimensional da madeira através deste tratamento, dá-se devido ao fato do PEG penetrar nas fibras da madeira através de difusão sendo que, a madeira permanece túrgida e permanentemente restrita quanto a inchamentos, contrações ou empenamentos. MITCHELL (1972) afirma que para a máxima estabilidade dimensional, o tratamento deve ser difundido na madeira na quantidade de 25 a 30% de sua massa, reduzindo assim o potencial de contração e inchamento em aproximadamente 80%.

a) Não-ligação e Não-lixiviável:

Este tratamento da madeira com substâncias de não-ligação e não-lixiviável, utiliza solução aquosa de resinas compostas de fenol-formoldeído. Este produto espesso apresenta característica química que não liga-se com os componentes da parede celular, mas forma polímeros insolúveis os quais não lixiviam da madeira quando em contato com a água (ROWELL & YOUNGS, 1981).

O tratamento da madeira por penetração de resina nas fibras da madeira através de calor e cura da madeira sem compressão, resulta em um tratamento de não-ligação e não lixiviável, conhecido como “IMPREG”. As resinas utilizadas são o fenol-formaldeído, altamente solúveis em água e com baixo peso molecular que penetram na parede celular e mantêm a madeira em estado de inchamento. A resina é polimerizada ou curada por calor, transformando-a em uma resina insolúvel em água, preenchendo a parede celular da madeira (MITCHELL, 1972).

O autor afirma que neste tratamento as superfícies são tratadas com 25 a 35% de material de resina formol na base da massa de madeira seca não tratada. Depois da difusão uniforme dentro da estrutura da parede celular, a madeira é parcialmente seca e a resina é então curada a 150°C por 30 minutos. A madeira tratada com “IMPREG”, pode receber com praticamente todos os tipos de revestimentos, mesmos produtos insolúveis em água. Os autores descrevem que em ganho de massa de 25 a 40% de resina, o tratamento com “IMPREG” terá uma redução de porcentagem de inchamento (R) ou eficiência anti-inchamento (ASE) de 60 a 70%. Este produto tem sido usado para equipamentos elétricos devido a sua melhoria nas propriedades elétricas, para reservatórios de ácidos pela sua alta resistência química e para moldes de madeira, pela sua estabilidade dimensional.

Utiliza-se também um tratamento denominado “COMPREG”, onde a madeira tratada com resina fenol é altamente comprimida antes da cura desta resina. O produto contém 30% de resina formoldeída insolúvel em água é efetuado pela aplicação de pressão de 1 a 1,2 psi, à temperatura de 150°C. Em teste de estabilização dimensional em 24 horas de imersão em água, este tratamento tem apresentado uma redução na porcentagem de inchamento de aproximadamente 95%. A razão de ganho de água é tão baixo que o equilíbrio de inchamento completo de amostras com 1,27cm de espessura, não foi completo em 1 ano a temperatura ambiente. Por esta razão, resultados de testes a curto prazo, baixa temperatura e imersão em água, tem fornecido dados pouco significativos para este tratamento (ROWELL & YOUNGS, 1981).

Os autores ainda citam outro tratamento de não-ligação e não lixiviação que tem recebido recente atenção. É um tratamento de substituição com ceras na parede celular. Nas duas fases que compõem o processo, a água pode ser removida das madeiras verdes por fervura da amostra em solvente orgânico com ponto de ebulição mais alto que a água. Neste caso, é utilizado o Éter monoetil de etileno

glicol que apresenta ponto de ebulição de 135°C e é solúvel em água. A água na madeira é substituída pelo produto ocorrendo pequeno inchamento da peça. O glicol na madeira pode então ser substituído por uma cera fundida cujo ponto de ebulição é mais alto que o do produto. Embora, não seja capaz devido ao seu tamanho molecular, de substituir todos os sítios potenciais onde a água pode interagir com os polímeros da parede celular. No entanto, é possível substituir 80% da água ligada, com cera. Este processo não tem sido utilizado por interferir com processos de adesão de colas e acabamentos.

b) De ligação e Não-lixiviável:

ROWELL & YOUNGS (1981) descrevem este tratamento de impregnação como uma classe de tratamento de ligação e não-lixiviável que ocorre por meio de reações químicas, que permitem adicionar uma substância química nos grupos hidroxílicos dos componentes da parede celular da madeira. Este tipo de tratamento reduz a higroscopicidade da madeira através do preenchimento da parede celular uma ligação química permanente.

Os autores descreve que basicamente, o processo consiste em uma molécula completa que deve reagir rapidamente com os componentes da madeira produzindo assim, ligações químicas estáveis. Produtos como anidridos, epóxios e isocianetos, todos apresentam redução da porcentagem de inchamento (R) ou eficiência anti-inchamento (ASE) de 70 a 75% em ganho de massa (GM) de aproximadamente 20 a 30%. Os isocianetos e epóxi reagem e incham a parede celular. Este inchamento causa o rompimento desta, permitindo a acomodação de mais reativos químicos. A água pode então interagir com os novos grupos hidroxílicos expostos pelas rupturas da parede celular, causando um superinchamento acima do volume verde. Os autores descrevem ainda que o máximo de 70 a 75% de estabilidade dimensional é devido ao tamanho e a natural hidrofobia das reações químicas. Para acessar todos os locais que a água poderia ligar, as reações químicas teriam que penetrar tão bem quanto a água e ter semelhante tamanho molecular ou menor. Embora nenhum outro produto químico usado apresenta características semelhantes às da água. O oxigênio das hidroxilas não é removido durante a reação, ficando disponível, permitindo a ligação com o hidrogênio da água. Por esta razão, não é possível para as modificações químicas da madeira, tratamentos que produzam 100% de estabilidade dimensional.

3. 5 ÓLEO DE SOJA

A soja é uma leguminosa originária do continente asiático, sua espécie mais antiga, origina-se das proximidades dos lagos e rios da China Central. No Brasil, a soja foi introduzida oficialmente no Rio Grande do Sul em 1914. Porém, a expansão de seu plantio aconteceu nos anos 70, com o interesse crescente da indústria de óleo e demanda do mercado internacional (MOGHARBEL, 2002).

Óleo é o nome dado às gorduras que se mantêm líquidas à temperatura ambiente. O óleo de soja é empregado industrialmente na fabricação de resinas, tintas e vernizes. Também possui aplicações na área cosmética e farmacêutica, além da indústria alimentícia. Surgiu como subproduto do processamento do farelo de soja, tornando-se um dos líderes mundiais no mercado de óleos. São indicados para um vasto número de aplicações, principalmente no preparo de alimentos, sendo que o uso mais freqüente é como óleo para fritura (MORETTO e FETT, 1998, citado em MOGHARBEL, 2002).

A composição do óleo de soja inclui uma ampla gama de ácidos graxos insaturados, principalmente o linoléico, cujo conteúdo varia de acordo com o clima e a variedade da semente. A Tabela 1, apresenta algumas propriedades físicas do óleo de soja (LISBOA, 1997 citado em MOGHARBEL, 2002).

QUADRO 1. Índices representativos das propriedades físicas do óleo de soja.

| Propriedades | Valor de Referência |
|-------------------------|---------------------|
| Peso Específico, 25°C | 0,9175 |
| Ponto de Solidificação | -10 a 16°C |
| Índice de Saponificação | 193 |
| Densidade | 0,914 a 0,922 |
| Ponto de Fumaça | 240°C |

Fonte: Adaptado de IMCOPA (1997), citado em MOGHARBEL (2002) e COAMO (2003).

As propriedades físicas do óleo de soja dependem de fatores, como clima da região e da variedade da planta. A forma de processamento pode alterar o nível de alguns componentes do óleo.

Os óleos vegetais são neutros em CO₂ e seu uso é aconselhável do ponto de vista ambiental. Em geral, permitem uma rápida e igual transferência do calor

proveniente do tratamento térmico pela madeira, proporcionando semelhantes condições térmicas por toda a peça. Muitos óleos naturais e resinas possuem também, a vantagem de apresentar ponto de ebulição mais altos do que as temperaturas requeridas para os tratamentos térmicos da madeira (RAPP & SAILER, 2000).

Devido à habilidade em transportar calor, o óleo pode ser usado para processos de secagem e modificações na madeira, com importantes resultados em relação ao aumento da repelência à água pela madeira (RAPP & SAILER, 2000 e TREU, MILITZ e BREYNE, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para esta pesquisa do efeito do tratamento térmico em óleo de soja na madeira serrada de *Pinus sp.*, foram realizadas análises preliminares, que possibilitaram a seleção das variáveis de estudo.

4.1 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis selecionadas foram:

- Altura de corte das amostras;
- Temperatura do tratamento térmico;
- Tempo de tratamento térmico;
- Espessura inicial das amostras;
- Imersão em óleo frio (temperatura ambiente) após aplicação do tratamento térmico.

4.2 TESTES PRELIMINARES

Foram realizados testes preliminares que permitiram determinar os níveis máximos e mínimos das variáveis selecionadas para o tratamento térmico com óleo de soja na madeira serrada de *Pinus sp.*

A altura de corte foi definida preliminarmente como variável pois de acordo com a literatura, as características físicas e mecânicas da madeira sofrem algumas alterações conforme as diferentes localizações da madeira na árvore. Esta variável foi descartada no decorrer dos estudos por não apresentar influência significativa em quaisquer dos tratamentos utilizados.

A literatura mostra que variáveis como tempo e temperatura de tratamento influenciam nas propriedades da madeira tratada (JÄNSÄ & VIITANIEMI, 1999). Neste sentido, para este trabalho a temperatura de 160°C foi determinada como máxima, pois embora o equipamento (fritadeira) permitisse aquecimento de até 220°C, buscou-se obter condições confiáveis de controle e leitura das temperaturas. Para o nível máximo de temperatura, foram consideradas também, as características do óleo pois, segundo RAPP & SAILER (2000), em altas temperaturas de tratamento (230°C), o óleo apresenta alterações em sua composição básica e evaporação de

componentes voláteis que saem por decomposição, da madeira e acumulam-se no óleo.

A temperatura de 80°C foi determinada como mínima, a fim de avaliar o efeito do óleo sob baixa temperatura de tratamento (inferior a 100°C).

O tempo de tratamento foi determinado como 40 minutos em função da espessura das amostras. O nível mínimo do tempo de tratamento (20 minutos) foi determinado como a metade do tempo máximo.

As espessuras das amostras de 5 mm e 20 mm, foram escolhidas de acordo com as dimensões das peças produzidas e comercializadas pela indústria fornecedora da matéria-prima.

A imersão das amostras em óleo frio (temperatura ambiente) após tratamento térmico no óleo de soja foi determinada como variável pois, buscou-se maior absorção de óleo pelas amostras tratadas pelo princípio do “banho quente-frio”.

Neste contexto, com o aquecimento realizado na primeira fase do tratamento, o ar se expande no interior da peça de madeira. Ao ser submetida a segunda fase, do banho frio em óleo, a madeira sofre choque térmico provocando a retração do ar expandido e fazendo com que haja maior absorção de óleo pela peça.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS

A madeira fornecida para esta pesquisa, é proveniente da Fazenda Santa Úrsula, situada no município de Lages, no estado de Santa Catarina, de propriedade da empresa Batisttella S.A..

O município de Lages está localizado no Planalto Serrano Catarinense, a 223 km da capital do Estado, Florianópolis. Apresenta clima Subtropical e devido à altitude de mais de 900m, a temperatura média anual máxima é de 16°C. No inverno, a temperatura ambiente alcança graduação negativa, com freqüente ocorrência de geadas e algumas nevascas.

A altitude é de 904m acima do nível do mar. Tem como cidades próximas, São Joaquim, Bom Retiro, Otacílio Costa, Urupema e Correia Pinto.

4.4 COLETA DAS AMOSTRAS

Foram utilizadas amostras de madeira serrada de *Pinus sp.*, nas condições verde e idade de 31 anos. Estas amostras foram obtidas nas seguintes condições:

- e) Derrubada de trinta árvores escolhidas aleatoriamente nos talhões da fazenda Santa Úrsula – Lages/SC;
- f) Identificação base-topo e corte da árvore em três toras de 8 metros permitindo o transporte até o pátio da serraria da empresa;
- g) Localização das porções de 25%, 50% e 75% da altura comercial da árvore;
- h) Retirada de 3 pranchas com casca e com espessura de 7,5cm de cada tora;
- i) Destopo com 40cm de comprimento, nas alturas de corte indicadas;
- j) Identificação das pranchas de 40cm de acordo com a identificação da árvore e respectiva altura de corte.

Os cortes das pranchas foram orientados de forma paralela, no sentido longitudinal da tora. Das três pranchas com espessura de 7,5 cm obtidas de cada árvore, foi descartada a prancha localizada na medula da tora. Apenas as duas pranchas localizadas laterais à medula foram utilizadas para o corte das amostras. O corte final das amostras foi realizado no Laboratório de Usinagem da Madeira – Universidade Federal do Paraná.

Selecionou-se 20 árvores cujas pranchas não apresentavam defeitos que foram então destinadas ao corte das amostras. A distribuição de amostragem determinada para a aplicação do tratamento térmico com óleo vegetal pode ser observada no Tabela 2. Na Figura 4 podem ser observadas as dimensões das amostras que foram determinadas como:

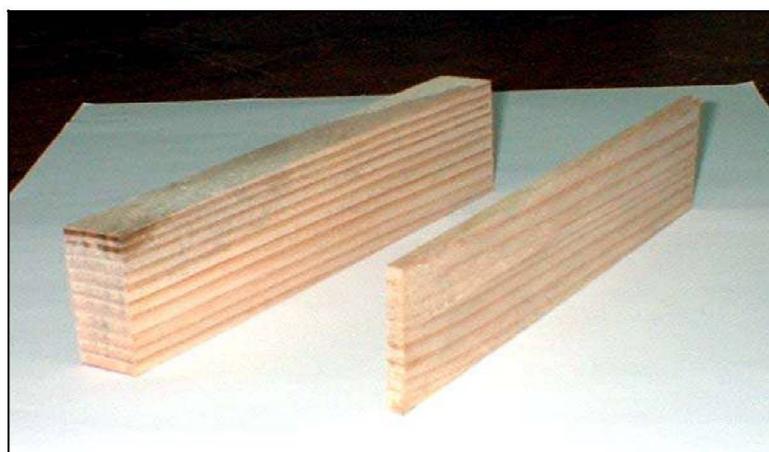
- 50mm de largura, 200mm de comprimento e 5mm de espessura;
- 50mm de largura, 200mm de comprimento e 20mm de espessura.

QUADRO 2 – Distribuição da amostragem para o tratamento térmico em óleo de soja.

| Espessura das Amostras | .Amostragem | | | | Total de Amostras Cortadas |
|------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | Número de Árvores Amostradas | Número de Alturas* por Árvore | Número de Amostras por Altura | Número de Amostras por Espessura | |
| 5mm | 10 | 3 | 12 | 360 | 720 |
| 20mm | 10 | 3 | 12 | 360 | |

Alturas selecionadas: 25%, 50% e 75% da altura comercial da árvore.

FIGURA 5 – Amostras com espessuras de 20mm (A) e 5mm (B).



(A)

(B)

4.5 PREPARO DAS AMOSTRAS

Durante o processo de corte no Laboratório de Usinagem da Madeira – UFPR, as amostras obtidas receberam identificação de acordo com o número da árvore e altura de corte demonstradas anteriormente. Na seqüência, foram imersas em água para que atingissem a saturação. Após a constatação da saturação das amostras por acompanhamento diário da massa e dimensões, estas foram preparadas através do procedimento descrito a seguir:

- a) Identificação do tratamento a ser aplicado e marcação de pontos de medições em cada amostra.
- b) Pesagem das amostras (Massa Saturada).

c) Medições com micrômetro nos três pontos distribuídos na largura e 3 pontos na espessura da amostra, e com uma régua graduada, em um ponto de seu comprimento.

4.6 APLICAÇÃO DO TRATAMENTO TÉRMICO COM ÓLEO DE SOJA

Para o processo de banho térmico das amostras utilizou-se uma Fritadeira Industrial Elétrica, na qual foi aquecido o óleo de soja e realizado o tratamento das amostras, a “Fritura da Madeira”. O procedimento foi aplicado imediatamente após as realizações de medições e pesagem saturadas, para evitar a redução do teor de umidade das amostras abaixo de 28%.

A temperatura do óleo de soja durante o tratamento foi controlada através do dispositivo de termostato acoplado à fritadeira, sendo aferidas por termômetro de mercúrio a cada imersão e controladas durante o processo.

Cada altura de corte composto por 4 grupos com 3 repetições cada, foram tratados segundo combinação de tempo e temperaturas de tratamentos representados na Tabela 3.

Cada grupo formado por três repetições de uma mesma altura, receberam simultaneamente o tratamento térmico. Devido à igualdade do tempo de imersão, primeiramente foram tratados os grupos de amostras com tempo de tratamentos de 20 minutos, e em seguida, os grupos de amostras submetidas ao tempo de 40 minutos, conforme demonstrado na Figura 5.

Após o processo de banho térmico, as amostras provenientes das primeiras 5 árvores (para cada espessura) foram retiradas da fritadeira e colocadas em recipiente para escorrimento do óleo excedente por um período de 30 minutos (Figura 6).

QUADRO 3 – Caracterização dos tratamentos térmicos aplicados nas amostras de madeira *Pinus sp.*

| Tratamento | Temperatura | Tempo (minutos) | Imersão em Óleo Frio | Número de Amostras (20 mm) | Número de Amostras (5 mm) |
|-------------------|----------------|-----------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| T1 | 80°C | 20 | Não | 45 | 45 |
| T2 | 80°C | 40 | Não | 45 | 45 |
| T3 | 160°C | 20 | Não | 45 | 45 |
| T4 | 160°C | 40 | Não | 45 | 45 |
| T5 | 80°C | 20 | Sim | 45 | 45 |
| T6 | 80°C | 40 | Sim | 45 | 45 |
| T7 | 160°C | 20 | Sim | 45 | 45 |
| T8 | 160°C | 40 | Sim | 45 | 45 |
| Test1* | 80°C | 20 | Não | 9 | 9 |
| Test2* | 80°C | 40 | Não | 9 | 9 |
| Test3* | 160°C | 20 | Não | 9 | 9 |
| Test4* | 160°C | 40 | Não | 9 | 9 |
| Test5** | 12% de Umidade | | | 9 | 9 |
| Total de Amostras | | | | 405 | 405 |

* Testemunhas secas em Estufa, sem tratamento térmico em óleo.

** Testemunhas mantidas a 12% de Umidade Relativa (20 °C/ 65%UR), sem tratamento térmico em óleo.

FIGURA 6 – Equipamento utilizado e disposição das amostras durante o tratamento térmico com óleo de soja



(A)

(B)

Onde:

A = Tratamentos em temperatura de 80°C;

B = Tratamentos em temperatura de 160°C.

O grupo de amostras proveniente das 5 árvores restantes receberam imediatamente após a aplicação do tratamento térmico, banho em óleo a temperatura de 21°C, ± 5 por um período de 30 minutos, denominada banho em óleo frio (Figura 7). Este procedimento foi aplicado para ambas as espessuras (5 mm e 20 mm).

FIGURA 7 – Disposição das amostras após retirada da fritadeira para escorrimento do óleo excedente.



Após a aplicação da imersão em óleo frio, as amostras foram colocadas em recipiente para o escorrimento do óleo superficial. No término deste período, foram pesadas (Massa 1). Após 24 horas do final da aplicação do tratamento foram medidas a largura, a espessura, o comprimento e massa de cada amostra (Medidas Tratadas e Massa 2).

Depois de realizadas as medições, as amostras foram estaleiradas sobre bancada, em condições de temperatura e umidade de 21°C, ± 5 e 75% ± 5 . Foi realizado acompanhamento diário de massa até que as amostras não apresentassem variação de massa, aproximadamente 12 dias após os tratamentos.

Este acompanhamento foi feito em uma amostragem das árvores tratadas, conforme distribuição mostrada no Tabela 4. As amostras foram novamente medidas. Depois de 2 meses, realizaram-se novamente pesagens e medições (medidas após 2 meses).

FIGURA 8 – Amostras tratadas durante o procedimento de imersão em óleo frio, após a aplicação do tratamento térmico com óleo de soja.



QUADRO 4. Distribuição de amostragem das árvores com acompanhamento da variação de massa.

| Espessura das Amostras | Tratamento | Número de Árvores Amostradas | Número de Amostras por Árvore | Total de Amostras |
|------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 20mm | Tratadas + 2ª Imersão | 2 | 36 | 72 |
| 20mm | Tratadas | 2 | 36 | 72 |
| 5mm | Tratadas + 2ª Imersão | 2 | 36 | 72 |
| 5mm | Tratadas | 2 | 36 | 72 |

4.7 TRATAMENTO DAS TESTEMUNHAS

As testemunhas foram divididas em dois grupos. O primeiro, recebeu tratamento térmico em estufa e o segundo grupo (sem aplicação de tratamento térmico e sem imersão em óleo), foi mantido em câmara com 20°C e umidade relativa de 65%, até atingir umidade de equilíbrio de 12%. Esta estabilização foi acompanhada com pesagens diárias até massa constante das amostras.

As testemunhas utilizadas para os testes em estufa foram pesadas e medidas em espessura e largura em condições de saturação (massa saturada e medidas antes do tratamento). Após 30 minutos da retirada da estufa de secagem, as amostras foram pesadas (massa 1). Medições em largura e espessura (medidas 24h após tratamento) e pesagem (massa 2) foram feitas 24 horas depois da massa 1. Por meio de pesagem diária, foi realizado o acompanhamento de massa das amostras tratadas até não apresentassem variação de massa, ocasião na qual as amostras foram medidas (após 12 dias). Depois do tempo de 2 meses da aplicação dos tratamentos, as testemunhas foram novamente medidas (medidas após 2 meses).

A amostragem realizada para o tratamento térmico nas testemunhas está demonstrada no Tabela 5.

QUADRO 5 – Distribuição da amostragem de testemunhas que receberam o tratamento térmico em estufa.

| Espessura das Amostras | Número de Amostras por Tratamento | Número de Amostras por Altura | Número de Árvores Amostradas | Número de Altura por Árvore | Total de Testemunhas (Estufa) |
|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 20mm | 1 | 4 | 3 | 3 | 36 |
| 5mm | 1 | 4 | 3 | 3 | 36 |

As testemunhas que não receberam tratamento foram medidas e pesadas em condições saturadas e colocadas em seguida, em câmara (20° e 65%) até a madeira atingir teor de umidade de 12%, quando foram novamente medidas. A amostragem das testemunhas foi distribuída segundo descrição da Tabela 6.

QUADRO 6 – Distribuição das amostras utilizadas para testemunhas secas em estufa (Test1, Test2, Test3, Test4) e as testemunhas mantidas a 12% de umidade (Test5)

| Espessura das Amostras | Número de Amostras por Altura | Número de Árvores Amostradas | Número de Altura por Árvore | Total de Amostras (Câmara) |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 20mm | 1 | 3 | 3 | 9 |
| 5mm | 1 | 3 | 3 | 9 |

4.8 PROPRIEDADES FÍSICAS E ORGANOLÉPTICA

As propriedades físicas determinadas para este estudo foram: variação dimensional em espessura e largura, empenamento das amostras, massa específica. A propriedade organoléptica analisada foi a variação na cor das amostras após os tratamentos térmicos.

4.8.1 Cálculo da Variação Dimensional

As medidas em espessura e largura das amostras saturadas e 24 horas após o tratamento foram utilizados para os cálculos da contração em espessura e largura. Os cálculos foram realizados pela utilização das seguintes fórmulas:

a) Contração em Espessura (β_e):

$$\beta_e\% = \frac{d_{\text{sat}} - d_{24}}{d_{\text{sat}}} * 100$$

Em que:

$\beta_e\%$ = Contração em espessura

d_{sat} = Dimensão Saturada

d_{24} = Dimensão 24 horas após o tratamento

b) Contração em Largura (βl):

$$\beta l_{\%} = \frac{d_{\text{sat}} - d_{24}}{d_{\text{sat}}} * 100$$

Em que:

$\beta l_{\%}$ = Contração em largura

d_{sat} = Dimensão Saturada

d_{24} = Dimensão 24 horas após o tratamento

4.8.2 Empenamento

Os cálculos do empenamento observado nas amostras tratadas e nas testemunhas, foram realizados através de medidas realizadas nas amostras com paquímetro digital e calculadas pela fórmula:

$$\text{Empenamento}_{\%} = \frac{X}{L} * 100$$

Em que:

X = Flecha do empenamento (mm); e

L = Comprimento da amostra (mm).

4.8.3 Massa Específica

O cálculo de massa específica aparente observado nas amostras tratadas e nas testemunhas, foi realizado utilizando-se a fórmula:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Em que:

δ = Massa Específica (g/cm^3)

m = Massa das amostras (g)

V = Volume das amostras (cm^3)

As massas específicas das amostras tratadas e testemunhas secas em estufa foram calculadas ao teor de umidade de 21°C, ± 5 e 75% ± 5 (Laboratório de Beneficiamento da Madeira - UFPR/ Curitiba – PR). As testemunhas sem tratamento térmico com óleo ou secagem, tiveram suas massas específicas calculadas ao teor de umidade de 12% (Câmara com temperatura de 20°C e Umidade Relativa de 65%).

4.8.4 Colorimetria

O teste de colorimetria foi realizado pela Universidade de Brasília (UnB), em cooperação com o Laboratório de Produtos Florestais (LPF/IBAMA).

Para o estudo foram utilizadas amostras provenientes de três árvores submetidas ao tratamento térmico em óleo de soja (seguidas ou não de 2ª Imersão) e amostras sem tratamento, cuja distribuição de amostragem está demonstrada no Tabela 7.

Para o teste de colorimetria, foram utilizadas 15 amostras por tratamento, sendo realizadas em cada amostra, 15 leituras na face referente à largura da amostra. O número de tomada de medida foi baseado em testes prévios, onde foi realizada a determinação da cor da madeira, fazendo-se medições de 1 a 10 tomadas de medidas por amostra. Verificou-se que acima de 10 medições a cor torna-se constante. Foi utilizado um espectrofotômetro Datacolor Microflash 200d (Figura 8) conectado a um microcomputador, com iluminante D65 e ângulo de 10°.

As medições foram feitas nas faces tangencial e radial da amostra para obtenção dos valores da claridade (L), das coordenadas a^* e b^* . O valor da saturação da cor (C) e do ângulo de tinta (h^*) foram calculados pelas seguintes equações:

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

$$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

Para a definição de cores das amostras analisadas foi utilizado o Sistema CIE $L^*a^*b^*$.

Figura 9 – Espectrofotômetro Datacolor Microflash 200d conectado a um microcomputador.



Fonte: (GONÇALEZ, 2001)

4.8.5 Razão entre Amostras Tratadas e as Testemunhas

A comparação dos resultados das testemunhas secas em estufa (Test1, Test2, Test3, Test4) e as testemunhas mantidas a 12% de umidade (Test5) em relação às amostras tratadas com banho térmico em óleo de soja (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8), foi feita a partir da relação a seguir:

$$R = \frac{d_{at}}{d_{test}^*}$$

Em que:

R = Razão entre amostras tratadas e testemunhas

d_{at} = Dimensão das amostras tratadas

d_{test} = Dimensão das testemunhas

* Testemunhas mantidas a 12% de umidade e Testemunhas tratadas em estufa.

A interpretação dos resultados obtidos da relação entre amostras tratadas e testemunhas estão demonstrados a seguir:

- a) Razão > 1 Tratamento melhor que a testemunha;
- b) Razão = 1 Tratamento sem efeito;

c) Razão < 1 Tratamento pior que a testemunha;

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram analisados segundo delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições. Os tratamentos representam o arranjo fatorial de duas espessuras iniciais das amostras (5mm e 20mm), com duas condições aplicadas às amostras após o tratamento térmico (com e sem imersão em óleo frio) e com quatro tipos de tratamento térmico em óleo de soja.

O delineamento estatístico foi aplicado nos dados de variação dimensional, massa específica e colorimetria das amostras tratadas e testemunhas.

As médias dos tratamentos foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 VARIAÇÃO DIMENSIONAL DAS AMOSTRAS TRATADAS

O resumo da análise de variância para o parâmetro variação dimensional da madeira serrada de *Pinus sp.* submetida ao tratamento térmico com óleo de soja estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2, para espessura e largura, respectivamente. É possível constatar que as medidas das amostras em estado saturado foram consideradas iguais estatisticamente. Isto foi verificado entre as medidas das amostras com espessura inicial de 20 mm e entre as medidas das amostras de 5 mm.

TABELA 1 – Resumo da análise de variância das medidas em espessura das amostras em estado saturado e após tratamentos térmicos em óleo de soja.

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | Medida Saturada | Medida Tratada |
| Espessura | 1 | 4555,520** | 4576,472** |
| Condição | 1 | 0,002 ^{ns} | 0,022 ^{ns} |
| Espessura x Condição | 1 | 0,006 ^{ns} | 0,068 ^{ns} |
| Erro Experimental | 16 | 0,048 ^{ns} | 0,046 |
| Tratamento | 3 | 0,001 ^{ns} | 1,334** |
| Espessura x Tratamento | 3 | 0,002 ^{ns} | 0,188** |
| Condição x Tratamento | 3 | 0,002 ^{ns} | 0,050** |
| Espessura x Condição x Tratamento | 3 | 0,004 ^{ns} | 0,33* |
| Erro Experimental | 48 | 0,002 | 0,010 |
| Total | 79 | | |
| Coeficiente de Variação | | 0,38% | 0,76% |

ns – não significativo a 5% de probabilidade

* - significativo a 5% de probabilidade

** - significativo a 1% de probabilidade

Entretanto, após a aplicação dos tratamentos, os resultados da análise de variância das medidas das amostras tratadas (Tabela 1), indicaram que os tratamentos testados, as espessuras iniciais das amostras e a imersão em óleo frio após tratamento térmico possuíram interação significativa.

TABELA 2 – Resumo da análise de variância das medidas em espessura das amostras em estado saturado e após tratamentos térmicos em óleo de soja.

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | Medida Saturada | Medida Tratada |
| Espessura | 1 | 2,566** | 1,304** |
| Condição | 1 | 0,064 ^{ns} | 0,052 ^{ns} |
| Espessura x Condição | 1 | 0,000 ^{ns} | 0,223 ^{ns} |
| Erro Experimental | 16 | 0,080 ^{ns} | 0,106** |
| Tratamento | 3 | 0,001 ^{ns} | 10,414** |
| Espessura x Tratamento | 3 | 0,006 ^{ns} | 1,424** |
| Condição x Tratamento | 3 | 0,006 ^{ns} | 0,305** |
| Espessura x Condição x Tratamento | 3 | 0,004 ^{ns} | 0,028 |
| Erro Experimental | 48 | 0,005 | 0,033 |
| Total | 79 | | |
| Coeficiente de Variação | | 0,14% | 0,36% |

ns – não significativo a 5% de probabilidade

* - significativo a 5% de probabilidade

** - significativo a 1% de probabilidade

A Tabela 3 mostra os resultados de contração e pode-se observar que tanto para a espessura quanto para largura das amostras, os tratamentos com baixa temperatura (T1, T2, T5 e T6) não apresentaram contrações. Para as condições desta pesquisa, constatou-se que a temperatura de 80°C não foi suficiente para provocar variação dimensional nas amostras de 20 mm e 5 mm.

Por outro lado, verificou-se que os tratamentos com temperaturas de 160°C, relativos aos tratamentos T3, T4, T7 e T8 provocaram contração na madeira de *Pinus sp.* para ambas espessuras de corte. Os valores de contração observados para os tratamentos sob 80°C e 160°C apresentaram diferença significativa. Constata-se desta maneira, a influência da alta temperatura de tratamento na maior contração da madeira, de acordo com resultados apresentados por TOMASELLI (1981).

O teste de comparação de médias demonstrou que os maiores valores de contração foram observados nas amostras submetidas aos tratamentos T7 e T8 ou seja, alta temperatura associada à imersão em óleo frio. Estes valores foram observados para ambas as espessuras de corte, onde pôde-se constatar que para as amostras de 5 mm os valores de variação dimensional foram maiores que para as amostras de 20 mm.

TABELA 3 – Variação dimensional em espessura e largura das amostras tratadas e testemunhas de 20 mm e 5 mm de espessura.

| Tratamento | Variação Dimensional (%) | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------|------------------|---------------|
| | Amostras de 20 mm | | Amostras de 5 mm | |
| | Espessura | Largura | Espessura | Largura |
| T1 (80°C e 20') | 0,00 a | 0,03 a | 0,00 a | 0,52 a |
| T2 (80°C e 40') | 0,00 a | 0,03 a | 0,41 a | 0,15 a |
| T3 (160°C e 20') | 0,16 b | 0,55 b | 7,05 b | 3,78 b |
| T4 (160°C e 40') | 2,33 c | 1,58 c | 6,34 b | 3,56 b |
| T5 (80°C, 20' e Imersão) | 0,00 a | 0,00 a | 0,00 a | 0,16 a |
| T6 (80°C, 40' e Imersão) | 0,00 a | 0,00 a | 0,06 a | 0,24 a |
| T7 (160°C, 20' e Imersão) | 1,20 b | 1,32 b | 7,05 b | 3,78 b |
| T8 (160°C, 40' e Imersão) | 3,40 c | 2,70 b | 6,62 b | 3,77 b |
| Test 1 - Estufa (80°C e 20') | 0,02 a | 0,00 a | 0,15 a | 0,02 a |
| Test 2 - Estufa (80°C e 40') | 0,00 a | 0,00 a | 0,12 a | 0,01 a |
| Test 3 - Estufa (160°C e 20') | 0,00 a | 0,00 a | 0,06 b | 0,00 a |
| Test 4 - Estufa (160°C e 40') | 0,14 b | 0,28 b | 0,76 c | 0,60 b |
| Test 5 – 12% | 3,90 | 3,35 | 3,31 | 2,17 |

Médias seguidas pela mesma letra entre, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

A maior intensidade de contração provocada pelos tratamentos T7 e T8 pode ser devido à maior velocidade de resfriamento das amostras somadas a uma possível repelência à água na da superfície da madeira pela absorção de óleo frio. Este óleo pode estar ocupando o lúmen das células, impedindo desta maneira, a absorção de umidade do ambiente pelas amostras após 24 horas da aplicação dos tratamentos. Desta forma, pode ter ocorrido o impedimento da absorção de umidade do ambiente pelas amostras após 24 horas da aplicação dos tratamentos. Para as amostras de

20 mm (Gráfico 1 e 2), é possível verificar que o maior tempo de tratamento (tratamento T4 e T8) contribuiu para a maior variação dimensional em espessura e largura das amostras de 20 mm.

GRÁFICO 1 – Variação Dimensional em Espessura das Amostras com 20 mm de espessura submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).

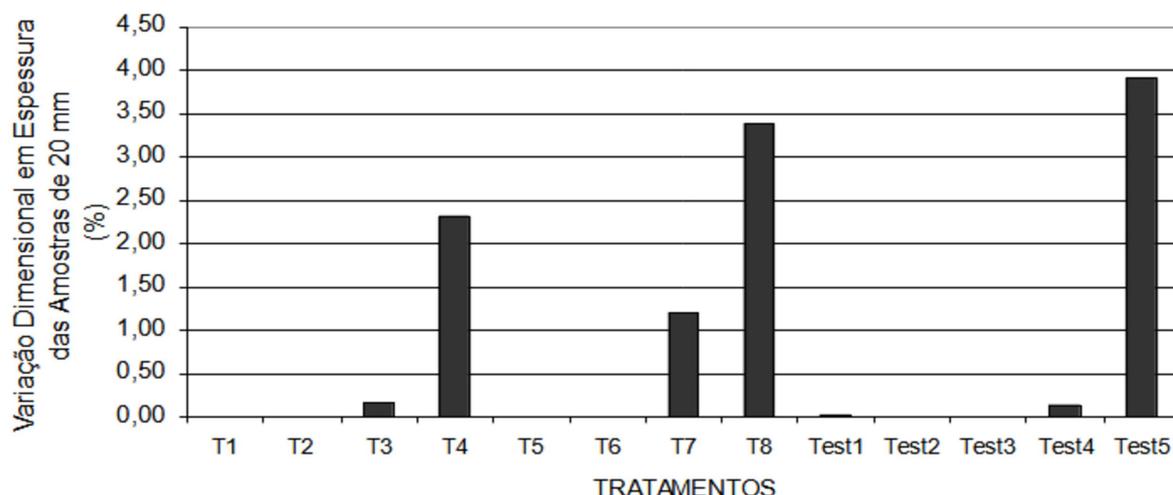
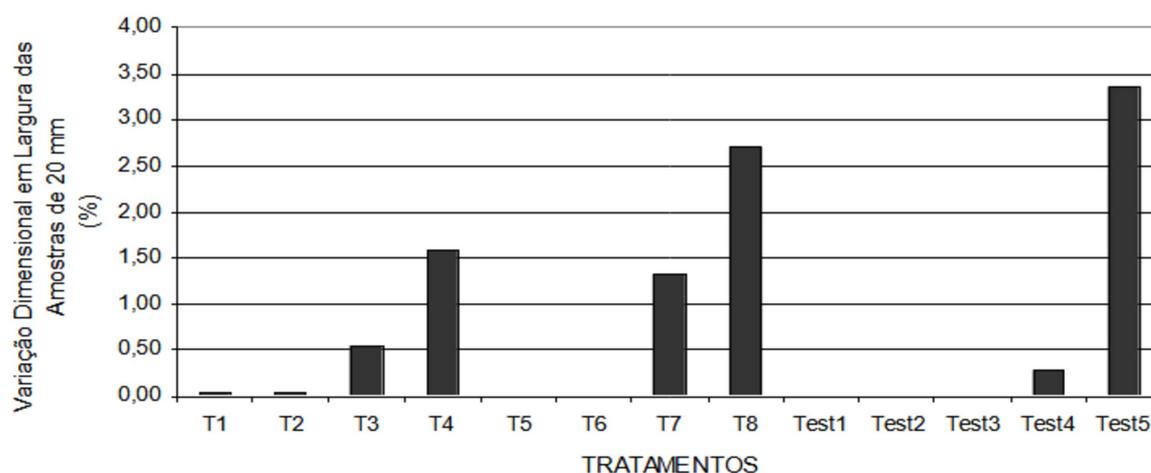


GRÁFICO 2 – Variação Dimensional em Largura das Amostras com 20 mm de Espessura submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).



Entretanto, para as amostras de 5 mm foram observados que o aumento do tempo de tratamento não influenciou na maior contração das amostras, visto que foram considerados estatisticamente iguais. Os dados obtidos podem ser

visualizados no Gráfico 3, para variação dimensional em espessura e Gráfico 4 para variação em largura das amostras de 5 mm.

GRÁFICO 3 – Variação Dimensional em Espessura das Amostras com Espessura Inicial de 5 mm submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).

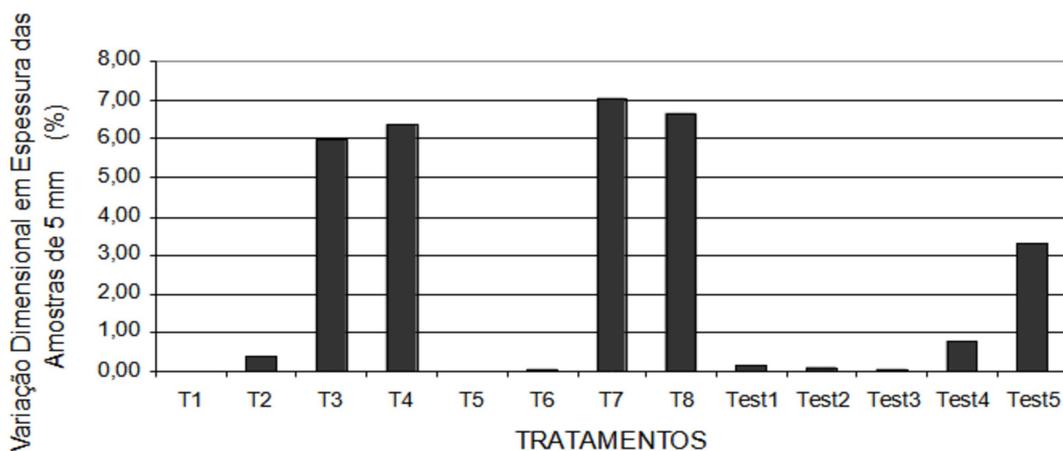
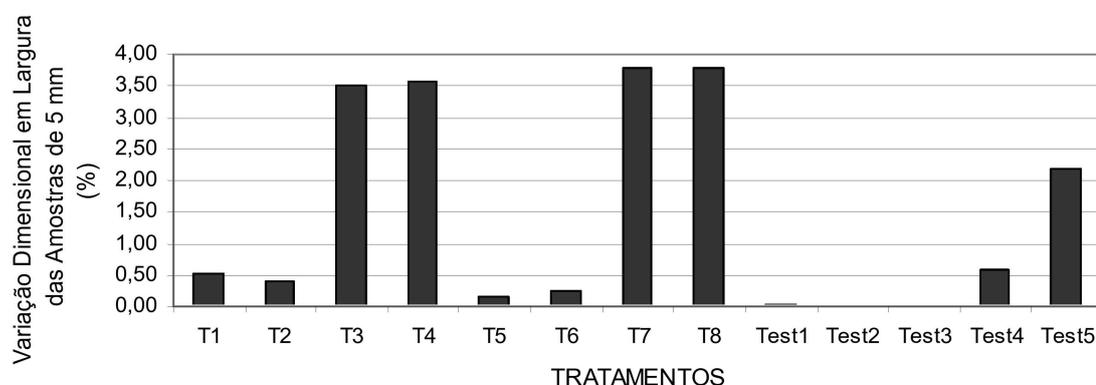


GRÁFICO 4 – Variação dimensional em largura das amostras com espessura Inicial de 5 mm submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).



Os resultados referentes às variações dimensionais das amostras de 5 mm são confirmados por estudos realizados por JÄNSÄ & VIITANIEMI (1999) que

afirmam ser a temperatura a maior influência na propriedade de contração da madeira do que a duração do tratamento térmico.

Quando comparadas variações dimensionais das amostras de 20 mm e 5 mm, quando submetidas a temperatura de 160°C, foi observado que o maior tempo de tratamento contribuiu para o aumento nos índices de contração em espessura e largura das amostras de 5 mm.

Provavelmente, devido a espessura das amostras com 5 mm, o menor tempo de tratamento, ou seja, 20 minutos foi suficiente para provocar contração semelhante estatisticamente, aos tratamentos com duração de 40 minutos. Estes resultados mostram a influência da espessura da amostra nos processos de secagem da madeira.

5. 2 RAZÃO ENTRE AS AMOSTRAS SUBMETIDAS AO TRATAMENTO TÉRMICO COM ÓLEO DE SOJA E TESTEMUNHAS

5.2.1 Razão entre Amostras Tratadas e Testemunhas à 12% de Umidade de Equilíbrio

Na Tabela 4 está apresentado o resumo da análise de variância da razão em espessura e largura das amostras tratadas comparadas às testemunhas mantidas a 12% de umidade. Esta análise da razão indicou que os tratamentos térmicos em óleo, bem como sua associação com a imersão em óleo frio, provocaram efeitos significativos nas amostras de ambas as espessuras.

Foi observado ainda que para amostras com espessura inicial de 20 mm, nenhum dos tratamentos provocaram variação dimensional nas amostras tratadas superiores as testemunhas a 12% de umidade. Isto pode ser constatado pelo valor obtido para a razão entre amostras tratadas e estas testemunhas, superior a 1.

TABELA 4 – Análise de variância da variação dimensional em espessura e largura das amostras tratadas em relação às testemunhas à 12% de umidade de equilíbrio.

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | Espessura | Largura |
| Espessura | 1 | 0,044** | 0,009** |
| Condição | 1 | 0,001** | 0,001 ^{ns} |
| Espessura x Condição | 1 | 0,001 ^{ns} | 0,001 ^{ns} |
| Erro Experimental | 16 | 0,001 | 0,001 |
| Tratamento | 3 | 0,013** | 0,004** |
| Espessura x Tratamento | 3 | 0,003** | 0,001** |
| Condição x Tratamento | 3 | 0,001* | 0,001** |
| Espessura x Condição x Tratamento | 3 | 0,001 ^{ns} | 0,001 ^{ns} |
| Erro Experimental | 48 | 0,759 | 0,135 |
| Total | 79 | | |
| Coeficiente de Variação | | 0,86% | 0,36% |

ns – não significativo a 5% de probabilidade.

* - significativo a 5% de probabilidade.

** - significativo a 1% de probabilidade.

Pela razão entre amostras tratadas e testemunhas à 12% de umidade de equilíbrio, nas condições deste trabalho, pode-se constatar que apenas os tratamentos com temperatura de 160°C, influenciaram significativamente nas amostras com espessura inicial de 5 mm. Isto pode ser verificado pelo valor obtido da razão, menor que 1, comprovado pelo teste de comparação de médias que mostrou diferença significativa entre os tratamentos com diferentes temperaturas.

A Tabela 5 demonstra ainda, que os valores obtidos para a razão entre as amostras de 20 mm tratadas sob 160°C e submetidas à imersão em óleo frio são praticamente iguais às contrações observadas para as testemunhas a 12% de umidade, razão aproximadamente 1. Embora esta razão mostre a semelhança do efeito do tratamento térmico com as testemunhas a 12%, não se pode afirmar que a redução do teor de umidade causada por este tratamento, tenha sido a mesma para amostra tratada e testemunha.

Provavelmente, um estudo de caráter químico das amostras tratadas poderia quantificar o teor de umidade e de óleo nas amostras que sofreram tratamentos térmico em óleo de soja.

TABELA 5 – Razão entre amostras tratadas e testemunhas a 12% de umidade (Razão em espessura e largura das amostras).

| Tratamento | Razão | | | |
|------------------------------|-------------------|---------|------------------|----------------|
| | Amostras de 20 mm | | Amostras de 5 mm | |
| | Espessura | Largura | Espessura | Largura |
| T1 (80 C e 20') | 1,042 a | 1,035 a | 1,010 a | 1,020 a |
| T2 (80 C e 40') | 1,043 a | 1,035 a | 1,013 a | 1,020 a |
| T3 (160 C e 20') | 1,035 a | 1,028 b | 0,959 b | 0,991 b |
| T4 (160 C e 40') | 1,016 b | 1,018 c | 0,947 b | 0,989 b |
| T5 (80 C, 20' e Imersão) | 1,045 a | 1,036 a | 1,022 a | 1,025 a |
| T6 (80 C, 40' e Imersão) | 1,045 a | 1,036 a | 1,020 a | 1,024 a |
| T7 (160 C, 20' e Imersão) | 1,027 b | 1,022 b | 0,949 b | 0,988 b |
| T8 (160 C, 40' e Imersão) | 1,001 c | 1,008 c | 0,956 b | 0,988 b |

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

5.2.2 Razão Entre Amostras Tratadas e Testemunhas Secas em Estufa

A Tabela 6 mostra o resumo da análise de variância da razão entre amostras tratadas e testemunhas secas em estufa. A partir desta tabela pode-se observar os efeitos das variáveis analisadas nas amostras tratadas com espessuras de 5 mm e 20 mm em relação aos efeitos causados pela secagem em estufa nas testemunhas.

As razões em espessura e largura observadas entre as amostras tratadas e as testemunhas secas em estufa, para as espessuras de 20 mm e 5 mm, estão apresentadas na Tabela 13.

TABELA 6 – Resumo da análise de variância para a variação dimensional em espessura e largura das amostras tratadas em relação às testemunhas secas em estufa.

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| | | Espessura | Largura |
| Espessura | 1 | 0,001 ^{ns} | 0,0004 ^{**} |
| Condição | 1 | 0,001 ^{**} | 0,001 ^{ns} |
| Espessura x Condição | 1 | 0,001 ^{ns} | 0,001 ^{ns} |
| Erro Experimental | 16 | 0,001 | 0,001 |
| Tratamento | 3 | 0,015 ^{**} | 0,004 ^{**} |
| Espessura x Tratamento | 3 | 0,005 ^{**} | 0,001 ^{**} |
| Condição x Tratamento | 3 | 0,001 [*] | 0,001 ^{**} |
| Espessura x Condição x Tratamento | 3 | 0,001 ^{ns} | 0,001 ^{ns} |
| Erro Experimental | 48 | 0,737 | 0,128 |
| Total | 79 | | |
| Coeficiente de Variação | | 0,86% | 0,36% |

ns – não significativo a 5% de probabilidade

* - significativo a 5% de probabilidade

** - significativo a 1% de probabilidade

Verifica-se pela razão menor que 1, que o tratamento térmico em óleo de soja teve efeito mais acentuado nas amostras de 20 mm tratadas do que o tratamento em estufa nas testemunhas. O mesmo resultado foi observado para amostra de 5 mm tratadas com alta temperatura.

Pelo teste de comparação de médias (Tabela 7), constata-se que a associação do tratamento térmico em óleo de soja com temperatura de 160°C com a imersão em óleo frio (T7 e T8), exerce influência significativamente maior na madeira de *Pinus sp.* que a secagem em estufa.

Observa-se, que os resultados da razão indicaram o maior efeito do tratamento térmico nas amostras que a secagem em estufa. Isto demonstra a influência do óleo aquecido na madeira de *Pinus sp.*, visto que a razão obtida entre amostras tratadas e testemunhas foi menor que 1. Pode-se inferir portanto, que a maior influência do tratamento térmico em óleo de soja observada nas amostras, foi devido à penetração do óleo quente na madeira, conduzindo maior quantidade de calor para o interior da madeira que na secagem em estufa. Deve-se observar que

as testemunhas foram expostas às mesmas condições de temperatura e tempo de permanência na estufa que as amostras tratadas termicamente em óleo de soja.

TABELA 7 – Razão entre amostras tratadas e testemunhas secas em estufa (Razão da espessura e largura das amostras).

| Tratamento | Razão | | | |
|------------------------------|-------------------|---------|------------------|----------------|
| | Amostras de 20 mm | | Amostras de 5 mm | |
| | Espessura | Largura | Espessura | Largura |
| T1 (80 C e 20') | 0,994 a | 0,995 a | 1,010 a | 0,995 a |
| T2 (80 C e 40') | 0,995 a | 0,996 a | 1,011 a | 0,997 a |
| T3 (160 C e 20') | 0,989 a | 0,991 b | 0,956 b | 0,966 b |
| T4 (160 C e 40') | 0,976 b | 0,980 c | 0,930 b | 0,971 b |
| T5 (80 C, 20' e Imersão) | 0,997 a | 0,998 a | 1,022 a | 1,000 a |
| T6 (80 C, 40' e Imersão) | 0,997 a | 0,997 a | 1,018 a | 1,001 a |
| T7 (160 C, 20' e Imersão) | 0,981 b | 0,985 b | 0,946 b | 0,962 b |
| T8 (160 C, 40' e Imersão) | 0,962 c | 0,970 c | 0,939b | 0,960 b |

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Porém, nas amostras de 5mm submetidas a baixas temperaturas, os valores da razão ficaram próximos a 1. Este resultado mostra que a 80°C, o efeito do tratamento térmico com óleo de soja provoca semelhante efeito na madeira que o tratamento em estufa, mesmo que em diferentes tempos. Esta semelhança pode estar demonstrando que para a espessura de 5 mm, o efeito do tratamento térmico com óleo, seja o mesmo da secagem em estufa, para estas condições de tempo e temperatura (T1, T2, T5 e T6).

5.3 VARIAÇÃO DIMENSIONAL DAS AMOSTRAS APÓS 2 MESES DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O acompanhamento das medidas em espessura e largura das amostras tratadas e testemunhas com 20 mm e 5 mm desde o estado saturado até 2 meses após os tratamentos, permitiu verificar as tendências que estão demonstrada na Tabela 14. Os dados mostram que após 2 meses da aplicação do tratamento térmico com óleo de soja, as amostras não voltaram às dimensões iniciais (saturada).

Para as amostras com espessura inicial de 5 mm foram constatados valores de contrações maiores que aquelas obtidas para amostras com espessura inicial de 20 mm. Em relação às testemunhas secas em estufa e as testemunhas a 12%, observa-se que os tratamentos T1, T2, T5 e T6, aplicados às amostras com 20 mm e 5 mm, apresentaram contração inferior. Isto permite confirmar o efeito do óleo na madeira impedindo que esta tivesse troca de umidade com o ambiente. De acordo com ROWELL & YOUNGS (1981), óleos penetrantes e tratamentos com cera na superfície apresentam valores de eficiência de exclusão à umidade abaixo de 10%.

A aplicação de resinas naturais, ceras ou óleos secantes em solventes voláteis forma uma camada interna nas paredes dos lúmens. É um dos tratamentos mais utilizados, sendo que a penetração destes produtos é usualmente restrita à superfície da madeira e promove um grau de repelência de água mas, não proporciona nenhuma estabilidade dimensional a longo prazo.

Entretanto, os tratamentos com altas temperaturas (T3, T4, T7 e T8), demonstram tendências de contração superiores àquelas obtidas sob baixas temperaturas, testemunhas a 12% e secas em estufa.

Foi observado para as amostras de 5 mm submetidas aos tratamentos com alta temperatura (T3, T4, T7 e T8) que a contração obtida após 24 horas do tratamento foi superior aos valores encontrados 2 meses após os tratamentos ou seja, apresentaram inchamento em torno de 2%. Apesar disto, após 2 meses, apresentaram contrações superiores em espessura e largura em relação às testemunhas secas em estufa (Tabela 8).

Demonstra-se assim, o efeito inicial de repelência à água ocasionada pelo óleo absorvido pela madeira durante o tratamento térmico, visto que as amostras

tratadas e testemunhas secas em estufa foram submetidas a iguais temperatura e tempos dos tratamentos.

TABELA 8 – Variação Dimensional das amostras tratadas e testemunhas após dois meses dos tratamentos.

| Tratamento | Razão | | | |
|----------------------------------|-------------------|---------|------------------|---------|
| | Amostras de 20 mm | | Amostras de 5 mm | |
| | Espessura | Largura | Espessura | Largura |
| T1 (80 C e 20') | 2,58% | 2,07% | 1,48% | 2,51% |
| T2 (80 C e 40') | 2,55% | 2,20% | 1,35% | 2,29% |
| T3 (160 C e 20') | 3,00% | 2,28% | 6,17% | 2,36% |
| T4 (160 C e 40') | 3,46% | 2,26% | 4,32% | 2,29% |
| T5 (80 C, 20' e Imersão) | 2,28% | 2,01% | 2,94% | 2,15% |
| T6 (80 C, 40' e Imersão) | 1,89% | 1,96% | 3,59% | 2,67% |
| T7 (160 C, 20' e Imersão) | 2,59% | 2,12% | 5,28% | 2,12% |
| T8 (160 C, 40' e Imersão) | 2,92% | 2,02% | 5,68% | 2,28% |
| Test 1 - Estufa (80 C e 20') | 3,50% | 2,43% | 5,46% | 2,80% |
| Test 2 - Estufa (80 C e 40') | 3,52% | 2,60% | 3,35% | 2,60% |
| Test 3 – Estufa (160 C e 20') | 2,60% | 2,37% | 4,06% | 2,51% |
| Test 4 - Estufa (160 C e 40') | 3,44% | 2,68% | 4,79% | 2,99% |
| Test 5 – 12% | 3,90% | 3,35% | 3,31% | 2,17% |

Embora tenha sido observada a maior contração das amostras tratadas em relação às testemunhas, é importante verificar no decorrer de um período maior, o comportamento da variação dimensional das amostras tratadas. Isto seria importante para definir a eficiência do tratamento térmico com óleo de soja em relação à sorção de umidade.

Para ambas as espessuras iniciais das amostras (20 mm e 5 mm) foi observado após dois meses que a contração em espessura foi mais acentuada que em largura, independente dos tratamentos aplicados. Enquanto que sob alta temperatura a diferença entre contração em espessura e largura foi ainda mais acentuada. Este resultado está de acordo com TOMASELLI (1981), que afirma em seus estudos que a contração em espessura é maior do que em largura, independente da orientação de corte da madeira (radial ou tangencial) para tratamentos com temperaturas superiores à 60°C. Segundo o autor, ao serem submetidas ao aquecimento, as células da superfície da madeira são restringidas ao contraírem em largura pelas células do interior (acima do ponto de saturação das fibras), enquanto que em espessura podem contrair sem restrição alguma.

5. 4 VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA

Os valores obtidos de massa específica das amostras tratadas e testemunhas com espessura inicial de 5 mm e 20 mm, permitiu verificar que esta propriedade sofreu alterações de acordo com o tratamento aplicado e a espessura de corte da amostra. Os resultados observados na análise de variância (Tabela 9) mostram estas confirmam a interação destas variáveis.

TABELA 9 – Resultados da análise de variância para massa específica das amostras tratadas.

| Fonte de Variação | Graus de Liberdade | Quadrado Médio |
|-----------------------------------|--------------------|---------------------|
| Espessura | 1 | 0,110 ^{ns} |
| Condição | 1 | 0,150* |
| Espessura x Condição | 1 | 0,036 ^{ns} |
| Erro Experimental | 4 | 0,001 |
| Tratamento | 3 | 0,289** |
| Espessura x Tratamento | 3 | 0,010** |
| Condição x Tratamento | 3 | 0,013* |
| Espessura x Condição x Tratamento | 3 | 0,007 ^{ns} |
| Erro Experimental | 12 | 0,001 |
| Total | 31 | |
| Coeficiente de Variação | | 3,85% |

ns – não significativo a 5% de probabilidade

* - significativo a 5% de probabilidade

** - significativo a 1% de probabilidade

Os valores obtidos para massa específica das amostras de 20 mm e 5 mm, de acordo com os tratamentos aplicados estão apresentados na Tabela 10. A partir destes resultados, não foi detectado diferenças significativas entre os valores obtidos de massa específicas quando aplicados os tratamentos com mesma temperatura e diferentes tempos.

TABELA 10 – Comparação das médias de massa específica das amostras tratadas e testemunhas.

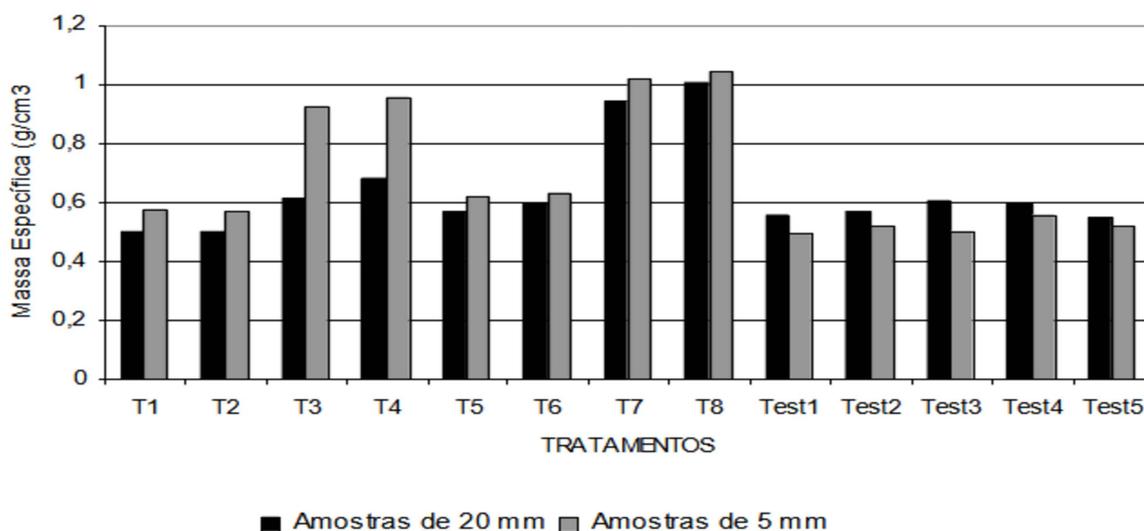
| Tratamento | Massa Específica (g/cm ³) | |
|----------------------------------|---------------------------------------|------------------|
| | Amostras de 20 mm | Amostras de 5 mm |
| T1 (80°C e 20') | 0,499 b | 0,575 b |
| T2 (80°C e 40') | 0,502 b | 0,570 b |
| T3 (160°C e 20') | 0,613 a | 0,925 a |
| T4 (160°C e 40') | 0,679 a | 0,959 a |
| T5 (80°C, 20' e Imersão) | 0,568 b | 0,618 b |
| T6 (80°C, 40' e Imersão) | 0,593 b | 0,632 b |
| T7 (160°C, 20' e Imersão) | 0,941 a | 1,016 a |
| T8 (160°C, 40' e Imersão) | 1,004 a | 1,042 a |
| Test 1 - Estufa (80°C e 20') | 0,558 b | 0,492 b |
| Test 2 - Estufa (80°C e 40') | 0,570 b | 0,502 b |
| Test 3 - Estufa (160°C e 20') | 0,605 a | 0,521 a |
| Test 4 - Estufa (160°C e 40') | 0,591 a | 0,558 a |
| Test 5 – 12% | 0,549 | 0,520 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Por outro lado, verificou-se a influência da alta temperatura de tratamento no aumento da massa específica das amostras, de acordo com resultados obtidos por TOMASELLI (1981). Verifica-se ainda, a importante influência da imersão em óleo frio no acréscimo da massa específica das amostras submetidas aos tratamentos T3, T4, T7 e T8. Pode-se considerar que a imersão em óleo frio após o tratamento térmico, pode ter tido semelhante funcionamento do banho “quente-frio”, proporcionando maior absorção de óleo, principalmente sob alta temperatura de tratamento.

É possível observar pelas tendências dos resultados obtidos que a massa específica das amostras submetidas a estes tratamentos, foi maior para as amostras de 5 mm. Provavelmente, devido ao fato da madeira apresentar menor espessura e assim proporcionalmente ao seu peso, absorver mais óleo que as amostras de 20 mm. No gráfico 5 é possível visualizar a comparação dos valores de massa específica obtidas após os tratamentos térmicos em óleo de soja entre as amostras de 5 mm e 20 mm. Estes valores estão comparados com as testemunhas tratadas em estufa e testemunha mantida a 12% de umidade.

GRÁFICO 5 – Massa específica das amostras com espessura inicial de 5 mm e 20 mm submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).



5.5 EMPENAMENTO

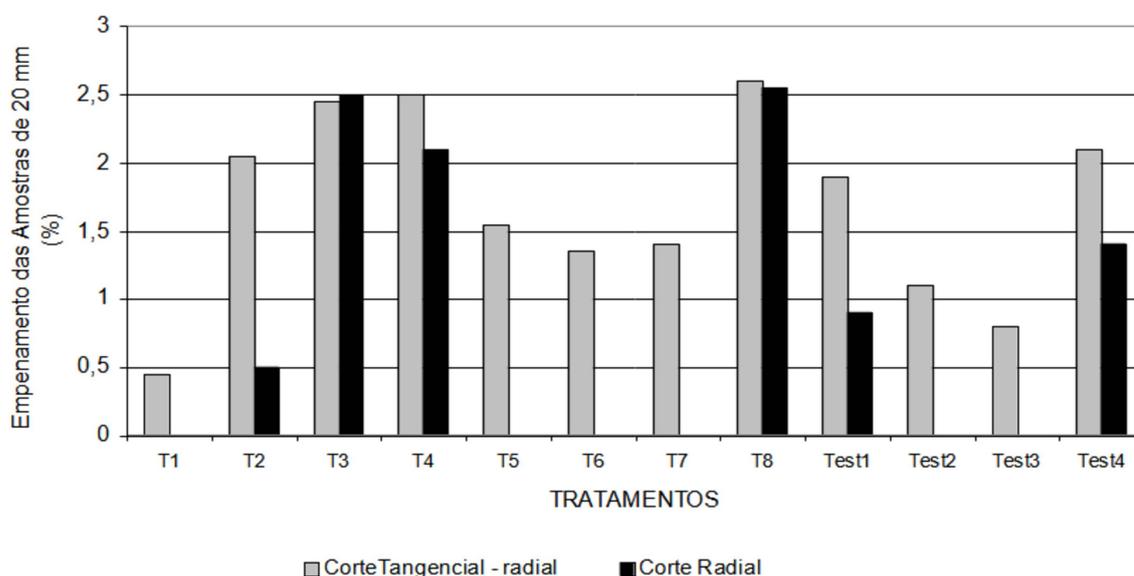
Após a aplicação do tratamento térmico com óleo de soja nas amostras e secagem em estufa das testemunhas, foram observados nas amostras de 20 mm e 5 mm, empenamentos cujas medidas estão demonstradas no Gráfico 6 e 7 respectivamente. O efeito de empenamento não foi identificado nas amostras mantidas a 12% de umidade.

Considera-se a partir das tendências apresentadas no Gráfico 6 que os tratamentos com alta temperatura (T3, T4, T7 e T8) provocaram os maiores empenamentos nas amostras. O maior tempo de tratamento contribuiu para o maior empenamento nas direções de corte radia e tangencial-radial.

Para as amostras de 20 mm e 5 mm com direções de corte tangencial-radial observou-se empenamentos, cujos aumentos gradativos das porcentagens de acordo com a aplicação dos tratamentos T1 para T4.

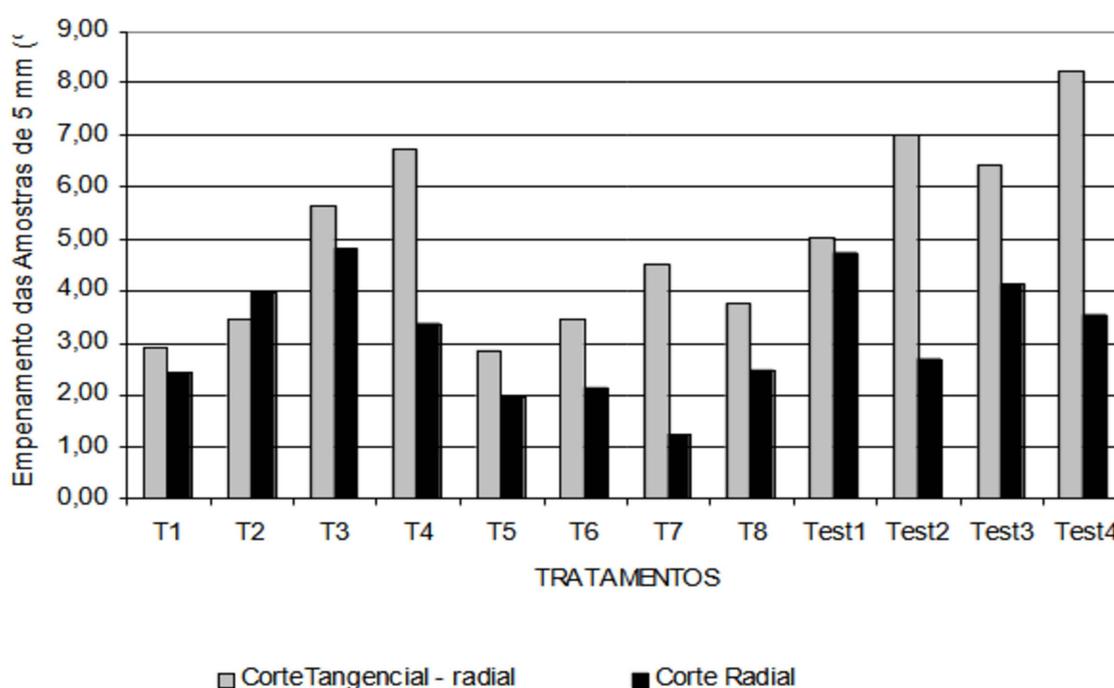
Os maiores índices de empenamentos foram registrados para amostras com direções de corte tangencial-radial (2,70%) e radial (2,63%), tratadas à 160°C e 40 minutos, submetidas à 2ª Imersão (Gráfico 6).

GRÁFICO 6 – Empenamento de Acordo com a Direção de Corte para Amostras com 20 mm de Espessura submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).



O Gráfico 7 demonstra que a direção de corte tangencial-radial nas amostras com 5 mm de espessura, apresentaram tendências de maiores empenamentos. Embora em menor proporção que as amostras com corte tangencial-radial, as amostras com corte radial sofreram empenamento sob todos os tratamentos aplicados. Diferente das amostras de 20 mm. Observou-se que o maior índice foi de 8,25% verificado em testemunhas secas em estufa com direção de corte tangencial-radial. Enquanto que o menor empenamento foi de 1,25%, observado para amostras submetidas ao tratamento térmico com óleo de soja (tratamento T7).

GRÁFICO 7 – Empenamento de Acordo com a Direção de Corte para Amostras com 5 mm de Espessura submetidas aos tratamentos T1 a T8, das testemunhas secas em estufa (Test1 a Test4) e das testemunhas à 12% de umidade (Test5).



Verificou-se para as amostras de 5 mm que os tratamentos térmicos em óleo de soja apresentaram empenamentos inferiores do que a secagem em estufa sob mesmas condições de temperaturas e tempos de tratamento. Outro fator observado para esta espessura de amostra, foi que a variável imersão em óleo frio, demonstrou ter efeito positivo na madeira de *Pinus sp.*, visto que as amostras submetidas aos tratamentos T5, T6, T7 e T8 apresentaram índices de empenamentos menores que as amostras que receberam os tratamentos T1, T2, T3 e T4.

5.6 VARIAÇÃO DE COR

Foi constatado significativo escurecimento nas amostras tratadas com banho térmico em óleo de soja. As alterações de coloração devido ao tratamento térmico com óleo vegetal estão de acordo com resultados obtidos por RAPP & SAILER (2000).

FIGURA 10 – Variação de Cor das Amostras Tratadas com Banho Térmico em Óleo de Soja em Relação às Testemunhas.



Da esquerda para a direita, a primeira amostra representa a madeira sem tratamento. Na seqüência, TA, TB, TC e TD (Testemunhas secas em estufa) e A, B, C e D, são amostras submetidas ao tratamento térmico com óleo vegetal.

A Tabela 11 apresenta os valores médios dos parâmetros colorimétricos da madeira de *Pinus sp.* (testemunha) e dos tratamentos aplicados onde o Tratamento 1 (madeira submetida ao tratamento térmico com óleo de soja) e tratamento 2 (madeira submetida ao tratamento térmico com óleo de soja, seguida de imersão em óleo frio).

Neste primeiro instante, os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) dentro de madeira tratada e dentro de madeira tratada e submetida à imersão em óleo frio (T5, T6, T7 e

T8), não foram separados. Ou seja, foi verificado somente, a ação do tratamento térmico em óleo de soja e a ação da imersão em óleo frio, na coloração da madeira, comparada com a madeira testemunha, que não sofreu nenhum tipo de tratamento.

TABELA 11 – Valores médios dos parâmetros colorimétricos em função dos tratamentos aplicados comparados com a testemunha.

| Tratamentos | Parâmetros | | | | |
|---|------------|--------|---------|---------|---------|
| | L* | a* | b* | C | h* |
| Testemunha (Sem tratamento) | 77,90 a | 7,07 a | 24,33 a | 25,17 a | 73,42 a |
| Madeira Tratada (Tratamento 1) | 65,90 b | 7,52 b | 26,47 b | 27,68 b | 73,37 a |
| Madeira Tratada + Imersão em óleo frio (Tratamento 2) | 58,92 c | 7,95 c | 23,55 c | 25,07 a | 69,42 b |

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

A partir da comparação das cores das madeiras referente às testemunhas e a dos Tratamentos (1 e 2), verifica-se uma diferença significativa tanto para a claridade quanto para os pigmentos amarelos (b*) e vermelhos (a*) que formam a cor da madeira de *Pinus sp.* Isto é, ocorre um escurecimento na cor da madeira (o valor de L* diminui significativamente) quando esta sofre qualquer um dos dois tratamentos estudados. Neste caso, a coordenada a*, responsável pelo pigmento vermelho, é a principal responsável pela perda da claridade da madeira. Entre os dois tratamentos, observa-se que o Tratamento 2 (tratamento térmico associado à imersão em óleo frio) deixa a madeira mais escura (L* = 58,92) do que quando submetida ao Tratamento 1 (L* = 65,90). O ângulo de tinta (h* = 69,42) do Tratamento 2 confirma a influência deste, na coloração da madeira, colocando-a próxima ao eixo da coordenada a* (pigmentação vermelha) no sistema CIELAB 1976.

A Tabela 12 mostra os valores dos parâmetros colorimétricos dentro de cada tratamento (T1, T2, T3 e T4) mostrando assim, a influência da variação de temperatura e tempo de tratamentos térmico em óleo de soja, independente da aplicação da Imersão em óleo frio.

TABELA 12 – Valores dos Parâmetros Colorimétricos para cada Tratamento Aplicado (T1, T2, T3 e T4).

| Tratamentos | Parâmetros | | | | |
|---------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| | L* | a* | b* | C | h* |
| T1 (80°C – 20') | 72,70 a | 7,32 a | 29,40 a | 30,20 a | 75,70 a |
| T2 (80°C – 40') | 72,30 a | 7,81 b | 30,18 a | 31,10 b | 75,20 a |
| T3 (160°C – 20') | 61,40 b | 7,84 b | 25,11 b | 26,30 c | 71,50 b |
| T4 (160°C – 40') | 57,40 c | 7,95 c | 21,50 c | 24,80 d | 70,70 b |

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

A análise da Tabela 12, permite verificar que os tratamentos aplicados (T1, T2, T3 e T4) apresentam influência na cor da madeira, exceto entre os tratamentos T1 e T2. Isto é, a madeira submetida a temperatura de 80°C durante os tempos de 20 e 40 minutos não apresenta alterações significativas em sua claridade (L*). Apesar da coordenada a* entre estes ser diferente, é compensado pelo pigmento amarelo (b*) que é igual em ambos tratamentos (T1 e T2) sendo determinante na formação da cor.

Por outro lado, a madeira tratada em temperaturas de 160°C em ambos os tempos, mostra um escurecimento da cor da madeira (L* diminui). Neste caso, a prorrogação do tempo de tratamentos térmico da madeira em uma mesma temperatura (160°C), contribui para diminuir a claridade da madeira. Esta madeira mostra uma coloração amarela amarronzada, totalmente diferente das madeiras tratamentos sob 80°C, que ainda têm coloração mais próxima da testemunha.

Ao verificar as coordenadas a* e b* nota-se um comportamento não uniforme entre os quatro tratamentos. É notório a tendência de b* diminuir e a* aumentar, contribuindo para explicar a diminuição da claridade com o aumento da temperatura e tempo de tratamento térmico. Considerando os tratamentos de T1 para T4, o ângulo de tinta (h*) confirma a tendência de afastamento do eixo b*, corroborando para explicar o escurecimento da madeira.

A Tabela 13 apresenta os valores médios das madeiras submetidas ao tratamento térmico em óleo de acordo com a definição dos tratamentos (T5, T6, T7 e T8) ou seja, tratamentos seguidos de imersão em óleo frio.

TABELA 13 – Valores dos Parâmetros Colorimétricos para cada Tratamento Aplicado (T5, T6, T7 e T8).

| Tratamentos | Parâmetros | | | | |
|---------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| | L* | a* | b* | C | h* |
| T5 (80°C – 20') | 69,40 a | 8,07 a | 28,40 a | 29,60 a | 73,60 a |
| T6 (80°C – 40') | 70,01 a | 8,08 b | 30,10 a | 31,30 b | 74,10 a |
| T7 (160°C – 20') | 48,90 b | 8,26 b | 18,50 b | 19,90 c | 65,90 b |
| T8 (160°C – 40') | 47,10 c | 8,40 c | 17,70 c | 20,20 c | 64,10 b |

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 95% de probabilidade.

A Tabela 13 mostra que de uma forma geral, a imersão da madeira em óleo, diminui a claridade da madeira (L*). A coordenada a*, representante do pigmento vermelho, apresenta tendência em aumentar, enquanto o pigmento amarelo, representado pela coordenada b*, mostra tendência em diminuir. Estes dois parâmetros colorimétricos são os principais responsáveis para explicar o escurecimento da madeira entre os tratamentos.

Os ângulos de tintas (h*) confirmam esta tendência da madeira perder claridade à medida que b* diminui, colocando-os próximos ao eixo a*, segundo sistema CIELAB 1976. Os valores da claridade dos tratamentos T7 e T8, juntamente com as coordenadas a* e b* mostram uma madeira de coloração amarelo escuro, havendo traços de cinza. Nestes casos, as cores destas madeiras são completamente diferentes da testemunha. O tratamento T8 foi o que apresentou a principal alteração da cor desta madeira.

Observou-se que o escurecimento das amostras submetidas ao tratamentos com óleo de soja não é somente superficial. Esta coloração foi igualmente verificada no interior da amostra. Este escurecimento interno da madeira difere de

observações feitas em TOMASELLI (1981) que observou que o escurecimento de amostras secas sob altas temperaturas (acima de 120°C) em estufa, é superficial e pode ser removido.

5.7 RACHADURAS

A ocorrência de rachaduras como demonstrado na Figura 11, foi observada exclusivamente nas testemunhas secas em estufa sob alta temperatura e maior tempo de tratamento (160°C e 40 minutos).

Não constatou-se este efeito para amostras tratadas com banho térmico em óleo vegetal ou para as testemunhas mantidas em câmara (20°C/ 65%).

FIGURA 11 – Rachaduras Observadas em Amostras Secas em Estufa Sob Alta Temperatura (160°C).



Segundo RAPP & SAILER (2000), afirmam que a possibilidade de ocorrência de rachaduras na madeira tratada com óleo em altas temperaturas é menor, devido ao comportamento do óleo em conjunto com o efeito do calor no interior da madeira. Entretanto, altas temperaturas durante o tratamento nos processos de secagem, aumentam a fragilidade e a formação de rachaduras.

Provavelmente a formação de rachaduras durante a secagem em estufa está relacionada ao fato da amostra ter sido submetida a alta temperatura (160°C) durante o estágio inicial de secagem. Desta maneira, pode ter ocorrido a remoção muito rápida da água da superfície da madeira provocando a fissura da superfície.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Baseando-se nas análises dos resultados obtidos e nas discussões realizadas neste trabalho, é possível concluir que o tratamento térmico com a utilização de óleo de soja exerce influência nas propriedades físicas e organoléptica da madeira serrada de *Pinus sp.*.

De acordo com os objetivos desta pesquisa, o efeito isolado e as interações das variáveis propostas e de seus níveis, provocaram alterações nas propriedades físicas e organoléptica das amostras tratadas em relação às amostras não submetidas ao tratamento térmico com óleo de soja. Entre estas alterações, destacam-se:

- a) Variação dimensional (contração) em espessura e largura da madeira;
- b) Valores de massa específica;
- c) Alteração de cor;
- d) Empenamento; e
- e) Rachadura.

Entretanto, a maior intensidade dos efeitos observados na madeira submetida ao tratamento térmico com óleo de soja, foram para os níveis dos seguintes fatores:

- a) Altas temperaturas de tratamentos (160°C);
- b) Menor espessura inicial (5 mm);
- c) Maior tempo de tratamento (40 minutos); e
- d) Imersão em óleo frio (temperatura ambiente).

Com base nestas conclusões, recomenda-se:

- a) Estudo químico a fim de quantificar o teor de umidade e de óleo das amostras tratadas;
- b) Testes com temperaturas mais altas do que aquelas utilizadas nesta pesquisa;
- c) Analisar o efeito do aumento gradativo da temperatura durante o processo de tratamento térmico com óleo vegetal;
- d) Estudo anatômico, com o objetivo de identificar a localização do óleo na estrutura da madeira, visto que o óleo de soja pode ter

aderido quimicamente na parede celular da madeira e/ou preenchido o lúmen das células;

e) Análise qualitativa e quantitativa das propriedades mecânicas (MOR e MOE), estabilidade dimensional e a durabilidade da madeira tratada com banho térmico em óleo de soja, a partir de novas coletas de dados, através da exposição das amostras tratadas às variações das condições atmosféricas e ataque de microrganismos.

f) Estudo da capacidade em receber aplicação de acabamento como tintas e vernizes pela madeira tratada;

g) Realizar o tratamento térmico com óleo de soja com amostras previamente secas;

h) Verificar a trabalhabilidade da madeira tratada, a fim de analisar o uso e identificar possíveis aplicações no mercado da madeira submetida ao tratamento térmico com óleo de soja.

i) Comparar o desgaste de máquinas e ferramentas utilizadas para beneficiar a madeira tratada com óleo;

j) Realização de testes com outros óleo vegetais no tratamento térmico, com o objetivo de analisar as influências das característica próprias de cada tipo de óleo vegetal nas propriedades da madeira;

k) Analisar o custo/benefício da utilização do óleo de soja em relação outros tipos de óleos vegetais;

l) Verificar o custo/benefício do tratamento térmico com óleo vegetal em relação a outros tipos de tratamentos térmicos da madeira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. **Indicação de Programas para Secagem Convencional de Madeiras**. Dissertação. ESALQ/ USP. Piracicaba. 2000. 72p.

BORTOLLETO JR, G. **Estudo da Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* L. Proveniente de Árvores Adultas Atingidas por Incêndio Florestal**. Tese. UFPR. 1999.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização Dimensional por meio do Tratamento Térmico e seus Efeitos sobre as Propriedades de Painéis de Partículas Orientadas (OSB)**. Tese. UFPR. Curitiba. 2004. 225p.

GONÇALEZ J. C. **Caracterisation Technologique de quatre espèces peu connues de la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Tese. ENGREF. Nancy. França. 1993. 446p

GONÇALEZ J. C ; JANIN J. ; SANTORO A C. ; COSTA A F. ; VALLE A T. **Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira**. Brasil Florestal, Ano XX, No 72, 47-58p, 2001.

JANKOWSKY, I. P. **Melhorando a Eficiência dos Secadores para Madeira Serrada**. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais. São Paulo. 2000. 13p.

JÄNSÄ, S.; VIITANIEMI, P. **Heat Treatment of Wood Better Durability Without Chemicals**. Nodiske. 13p.1999.

KLOCK, U. . **Qualidade da Madeira Juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. MOORE**. Tese. Curitiba. 2000. 291p.

KOLLMANN, F. **Tecnologia de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 674p.

KOLLMANN, F; COTÊ JR.,W.A. **Principles of Wood Science and Technology**. Berlin. 1968. 592p.

MILITZ, H. **Thermal Treatment of Wood: European Processes and Their Background**. THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PRESERVATION. 33rd Annual Meeting. Cardiff. 2002.

MITCHELL, H.L. **How PEG Helps the Hobbyist Who Works With Wood**. U.S. D.A. FOREST SERVICE. 1972.

MOGHARBEL, A.D.I. **Alterações no Óleo de soja e na Gordura Vegetal hidrogenada em Processo de Fritura**. Dissertação. UFPR. 2002.

MORI, C.L.S.O. **Variabilidade de Cores em Madeiras de Clones de Híbridos de *Eucalyptus spp.*** Dissertação. Lavras. 2003. 59p.

MUNIZ, G. B. **Caracterização e Desenvolvimento de Modelos para Estimar as Propriedades e o Comportamento na Secagem da Madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.** Tese. Curitiba. 1993. 235p.

NORIMOTO, M.; MINATO, K.; OHMAE, K. **The Analysis of Dimensional Changes Due to Chemical Treatments and Water Soaking for Hinoki (*Chamaecyparis obtusa*) Wood.** *Holzforschung*. Vol. 56. No.1. p. 98-102. Berlin. 2002.

OLSSON, T.; MARKLUND, B.; LINDEBERG, H. **Characterization of linseed oil impregnated pine exposed for biological degradation – a case study.** COST Action 22 – Environmental Optimisation of Wood Protection. Reinbek. 2001.

RAMSDEN, F.; BLAKE, R.S.F.; FEY, N.J. **The Effect on Acetylation on the Mechanical Properties, Hydrophobicity, and Dimensional Stability of *Pinus sylvestris*.** Department of Chemistry University of York Heslington. York. 1995. (YO1 5DD, UK).

RAPP, A.; SAILER, M. **Heat Treatment of Wood in Germany: State of Art.** "Production and Development of Heat Treated Wood in Europe". Helsinki. Stocolmo. Oslo. 2000.

RAPP, A.; SAILER, M. **Use of vegetable oils for wood protection.** COST Action 22 – Environmental Optimisation of Wood Protection. Reinbek. 2001.

REVISTA DA MADEIRA. **Pinus uma Alternativa de Mercado.** Edição 68. Curitiba. 2002.

ROWELL, R.M.; KONKOL, P. **Treatments that Enhance Physical Properties of Wood.** Madison. USDA. 12p.1987. (General Technical FPL – GTR - 55).

ROWELL, R.M.; YOUNGS, R.L. **Dimensional Stabilization of Wood in Use.** Washington. USDA. 8p.1981. (Research NOTE FPL – 0243).

SIAU, J. F. **Flow in Wood.** Nova York. Syracuse University Press. 1971. 131p.

SKAAR., C. **Water in Wood.** Nova York. Syarcuse University Press.1972. 218p.

STAMM, A. J. **Wood and Cellulose Science.** Nova York. The Ronald Press Company. 1964. 549p.

SYRJÄNEN, T.; OY, K. **Production and Classification of Heat Treated Wood in Finland.** Nodiske. 13p.1999.

THÉVENON, M.F. **Oils and water repellents in wood protection – Research and Development in France.** Montpellier. Cirad Rorêt. 2001.

TJEERDSMA, B.F.; MILITZ, H. **Heat Treatment of Wood by the Plato-process: Proceedings of Seminar** "Production and Development of Heat Treated Wood in Europe". Helsinki. Stocolmo. Oslo. 2000.

TOMASELLI, I. **Aspectos Físicos da Secagem da Madeira de Pinus elliotii Engelm. Acima de 100 C.** Tese. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. 1981. p.128.

TREU, A.; MILITZ, H.; BREYNE, S.. **Royal Treatment – scientific background and practical application.** COST Action 22 – Enviromental Optimisation of Wood Protection. Reinbek. 2001.

TSOUMIS, G. T. **Wood as Raw Material: Source, Structure, Chemical Composition, Growth, Degradation and Identification.** Oxford. Pergamon Press. 1968. 276p.

VERNOIS, M. **Heat Treatment of Wood in France – State of the Art.** Helsinki, Stockholm. Oslo.2000.

WILLIAMS, R. S.; FEIST, W.C. **Wood Modified by Inorganic Salt: Mechanism and Properties.** Woof and Fiber Science. Vol 17. p 184 – 198. 1985.

Wood Handbook – Wood as an Engenering Material. E.U.A. Forest Products Laboratory – USDA. 1999. 436p.

APÊNDICE

Gráficos da Variação nas Dimensões em Espessura e Largura das Amostras
Tratadas e Testemunhas Após 2 Meses

GRÁFICO 8 – Espessura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento A.

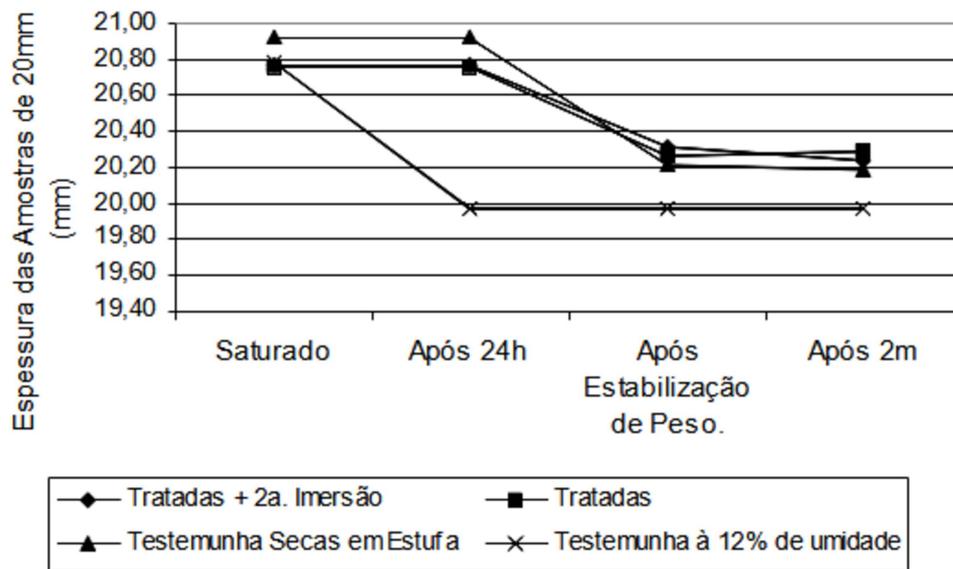


GRÁFICO 9 – Largura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento A.

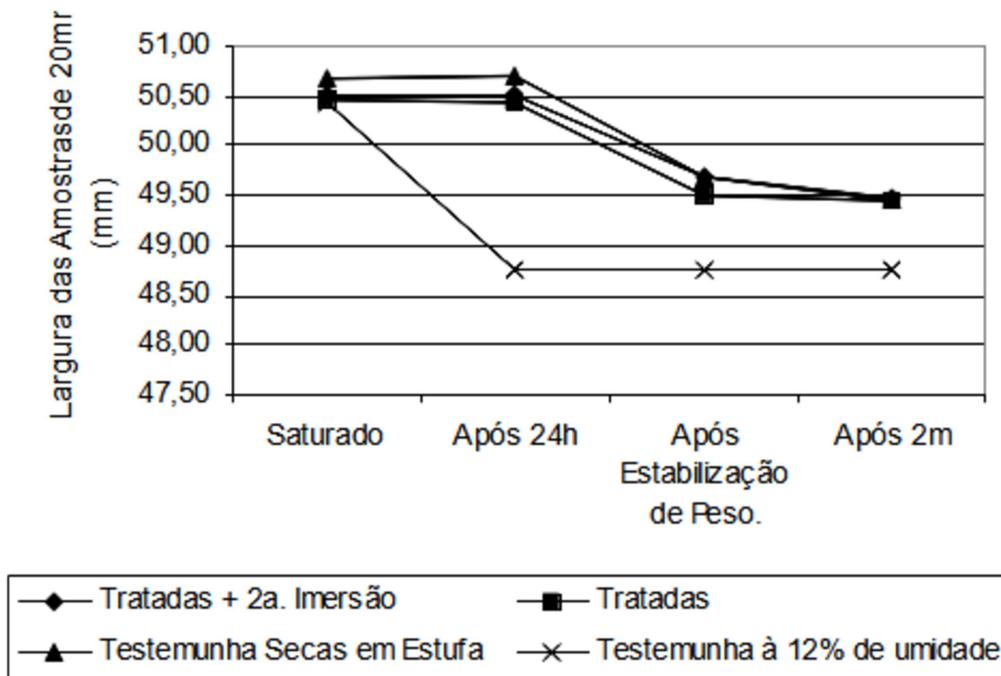


GRÁFICO 10 – Espessura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento B.

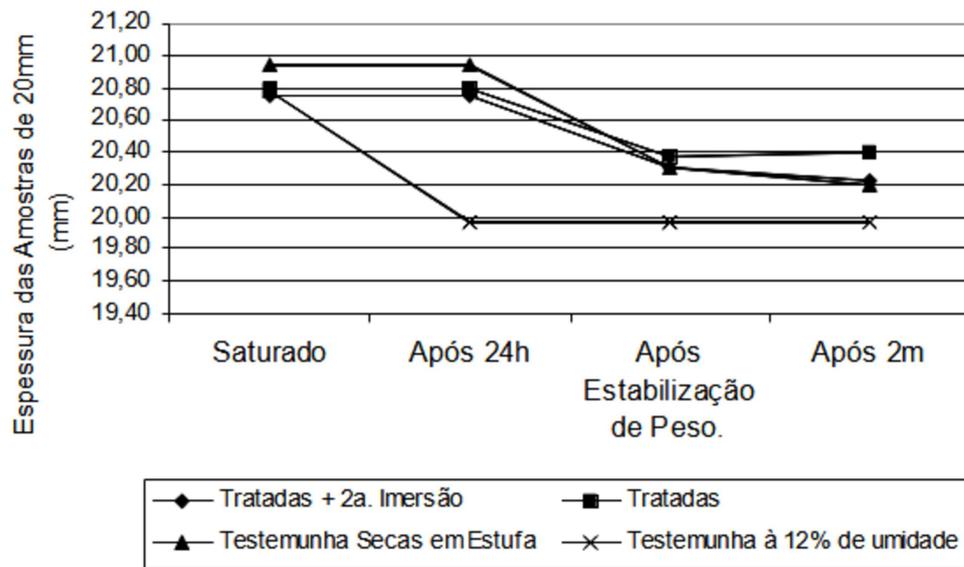


GRÁFICO 11 – Largura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento B.

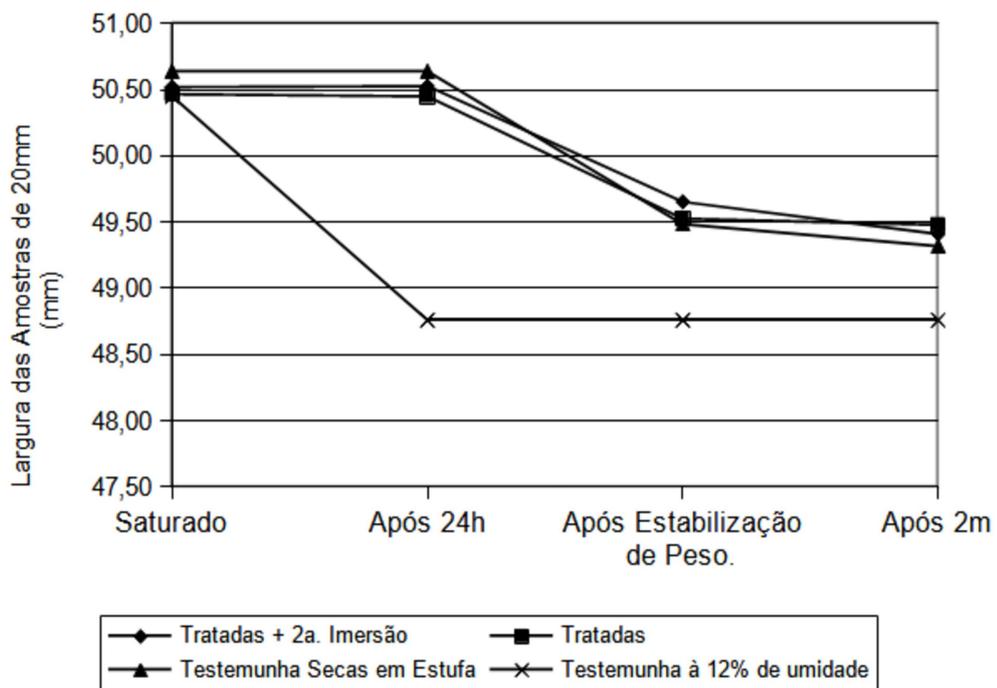


GRÁFICO 12 – Espessura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento C.

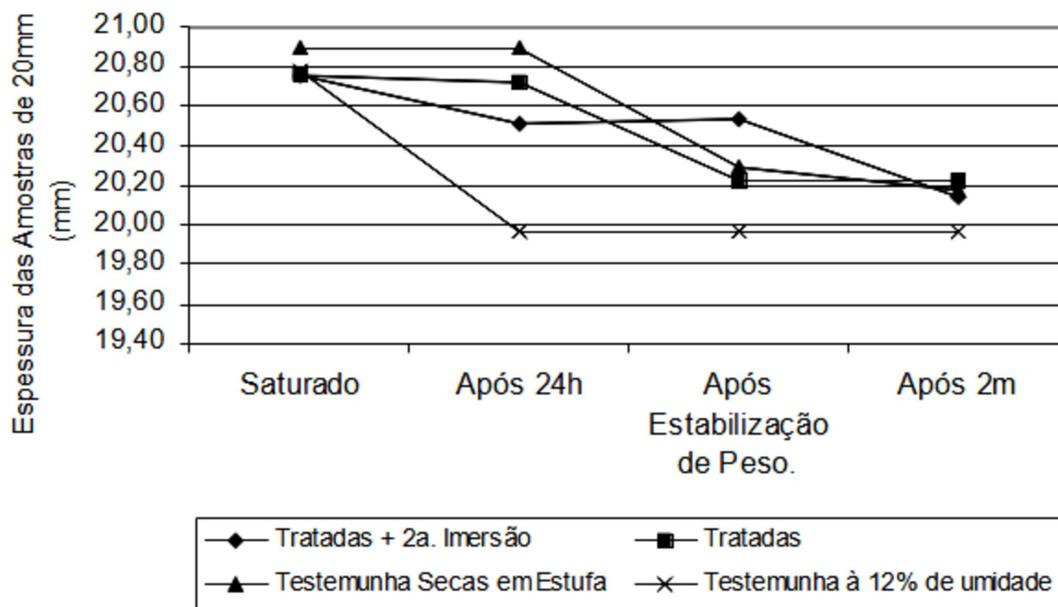


GRÁFICO 13 – Largura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento C.

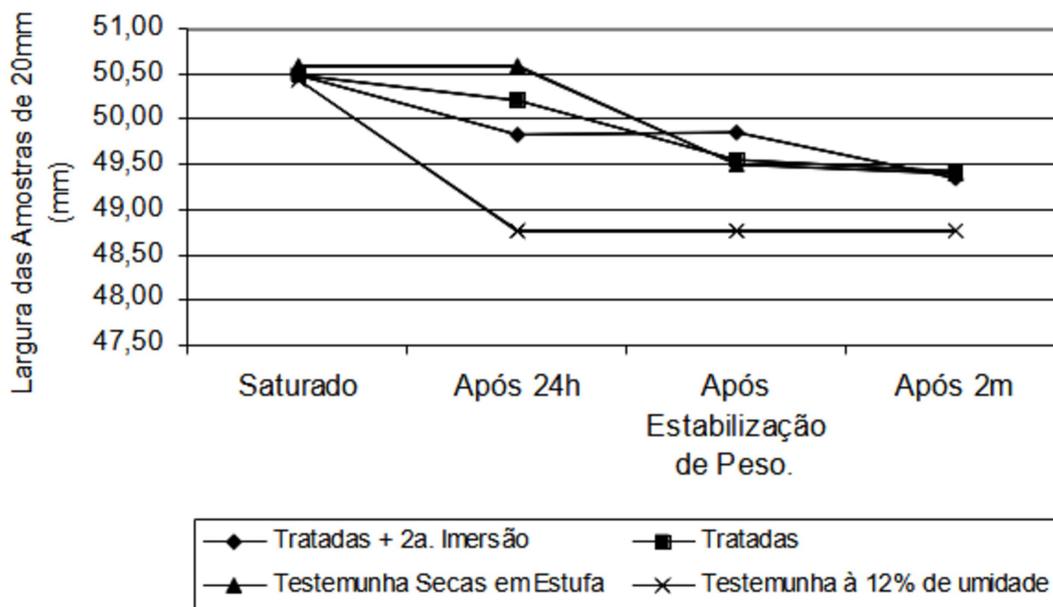


GRÁFICO 14 – Espessura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento D.

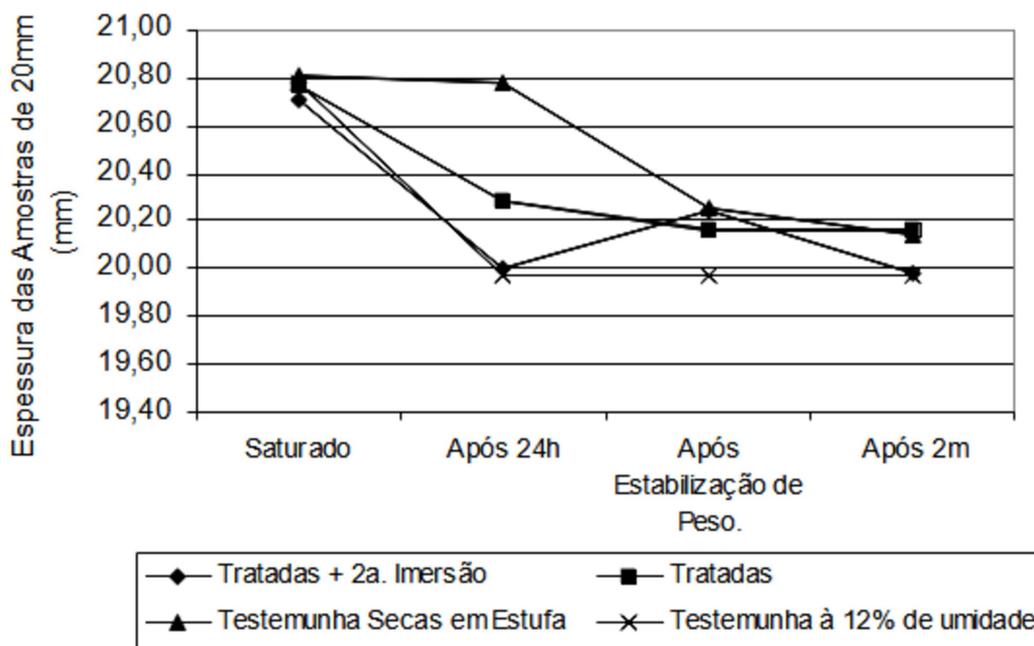


GRÁFICO 15 – Largura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento D.

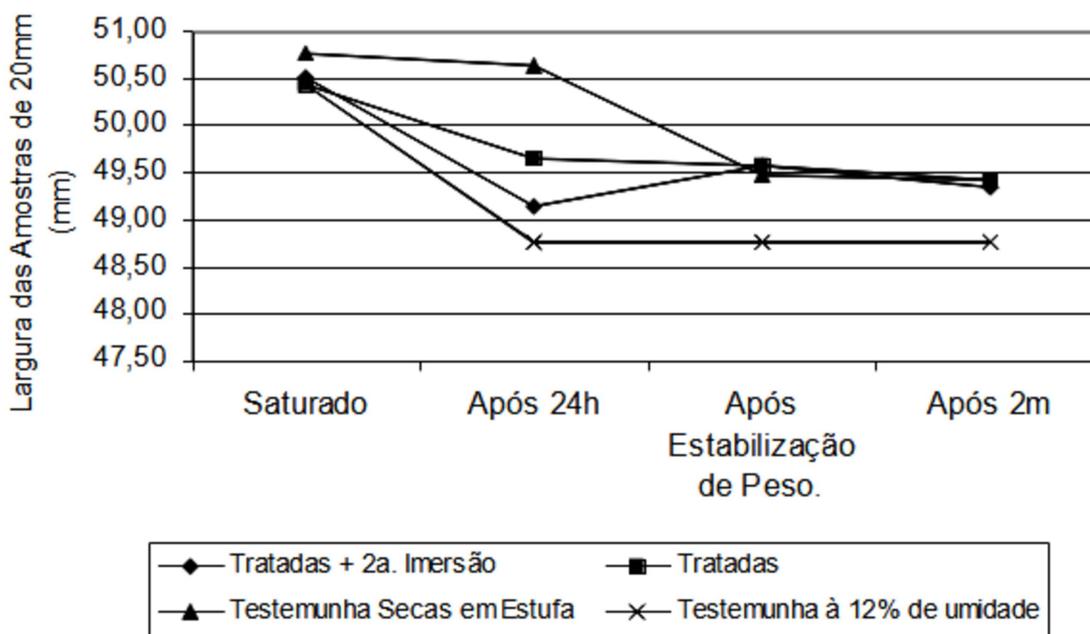


GRÁFICO 16 – Espessura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento A.

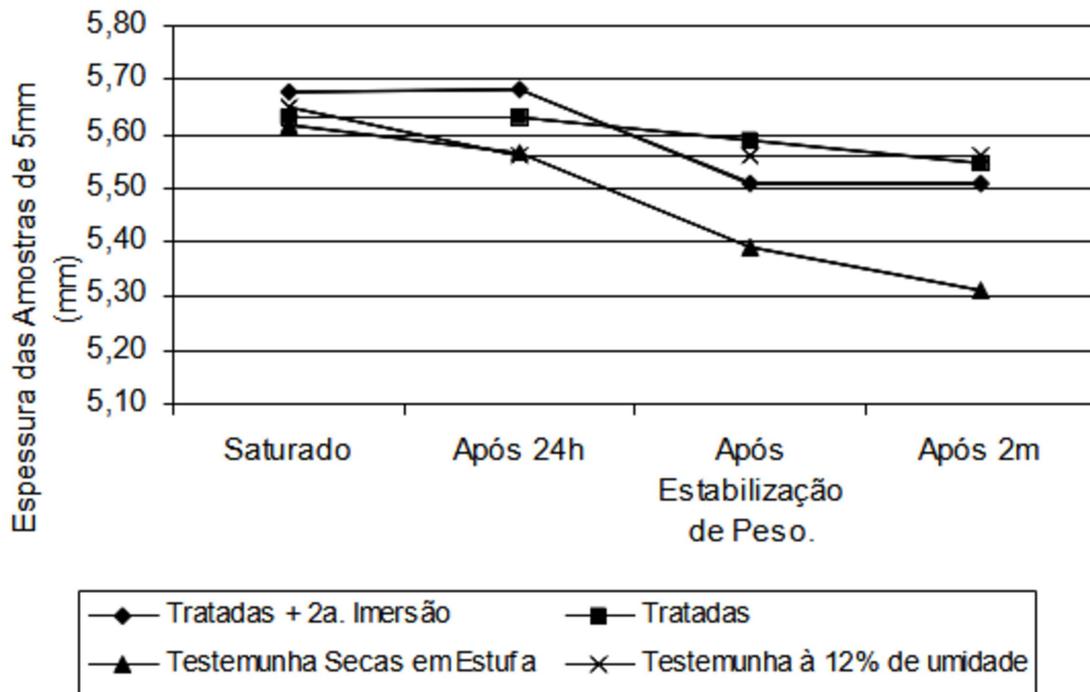


GRÁFICO 17 – Largura das Amostras de 20mm Submetidas ao Tratamento A.

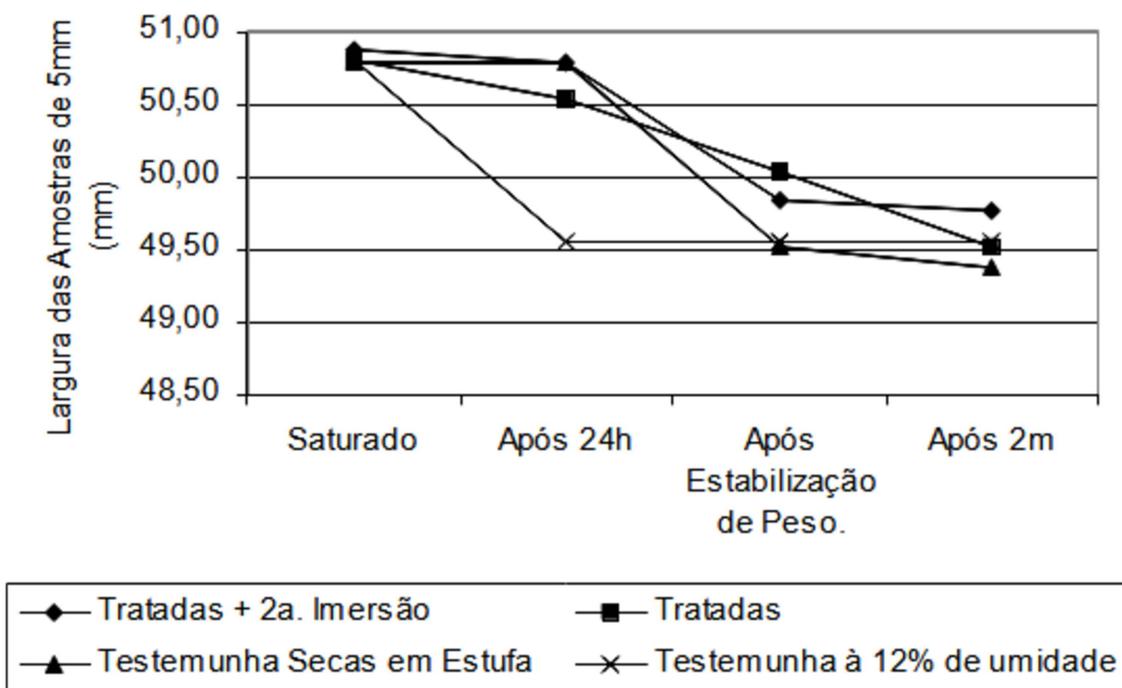


GRÁFICO 18 – Espessura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento B.

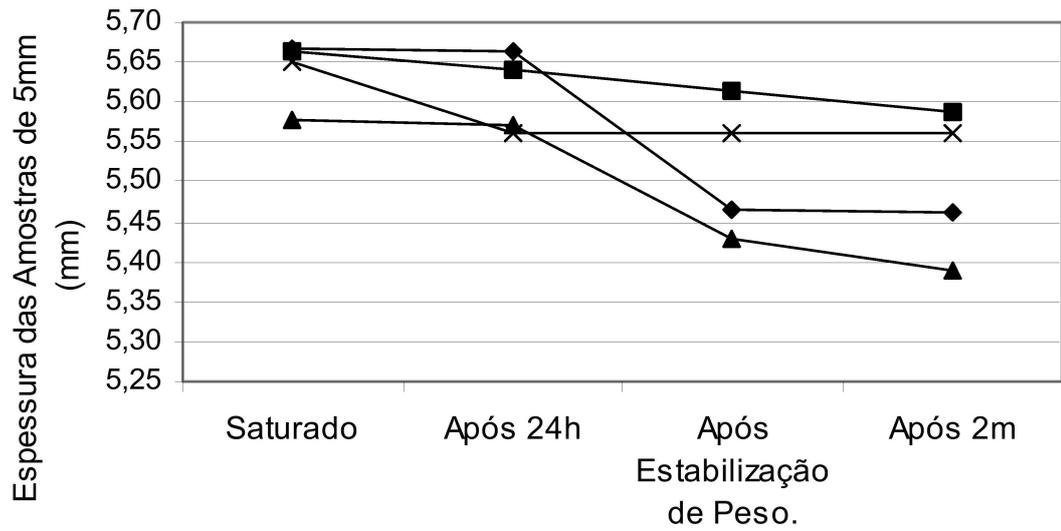


GRÁFICO 19 – Largura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento B.

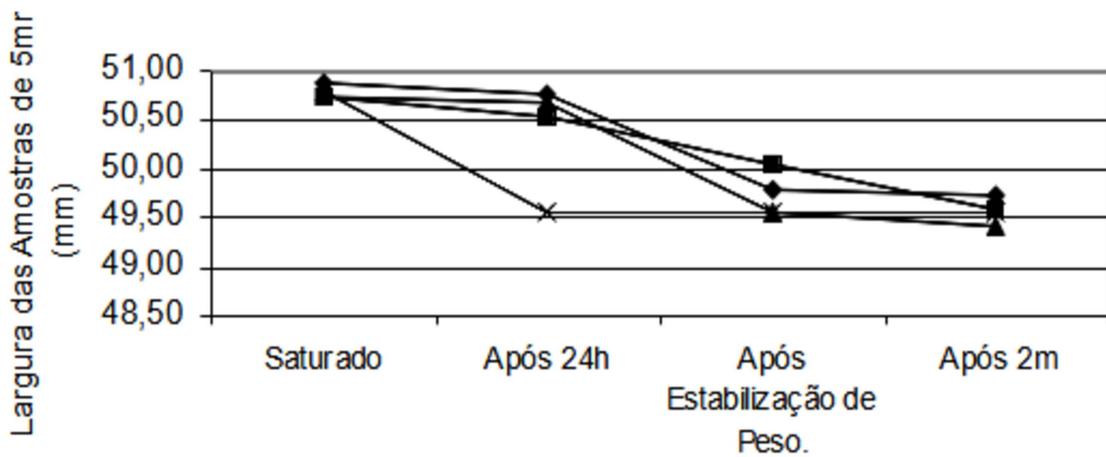


GRÁFICO 20 – Espessura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento C.

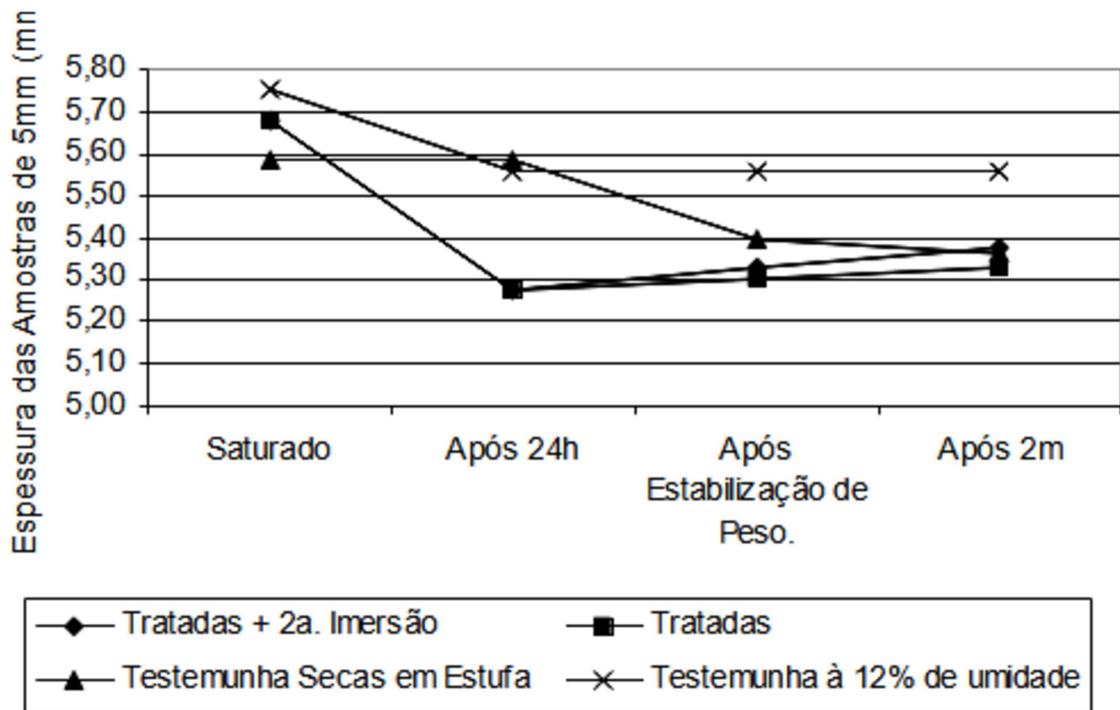


GRÁFICO 21 – Largura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento C.

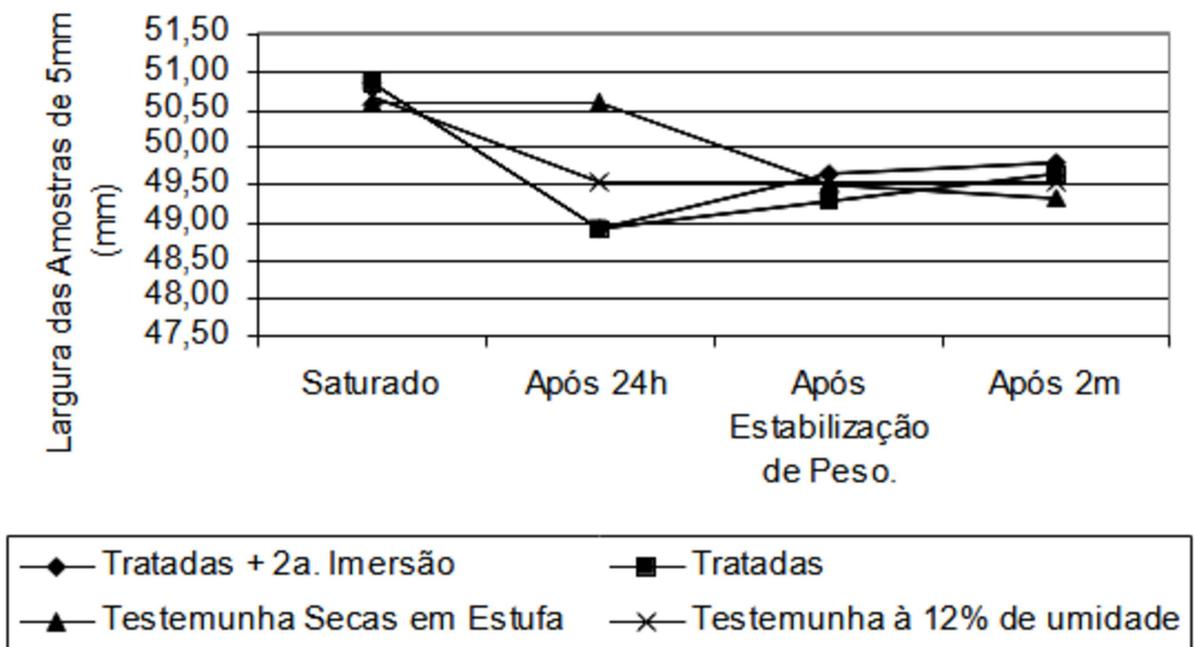


GRÁFICO 22 – Espessura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento D.

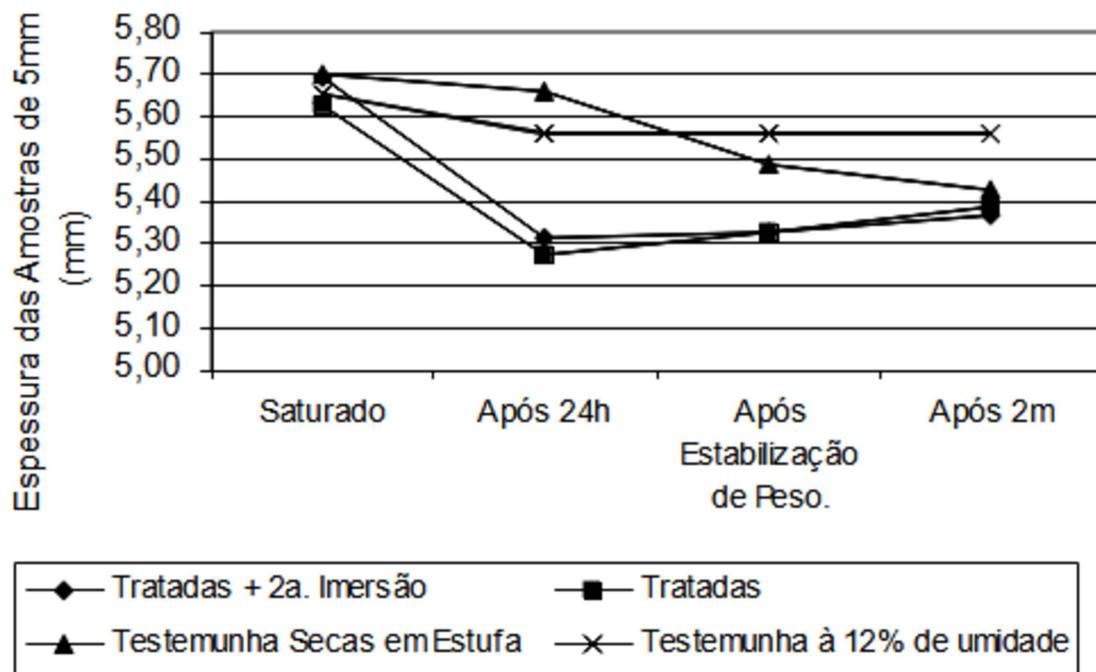


GRÁFICO 23 – Largura das Amostras de 5mm Submetidas ao Tratamento D.

