

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**DJEISON CESAR BATISTA**

**QUALIDADE DA SECAGEM CONVENCIONAL CONJUNTA DA MADEIRA DE  
NOVE CLONES DO GÊNERO *Eucalyptus***

**CURITIBA  
2009**

**DJEISON CESAR BATISTA**

**QUALIDADE DA SECAGEM CONVENCIONAL CONJUNTA DA MADEIRA DE  
NOVE CLONES DO GÊNERO *Eucalyptus***

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

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke

Co-orientador: Prof. Dr. Marcio Pereira da Rocha

**CURITIBA  
2009**

**PARECER**

Defesa nº. 781

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, composta por:

*Dr. Elio José Santini*  
Universidade Federal de Santa Maria  
Primeiro examinador

*Dr. Graciela Ines Bolzon de Muniz*  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

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

e tendo como suplentes,


*Dr. Elias Taylor Durgante Severo*  
Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Suplente

*Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos*  
Universidade Federal do Paraná  
Suplente

após argüir o(a) mestrando(a) *Djeison Cesar Batista* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**QUALIDADE DA SECAGEM CONVENCIONAL CONJUNTA DA MADEIRA DE NOVE CLONES DO GÊNERO *Eucalyptus***", 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**.

A obtenção do título de Mestre está condicionada à implementação das correções sugeridas pelos membros da banca examinadora e ao cumprimento integral das exigências estabelecidas nas Normas 01 e 02/2000 deste curso de pós-graduação.

Curitiba, 10 de fevereiro de 2009.



Graciela Ines Bolzon de Muniz  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Antonio Carlos Batista  
Vice-coordenador do curso



Dedico este trabalho à minha mãe, Sra. Maria Madalena Batista, pelo apoio, incentivo, por ter acreditado em mim e permitido que eu sempre continuasse a estudar, incondicionalmente.

## AGRADECIMENTOS

Ao deus vivo, o deus de Abraão, Isaac e Jacó, Javé, Jeová, Deus, Senhor dos Exércitos, Criador.

Ao professor, orientador e, sobretudo, amigo Dr. Ricardo Jorge Klitzke, pela amizade e pela maneira que conduziu este trabalho.

Ao professor Dr. Marcio Pereira da Rocha, meu co-orientador, pela amizade, apoio ao meu ingresso no Programa de Pós-graduação desta universidade e também pela valiosa contribuição a este trabalho.

À professora Dra. Graciela Inês Bolzon de Muñiz, pela amizade, apoio e pela ajuda e conselhos prestados durante esse curso.

Ao professor Dr. Jorge Luís Monteiro de Matos, pelos ensinamentos, apoio laboratorial durante a pesquisa e pela oportunidade que me ofereceu de fazer um período de intercâmbio na Alemanha.

Aos professores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho, Dr. Edvá Oliveira Brito, Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca e Dr. Roberto Carlos Costa Leis, pelos conselhos e incentivo para eu continuar meus estudos;

Aos professores da UFPR: Dr. Ivan Tomaselli, Dr. Henrique Soares Koehler, Dra. Yoshiko Saito Kuniyoshi, Dr. Sebastião do Amaral Machado, Dr. Sylvio Péllico Netto e Dr. Setsuo Iwakiri, pelo conhecimento transmitido nas disciplinas.

Ao MSc. Engenheiro Florestal Rui Maggi, pela doação da madeira.

Aos companheiros do Laboratório de Secagem de Madeira da UFPR, que durante estes dois anos ajudaram na realização deste trabalho: Daniel Lourenço Savioli, Carlos Vinícius Taborda Santos, Tiego Kawê, Luiz Fernando Bona e Arthur Nogueira Padial.

Aos companheiros do Laboratório de Usinagem de Madeira, que, também, sem vossa ajuda este trabalho não poderia ser realizado, os técnicos: Sr. Antônio Perin, Sr. Vitor Daniel Herrera e Sr. Ademir Cavali.

Ao pessoal do Laboratório de Tecnologia da Madeira: Cláudia, Hudson, Jessé e José Guilherme Prata, em especial às Srtas. Sílvia Aparecida Ângelo Romão e Rosilani Trianoski, pelas inúmeras vezes que me ajudaram neste trabalho.

Aos servidores da Secretaria de Pós-graduação em Engenharia Florestal, pela ajuda em todos os momentos nestes dois anos de curso: Sr. Reinaldo de Mendes de Sousa, Sr. David Teixeira de Araújo e Sra. Irene Luzia Forghieri Rosa.

Aos amigos e irmãos da Igreja Adventista do Sétimo Dia, que me acolheram e têm sido a minha família nestes últimos dois anos, em especial às famílias do “hermano” Rafael Fabiano Moreira e da Sra. Maria Elisabete do Nascimento.

Aos companheiros de mestrado Eder Pereira Miguel e Saulo Jorge Téó.

Aos companheiros do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, Tiago da Silva e Mayara Elita Carneiro.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Às pessoas mais importantes da minha vida: Sr. Alcir Erasmo (pai), Sr. Allofs Daniel (irmão), Ava (irmã), Sra. Denise Demétrio (cunhada), Danton (sobrinho), Maria do Socorro e Marco Antônio, por tudo que representam para mim.

À minha namorada, Srta. Tharcia Silva Ribeiro, pelo amor, carinho, paciência e por toda a ajuda durante esses últimos três anos, ajudando, em algumas vezes, na coleta de dados deste trabalho. À família Ribeiro, pelo amor e apoio.

Que Deus abençoe a todos!

Porque na muita sabedoria há muito enfado; e quem aumenta ciência aumenta  
tristeza.

Eclesiastes 1:18

Demais, filho meu, atenta: não há limite para fazer livros, e o muito estudar é  
enfado da carne.

Eclesiastes 12:11

Pois que aproveitará o homem se ganhar o mundo inteiro e perder a sua alma?  
Ou que dará o homem em troca da sua alma?

Mateus 16:26

## QUALIDADE DA SECAGEM CONVENCIONAL CONJUNTA DA MADEIRA DE NOVE CLONES DO GÊNERO *Eucalyptus*

### RESUMO

A secagem da madeira é uma etapa obrigatória na produção de produtos sólidos de maior valor agregado. Dentre as diversas técnicas de redução da higroscopicidade da madeira e conseqüentemente, da anisotropia, a secagem em câmara convencional continua sendo a mais praticada e difundida, devido à praticidade, custos, produção em larga escala e qualidade dos resultados obtidos, dentre outras vantagens. A utilização da madeira sólida de *Eucalyptus* ainda enfrenta algumas barreiras devido a baixa qualidade atingida, sendo necessário o desenvolvimento de esforços conjuntos dos diversos ramos da ciência, tecnologia e industrial para a sua ampla utilização e solução deste problema. Dentre estes, encontra-se o desenvolvimento de técnicas adequadas de secagem. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a secagem convencional conjunta de nove clones, três de cada uma das seguintes espécies: *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. Para tal, estudaram-se as propriedades físicas e a taxa de secagem como ensaios preliminares como base para o desenvolvimento de um programa para a secagem convencional dos nove clones em uma mesma carga. Decidido o programa, procedeu-se a secagem convencional em câmara piloto. A qualidade de secagem das espécies e clones foi baseada na avaliação da umidade final, porcentagem de defeitos de secagem, gradiente de umidade, tensões de secagem e perda de volume. Assim, o *Eucalyptus grandis* foi a espécie de melhor qualidade, enquanto o *Eucalyptus dunnii* foi o de pior qualidade. Para todas as espécies o clone 3 (menor IMA) foi o de pior qualidade. Para o *Eucalyptus saligna*, o clone 2 (IMA médio) foi de melhor qualidade. Para o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* o clone 1 (maior IMA) foi de melhor qualidade. Devido a semelhança das características avaliadas, madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* podem ser secas em uma mesma carga sem prejuízo para sua qualidade.

Palavras-chave: Secagem em câmara convencional. Madeira. Qualidade. *Eucalyptus saligna*. *Eucalyptus grandis*. *Eucalyptus dunnii*. Clones.



## QUALITY OF GROUPED CONVENTIONAL KILN DRYING OF NINE CLONES OF *Eucalyptus* WOOD

### ABSTRACT

The drying of wood is a mandatory part in production of high value lumber products. Among the various techniques for reducing the higroscopicity of wood and its consequent anisotropy, conventional kiln drying is still widely used due to its practicality, costs, large scale production and quality of the results, and many advantages. The use of *Eucalyptus* lumber still faces some problems due to the low quality obtained, being necessary the development of joint efforts of the various areas of science, technology and industry in order to solve this problem and make possible its wide use. Among these efforts, there is the development of suitable techniques of kiln drying. The aim of this work was evaluating the conventional kiln drying of five clones in the same load, three of each one of these species: *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii*. So, there were studied the physical properties and the drying rate as preliminary tests for the development of only one drying schedule for the nine clones. After that, the lumber was dried in an experimental conventional kiln. The quality of dried lumber was evaluated based on the tests of final moisture content, percentage of defects, moisture gradient, drying stresses and loss of volume. So, *Eucalyptus grandis* was the best quality of dried lumber, while *Eucalyptus dunnii* was the worst. For all species, the clone 3 was the worst quality of dried lumber. For *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii*, the clone 1 was the best quality of dried lumber, while for *Eucalyptus saligna* it was the clone 2. According to the similarity of the properties studied, lumber of *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus grandis* can be kiln dried in the same load without problems for its quality.

Key words: Conventional kiln drying. Lumber. Quality. *Eucalyptus saligna*. *Eucalyptus grandis*. *Eucalyptus dunnii*. Clones.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TÁBUAS UTILIZADAS.....	24
FIGURA 2 – CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS.....	25
FIGURA 3 – CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	26
FIGURA 4 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE TAXA DE SECAGEM.....	27
FIGURA 5 – ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DAS RACHADURAS INTERNAS.....	29
FIGURA 6 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DO COLAPSO.....	30
FIGURA 7 – AVALIAÇÃO DA SECAGEM.....	36
FIGURA 8 – TESTE DE TENSÕES DE SECAGEM (TESTE DO “GARFO”).	38
FIGURA 9 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE ESPÉCIES.....	49
FIGURA 10 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE OS CLONES DE <i>Eucalyptus saligna</i>	50
FIGURA 11 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE OS CLONES DE <i>Eucalyptus grandis</i> .....	51
FIGURA 12 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE OS CLONES DE <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	52
FIGURA 13 – ESCORE DO NÚMERO DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL POR ESPÉCIE.....	60
FIGURA 14 – ESCORE DE DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DOS CLONES DE <i>E. saligna</i> .....	62
FIGURA 15 – ESCORE DO NÚMERO DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DOS CLONES DE <i>E. grandis</i> .....	64
FIGURA 16 – ESCORE DO NÚMERO DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DOS CLONES DE <i>E. dunnii</i> .....	66
FIGURA 17 – TENSIONAMENTO SUAVE.....	67
FIGURA 18 – TENSIONAMENTO FORTE.....	67
FIGURA 19 – PERDAS DE VOLUME POR ESPÉCIE.....	73
FIGURA 20 – PERDAS DE VOLUME POR CLONES DE <i>E. saligna</i> .....	75
FIGURA 21 – PERDAS DE VOLUME POR CLONES DE <i>E. grandis</i> .....	76
FIGURA 22 – PERDAS DE VOLUME POR CLONES DE <i>E. dunnii</i> .....	77

**LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1 - PARÂMETROS DE PROGRAMAS DE SECAGEM DE <i>Eucalyptus</i> .....	19
QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS CLONES.....	23
QUADRO 3 – SISTEMA DE ESCORES PARA AVALIAR AS RACHADURAS DE SUPERFÍCIE.....	31
QUADRO 4 – SISTEMA DE ESCORES PARA AVALIAR AS RACHADURAS DE TOPO E RACHADURAS INTERNAS.....	32
QUADRO 5 – SISTEMA DE ESCORES PARA AVALIAR O GRAU DE DEFORMAÇÃO DO COLAPSO.....	33
QUADRO 6 – PROGRAMA DE SECAGEM.....	35
QUADRO 7 - CRITÉRIO UTILIZADO PARA A CLASSIFICAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE DEFEITOS DE SECAGEM.....	39
QUADRO 8 - CRITÉRIO UTILIZADO PARA A CLASSIFICAÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM EM PROCESSO CONVENCIONAL.....	40

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – MÉDIAS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS POR ESPÉCIE.....	42
TABELA 2 – MÉDIAS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CLONES POR ESPÉCIE.....	44
TABELA 3 – TAXA DE SECAGEM MÉDIA POR ESPÉCIE.....	45
TABELA 4 – TAXA DE SECAGEM MÉDIA DOS CLONES POR ESPÉCIE..	47
TABELA 5 – RESULTADOS DAS CARGAS DE SECAGEM.....	54
TABELA 6 – UMIDADES MÉDIAS INICIAL E FINAL POR ESPÉCIE.....	55
TABELA 7 – UMIDADES MÉDIAS INICIAL E FINAL DOS CLONES DE POR ESPÉCIE.....	57
TABELA 8 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM POR ESPÉCIE.....	59
TABELA 9 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM DOS CLONES DE <i>E.saligna</i> .....	61
TABELA 10 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM DOS CLONES DE <i>E. grandis</i> .....	63
TABELA 11 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM DOS CLONES DE <i>E.dunnii</i> .....	65
TABELA 12 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM POR ESPÉCIE.....	68
TABELA 13 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM DOS CLONES DE <i>E.saligna</i> .....	70
TABELA 14 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM DOS CLONES DE <i>E.grandis</i> .....	71
TABELA 15 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM DOS CLONES DE <i>E.dunnii</i> .....	72

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 <i>Eucalyptus</i> : ORIGEM E SILVICULTURA.....	3
2.2 <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden.....	3
2.3 <i>Eucalyptus saligna</i> Smith.....	4
2.4 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	4
2.5 CLONAGEM.....	5
2.6 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS.....	5
2.6.1 <i>Eucalyptus grandis</i> – Série <i>Transversae</i> .....	6
2.6.2 <i>Eucalyptus saligna</i> – Série <i>Transversae</i> .....	6
2.6.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> – Série <i>Globulares</i> .....	7
2.7 PROPRIEDADES FÍSICAS.....	7
2.7.1 Densidade.....	7
2.7.2 Retratibilidade.....	8
2.8 TAXA DE SECAGEM.....	10
2.9 SECAGEM DA MADEIRA.....	12
2.9.1 Secagem convencional.....	13
2.9.2 Etapas da secagem.....	15
2.9.3 A secagem da madeira de <i>Eucalyptus</i> .....	16
2.9.4 Programas de secagem para <i>Eucalyptus</i> .....	17
2.10 DEFEITOS DE SECAGEM.....	19
2.10.1 Rachaduras.....	19
2.10.2 Colapso.....	20
2.10.3 Encanoamento.....	21
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL.....	23
3.2 ENSAIOS PRELIMINARES.....	24
3.2.1 Propriedades físicas.....	24
3.2.2 Ensaio de taxa de secagem.....	26
3.2.2.1 Umidade inicial.....	26
3.2.2.2 Taxa de secagem.....	27

	11
3.2.2.3 Escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem.....	29
3.3 SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL PILOTO.....	33
3.3.1 Equipamento utilizado.....	34
3.3.2 Preparo das tábuas.....	34
3.3.3 Empilhamento da madeira.....	34
3.3.4 Programa de secagem.....	34
3.4 AVALIAÇÃO DA SECAGEM.....	35
3.4.1 Defeitos.....	36
3.4.2 Umidade final, gradiente de umidade e tensões de secagem.....	36
3.4.3 Perda de volume.....	38
3.4.4 Incidência de defeitos e tempo de secagem.....	39
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	40
3.5.1 Dados discretos.....	40
3.5.2 Dados contínuos.....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS POR ESPÉCIE.....	42
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CLONES POR ESPÉCIE.....	42
4.3 TAXA DE SECAGEM POR ESPÉCIE.....	45
4.4 TAXA DE SECAGEM DOS CLONES POR ESPÉCIE.....	46
4.5 ESCORE DE DEFEITOS NO ENSAIO DE TAXA DE SECAGEM POR ESPÉCIE.....	48
4.6 ESCORE DE DEFEITOS NO ENSAIO DE TAXA DE SECAGEM DOS CLONES POR ESPÉCIE.....	50
4.6.1 <i>Eucalyptus saligna</i> .....	50
4.6.2 <i>Eucalyptus grandis</i> .....	51
4.6.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	52
4.7 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE SECAGEM.....	53
4.8 AVALIAÇÃO DA SECAGEM.....	54
4.8.1 Cargas de secagem.....	54
4.8.2 Umidade inicial e final por espécie.....	55
4.8.3 Umidade inicial e final dos clones por espécie.....	57
4.8.4 Defeitos de secagem por espécie.....	58
4.8.5 Defeitos de secagem dos clones por espécie.....	61

	12
4.8.5.1 <i>Eucalyptus saligna</i> .....	61
4.8.5.2 <i>Eucalyptus grandis</i> .....	62
4.8.5.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	65
4.8.6 Gradiente de umidade e tensões de secagem entre espécies.....	66
4.8.7 Gradiente de umidade e tensões de secagem dos clones por espécie	69
4.8.7.1 <i>Eucalyptus saligna</i> .....	69
4.8.7.2 <i>Eucalyptus grandis</i> .....	70
4.8.7.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	71
4.8.8 Perdas de volume por espécie.....	73
4.8.9 Perdas de volume dos clones por espécie.....	74
4.8.9.1 <i>Eucalyptus saligna</i> .....	74
4.8.9.2 <i>Eucalyptus grandis</i> .....	76
4.8.9.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	77
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>78</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>79</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais versáteis e apreciados pela humanidade, estando presente em todas as culturas e povos; desde os mais avançados tecnologicamente aos mais primitivos.

A indústria madeireira nacional utiliza principalmente duas fontes de matéria-prima: provenientes de florestas plantadas ou da Floresta Amazônica, esta última chamada comumente “madeira tropical”.

Dentre as florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira, o gênero *Eucalyptus* vem se tornando um dos mais importantes no Brasil, devido à velocidade de desenvolvimento de suas árvores, facilidade de implantação em grandes maciços e versatilidade de aplicação de sua madeira.

A secagem da madeira é um processo obrigatório na geração de produtos de madeira sólida devido aos conhecidos benefícios que esta técnica agrega à madeira, tanto na facilidade de trabalhabilidade em geral quanto na redução do risco de ataque de agentes biodegradadores.

Em secagem de madeiras existem princípios básicos que em uma mesma carga não devem ser secas espécies diferentes, nem tábuas de espessuras diferentes. Na prática, no entanto, muitas vezes o volume das câmaras é superior ao volume serrado de uma determinada espécie, o que leva ao carregamento com espécies diferentes para, dentre outras causas, evitar a ociosidade do equipamento e manter um determinado patamar produtivo. No caso do *Eucalyptus* a dificuldade prática não é a falta de volume para carregar as câmaras, e sim, a identificação da madeira das diferentes espécies. Assim, em ambos os casos, não é raro diferentes espécies serem secas conjuntamente em uma mesma carga.

A densidade básica é a primeira propriedade a ser considerada como norteadora do agrupamento de diferentes espécies em uma mesma carga de secagem, uma vez que esta se correlaciona diretamente com as demais propriedades físicas da madeira. Porém, o conhecimento de um maior número de características do comportamento de secagem das espécies levará a tomada de decisões mais acertadas.

A secagem da madeira de *Eucalyptus* é conhecida pelo senso comum como de difícil realização devido às tensões de crescimento inerentes ao



gênero, somadas às tensões desenvolvidas durante a secagem. Essa soma de tensões gera defeitos, muitas vezes irreparáveis, inviabilizando a utilização da madeira para fins mais nobres. Por isso, o gênero *Eucalyptus* é muitas vezes rejeitado quanto ao uso na forma de madeira sólida e seus derivados.

No entanto, o desenvolvimento de pesquisa e técnicas focadas na secagem do *Eucalyptus* facilitará a utilização da madeira na forma sólida, gerando produtos de maior valor agregado. Tal aplicação será abreviada de acordo com a difusão entre o meio científico e industrial de técnicas adequadas de melhoramento genético, silvicultura, colheita, processamento, secagem e acabamento.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a secagem convencional conjunta de nove clones, três de cada espécie: *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*; visando determinar a melhor espécie e o melhor clone por espécie quanto à qualidade na secagem convencional, e analisar a viabilidade de secar essas espécies conjuntamente em uma mesma carga.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Eucalyptus*: ORIGEM E SILVICULTURA

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e é quase inteiramente australiano, com apenas algumas espécies não endêmicas: *Eucalyptus urophylla*, no Timor e algumas ilhas adjacentes da Indonésia; e *Eucalyptus deglupta* na Papua Nova Guiné, algumas ilhas da Indonésia e nas Filipinas. De uma maneira geral, a ocorrência do gênero encontra-se na faixa da latitude entre 9° N e 44° S (ELDRIDGE *et al.*, 1994).

Embora o gênero *Eucalyptus* tenha sido introduzido em países do Cone Sul no final do século XIX, foi a partir da década de 1960 que se verificou um aumento expressivo da área plantada. A política de incentivos no Brasil (final da década de 60) e na Argentina (década de 70) promoveu o conhecimento das espécies mais adequadas e das vantagens da cultura florestal; verificando-se posteriormente o incremento das plantações no Chile (décadas de 70 e 80), no Uruguai e no Paraguai, já na década de 90 (JANKOWSKY; SANTOS; ANDRADE, 2003).

De acordo com dados de 2006 da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, os plantios comerciais de *Eucalyptus* no Brasil ocupam cerca de 3,75 milhões de hectares. Somente o estado do Paraná conta com cerca de 123 mil hectares implantados desta essência (ABRAF, 2008).

### 2.2 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

O *Eucalyptus grandis*, de nome original *rose gum* ou *flooded gum*, tem sua distribuição natural na costa leste da Austrália, não se distanciando mais de 100 km do litoral, entre as latitudes 16° S (Windsor Tableland) e 32°52' S em Nova Gales do Sul (ELDRIDGE *et al.*, 1994). De acordo com dados de 2007 da BRACELPA, a área plantada de *Eucalyptus grandis* responde por pouco mais de 15% de toda a área de *Eucalyptus* no Brasil.

### 2.3 *Eucalyptus saligna* Smith

O *Eucalyptus saligna* é conhecido originalmente como *Sydney blue gum*, e a sua área de distribuição natural coincide com a do *E. grandis* (ELDRIDGE *et al.*, 1994). Ocupa uma faixa costeira extensa, porém descontínua e fragmentada, desde 36° S de latitude, ao sul de Sydney, até 21° S, ao oeste de Mackay, Queensland (GONZAGA, 1983<sup>1</sup> *apud* TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

O *Eucalyptus saligna* é uma das espécies mais cultivadas para reflorestamento no centro Sul do Brasil (LORENZI *et al.*, 2003), respondendo por cerca de 3% de toda a área de florestas de *Eucalyptus* plantada no Brasil (BRACELPA, 2007).

### 2.4 *Eucalyptus dunnii* Maiden

O *Eucalyptus dunnii* é conhecido originalmente como *Dunn's white gum* (ELDRIDGE *et al.*, 1994). A sua região natural de ocorrência é a Austrália, onde se restringe a pequenas áreas no nordeste de Nova Gales do Sul e no sudeste de Queensland. As latitudes variam de 28° a 30°15' S e as altitudes de 300 a 780 m, aproximadamente (EMBRAPA, 1986<sup>2</sup> *apud* ROCHA, 2000).

As árvores de *Eucalyptus dunnii* fornecem madeira de boa qualidade e fibras para polpa celulósica e são amplamente cultivadas no Sul do Brasil, principalmente nas regiões do planalto catarinense e paranaense. Apresenta rápido crescimento e rusticidade, tolerando bem o frio característico daquelas regiões (LORENZI *et al.*, 2003). De acordo com dados de 2007 da BRACELPA, a área plantada de *Eucalyptus dunnii* responde por cerca de 1% de toda a área de *Eucalyptus* no Brasil, estando entre as quatro espécies mais plantadas desse gênero.

---

<sup>1</sup> GONZAGA, J.V. Qualidade da Madeira e da celulose Kraft de treze espécies de *Eucalyptus*. Viçosa/MG, UFV, 1983. 119 p. (Tese M.S.)

<sup>2</sup> EMBRAPA. Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná. Ministério da Agricultura – Programa Nacional de Pesquisas Florestais – PNPF (EMBRAPA/IBDF). Curitiba, 1986, 89 p.

## 2.5 CLONAGEM

As empresas detentoras de florestas plantadas no Brasil vêm utilizando tecnologias reconhecidas mundialmente, visando o aumento da produtividade florestal e o melhoramento genético. Assim, grande parte das florestas plantadas de *Eucalyptus* é originária de plantios clonais de alta produtividade (ABRAF, 2008).

Paiva (2007) explica que a utilização de híbridos em escala comercial é um aspecto que vem despertando a atenção dos silvicultores nacionais, e que a clonagem tornou-se prática rotineira nos programas florestais.

A clonagem de eucalipto pode servir como base para obtenção de matéria-prima para setores como energia, carvão, pasta, lâmina, serraria e também papel e celulose. As vantagens são a otimização do aproveitamento dos fatores de crescimento (luz solar, água e nutrientes), obtenção de produtos florestais mais uniformes e de melhor qualidade para industrialização, uso de espaçamentos mais reduzidos no plantio, monitoramento e controle das variáveis ambientais (temperatura, luz e umidade), menor ocorrência de doenças como cancro e ferrugem, que são bastante agressivas aos plantios via sementes e menor tempo requerido para formação da muda (CELULOSEONLINE, 2008).

Os clones de *Eucalyptus* apresentam alta produtividade volumétrica em madeira, o que os torna uma excelente fonte de abastecimento de matéria-prima florestal. No entanto, é necessário o desenvolvimento de estudos sobre as características tecnológicas (químicas, físicas, anatômicas, etc.) das suas madeiras, pois estas influenciam diretamente as diferentes aplicações finais destes clones (NAHUZ, 2007).

## 2.6 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS

As características anatômicas de uma determinada madeira exercem influência na sua secagem. Em geral, madeiras com pontoações aspiradas e/ou de pequeno diâmetro, obstrução dos vasos por tiloses, paredes espessas e lumes pequenos secam mais lentamente e têm mais propensão a defeitos

(KLITZKE, 2007). Segundo Jankowsky, Santos e Andrade (2003) a velocidade de secagem depende mais das características da madeira do que da temperatura ou umidade relativa do ambiente.

Desta maneira, o conhecimento prévio das características anatômicas da madeira a secar facilita a tomada de decisões no processo de secagem.

De acordo com Alfonso (1987) a obstrução dos elementos de vaso por *tiloses* é uma característica marcante do gênero *Eucalyptus*. Tal obstrução é impeditiva à remoção da água de capilaridade da madeira.

A descrição anatômica das espécies utilizadas neste trabalho, a seguir, foi obtida de Alfonso (1987).

#### 2.6.1 *Eucalyptus grandis* – Série *Transversae*

Grã: direita a inclinada.

Parênquima axial: pouco abundante.

Poros/Vasos: Porosidade: 11 – 21 poros/mm<sup>2</sup>, com variação de 88 – 164 µm (pequenos a médios), obstruídos por tiloses; elementos de vasos variando de 374 – 984 µm (curtos a muito longos); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares de 5 – 9 µm (pequenas e médias); pontoações radio-vasculares pequenas (5-8 µm), simples, eventualmente com aréolas incompletas.

Parênquima radial: muito finos a extremamente finos (8 - 22 µm), pouco a muito numerosos (5-14 raios/mm), contendo substância tanífera.

#### 2.6.2 *Eucalyptus saligna* – Série *Transversae*

Grã: direita.

Parênquima axial: pouco abundante.

Poros/Vasos: Porosidade: 4-13 poros/mm<sup>2</sup>, com variação de 110-186 µm (médios), obstruídos por tiloses; elementos de vasos variando de 276-812 µm (muito curtos a muito longos); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares de 6-10 µm (pequenas e médias); pontoações radio-vasculares pequenas (8-9 µm), simples, eventualmente com aréolas incompletas.

Parênquima radial: finos a extremamente finos (13-33 µm), poucos a muito numerosos (7-15 raios/mm), contendo substância tanífera.

### 2.6.3 *Eucalyptus dunnii* – Série *Globulares*

Grã: direita a levemente revessa.

Parênquima axial: pouco abundante.

Poros/Vasos: Porosidade: 6-14 poros/mm<sup>2</sup>, com variação de 44-141µm (muito pequenos a médios), obstruídos por tiloses; elementos de vasos variando de 256-758µm (muito curtos a longos); placa de perfuração simples; pontoações intervasculares de 5-9µm (pequenas e médias); pontoações radio-vasculares pequenas e grandes (7-12 µm), simples, eventualmente com aréolas incompletas.

Parênquima radial: finos a extremamente finos (10-25 µm), numerosos a muito numerosos (10-18 raios/mm), contendo substância tanífera.

## 2.7 PROPRIEDADES FÍSICAS

### 2.7.1 Densidade

A densidade é definida fisicamente como “massa de amostra por unidade de volume”. Por coincidência de definições do Sistema Internacional de Unidades (SI), no qual as grandezas básicas são o comprimento, a força e o tempo, o valor numérico de massa, em unidades do SI, é praticamente igual ao valor numérico de peso, em unidades do MKS técnico (MELO, 2002).

Dentre as diversas propriedades da madeira, a densidade é a mais utilizada, pois se correlaciona diretamente com o peso, com as propriedades

físico-mecânicas da madeira, com a composição celular e pode ser facilmente determinada.

Andrade, Jankowsky e Ducattii (2001) obtiveram densidade básica de 0,54 g/cm<sup>3</sup> para a madeira de *Eucalyptus grandis*, enquanto Ciniglio (1998) apresentou densidade básica de 0,57 g/cm<sup>3</sup> para esta mesma espécie aos 18 anos de idade. Pereira *et al.* (2000) estudaram árvores de *Eucalyptus grandis* de 6, 8, 9 e 10,5 anos de idade e obtiveram densidades básicas que variaram de 0,36 g/cm<sup>3</sup> a 0,51 g/cm<sup>3</sup>. Tomazello Filho (1985) obteve densidade básica de 0,38 g/cm<sup>3</sup> para árvores de *Eucalyptus grandis* aos 10 anos de idade.

Trugilho, Lima e Mendes (1996) estudaram as características da madeira de *Eucalyptus saligna* aos 12, 24, 36 e 48 meses, e obtiveram densidades básicas respectivas de, 0,37, 0,44, 0,50 e 0,52 g/cm<sup>3</sup>. Pereira *et al.* (2000) estudaram plantios de *Eucalyptus saligna* e obtiveram densidades básicas de 0,44, 0,53 e 0,55 g/cm<sup>3</sup> para as idades de 9, 8 e 10,5 anos, respectivamente. Tomazello Filho (1985) estudou duas procedências de *Eucalyptus saligna* aos 10 anos de idade e obteve densidades básicas médias de 0,43 e 0,50 g/cm<sup>3</sup>.

Pereira *et al.* (2000) obtiveram 0,55 g/cm<sup>3</sup> de densidade básica média para árvores de 8 anos de *Eucalyptus dunnii*, enquanto Severo (1998) obteve densidade média de 0,57 e 0,58 g/cm<sup>3</sup> para duas procedências com 16 anos. Rocha (2000) obteve densidade básica média de 0,62 g/cm<sup>3</sup> para árvores de *Eucalyptus dunnii* de 16,5 anos de idade.

### 2.7.2 Retratibilidade

A água afeta profundamente a madeira. A madeira perfeitamente seca incha à medida que as paredes celulares ganham umidade, até que as fibras estejam saturadas. O aumento do conteúdo de umidade transforma um material relativamente quebradiço em outro mais plástico e deformável quando sob esforço. A madeira acima de certo teor de umidade também se torna biodegradável (KEEY; LANGRISH; WALKER, 2000).

A madeira é um material higroscópico, ou seja, ganha ou doa umidade ao ambiente de acordo com a sua própria umidade e com a umidade relativa do ar. A madeira possui ainda outra propriedade física, chamada anisotropia,

que é definida como uma movimentação desigual das suas diferentes direções estruturais. Estas características tornam a madeira um material peculiar, diferenciando-a dos metais e plásticos.

A maior variação dimensional ocorre na direção tangencial aos anéis de crescimento. A contração radial é considerada menor do que a tangencial. A contração tangencial da madeira desde o estado verde até seco em estufa (0% de umidade) encontra-se no intervalo de 3,5% a 15,0%, enquanto a contração radial encontra-se na faixa de 2,4% a 11,0% (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968).

Gonçalez *et al.* (2006) obtiveram contração total radial, tangencial e volumétrica de 6,86%, 10,86% e 17,26%, respectivamente, para a madeira de *Eucalyptus grandis* aos 17 anos de idade, e anisotropia de contração de 1,58. Silva *et al.* (2006) estudaram diferentes idades e posições do tronco de *Eucalyptus grandis* e obtiveram contração total radial, tangencial e volumétrica de 6,09%, 10,14% e 18,11%, respectivamente e anisotropia de contração de 1,71.

Oliveira e Silva (2003) estudaram a madeira de *Eucalyptus saligna* de 16 anos de idade e obtiveram contração total radial, tangencial e volumétrica de 7,67%, 14,83% e 26,00% e anisotropia de contração de 1,99. Malan (2000)<sup>3</sup> *apud* Marchesan, Mattos e Shimizu (2005) obteve contração total radial, tangencial e volumétrica de 6,30%, 9,80% e 16,30%, respectivamente, e anisotropia de contração de 1,56.

Rocha (2000) obteve contração total radial, tangencial e volumétrica de 7,90%, 12,10% e 19,20%, respectivamente, para a madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 16,5 anos de idade. A anisotropia de contração obtida por este autor foi de 1,55. Severo (1998) estudou dois tratamentos e obteve contrações volumétricas de 20,80% e 23,50% para a madeira de *Eucalyptus dunnii* da procedência Urbenville e de 20,50% e 24,40% para a procedência Dorrigo.

---

<sup>3</sup> MALAN, F.S. Wood properties and qualities of three South African growth eucalypt. In: FORESTRY handbook. [S.l.]; Southern African Institute of Forestry, 2000. v. 2, p. 425-433.



## 2.8 TAXA DE SECAGEM

A água na madeira pode existir na parede celular como água de adesão ou no interior das cavidades celulares na forma de vapor ou líquido. A água líquida presente nas cavidades celulares é referida como água livre para distingui-la da água de adesão ou higroscópica das paredes celulares (SKAAR, 1972).

Durante a secagem da madeira a água se movimenta de zonas de alta umidade para zonas de baixa umidade, significando que a parte externa deve estar mais seca que o interior da madeira (PONCE; WATAI, 1985). Segundo Santos, Jankowsky e Andrade (2003) esse conceito é válido para processos de secagem por convecção, independente do material a ser seco.

A taxa de secagem refere-se à quantidade de água evaporada, em certo intervalo de tempo em relação à área de evaporação da peça de madeira. Através dela pode-se estimar o tempo de secagem de uma determinada espécie da condição de madeira verde, até um teor de umidade considerado a certa temperatura e umidade de equilíbrio (MUÑIZ, 1993).

Kollmann e Côté Junior (1968) relatam que a estrutura anatômica, a densidade, a espessura das tábuas e o conteúdo de umidade são características que afetam a taxa de secagem.

Simpson (1991) afirma que quanto menor a umidade relativa do ar circundante, maior é o fluxo de água capilar e que o movimento de difusão também é estimulado, porque a umidade da superfície das tábuas diminui, aumentando o gradiente de umidade e assim a taxa de difusão. Este autor ainda afirma que quanto maior a temperatura da madeira, mais rapidamente a umidade se moverá do interior (mais úmido) para a superfície das tábuas (mais seco).

De acordo com Herzberg *et al.* (1985)<sup>4</sup> *apud* Santini e Haselein (2002) a taxa de secagem é uma variável que fornece informações importantes sobre o comportamento da madeira em secagem. A saída mais ou menos rápida de água por unidade de tempo é influenciada por variáveis relacionadas ao

---

<sup>4</sup> HERZBERG, B.L. TAYLOR, F.W. ROSEN, H.N. Factors that affect the time required to high-temperature dry pine dimension lumber. *Forest Products Journal*, v. 35, n. 7/8, p. 34-36, 1985.

material, como estrutura anatômica, e da estufa, como largura da pilha, espessura dos separadores, velocidade do ar, temperatura da madeira e umidade relativa do ar.

Segundo Tomaselli (1977) o movimento da água na madeira acontece em três etapas. Rosen (1983)<sup>5</sup> *apud* Jankowsky, Santos e Andrade (2003) afirma que estas três etapas na secagem da madeira, que é um material poroso, o qual predomina a transferência de calor por convecção, apresentam características diferenciadas, as quais determinam a curva típica de secagem de cada espécie.

Na primeira fase, na qual a taxa de secagem é constante, ocorre a evaporação da água na superfície do material e a movimentação da água líquida, do interior até a superfície de evaporação, por forças de capilaridade (JANKOWSKY, SANTOS; ANDRADE, 2003).

Na segunda e terceira fases a taxa de secagem é decrescente, e a movimentação da água ocorre basicamente pelo processo difusivo, afetado não somente pelas condições termodinâmicas da corrente de ar como também por características da própria madeira, principalmente a massa específica (JANKOWSKY; SANTOS; ANDRADE, 2003).

A terceira fase se inicia quando a linha de evaporação de água se restringe ao centro da peça; não há mais água livre no material e a taxa de secagem é regulada pelas características do material, até que o teor de umidade de equilíbrio seja alcançado (SANTOS; JANKOWSKY, ANDRADE, 2003).

Santos, Jankowsky e Andrade (2003) obtiveram  $1,44 \text{ g.h}^{-1}$  de taxa de secagem média na faixa capilar de umidade e  $0,31 \text{ g.h}^{-1}$  na faixa higroscópica, para madeira de *Eucalyptus grandis* a 51% de umidade inicial.

Ciniglio (1998) obteve os seguintes valores de taxa de secagem:  $0,0173 \text{ g/cm}^2.\text{h}$ ,  $0,0350 \text{ g/cm}^2.\text{h}$  e  $0,0079 \text{ g/cm}^2.\text{h}$ , respectivamente para as condições de verde a 5%, verde a 30% e 30% a 5% de umidade, para a madeira de *Eucalyptus grandis* com umidade inicial média de 80,9%.

---

<sup>5</sup> ROSEN, H.N. Recent advances in the theory of drying lumber. In: IUFRO DIVISION V CONFERENCE, Illinois, 1983. Proceedings. Illinois, USDA, 1983. p. 32-62.

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

Barbosa *et al.* (2005) estudaram 10 clones de *Eucalyptus* e obtiveram taxas de secagem médias de 0,0187 g/cm<sup>2</sup>.h, 0,0337 g/cm<sup>2</sup>.h e 0,0082 g/cm<sup>2</sup>.h respectivamente para as condições de verde a 5%, verde a 30% e 30% a 5% de umidade, a um teor de umidade inicial médio de 102,4%.

## 2.9 SECAGEM DA MADEIRA

A madeira sempre ocupou lugar de destaque dentre os diversos materiais usados pelo homem. Atualmente, com o desenvolvimento técnico e científico, busca-se cada vez mais conhecer e aprimorar os diversos processos que envolvem a industrialização da madeira, visando melhorar sua utilização e aproveitamento (ANDRADE; JANKOWSKY, DUCATTI, 2001).

A secagem é hoje reconhecida como uma etapa vital que deve ser agregado ao processamento da madeira sólida, existindo atualmente uma forte ênfase em melhorar a qualidade de secagem bem como reduzir seus custos. A principal razão para secagem da madeira é assegurar de que esta seja dimensionalmente tão estável quanto antes do uso em uma estrutura ou item manufaturado (SEVERO, 1998).

A transformação racional da madeira bruta em produtos e bens de consumo requer a sua secagem prévia pelas seguintes razões: reduz a massa da madeira, diminuindo o custo com transporte; reduz a movimentação dimensional a limites aceitáveis; melhora a atuação dos vernizes e tintas aplicadas sobre a madeira; reduz os riscos de ataques por fungos apodrecedores e manchadores; proporciona melhor qualidade das juntas de colagem; propicia maior impregnação da madeira com líquidos preservativos e ignífugos; aumenta a resistência mecânica (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A madeira pode ser seca ao ar livre (secagem natural) ou em câmaras próprias (secagem artificial). A secagem ao ar livre é normalmente feita em ambiente aberto e raramente sob cobertura, ao passo que na secagem artificial é utilizado câmara própria que requer instrumentação especial para criar um

clima controlado artificialmente num espaço fechado, nas quais a temperatura, umidade relativa e a circulação do ar são controladas (KLITZKE, 2007).

### 2.9.1 Secagem convencional

A maioria das câmaras de secagem é desenhada para operar dentro de uma amplitude específica de temperaturas. Esta amplitude depende largamente da espécie que será seca, da qualidade e uso final da madeira. Outros fatores a serem considerados são: a produção esperada, a fonte de energia e limitações de alguns componentes do sistema, tais como compressores e motores elétricos (SIMPSON, 1991).

Uma classificação comum das câmaras de secagem é baseada na temperatura máxima de operação, na qual uma câmara de secagem convencional opera em temperaturas de até 82°C (SIMPSON, 1991).

A secagem em câmaras convencionais é aquela conduzida em uma câmara fechada em que o ar circula pela face da madeira, à velocidade de 60 a 120 m/min (1 a 2 m/s). As temperaturas na câmara no início do processo variam entre 40 a 80°C e as temperaturas no final do ciclo, de 65 a 95°C (PONCE; WATAI, 1985).

Este tipo de equipamento dispõe de um sistema de aquecimento, um sistema de umidificação do ar, um conjunto de *dampers* ou janelas que permite a troca de ar entre o interior do secador e o meio externo, e um sistema de ventilação que promove a circulação do ar entre as tábuas de madeira em secagem (JANKOWSKY, 1995).

O sistema de ventilação atua com duplo propósito: conduzir o calor seja dos elementos do irradiador, das serpentinas ou de outros tipos de aquecimento, à pilha de madeira e, também, remover a umidade que vai evaporando e acumulando à superfície das tábuas, permitindo a sua substituição por nova massa de ar mais seco (MELO, 1999).

A circulação do ar, dependendo do tipo de câmara, é obtida naturalmente ou por meio de circuladores acionados eletricamente. Nesta última, as velocidades variam de 0,35 a 2 m/s, considerando-se as velocidades ao redor de 2 m/s como as mais econômicas e efetivas. Velocidades maiores

somente deveriam ser aplicadas para umidades iniciais elevadas (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

O aquecimento em uma câmara é necessário por quatro motivos básicos: aquecer a madeira e a água da madeira; evaporar a umidade da madeira; repor o calor perdido pela estrutura da câmara por condução ou radiação; e, em câmaras com ventiladores, aquecer o ar fresco que entra na câmara (SIMPSON, 1991). O sistema de aquecimento mais comum é a utilização de irradiadores tubulares alimentados por água quente ou vapor de água, a alta ou baixa pressão, proveniente de caldeiras que queimam diversos tipos de materiais combustíveis (MELO, 1999).

O controle da temperatura de bulbo úmido ou umidade dentro da câmara é importante durante as etapas de secagem, equalização e condicionamento da operação de secagem (SIMPSON, 1991). A umidificação pode ser realizada por vaporização de água ou, como é mais comum, por injeção de vapor (MELO, 1999).

Os *dampers* são posicionados de tal forma que a própria ação dos ventiladores faz com que o ar quente e úmido do interior do secador seja expelido, admitindo ar do meio externo (JANKOWSKY, 1995).

A umidade relativa está diretamente relacionada com a capacidade do ar em receber maior ou menor quantidade de vapor de água e com a remoção da água das superfícies da madeira. Nos secadores, o controle da umidade relativa é obtido por quatro diferentes maneiras: pelo sistema de aquecimento, através do fornecimento de vapor, pela admissão de ar mais seco e frio do exterior e pela eliminação de ar úmido do interior do secador. Estas três últimas regulagens permitem ajustar principalmente o termômetro úmido, enquanto a primeira controla o termômetro seco (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

As temperaturas relativamente altas e a circulação forçada do ar são os principais meios de se acelerar a secagem muito além da secagem ao ar livre e da secagem por ventilação forçada. É necessário, porém, controle da umidade relativa para se evitar os defeitos associados com as contrações e para se uniformizar a umidade da madeira de acordo com os limites e precisão requeridos (PONCE; WATAI, 1985).

### 2.9.2 Etapas da secagem

Um determinado lote de madeira, com determinada umidade e à temperatura ambiente, uma vez corretamente empilhado e introduzido na estufa, não pode ser imediatamente submetido à operação de secagem propriamente dita (MELO, 1999).

De uma forma geral, podem ser conhecidas três fases distintas nos programas de secagem: fase de aquecimento inicial, fase de secagem propriamente dita e fase de uniformização e condicionamento (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). De acordo com Melo (1999) a secagem é dividida em pelo menos três fases: preparatória, de secagem e de equilíbrio. Para este autor, a etapa de aquecimento inicial está inserida na etapa chamada “preparatória”.

Segundo Klitzke (2007), na fase de aquecimento devem-se evitar diferenças de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido maiores que 2°C, para que a madeira não comece a secar antes de estar completamente aquecida. Nesta fase, a madeira é aquecida sem iniciar o processo de secagem propriamente dito. O ar no interior do secador é aquecido até atingir a temperatura de bulbo seco desejada, e é indesejável que a madeira inicie o processo de secagem, utilizando-se umidades relativas acima de 85% (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Não é desejável a saturação do ar, porque nesta situação haveria condensação de vapor na superfície das tábuas (MELO, 1999).

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), a duração da fase de aquecimento é proporcional à espessura das tábuas em secagem. Segundo Hildebrand (1970) o aquecimento deve ser feito à razão de 1 hora por centímetro de espessura das tábuas, no mínimo.

A fase de secagem propriamente dita sucede ao aquecimento, e segundo Galvão e Jankowsky (1985) durante essa fase que se procede a retirada de água da madeira. O objetivo nesta fase é secar a madeira o mais rápido possível, por meio do aumento da temperatura e da redução da umidade relativa do ar de forma gradativa, conforme estabelecido pelo programa de secagem (KLITZKE, 2007).

Inicialmente, a água livre é removida de maneira lenta e gradual, para prevenir a ocorrência de colapso e rachaduras, e embora sejam utilizadas condições suaves de temperatura e umidade relativa do ar, a remoção da água livre processa-se de forma relativamente rápida (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Klitzke (2007) afirma que quando a madeira atinge umidade próxima ao ponto de saturação das fibras (PSF) deve-se aumentar progressivamente a diferença psicrométrica, deixando o ar mais seco no interior da câmara. A retirada da água higroscópica (abaixo do PSF) caracteriza-se pela elevação da temperatura com a redução simultânea da umidade relativa do ar até que seja atingida a umidade final desejada (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

A fase final da secagem é dividida em duas: equalização e condicionamento (KLITZKE, 2007).

A variação da umidade final pode causar sérios problemas no processamento da madeira. Assim, o propósito da etapa de equalização é reduzir a variabilidade da umidade final da carga seca. Uma equalização eficiente é necessária antes que a madeira siga para o condicionamento, porque a eficiência do condicionamento depende da uniformidade da umidade (SIMPSON, 1991).

As tensões de secagem frequentemente permanecem na madeira mesmo depois do término do processo de secagem. Essas tensões de secagem residuais podem causar problemas de empenamentos e travamentos das serras no posterior processamento, e devem ser removidas da madeira destinada a diversas aplicações finais. O propósito do condicionamento é aliviar estas tensões de secagem residuais, por meio de plasticização da madeira a elevadas temperatura e umidade relativa do ar (SIMPSON, 1991).

### 2.9.3 A secagem da madeira de *Eucalyptus*

Alguns defeitos são toleráveis na madeira para muitos usos finais e o objetivo de uma boa prática de secagem deve ser a redução dos defeitos a um nível aceitável no produto pretendido. Defeitos inevitáveis em algumas

espécies podem impedir sua utilização para determinados fins (CAMPBELL; HARTLEY, 1978<sup>6</sup> *apud* CINIGLIO, 1998).

Os eucaliptos, de maneira geral, comportam-se como as madeiras normais, devendo ser processados como devem a maioria das madeiras, isto é, com cuidados no desdobro e na secagem (PONCE, 1995).

Ponce (1995) apresenta as principais características que dificultam o processamento e o uso de madeira de *Eucalyptus*: tensões de crescimento, madeira juvenil, colapso, nós, empenamentos, bolsas de resina e elevada retratibilidade.

Praticamente todos os defeitos passíveis de se manifestarem durante a secagem, tais como rachaduras, empenamentos de diferentes formas, gradientes de umidade, colapso, tensões de secagem e endurecimento superficial, são citados como de ocorrência na madeira de *Eucalyptus* (CAMPBELL; HARTLEY, 1978 *apud* JANKOWSKY, 1995).

A madeira de eucalipto não apresenta a fase de taxa constante na sua curva característica de secagem, comprovando a impermeabilidade da espécie. A permeabilidade reduzida implica na necessidade de uma secagem lenta e no desenvolvimento, durante o processo, de gradientes de umidade acima do normal (JANKOWSKY; SANTOS; ANDRADE, 2003). A presença de tiloses (ALFONSO, 1987) é mais um fator a ser somado para a dificuldade de secagem da madeira de *Eucalyptus*.

Por estas razões o eucalipto é conhecido como madeira de secagem lenta, difícil e com alta propensão a defeitos, como colapso e rachaduras. A alternativa é buscar o desenvolvimento da tecnologia de secagem, visando soluções que permitam reduzir as perdas verificadas durante a secagem (JANKOWSKY; SANTOS; ANDRADE, 2003).

#### 2.9.4 Programas de secagem para *Eucalyptus*

Um programa de secagem é um compromisso trabalhado cuidadosamente entre a necessidade de secar a madeira tão rápido quanto possível e, ao mesmo tempo, evitar condições de secagem severas que

---

<sup>6</sup> CAMPBELL, G.S.; HARTLEY, J. Drying and dried wood. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. *Eucalyptus for wood production*. Australia: Academic Press, 1978. p. 322-327.



possam causar defeitos de secagem. É uma série de temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido que estabelecem a temperatura e umidade relativa do ar dentro da câmara e são aplicados nos diversos estágios do processo de secagem (SIMPSON, 1991).

A escolha do programa, quando não indicado para uma determinada espécie, deve ser feita após analisar cuidadosamente as características da madeira a ser seca e a sua utilização prevista. Essas características são comparadas com as de espécies, cujos programas são conhecidos (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Os programas de secagem variam em função da espécie, espessura e da qualidade desejada. As mudanças de temperatura e umidade relativa dentro da câmara variam com a mudança no teor de umidade médio da carga (KLITZKE, 2007).

Os programas de secagem para madeira de eucalipto têm por característica comum a recomendação de baixas temperaturas (principalmente no início do processo) e potencial de secagem bastante suave (JANKOWSKY; SANTOS; ANDRADE, 2003).

Brandão (1989), baseado na metodologia proposta por Terazawa (1965)<sup>7</sup>, desenvolveu programas de secagem para diversas espécies, incluindo o *Eucalyptus saligna*. A partir de dados obtidos de um ensaio de taxa de secagem a 100°C, utilizou a análise correlação (método *Stepwise*) para a determinação de equações que estimassem a temperatura inicial, a temperatura final e o potencial de secagem para espécies de programas de secagem desconhecido.

A determinação destas três variáveis é tão importante para um programa de secagem de madeira de eucalipto que alguns autores repetiram essa metodologia para o desenvolvimento de programas de secagem (CINIGLIO, 1998; ANDRADE; JANKOWSKY; DUCATTI, 2001; BARBOSA *et al.*, 2005).

No QUADRO 1 encontram-se os valores de temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem utilizado por alguns autores para a secagem de madeira de *Eucalyptus*.

---

<sup>7</sup> TERAZAWA, S. Methods for easy determination of kiln drying schedule of wood. Wood Industry, 20 (5), 1965.

<i>Eucalyptus</i>	Fonte	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Potencial de secagem
<i>Eucalyptus</i> spp.	Barbosa <i>et al.</i> , 2005	41,8 – 44,7	66,0 – 68,9	2,02 – 2,44
<i>E. grandis</i>	Ciniglio, 1998	40,5	64,9	2,10
<i>E. urophylla</i>	Ciniglio, 1998	40,3	65,5	2,11
<i>E. dunnii</i>	Severo, 1998	40,0	60,0	2,50
<i>E. grandis</i>	Andrade, Jankowsky e Ducatti, 2001	41,7	65,7	2,17
<i>E. tereticornis</i>	Andrade, Jankowsky e Ducatti, 2001	39,0	62,7	2,01

QUADRO 1 - PARÂMETROS DE PROGRAMAS DE SECAGEM DE *Eucalyptus*

Severo (1998) recomenda ainda não ultrapassar a temperatura de 45°C até que toda a água livre tenha sido evaporada da madeira.

Quando cargas heterogêneas forem submetidas à secagem, deve-se adotar o programa mais suave, isto é, o programa correspondente à madeira com maior dificuldade de secagem (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

## 2.10 DEFEITOS DE SECAGEM

### 2.10.1 Rachaduras

As rachaduras aparecem como consequência da diferença de contração nas direções radial e tangencial da madeira e de diferenças de umidade entre regiões contíguas de uma peça, durante o processo de secagem (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Rachaduras de superfície ocorrem no início da secagem quando as camadas mais externas da tábua estão tensionadas o suficiente para fraturar a madeira. Estas rachaduras ocorrem mais frequentemente em tábuas tangenciais (SIMPSON, 1991). Melo (1999) afirma que as rachaduras surgem

no decurso da secagem sempre que exista um elevado gradiente de umidade entre a parte central e a zona periférica da madeira e se desenvolvam forças de tração, em virtude da contração abaixo do PSF, a que esta não consegue opor-se. Normalmente, as rachaduras superficiais ocorrem nos tecidos que compõem os raios, constituídos de células parenquimáticas (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

As rachaduras de topo, como as de superfície, usualmente ocorrem nos raios da madeira, nos topos das tábuas. Estas rachaduras ocorrem porque o gradiente de umidade se move mais rapidamente na direção longitudinal do que na transversal. Portanto, os topos das tábuas secam mais rapidamente do que o meio e tensões se desenvolvem nos topos (SIMPSON, 1991).

Mellado (1993) estudou dois programas de secagem para *Eucalyptus grandis* e obteve índice de rachaduras de 5,6% em ambos. Ciniglio (1998) também estudou a secagem de madeira de *Eucalyptus grandis*, porém a madeira não apresentou rachaduras de topo ou superfície. Severo (1998) estudou a secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* e observou índices de rachadura de topo de 10%, 28% e 58% para três diferentes programas de secagem, respectivamente.

### 2.10.2 Colapso

O colapso ocorre acima do ponto de saturação das fibras e, por isso, ocorre geralmente no início da secagem (KEEY; LANGRISH; WALKER, 2000). O colapso é uma distorção, achatamento ou esmagamento da madeira e, em casos severos, demonstra-se como um enrugamento da madeira conhecido como efeito “tábua-de-lavar” (SIMPSON, 1991; MELO, 1999). Sobretudo, o colapso é caracterizado por uma pronunciada alteração das células lenhosas que, em vez de apresentarem contorno poligonal, surgem como que esmagadas (MELO, 1999).

De acordo com Simpson (1991) o colapso pode ser causado por: tensões compressivas de secagem nas partes internas das tábuas que excedem a resistência de compressão da madeira ou forças de capilaridade nas cavidades celulares que estão completamente cheias de águas.

Em geral, a solução mais aplicada para evitar o colapso é secar a madeira a temperaturas iniciais abaixo de 45°C, uma vez que a baixas temperaturas a rigidez da parede celular é maior, o que a torna mais resistente às forças capilares (KEEY; LANGRISH; WALKER, 2000).

Segundo Melo (1999), o eucalipto, o carvalho e o azinho são exemplos de madeiras susceptíveis ao colapso.

O colapso é um defeito grave e deve ser evitado se possível. O uso de programas de secagem especiais, planejados para minimizar este defeito é recomendado (SIMPSON, 1991).

Mellado (1993) avaliou dois programas de secagem para a madeira de *Eucalyptus grandis* e 41,7% e 36,1% das tábuas apresentaram colapso, respectivamente. Ciniglio (1998) avaliou a secagem de *Eucalyptus grandis* 8,3% das tábuas apresentaram colapso.

Severo (1998) avaliou três programas de secagem para a madeira de *Eucalyptus dunnii* e as tábuas apresentaram porcentagens de colapso crescentes, de acordo com a severidade do programa, com 37,5%, 67,5% e 87,5%, respectivamente.

### 2.10.3 Encanoamento

Empenamento é qualquer distorção da peça de madeira em relação aos planos originais de suas superfícies (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Todos os tipos de empenamento ocorrem por duas causas principais: diferença entre as contrações (radial, tangencial e longitudinal) na mesma peça ou tensões de crescimento. Os empenamentos também são agravados pela presença de grã irregular ou torcida e presença de anormalidades na madeira, como lenho juvenil e lenho de reação (SIMPSON, 1991).

Dentre os diversos tipos de empenamentos encontra-se o encanoamento.

No encanoamento as margens da tábua permanecem aproximadamente paralelas e ela adquire um aspecto “encanoado” ou de “canaleta”. Este tipo de empenamento aparece em consequência da diferença de contração entre as direções radial e tangencial, que provoca maior movimentação de uma das faces da peça em relação à outra (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). Em geral,

quanto maior a diferença entre as contrações radial e tangencial, maior o grau do encanoamento (SIMPSON, 1991).

Se as tábuas possuírem elevada retratibilidade ou elevada anisotropia de contração, os encanoamentos serão mais pronunciados naquelas serradas longitudinalmente do que radialmente (MELO, 1999). As tábuas perfeitamente radiais, de fato, não apresentam encanoamento (SIMPSON, 1991).

Outra causa para o surgimento do encanoamento é a secagem mais rápida de uma das faces da tábua. Essa diferença de umidade ocorre quando a peça está apoiada sobre toda a extensão de uma das faces, de forma que a evaporação da água é maior na outra face, ou quando uma das faces recebeu revestimento enquanto a outra permanece natural (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

O encanoamento começa a se desenvolver no início e agrava-se progressivamente com a continuação da secagem e pode causar excessivas perdas de madeira no beneficiamento. A pressão exercida pelos rolos das plainas frequentemente causa rachaduras em tábuas encanoadas (SIMPSON, 1991). Um bom empilhamento e a utilização de restrição nas pilhas são as melhores maneiras de minimizar o surgimento do encanoamento (SIMPSON, 1991; MELO, 1999).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Neste estudo trabalhou-se com três espécies de eucalipto: *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. De cada espécie estudaram-se três clones, totalizando nove clones. Os clones foram classificados por espécie de acordo com o incremento médio anual (IMA) em: menor, médio e maior, de acordo com o QUADRO 2.

<b>Espécie</b>	<b>Clone</b>	<b>Incremento Médio Anual (IMA)</b>
<i>Eucalyptus saligna</i>	1	MAIOR
	2	MÉDIO
	3	MENOR
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	MAIOR
	2	MÉDIO
	3	MENOR
<i>Eucalyptus dunnii</i>	1	MAIOR
	2	MÉDIO
	3	MENOR

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS CLONES

FONTE: O autor (2009)

O material foi coletado de plantios homogêneos de 11 anos de idade, plantados em espaçamento 2,5 x 2,5 m, na cidade de Telêmaco Borba, Paraná. De cada clone foram utilizadas cinco árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 20 cm, com fuste retilíneo e aparentemente saudas. As árvores foram derrubadas com motosserra a 10 cm da base e utilizou-se apenas a primeira tora, ou seja, os primeiros 300 cm. As toras foram processadas em serraria e transportadas até o Laboratório de Secagem de Madeiras da Universidade Federal do Paraná, onde foram armazenadas. Utilizaram-se tábuas tangenciais retiradas da porção intermediária do diâmetro,

ou seja, entre a medula e a casca (FIGURA 1), de dimensões iniciais de 30 mm de espessura, largura variável entre 150 mm e 200 mm e 3000 mm de comprimento.

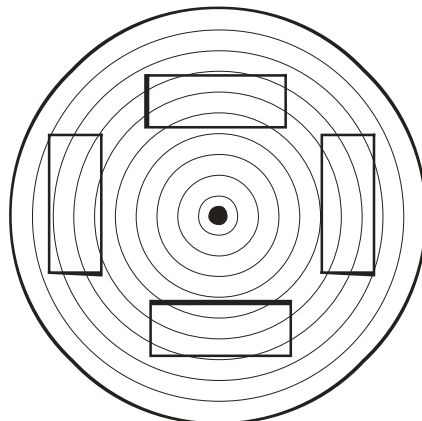


FIGURA 1 - TÁBUAS UTILIZADAS

FONTE: O autor (2009)

### 3.2 ENSAIOS PRELIMINARES

Este estudo foi desenvolvido em duas etapas: os ensaios preliminares, nos quais seus resultados permitiram a elaboração do programa de secagem, e a secagem em câmara convencional piloto, que permitiu avaliar a qualidade de secagem dos clones na prática.

#### 3.2.1 Propriedades físicas

A retratibilidade foi determinada de acordo com a norma COPANT 462 (1972). Com estes mesmos corpos-de-prova foi realizado o ensaio de densidade básica, pelo método estereométrico.

Para os ensaios foram confeccionados 50 corpos-de-prova por clone, de dimensões 25 x 25 x 100 mm, totalizando 450 corpos-de-prova. As tábuas de comprimento inicial de 3000 mm foram seccionadas para 1500 mm (FIGURA 2) e de cada tábua foram confeccionados cerca de 5 corpos-de-prova livres de defeitos e devidamente orientados.

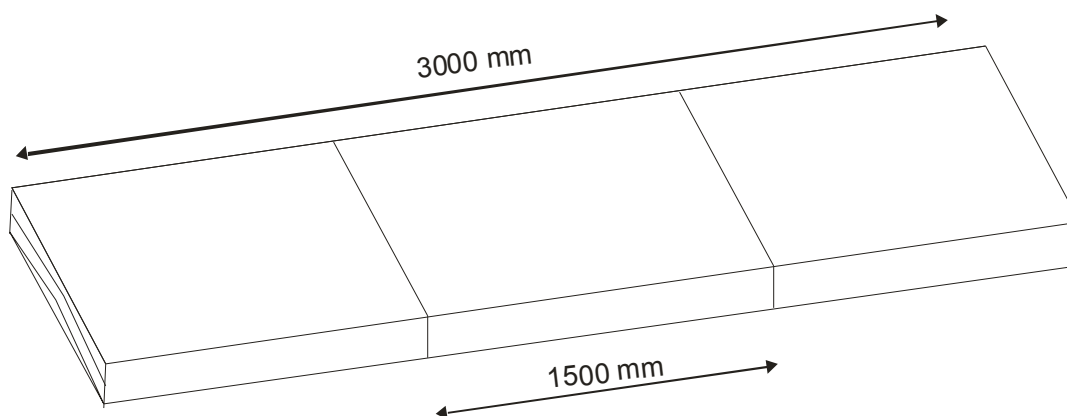


FIGURA 2 – CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

FONTE: O autor (2009)

Os resultados foram obtidos com a utilização das EQUAÇÕES 1, 2, 3 e 4.

$$DB = MS/VV \quad (1)$$

$$\beta_{(t,r,v)} = [(DV - DS)]/ DV \times 100 \quad (2)$$

$$\beta_v = \beta_r + \beta_t \quad (3)$$

$$CA = \beta_t/\beta_r \quad (4)$$

onde:

DB = densidade básica (g/cm<sup>3</sup>);

MS = massa a 0% de umidade (g);

VV = volume verde (cm<sup>3</sup>);

$\beta$  = contração máxima - de verde a 0% (%);

$\beta_v$  = contração volumétrica máxima (%);

DV = dimensão verde (mm);

DS = dimensão seca a 0% de umidade (mm);

CA = coeficiente de anisotropia de contração;

$\beta_r$  = contração radial máxima (%);

$\beta_t$  = contração tangencial máxima (%).



### 3.2.2 Ensaio de taxa de secagem

Na FIGURA 3 encontra-se o esquema de confecção dos corpos-de-prova de taxa de secagem e seus respectivos corpos-de-prova de umidade inicial (UI).

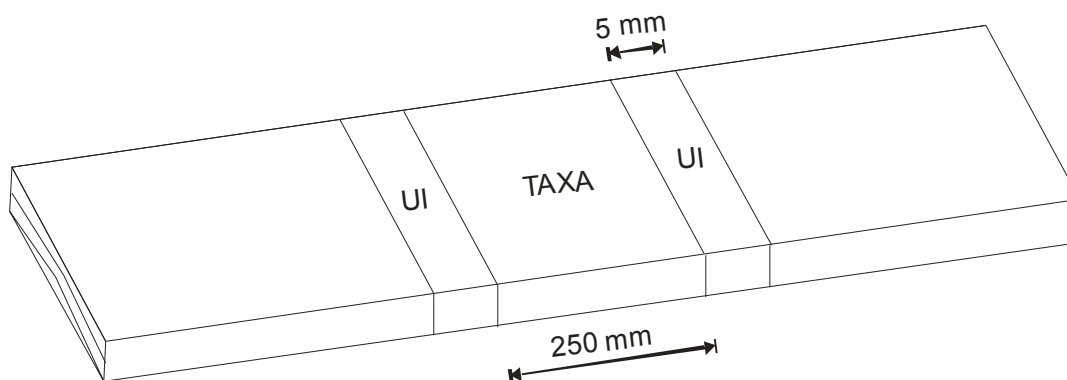


FIGURA 3 – CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

FONTE: O autor (2009)

NOTA: UI – umidade inicial; TAXA – taxa de secagem

#### 3.2.2.1 Umidade inicial

Depois de confeccionados, foram determinadas as massas úmidas dos corpos-de-prova em balança digital com precisão 0,01 g, e em seguida levados à estufa de laboratório a  $103 \pm 2$  °C até obterem massa seca constante. A umidade inicial foi determinada pelo método gravimétrico, de acordo com a EQUAÇÃO 5.

$$UI = (MU - MS)/MS \times 100 \quad (5)$$

onde:

UI = umidade inicial (%);

MU = massa úmida (g);

MS = massa seca (g).

### 3.2.2.2 Taxa de secagem

De acordo com o proposto por Terazawa (1965) *apud* Brandão (1989), pequenas amostras de madeira quando submetidas a uma secagem drástica irão apresentar defeitos em nível proporcional aos que ocorreriam durante a operação industrial de secagem.

Para o ensaio de taxa de secagem foram utilizados 10 corpos-de-prova por clone, totalizando 90 corpos-de-prova. Os corpos-de-prova foram selados nos topos com acetato de polivinila e determinadas as massas em balança digital de precisão igual a 0,01 g, para a determinação da massa inicial. Mediu-se com paquímetro digital (0,01 mm de precisão) a espessura, a largura e o comprimento dos corpos-de-prova, para determinação da área, que foi utilizada nas EQUAÇÕES 9, 10 e 11. O esquema da medição das dimensões dos corpos-de-prova encontra-se na FIGURA 4. Em seguida, os corpos-de-prova foram levados à estufa, sem circulação de ar, a temperatura constante de 100 °C.

Durante o ensaio de taxa de secagem acompanhou-se a perda de massa, em balança digital (0,01 g de precisão), e também o surgimento de rachaduras de topo e de superfície, com o auxílio de um paquímetro digital (0,01 mm de precisão). Estas avaliações foram feitas em intervalos de três em três horas e os dados foram devidamente registrados em fichas apropriadas. O tempo de ensaio durou em média 120 horas.

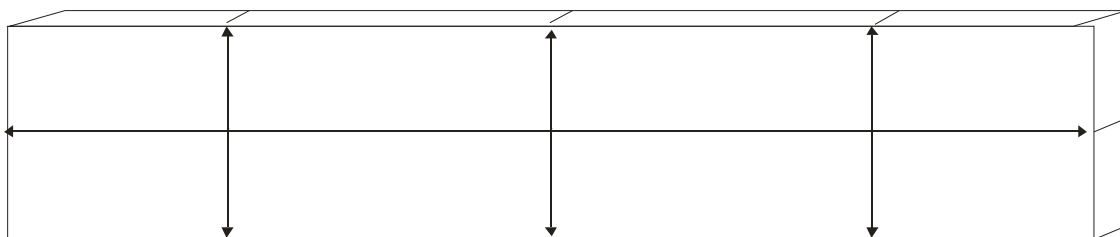


FIGURA 4 – PONTOS DE MEDIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DE TAXA DE SECAGEM

FONTE: O autor (2009)

A perda de umidade neste ensaio foi acompanhada com base na EQUAÇÃO 6 (BRANDÃO, 1989).

$$UA = \{[MA \times (UI + 100)]/MI\} - 100 \quad (6)$$

onde:

UA = teor de umidade do corpo de prova em um instante qualquer (%);

MA = massa do corpo de prova nesse mesmo instante (g);

UI = umidade inicial do corpo de prova (%);

MI = massa inicial do corpo de prova (g).

O ensaio de taxa de secagem foi encerrado quando os corpos-de-prova atingiram a massa estimada a 5% de umidade. Para tal, foram utilizadas as EQUAÇÕES 7 e 8 (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

$$ME_{0\%} = (100 \times MI)/(100 + UI) \quad (7)$$

$$MX\% = MSE \times (1 + X\%/100) \quad (8)$$

onde:

$ME_{0\%}$  = massa estimada a 0% de umidade(g);

$MX\%$  = massa a X% de umidade (g).

Neste trabalho foram avaliadas as seguintes taxas de secagem: desde a condição de umidade verde até 30% (taxa capilar), de verde a 5% e de 30% até 5% (taxa higroscópica). Para tal, utilizaram-se, respectivamente, as EQUAÇÕES 9, 10 e 11.

$$TS_{VERDE-30\%} = (MV - M_{30\%})/(T_{VERDE-30\%} \times A) \quad (9)$$

$$TS_{VERDE-5\%} = (MV - M_{5\%})/(T_{VERDE-5\%} \times A) \quad (10)$$

$$TS_{30\%-5\%} = (M_{30\%} - M_{5\%})/(T_{30\%-5\%} \times A) \quad (11)$$

onde:

TS = taxa de secagem (g/cm<sup>2</sup>.h);

MV = massa verde, acima do PSF% (g);

$M_x$  = massa a um determinado teor de umidade x (g);

$T_{x-y}$  = tempo de secagem de um teor de umidade x a outro y (horas);

A = área superficial do corpo de prova (cm<sup>2</sup>).

Para a determinação da massa a 30% de umidade utilizou-se a EQUAÇÃO 8.

### 3.2.2.3 Escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem

Durante o ensaio de taxa de secagem foi acompanhada a incidência de rachaduras de topo e de superfície. Terminado o ensaio, foi feita a avaliação final dos defeitos, e avaliaram-se as rachaduras internas e o colapso. Todos os defeitos foram avaliados levando-se em conta a maior magnitude, com a utilização de um paquímetro digital (0,01 mm de precisão).

As rachaduras de superfície foram avaliadas quanto ao comprimento e largura (direção tangencial).

As rachaduras de topo e internas foram avaliadas quanto à altura (direção radial) e largura (direção tangencial). Para esta última, foram feitos três cortes transversais nos corpos-de-prova, com serra circular, gerando quatro faces para avaliação (FIGURA 5).

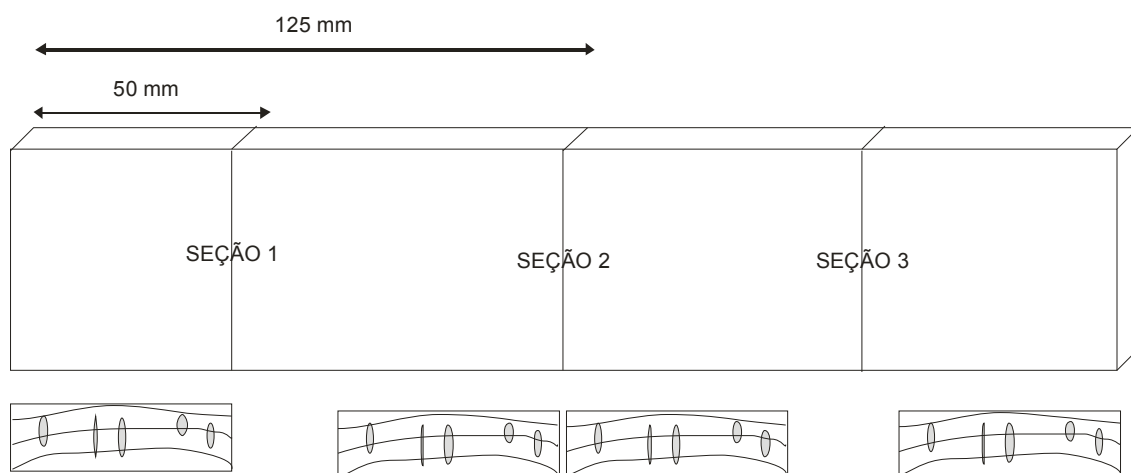


FIGURA 5 – ESQUEMA PARA AVALIAÇÃO DAS RACHADURAS INTERNAS  
FONTE: O autor (2009)

O colapso foi medido no ponto de menor espessura, ou seja, onde ocorreu a maior severidade do colapso (FIGURA 6).

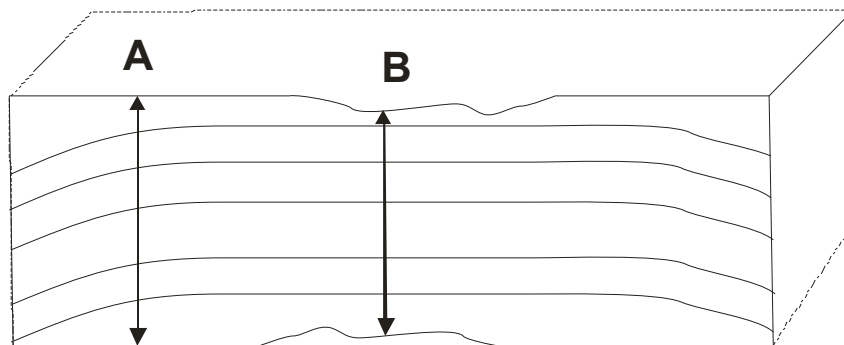


FIGURA 6 – ESQUEMA DE MEDIÇÃO DO COLAPSO

FONTE: O autor (2009)

NOTA: A – ESPESSURA INICIAL; B – MAIOR SEVERIDADE DO COLAPSO

O grau de deformação do colapso foi calculado de acordo com a EQUAÇÃO 12.

$$G = A - B \quad (12)$$

onde:

G = grau de deformação do colapso (mm);

A = espessura inicial média (mm);

B = ponto de maior colapso ou menor espessura (mm).

A incidência de defeitos do ensaio de taxa de secagem foi transformada em escores, de acordo com os QUADROS 3, 4 e 5. Esta metodologia de avaliação foi adaptada de Brandão (1989).

Escore	Descrição
1	Ausência de rachaduras de superfície
2	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 0,50 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
3	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 0,50 mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
4	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
5	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
6	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,50 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
7	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 1,50mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
8	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura e com <b>ATÉ 50%</b> do comprimento da peça;
9	Presença de rachaduras na seção longitudinal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura, porém <b>SUPERIORES a 50%</b> do comprimento da peça;
10	Presença de rachaduras na seção longitudinal, <b>SUPERIORES 2,00 mm</b> de largura e <b>SUPERIORES A 50%</b> do comprimento da peça.

QUADRO 3 – SISTEMA DE ESCORES PARA AVALIAR AS RACHADURAS DE SUPERFÍCIE

FONTE: Adaptado de Brandão (1989)

Escore	Descrição
1	Ausência de rachaduras internas
2	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
3	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 1,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
4	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
5	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 2,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
6	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 3,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
7	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 3,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
8	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 4,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
9	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 4,00 mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça;
10	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 5,00 mm</b> de largura, atingindo <b>ATÉ 50%</b> da espessura da peça;
11	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 5,00mm</b>
12	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>ATÉ 6,00mm</b>
13	Presença de rachaduras na seção transversal, com <b>MAIS DE 6,00mm</b> de largura, atingindo <b>MAIS DE 50%</b> da espessura da peça.

QUADRO 4 – SISTEMA DE ESCORES PARA AVALIAR AS RACHADURAS DE TOPO E RACHADURAS INTERNAS

FONTE: Adaptado de Brandão (1989)

<b>Escore</b>	<b>Grau de deformação do colapso (mm)</b>
1	0 – 1,00
2	1,01 – 2,00
3	2,01 – 3,00
4	3,01 – 4,00
5	4,01 – 5,00
6	5,01 – 6,00
7	6,01 – 7,00

QUADRO 5 – SISTEMA DE ESCORES PARA AVALIAR O GRAU DE DEFORMAÇÃO DO COLAPSO

FONTE: Adaptado de Brandão (1989)

### 3.3 SECAGEM EM CÂMARA CONVENCIONAL PILOTO

#### 3.3.1 Equipamento utilizado

Neste trabalho utilizou-se uma câmara de secagem piloto convencional da marca Kiefer, fabricada em 1977. A câmara possui sistema de aquecimento por serpentinas elétricas e sistema de umidificação abastecido por uma caldeira elétrica. O sistema de circulação de ar é composto por um ventilador com motor elétrico de 2 CV e dois *dampers*; um de entrada e outro de saída de ar. A câmara possui um sistema de gerenciamento automatizado por *software* específico, controlado por um microcomputador, que permite monitorar, controlar e modificar todas as variáveis relevantes da secagem (temperatura de bulbo úmido e seco, UR%, perda de umidade da carga, etc.) através de uma interface dinâmica.

O controle da perda de umidade da carga foi realizado por oito pares de pinos sensores (quatro curtos e quatro longos) que operam de acordo com o método resistivo.



### 3.3.2 Preparo das tábuas

As tábuas utilizadas para secagem convencional em câmara piloto foram preparadas à semelhança dos corpos-de-prova de taxa de secagem, diferindo quanto ao tamanho (FIGURA 3), nas quais também foram confeccionados corpos-de-prova para a determinação da umidade inicial da carga, de acordo com a EQUAÇÃO 5. A carga de secagem possuía as seguintes dimensões aproximadas: 74,5 cm de comprimento, 50 cm de altura e 120 cm de largura. Sobre a carga foram colocadas placas de concreto distribuídas homogeneamente, totalizando cerca de 250 kg.

### 3.3.3 Empilhamento da madeira

A carga de secagem foi composta por nove tábuas de 74,5 cm de comprimento de cada clone, totalizando 81 tábuas. As tábuas foram dispostas aleatoriamente, de modo a haverem tábuas de todos os clones por todas as partes da pilha.

As tábuas foram empilhadas no sentido transversal ao fluxo de ar da câmara sobre um vagonete e separadas por espaçadores de 2,5 cm de seção e 150 cm de comprimento. A velocidade do ar pela pilha foi de cerca de 2,0 m/s.

### 3.3.4 Programa de secagem

A revisão bibliográfica sobre as características anatômicas das espécies, juntamente com a avaliação da taxa de secagem e das propriedades físicas foram tomadas como base para o desenvolvimento do programa de secagem deste trabalho, que se baseou na espécie de secagem mais difícil, como será explicado, mais adiante, na seção dos resultados e discussão. Os nove clones foram secos conjuntamente, para que fossem submetidos às mesmas condições de secagem e, assim, permitisse uma avaliação igualitária da qualidade dos mesmos.

De acordo com os resultados obtidos foi proposto o programa de secagem mostrado no QUADRO 6, que foi utilizado nas três cargas de secagem. As cargas foram secas até a umidade final de 10%.

Umidade da madeira (%)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)	Umidade de equilíbrio (%)	Tempo (h)	Potencial de secagem
	Bulbo seco	Bulbo úmido				
Aquecimento	40	40	100	-	3	-
45	40	38	88	18	-	2,5
35	44	41	84	16	-	2,2
31	46	42	78	14	-	2,2
28	50	45	77	14	-	2,0
25	54	48	71	12	-	2,1
20	58	49	64	10	-	2,0
17	60	49	55	8	-	2,1
15	62	49	48	7	-	2,1
12	66	51	46	6	-	2,0
10	66	47	35	5	-	2,0
Uniformização-10	64	56	66	10	8	-
Condicionamento-10	62	56	73	12	8	-
Resfriamento-10	44	35	55	9	4	-

QUADRO 6 – PROGRAMA DE SECAGEM

FONTE: O autor (2009)

### 3.4 AVALIAÇÃO DA SECAGEM

A avaliação da secagem em câmara convencional foi feita de acordo com a ocorrência de defeitos, umidade final, gradiente de umidade, presença de tensões de secagem e perda de volume. Estas avaliações foram feitas após 24 horas do término da fase de resfriamento das cargas de secagem, segundo recomendação de Galvão e Jankowsky (1985).

### 3.4.1 Defeitos

Os defeitos avaliados foram: rachaduras de superfície, rachaduras de topo, encanoamento e colapso, dentro das categorias presente ou ausente, utilizando-se 100% das tábuas. Não se avaliou os demais tipos de empenamentos devido ao comprimento reduzido das tábuas.

### 3.4.2 Umidade final, gradiente de umidade e tensões de secagem

Para a avaliação da umidade final, gradiente de umidade e tensões de secagem utilizou-se a metodologia proposta por Galvão e Jankowsky (1985), de acordo com a FIGURA 7. Para essa avaliação utilizou-se 1/3 das tábuas.

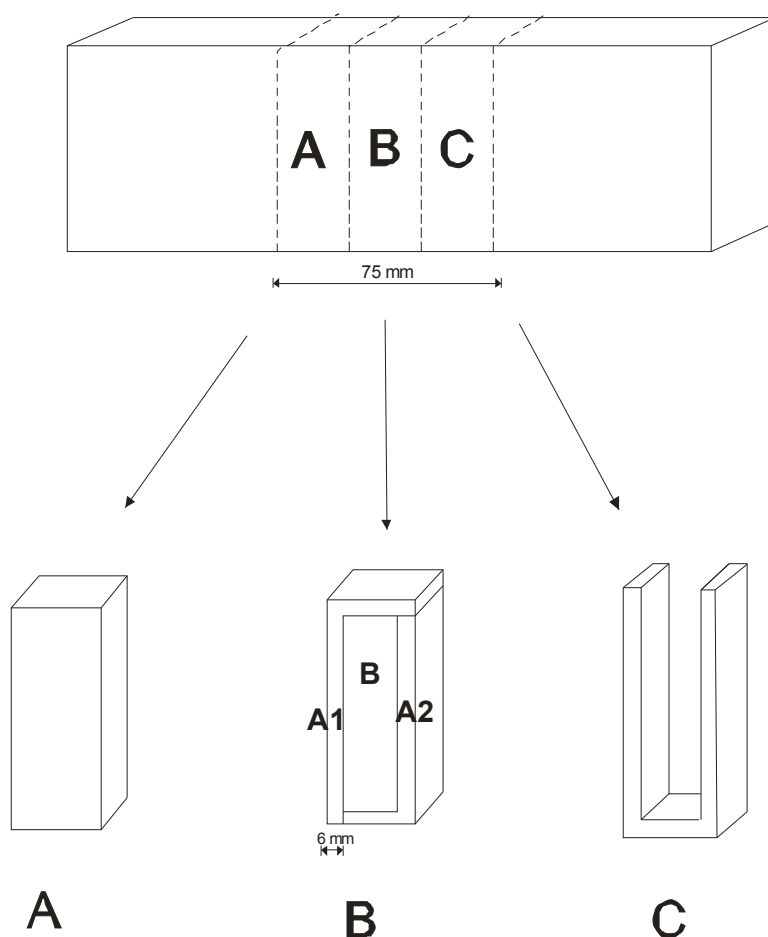


FIGURA 7 – AVALIAÇÃO DA SECAGEM

FONTE: Modificado de GALVÃO; JANKOWSKY (1985)

De cada tábua avaliada cortaram-se três corpos-de-prova A, B e C, com 25 mm cada. A peça A foi utilizada para a determinação da umidade final, de acordo com a EQUAÇÃO 5.

A peça B foi utilizada para a avaliação do gradiente de umidade. Para tal, foi reserrada em três corpos-de-prova. Os corpos-de-prova A1 e A2 foram utilizados para a determinação da umidade da superfície das tábuas, enquanto o B foi utilizado para a determinação da umidade no centro das mesmas, de acordo com a EQUAÇÃO 5. Calcularam-se dois gradientes de umidade, entre o corpo de prova B e A1 e entre B e A2, de acordo com as EQUAÇÕES 13 e 14.

$$G1 = UB - UA1 \quad (13)$$

$$G2 = UB - UA2 \quad (14)$$

onde:

G1 – gradiente de umidade 1 (%);

G2 – gradiente de umidade 2 (%);

UB – umidade no interior da tábua (%);

UA1 – umidade na superfície 1 da tábua (%);

UA2 – umidade na superfície 2 da tábua (%).

A peça C foi utilizada para a avaliação da presença de tensões de secagem (ou teste do “garfo”), de acordo com o teste do garfo. Na FIGURA 8 encontra-se o modelo da avaliação deste teste. Desta forma, as tábuas foram classificadas em tensionada, livre de tensões e com tensões invertidas.

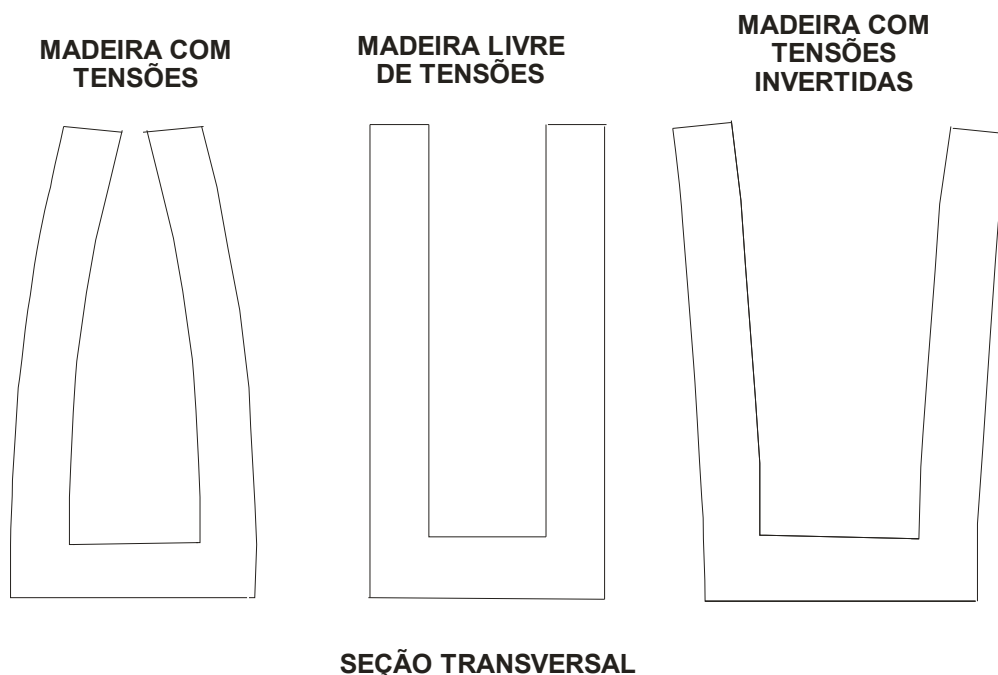


FIGURA 8 – TESTE DE TENSÕES DE SECAGEM (TESTE DO “GARFO”)  
 FONTE: Modificado de GALVÃO; JANKOWSKY, 1985.

### 3.4.3 Perda de volume

Antes do preparo da carga de secagem, mediu-se o volume de 1/3 das tábuas (volume verde), com paquímetro digital (0,01 mm de precisão) e trena (1 mm de precisão) à semelhança da FIGURA 4. Repetiu-se a medição do volume das tábuas depois de secas (volume a 10%) e depois de aplainadas (volume aplainado).

Desta maneira, foram avaliados três tipos de perda de volume:

- a) Perda total – razão entre o volume aplainado e o volume verde, de acordo com a EQUAÇÃO 15;
- b) Perda de secagem (contração) – razão entre o volume seco a 10% e o volume verde, de acordo com a EQUAÇÃO 16;
- c) Perda de usinagem – razão entre o volume aplainado e o volume seco a 10%, de acordo com a EQUAÇÃO 17.

$$PT = [(\sum VA_n) / (\sum VV_n)] \times 100 \quad (15)$$

$$PS = [(\sum VS_n) / (\sum VV_n)] \times 100 \quad (16)$$

$$PU = [(\sum VA_n) / (\sum VS_n)] \times 100 \quad (17)$$

onde:

PT – perda total de volume (%);

PS – perda de volume na secagem (%);

PU – perda de volume na usinagem (%);

$\sum VA_n$  – somatório do volume total aplainado de cada tábua (m<sup>3</sup>);

$\sum VV_n$  – somatório do volume total verde de cada tábua (m<sup>3</sup>);

$\sum VS_n$  – somatório do volume total seco a 10% de cada tábua (m<sup>3</sup>).

#### 3.4.4 Incidência de defeitos e tempo de secagem

Nos QUADROS 7 e 8 encontram-se os critérios utilizados para comparar a secagem realizada neste trabalho quanto à incidência de defeitos e duração do tempo de secagem, respectivamente.

<b>Amostras que apresentaram defeitos (%)</b>	<b>Classificação</b>
0-10	AUSENTE
11-30	PEQUENA
31-50	MODERADA
51-100	GRANDE

QUADRO 7 - CRITÉRIO UTILIZADO PARA A CLASSIFICAÇÃO DA INCIDÊNCIA DE DEFEITOS DE SECAGEM

FONTE: Martins (1984) *APUD* Brandão (1989).

<b>Tempo de secagem (dias)</b>	<b>Classificação</b>
Menos de 4	Muito rápida
4 – 8	Rápida
8,1 – 12	Moderadamente rápida
12,1 – 16	Moderadamente lenta
16,1 – 20	Lenta
Mais de 20	Muito lenta

QUADRO 8 - CRITÉRIO UTILIZADO PARA A CLASSIFICAÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM EM PROCESSO CONVENCIONAL

FONTE: Brasil, 1981<sup>8</sup> APUD Brandão (1989)

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

#### 3.5.1 Dados discretos

Os escores de defeitos do ensaio de taxa de secagem (QUADROS 3 a 5) e do número de tábuas com defeitos na secagem em câmara (que são contagens) foram avaliados de acordo com o teste não-paramétrico H de Kruskal-Wallis, em nível de significância de 5%. Este teste fornece um método não-paramétrico para a análise de variância (ANOVA) para classificação de um critério ou experimentos com um fator, podendo-se fazer generalizações (SPIEGEL, 1994). Os testes não-paramétricos são aplicados a dados discretos, como escores e contagens em geral. Os testes não-paramétricos foram analisados no *software* Microsoft Excel 2003.

#### 3.5.2 Dados contínuos

Os resultados de umidade inicial e final, gradiente de umidade, retratibilidade e densidade básica, que geraram dados contínuos, foram avaliados de acordo com a ANOVA a 5% de significância. As análises foram feitas comparando-se as espécies entre si e os clones dentro de uma mesma espécie. Onde a hipótese da nulidade (H0) foi rejeitada, aplicou-se o teste de

<sup>8</sup> BRASIL. Superintendência de desenvolvimento da Amazônia. Estudos sobre métodos de secagem de madeiras da Amazônia. Belém, SUDAM, 1981. 18 p.

Tukey (5%) para diferenciação das médias. Estes resultados foram analisados no *software* Statgraphics Plus.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS POR ESPÉCIE

Na TABELA 1 encontram-se as médias de densidade básica, coeficiente de anisotropia de contração e contrações máximas radial ( $\beta_r$ ), tangencial ( $\beta_t$ ) e volumétrica ( $\beta_v$ ) das três espécies.

TABELA 1 – MÉDIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS POR ESPÉCIE

Espécie	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Coeficiente de anisotropia de contração	(%)		
			$\beta_r$	$\beta_t$	$\beta_v$
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,46 a	2,06 a	5,03 b	9,86 b	15,17 b
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,45 a	2,05 a	4,60 a	9,25 a	14,10 a
<i>Eucalyptus dunnii</i>	0,56 b	2,36 b	5,70 c	12,74 c	18,71 c

FONTE: O autor (2009)

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

O *E. grandis* apresentou a menor densidade básica média, com 0,45 g/cm<sup>3</sup>, porém não diferindo estatisticamente do *E. saligna* com 0,46 g/cm<sup>3</sup>; enquanto o *E. dunnii* obteve a maior média com 0,56 g/cm<sup>3</sup>, diferindo estatisticamente das demais espécies.

A densidade básica média das três espécies encontra-se de acordo com proposto por outros autores que estudaram essas espécies (TOMAZELLO FILHO, 1985; SEVERO, 1998; PEREIRA *et al.*, 2000).

A contração máxima das espécies obedeceu ao proposto por Newlin (1919)<sup>9</sup> *apud* Kollmann e Côté Junior (1968), a qual se correlaciona diretamente com a densidade básica. De acordo com Kollmann e Côté Jr.

<sup>9</sup> Newlin, J.A. The relation of the shrinkage and strength properties of wood to its specific gravity. U.S. Dep. Agr. Bull. N°676, Washington, D.C.

(1968) o coeficiente de anisotropia de contração também é dependente da densidade, porém com ação contrária à contração máxima. Isso significa que em madeiras de maior densidade a diferença entre a contração tangencial e a radial torna-se menor, levando a menores valores de coeficiente de anisotropia de contração.

Para que uma espécie seja considerada estável ela deve apresentar baixos valores absolutos de contração máxima e coeficiente de anisotropia de contração. Assim, as espécies foram consideradas dimensionalmente instáveis.

A madeira de *E.grandis* foi a mais estável e o *E.dunnii* foi a mais instável dimensionalmente, enquanto o *E.saligna* assemelhou-se mais ao *E.grandis*.

Os resultados das propriedades físicas indicam que na secagem em câmara convencional o *E.dunnii* seja a espécie mais propensa a defeitos, em contraposição ao *E.grandis*, seguido pelo *E.saligna*.

#### 4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CLONES POR ESPÉCIE

Na TABELA 2 encontram-se as médias de densidade básica, coeficiente de anisotropia de contração e contrações máximas radial ( $\beta_r$ ), tangencial ( $\beta_t$ ) e volumétrica ( $\beta_v$ ) dos clones das três espécies.

TABELA 2 – MÉDIA DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS CLONES POR ESPÉCIE

Espécie	Clone	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	Coeficiente de anisotropia de contração	(%)		
				$\beta_r$	$\beta_t$	$\beta_v$
<i>E.saligna</i>	1	0,42 a	1,83 a	4,51 a	8,16 a	12,92 a
	2	0,44 a	2,21 c	4,55 a	9,53 b	14,35 b
	3	0,50 b	2,02 b	5,79 b	11,08 c	17,15 c
<i>E.grandis</i>	1	0,40 a	1,95a	4,37 a	8,48 a	13,07 a
	2	0,45 b	1,90 a	4,67 a	8,74 a	13,65 a
	3	0,55 c	2,25 b	4,65 a	10,15 b	15,06 b
<i>E.dunnii</i>	1	0,51 a	2,67 c	5,30 a	13,44 b	19,02 b
	2	0,62 b	2,08 a	6,59 b	13,14 b	20,00 b
	3	0,52 a	2,49 b	4,98 a	11,97 a	17,18 a

FONTE: O autor (2009)

NOTA: Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, para uma mesma espécie, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

Dentre os clones de *E.saligna* o clone 1 foi o mais estável por apresentar as menores médias de coeficientes de anisotropia de contração e contrações máximas. O clone 3, que foi considerado o mais instável dimensionalmente e espera-se que este apresente mais defeitos de secagem.

Dentre os clones de *E.grandis* os clones 1 e 2 foram os mais estáveis dimensionalmente porque suas médias de contração máxima e coeficiente de anisotropia de contração não diferiram estatisticamente. O clone 3 foi o mais instável dimensionalmente e espera-se que este apresente mais defeitos de secagem.

Para o *E.dunnii*, o clone 3 foi considerado o mais estável dimensionalmente e espera-se que este clone apresente menos defeitos de secagem que os demais.

### 4.3 TAXA DE SECAGEM POR ESPÉCIE

Na TABELA 3 encontram-se os resultados médios de taxa de secagem por espécie.

TABELA 3 – TAXA DE SECAGEM MÉDIA POR ESPÉCIE

<b>Espécies</b>	<b>Umidade Inicial (%)</b>	<b>Verde-30% (g/cm<sup>2</sup>.h)</b>	<b>Verde-5% (g/cm<sup>2</sup>.h)</b>	<b>30%-5% (g/cm<sup>2</sup>.h)</b>
<i>E. saligna</i>	63,49	0,0332	0,0191	0,0131
<i>E. grandis</i>	79,91	0,0313	0,0198	0,0116
<i>E. dunnii</i>	55,11	0,0332	0,0160	0,0114

FONTE: O autor (2009)  
UI – UMIDADE INICIAL

A natureza dos resultados obtidos no ensaio de taxa de secagem (valores pequenos com coeficiente de variação elevado) inviabilizou a aplicação de testes estatísticos para diferenciação de médias, uma vez que as médias não difeririam estatisticamente. A discussão de tais resultados foi feita em termos de médias absolutas. Este mesmo procedimento foi adotado por outros autores que estudaram taxa de secagem (BRANDÃO, 1989; CINIGLIO, 1998; ANDRADE; JANKOWSKY; DUCATTI, 2003; BARBOSA *et al.*, 2005).

Deve-se ressaltar, no entanto, que uma carga de 50 m<sup>3</sup> composta por tábuas de 30 x 150 x 3000 mm, com uma taxa de secagem de 0,035 g/cm<sup>2</sup>.h corresponderia à remoção de 1410 kg de água por hora; enquanto outra com as mesmas características, mas com taxa de secagem de 0,030 g/cm<sup>2</sup>.h corresponderia à secagem de 1208 kg de água por hora. Taxas aparentemente similares resultam, na prática, em resultados diferentes e relevantes.

Os resultados da taxa de secagem encontram-se em concordância com aqueles obtidos por Ciniglio (1998) e Andrade, Jankowsky e Ducatti (2001).

Como se tratam de espécies do gênero *Eucalyptus* a permeabilidade foi considerada igual para as três espécies, uma vez que as três apresentam as mesmas características anatômicas de pontoações de pequenos diâmetros e

vasos obstruídos por tiloses (ALFONSO, 1987; SIAU, 1995; SANTOS; JANKOWSKY; ANDRADE, 2003). Nesse caso, espera-se que a densidade e a umidade inicial sejam os fatores mais relevantes na taxa de secagem (HART; DARWIN JUNIOR, 1971<sup>10</sup> *apud* MUÑIZ, 1993).

O *E.saligna* e o *E.grandis* apresentaram densidades básicas médias estatisticamente iguais (TABELA 1), supondo-se que a umidade inicial média controlasse a taxa de secagem destas espécies. No entanto, o *E.saligna* apresentou menor umidade inicial média e taxa na fase capilar superior ao *E.grandis*, com 0,0332 g/cm<sup>2</sup>.h contra 0,0313 g/cm<sup>2</sup>.h.

O *E.dunnii* apresentou taxa de secagem capilar igual ao *E.saligna*, com 0,0332 g/cm<sup>2</sup>.h, contrariando o efeito da umidade inicial e da densidade básica. No entanto, o *E.dunnii* apresentou as menores taxas de secagem de verde a 5% e de 30% a 5%, confirmando o pressuposto por Hart e Darwin Jr. (1971) *apud* Muñiz (1993), os quais relatam que maiores densidades dificultam a difusão abaixo do ponto de saturação das fibras.

Wiley e Choong (1975)<sup>11</sup> *apud* Tomaselli (1977) afirmam que o gradiente de umidade acima do ponto de saturação das fibras é um fenômeno de explicação muito difícil, por envolver um grande número de fatores e variáveis que podem acrescentar fontes de erro não explicáveis em resultados experimentais.

Os resultados de taxa de secagem apontam para maior facilidade de secagem das espécies *E.saligna* e *E.grandis*, e maior dificuldade de secagem do *E.dunnii*.

#### 4.4 TAXA DE SECAGEM DOS CLONES POR ESPÉCIE

Na TABELA 4 encontram-se os resultados médios da taxa de secagem dos clones por espécie.

---

<sup>10</sup> HART, C.A; DARWIN JR., W.M. The slow drying rate of white oak. **Wood Science**, v.4, n.1, p.46-54, 1971.

<sup>11</sup> Wiley, A.T.; Choong, E.T. An analysis of free water flow during drying softwoods. **Wood Science**, v. 7, n. 4, p. 310-318, 1975.

TABELA 4 – TAXA DE SECAGEM MÉDIA DOS CLONES POR ESPÉCIE

Espécie	Clone	Umidade Inicial (%)	Verde-30% (g/cm <sup>2</sup> .h)	Verde-5% (g/cm <sup>2</sup> .h)	30%-5% (g/cm <sup>2</sup> .h)
<i>E.saligna</i>	1	55,87	0,0338	0,0186	0,0135
	2	63,91	0,0336	0,0207	0,0150
	3	70,70	0,0316	0,0178	0,0101
<i>E.grandis</i>	1	90,66	0,0340	0,0234	0,0128
	2	57,09	0,0306	0,0179	0,0123
	3	91,98	0,0288	0,0175	0,0096
<i>E.dunnii</i>	1	61,32	0,0381	0,0178	0,0122
	2	45,78	0,0329	0,0156	0,0117
	3	58,22	0,0294	0,0148	0,0105

FONTE: O autor (2009)

Para o *E.saligna*, o clone 1 apresentou a maior taxa de secagem capilar, porém o clone 2 apresentou as maiores taxas nas fases higroscópica e de verde a 5%. Uma vez que a água de capilaridade necessita de menos energia para ser retirada da madeira, espera-se que o clone 2 tenha maior facilidade de secagem do que o clone 1. Nota-se que as densidades básicas destes dois clones não diferiram estatisticamente (TABELA 2), sendo as menores para esta espécie. O clone 3, porém, apresentou a maior densidade básica (diferente estatisticamente), o que o levou a apresentar as menores médias de taxa de secagem. Isso indica que este clone possa ser o de maior dificuldade de secagem para essa espécie.

Dentre os clones de *E.grandis*, o 1 apresentou as maiores médias de taxa de secagem, favorecido pela menor densidade básica média (0,40 g/cm<sup>3</sup>). Estes resultados apontam para uma maior facilidade de secagem deste clone. Em contraposição, o clone 3 apresentou as menores médias de taxa de secagem. Nota-se que mesmo possuindo a maior umidade inicial média, a taxa de secagem capilar foi a menor, indicando que a permeabilidade desse clone seja menor, supondo-se maior dificuldade de secagem. A maior densidade básica deste clone (0,55 g/cm<sup>3</sup>) reforça estas suposições.

O clone 1 do *E. dunnii* apresentou as maiores médias de taxa de secagem, facilitado pela maior umidade inicial média e pela menor densidade

básica média (0,51 g/cm<sup>3</sup>). O clone 3, apesar de possuir maior umidade inicial média e menor densidade básica média (0,53 g/cm<sup>3</sup>) que o clone 2 (0,62 g/cm<sup>3</sup>), apresentou as menores médias de taxa de secagem desta espécie. Tais resultados sugerem que o clone 3 clone tenha menor permeabilidade, devido a problemas de pontoações oclusas ou incrustadas e tiloses, supondo-se uma maior dificuldade de secagem deste clone.

Pode-se observar na TABELA 4 que para as três espécies o clone 3 foi o que apresentou os menores valores de taxa de secagem, indicando que estes clones sejam de maior dificuldade na secagem convencional. Para o *E.grandis* e *E.dunnii* o clone 1 apresentou as maiores taxas de secagem, enquanto para o *E.saligna* foi o clone 2.

#### 4.5 ESCORE DE DEFEITOS NO ENSAIO DE TAXA DE SECAGEM POR ESPÉCIE

Na FIGURA 9 encontram-se os resultados do escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem por espécie.

O *E.dunnii* foi a espécie com maior propensão a defeitos, seguido por *E.saligna* e *E.grandis*. No entanto, a diferença entre estas duas últimas espécies foi menos acentuada quando comparada ao *E.dunnii*. De acordo com o teste H (18,70\*) rejeita-se a hipótese da não existência de diferença entre as espécies.

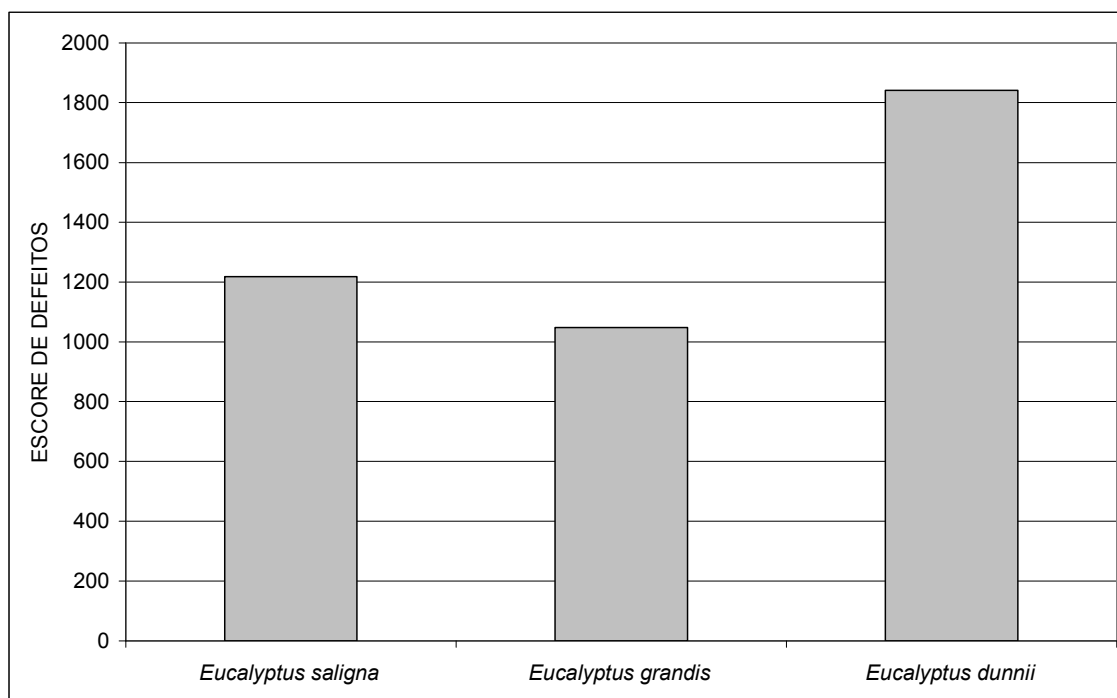


FIGURA 9 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE ESPÉCIES

FONTE: O autor (2009)

A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se na hipótese de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a secagens drásticas, apresentarão comportamento proporcional à expectativa prevista para secagem convencional (TERAZAWA, 1968 APUD BRANDÃO, 1989; ANDRADE; JANKOWSKY; DUCATTI, 2001). Como as condições do ensaio foram iguais para as três espécies, a incidência de defeitos foi expressa como um fator inerente à espécie. Neste caso, a espécie *E.dunnii* foi considerada a mais propensa a defeitos, o que pôde ser comprovado estatisticamente pelo teste H a 5% de significância.

O escore de defeitos das espécies assumiu a mesma tendência dos resultados de retratibilidade (TABELA 1), no qual o *E.grandis*, a espécie mais estável apresentou o menor escore, enquanto o *E.dunnii*, que foi a espécie mais instável dimensionalmente, apresentou o maior escore. O *E.saligna* mostrou-se intermediário às outras duas espécies quanto à incidência de defeitos, porém, tendendo ao *E.grandis*.

Esta análise preliminar indica que o *E.dunnii*, provavelmente, apresentará maior dificuldade na secagem convencional, concordando com os baixos valores de taxa de secagem (TABELA 3).



## 4.6 ESCORE DE DEFEITOS NO ENSAIO DE TAXA DE SECAGEM DOS CLONES POR ESPÉCIE

### 4.6.1 *Eucalyptus saligna*

Na FIGURA 10 encontram-se os resultados do escore de defeitos no ensaio de taxa de secagem por clone de *E.saligna*.

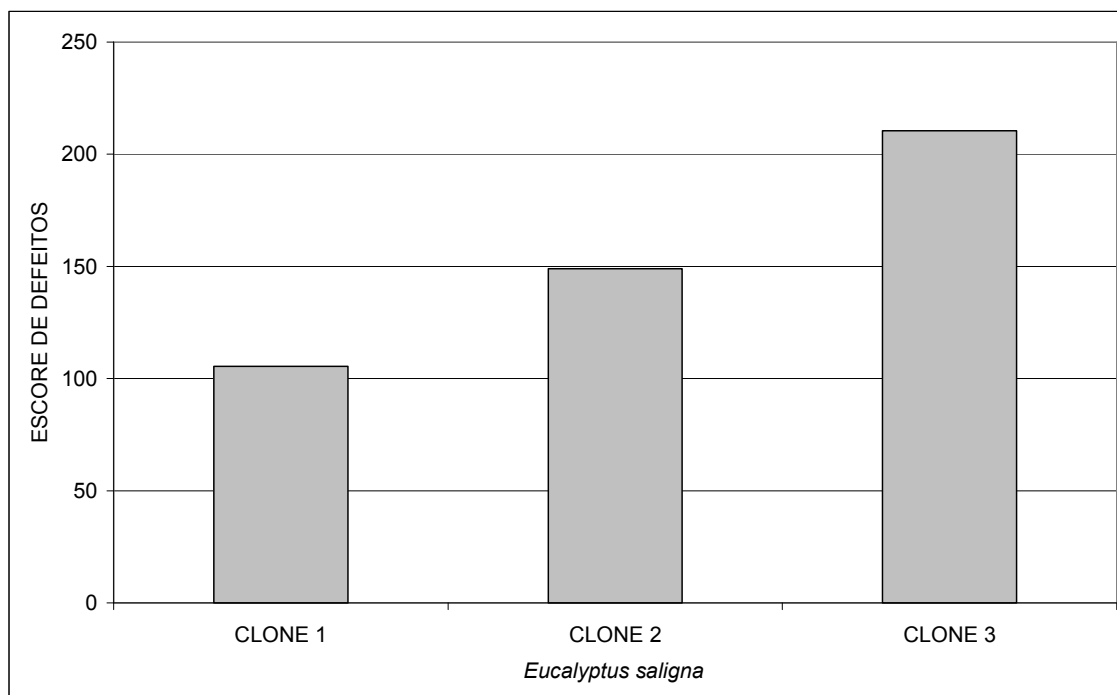


FIGURA 10 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE OS CLONES DE *Eucalyptus saligna*

FONTE: O autor (2009)

Observa-se a tendência crescente da propensão de defeitos entre os clones de *E.saligna*, no qual o clone 1 apresentou menos defeitos, seguido pelos clones 2 e 3. De acordo com o teste H (7,18\*), rejeitou-se a hipótese da não existência de diferença entre os tratamentos, no qual o clone 3 foi mais propenso a defeitos, provavelmente devido aos menores valores de taxa de secagem (TABELA 4).

O escore de defeitos dos clones de *E.saligna* assumiu a mesma tendência dos resultados de retratibilidade, no qual o clone 1, que foi o mais estável, apresentou o menor escore, enquanto o clone 3, que foi o mais instável dimensionalmente, apresentou o maior escore.

#### 4.6.2 *Eucalyptus grandis*

Na FIGURA 11 encontram-se os resultados do escore de defeitos por clone de *E. grandis*.

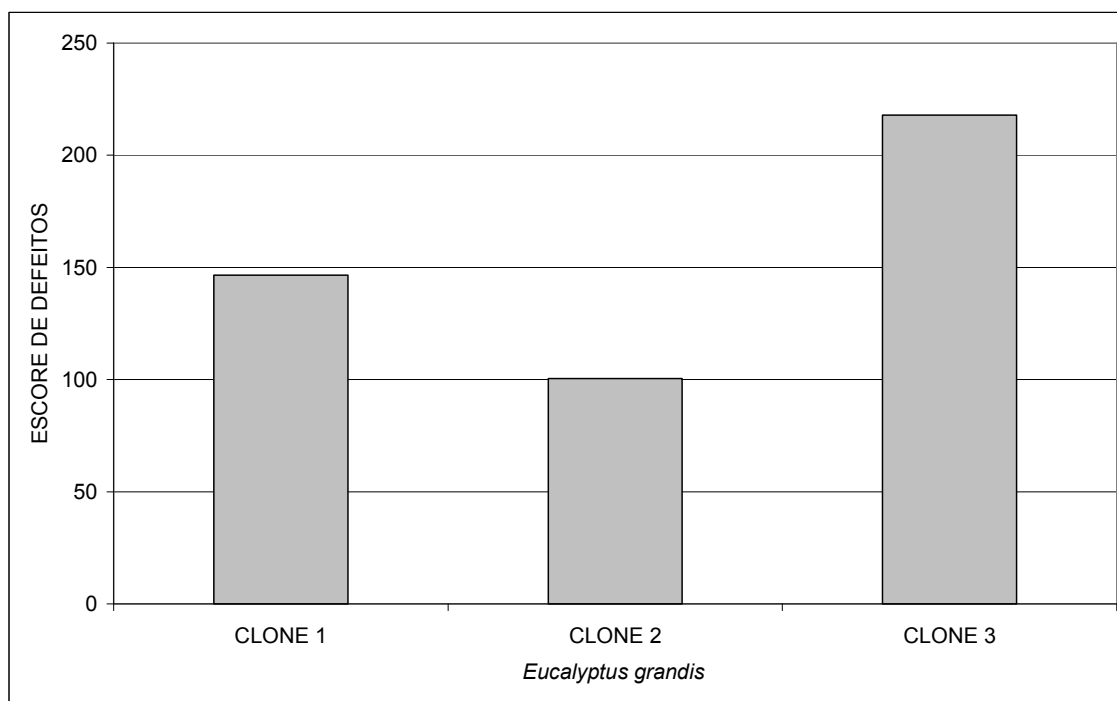


FIGURA 11 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE OS CLONES DE *Eucalyptus grandis*

FONTE: O autor (2009)

O clone 2 apresentou a menor propensão a defeitos, seguido pelos clones 1 e 3. De acordo com o teste H (9,05\*), rejeitou-se a hipótese da não existência de diferença entre os tratamentos, sugerindo que o clone 3 seja o mais propenso a defeitos de secagem, provavelmente devido aos menores valores de taxa de secagem (TABELA 4).

O escore de defeitos dos clones de *E. grandis* acompanhou a tendência dos resultados de reprodutibilidade, no qual o clone 3, que foi o mais instável dimensionalmente, apresentou o maior escore.

#### 4.6.3 *Eucalyptus dunnii*

Na FIGURA 12 encontram-se os resultados do escore de defeitos no ensaio de taxa de secagem por clone de *E. dunnii*.

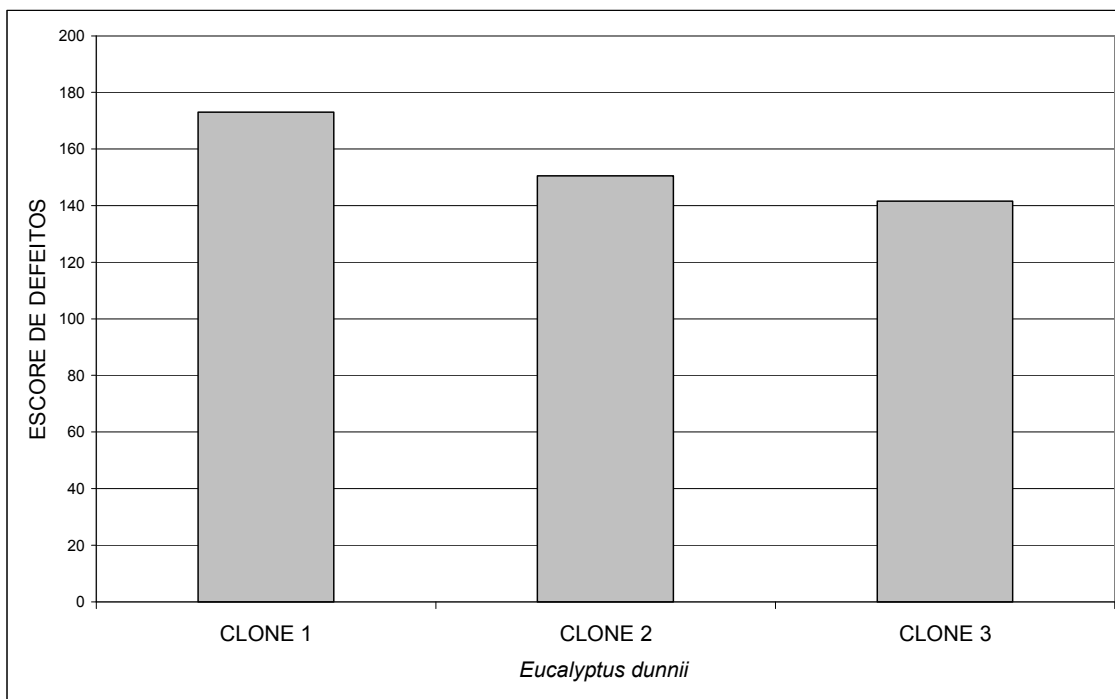


FIGURA 12 – ESCORE DE DEFEITOS ENTRE OS CLONES DE *Eucalyptus dunnii*

FONTE: O autor (2009)

Nota-se a tendência decrescente a propensão a defeitos dos clones de *E. dunnii*, no qual o clone 1 apresentou o maior escore de defeitos, seguido pelos clones 2 e 3. O teste H (0,68<sup>NS</sup>), porém, revelou não haver diferença estatisticamente significativa entre os clones.

Somente os clones de *E. dunnii* apresentaram uma tendência clara entre a taxa de secagem e o escore de defeitos, no qual o clone 1 apresentou as maiores taxas e escore de defeitos, em contraposição ao clone 3, com as menores taxas de secagem e escore de defeitos.

O clone 3, que foi o mais estável dimensionalmente (TABELA 2), também apresentou o menor escore de defeitos absoluto, seguindo a mesma tendência das demais espécies.

#### 4.7 ELABORAÇÃO DO PROGRAMA DE SECAGEM

A elaboração do programa de secagem deste trabalho teve como base a avaliação dos resultados das propriedades físicas, da taxa de secagem e do escore de defeitos da taxa, uma vez que os nove clones seriam secos em uma mesma carga.

De uma maneira geral, quando se pretende a secagem conjunta de espécies diferentes, a tendência natural é agrupar as madeiras por densidades básicas semelhantes. A densidade básica isoladamente, no entanto, não é um bom parâmetro para o agrupamento de espécies para secagem (ANDRADE; JANKOWSKY; DUCATTI, 2001). Mesmo espécies de densidade básica semelhantes podem apresentar diferentes taxas de secagem, de acordo com a estrutura anatômica e a permeabilidade das mesmas (SIAU, 1995), fato que foi observado. Portanto, quanto mais informações sobre as características das espécies, melhor a tomada de decisões acerca da secagem conjunta.

Quanto às avaliações preliminares à secagem, o *Eucalyptus dunnii* foi a espécie com maior densidade básica, mais instável dimensionalmente, resultados diretamente relacionados com uma maior propensão a defeitos. A menor taxa de secagem também indica maior dificuldade de atingir a umidade final estabelecida pelo programa de secagem, quando comparada às demais espécies.

O programa de secagem utilizado foi baseado no *E.dunnii*, porque os resultados obtidos nas análises preliminares demonstraram que a espécie foi mais susceptível a defeitos, com menor permeabilidade e maior instabilidade dimensional. Este programa poderia ser mais acelerado para as espécies *E.grandis* e *E.saligna*, de acordo os resultados obtidos, o que poderia resultar em um tempo maior de secagem desnecessário para estas espécies. Em uma situação prática de secagem comercial poderiam ser desenvolvidos programas específicos para a secagem mais acelerada destas últimas duas espécies.

Desta forma, foi desenvolvido o programa de secagem deste trabalho, que se encontra no QUADRO 6 (vide pg. 34).

Para os clones de cada espécie foi feita uma interpretação semelhante dos resultados preliminares à secagem. Se fossem secos conjuntamente apenas clones de *E.saligna*, o programa de secagem deveria se basear no

clone 3; para o *E.grandis*, o programa também deveria se basear no clone 3, enquanto para o *E.dunnii* o programa de secagem deveria se basear no clone 1, por estes serem os clones por espécie que se espera maior dificuldade de secagem, associada a maior incidência de defeitos.

#### 4.8 AVALIAÇÃO DA SECAGEM

##### 4.8.1 Cargas de secagem

Na TABELA 5 encontram-se os resultados referentes às três cargas de secagem.

TABELA 5 – RESULTADOS DAS CARGAS DE SECAGEM

<b>Carga</b>	<b>Duração (h)</b>	<b>Umidade inicial média (%)</b>	<b>Umidade final média (%)</b>	<b>Taxa de secagem Média (%/h)</b>
1	429	65	10	0,12
2	446	71	10	0,14
3	485	86	10	0,16
MÉDIA	453,3	74	10	0,14

FONTE: O autor (2009)

As umidades inicial e final médias correspondem à média dos oito pares de pinos sensores (quatro curtos e quatro longos), fornecida pelo *software* de controle de secagem.

A duração média da secagem convencional em câmara piloto foi de 453,3 horas, correspondente a 18,9 dias. De acordo com Brasil (1981) *apud* Brandão (1989) a duração da secagem foi classificada como lenta, o que já era esperado dado ao conhecimento da dificuldade de secagem da madeira de *Eucalyptus*.

No trabalho de Ciniglio (1998) a secagem de tábuas de 25 mm de *E.grandis* e *E.urophylla* levou 25 dias e 22 dias, respectivamente. Jankowsky,

Santos e Baltieri (2000)<sup>12</sup> *apud* Jankowsky, Santos e Andrade (2003) secaram madeira de *E.grandis* de 40 mm por 77 dias ao ar, seguidos de mais 15 dias de secagem convencional. Desta maneira, a duração da secagem deste trabalho foi inferior a obtida por outros autores.

Nota-se pequena variação entre a taxa de secagem média, indicando um comportamento similar da secagem entre as cargas. A carga 3, de maior umidade inicial média, apresentou a maior taxa média influenciada pela retirada de mais massa de água na fase capilar. A taxa de secagem média de 0,14 %/h foi similar aos 0,15 %/h obtido por Santos, Jankowsky e Andrade (2003) para a madeira de *Eucalyptus grandis*, reafirmando a dificuldade de secagem da madeira de *Eucalyptus*.

#### 4.8.2 Umidade inicial e final por espécie

Os valores médios de umidade inicial e final são apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 – UMIDADES MÉDIAS INICIAL E FINAL POR ESPÉCIE

Espécie	Umidades Médias Inicial e Final (%)			
	Umidade inicial	Coefficiente de variação	Umidade final	Coefficiente de variação
<i>Eucalyptus saligna</i>	79,40 a	24,98	10,08 a	9,59
<i>Eucalyptus grandis</i>	77,36 a	25,64	9,96 a	10,84
<i>Eucalyptus dunnii</i>	76,45 a	21,30	11,45 b	17,07

FONTE: O autor (2009)

NOTA - Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

<sup>12</sup> JANKOWSKY, I.P.; SANTOS, G.R.V.; BALTIERI, G. Projeto de pesquisa cooperativa: avaliação comparativa da secagem da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. In: WORKSHOP SOBRE SECAGEM DE MADEIRA SERRADA, 3, Piracicaba, 2000. Apresentação oral. Piracicaba: ESALQ/LCF/IPEF, 2000.

A homogeneidade da umidade inicial da carga, ao menos por espécie, foi uma variável favorável para a secagem em câmara convencional, uma vez que tábuas mais úmidas requerem, de maneira geral, maior tempo de secagem. Assim, a taxa de secagem em câmara convencional foi regulada pelos fatores intrínsecos a cada espécie, uma vez que as condições de umidade inicial não diferiram, bem como as condições de secagem referentes ao equipamento.

A espécie *E.saligna* apresentou a maior umidade inicial média, seguida por *E.grandis* e *E.dunnii*, porém não diferiram estatisticamente. Esperava-se que o *E.dunnii* apresentasse a menor umidade inicial devido a sua maior densidade básica, o que ocorreu na prática. Os resultados de umidade inicial por espécie foram inferiores aos obtidos por outros autores, (CINIGLIO, 1998; SEVERO, 1998; ROCHA, 2000), porém não interferiu na condução do experimento devido a ainda apresentarem suficiente quantidade de água de capilaridade, classificando a madeira como em estado verde.

O *E.grandis* foi a única espécie com umidade final média abaixo dos 10% propostos pelo programa de secagem, porém não diferiu do *E.saligna*. Os resultados das propriedades físicas e da taxa de secagem já apontavam para este resultado, comprovando a maior facilidade de secagem destas duas espécies.

Ciniglio (1998) obteve para as espécies *E.grandis* e *E.urophylla* umidade final média 2 pontos percentuais superior ao estipulado pelo programa de secagem, considerando este valor elevado, causado provavelmente por um período de uniformização insuficiente. O *E.dunnii* apresentou umidade final média 1,45 ponto percentual superior aos 10% propostos pelo programa de secagem, corroborando com a expectativa de maior dificuldade de secagem desta espécie devido a menor taxa de secagem, associada a maior densidade básica. Mesmo sendo a espécie de secagem mais difícil, o *E.dunnii* apresentou melhores resultados de umidade final do que aqueles obtidos por Ciniglio (1998).

Nota-se ainda que a diferença de umidade entre as tábuas de *E.dunnii* foi maior, devido ao maior coeficiente de variação (17,07%). O período de uniformização de 8 horas utilizado foi considerado insuficiente, devendo ser aumentado, principalmente para posteriores secagens de *E.dunnii*.

Esses resultados confirmam a importância do conhecimento das propriedades físicas e do comportamento na taxa de secagem de madeiras que se deseja secar, principalmente espécies de comportamento de secagem desconhecido.

#### 4.8.3 Umidade inicial e final dos clones por espécie

Na TABELA 7 encontram-se os resultados médios das umidades inicial e final das cargas de secagem dos clones por espécie.

TABELA 7 – UMIDADES MÉDIAS INICIAL E FINAL DOS CLONES POR ESPÉCIE

Espécie	Clone	(%)			
		Umidade inicial	Coefficiente de variação	Umidade final	Coefficiente de variação
<i>E.saligna</i>	1	69,71 a	26,31	9,97 a	11,25
	2	89,12 b	20,29	10,21 a	8,60
	3	78,98 ab	24,16	10,07 a	9,37
<i>E.grandis</i>	1	87,34 b	20,18	9,88 a	11,27
	2	59,36 a	27,61	9,63 a	5,73
	3	85,85 b	12,24	10,37 a	12,54
<i>E.dunnii</i>	1	66,47 a	21,66	10,40 a	21,52
	2	74,56 ab	18,65	12,11 a	15,20
	3	85,07 b	17,73	11,70 a	11,80

FONTE: O autor (2009)

NOTA - Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna, para uma mesma espécie, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

Para o *E.saligna*, as médias de umidade inicial foram inferiores aos 91,80% obtidos por Brandão (1989), que também estudou essa espécie.



As médias de umidade inicial dos clones de *E.grandis* ficaram compreendidas dentro do intervalo obtido por Ciniglio (1998), que apresentou umidade inicial entre 57,70% e 107,70%.

As médias de umidade inicial dos clones 1 e 2 do *E.dunnii* foram inferiores aos 78,37% e 85,20% obtidos por Rocha (2000) e Severo (1998), respectivamente. Somente o clone 3, que apresentou a maior média, apresentou resultados semelhantes aos referidos.

Os clones de *E.saligna* e *E.grandis* apresentaram médias de umidade final satisfatórias, atingindo os 10% propostos pelo programa de secagem. Os clones 2 e 3, que apresentaram maiores médias respectivamente para *E.saligna* e *E.grandis*, foram apenas 0,21 e 0,37 pontos percentuais superiores aos 10% propostos, porém não diferiram estatisticamente dos demais clones.

Todos os clones de *E.dunnii* apresentaram médias de umidade final superiores aos 10% propostos pelo programa de secagem. O clone 1 foi o que mais se aproximou daquele valor, superando em 0,40 pontos percentuais, confirmando os resultados do ensaio de taxa de secagem, que apontavam este clone como de maior facilidade de secagem. O clone 2 superou em 2,11 pontos percentuais a umidade final desejada, sendo pior que o clone 3 que, de acordo com o referido ensaio, teria maior dificuldade de secagem.

A escala dos pinos sensores utilizada pelo *software* para o controle de umidade foi considerada ideal para as espécies *E.saligna* e *E.grandis*, devido à umidade final ter atingido o desejado pelo programa, e inadequada para o *E.dunnii*. Isso se deve, provavelmente, a maior densidade básica e características químicas e anatômicas intrínsecas desta última espécie.

#### 4.8.4 Defeitos de secagem por espécie

Na TABELA 8 encontram-se os resultados da porcentagem das tábuas com defeitos de secagem por espécie. A classificação entre parênteses refere-se ao critério de tendência de incidência de defeitos de secagem proposto por Martins (1984) *apud* Brandão (1989). De cada espécie foram avaliadas 81 tábuas. Nota-se que a soma das porcentagens de defeitos ultrapassa 100%, uma vez que uma mesma tábua pode apresentar mais de um tipo de defeito.

TABELA 8 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM POR ESPÉCIE

Espécie	%			
	Rachaduras de topo	Rachaduras de superfície	Encanoamento	Colapso
<i>E. saligna</i>	4,94 (AUSENTE)	3,70 (AUSENTE)	67,90 (GRANDE)	28,40 (PEQUENA)
<i>E. grandis</i>	7,91 (AUSENTE)	0 (AUSENTE)	60,49 (GRANDE)	35,80 (MODERADA)
<i>E. dunnii</i>	9,88 (AUSENTE)	4,94 (AUSENTE)	74,07 (GRANDE)	55,56 (GRANDE)

FONTE: O autor (2009)

As espécies tiveram tendência ausente quanto às rachaduras de topo e de superfície, mesma tendência observada por Ciniglio (1998) na secagem de *E. grandis* e *E. urophylla*. No entanto, o *E. grandis* apresentou 7,91% das tábuas com rachaduras de topo, superior aos 5,6% obtidos por Mellado (1993). Já o *E. dunnii* apresentou 9,88% das tábuas com este defeito, semelhante aos 10% obtidos no programa de secagem mais suave utilizado por Severo (1998).

Quanto ao encanoamento, as espécies apresentaram grande tendência de incidência deste defeito e foram superiores aquelas obtidas por outros autores (MELLADO, 1993; CINIGLIO, 1998; SEVERO, 1998). Tais porcentagens de encanoamento devem-se principalmente aos elevados valores de coeficiente de anisotropia de contração obtidos pelas espécies (madeira juvenil), resultando em uma contração desigual entre as direções radial e tangencial durante a secagem.

Já para o colapso, as espécies apresentaram tendências diferentes entre si, de acordo com o critério de classificação utilizado. Os 55,56% das tábuas com colapso apresentados pelo *E. dunnii* foram superiores aos 35% obtidos no programa de secagem mais suave testado por Severo (1998), porém inferior aos 67,5% e 87,5% obtidos nos outros dois programas, mais acelerados. Tais resultados corroboram com a grande tendência ao surgimento deste tipo de defeito nesta espécie, sugerindo uma etapa de secagem inicial (remoção da água capilar) mais suave. Os 35,80% de tábuas com colapso do

*E.grandis* foram superiores aos 8,3% obtidos por Ciniglio (1998), corroborando com a tendência moderada de incidência deste tipo de defeito nesta espécie. O *E.saligna* foi a única espécie com pequena tendência ao surgimento de colapso, de acordo com aquela classificação. Porém, a utilização de fases iniciais de secagem mais suaves e técnicas de recuperação de colapso (MELLADO, 1993; SEVERO, 1998), nas aplicações que necessitam de madeira de melhor qualidade, podem ser viáveis para a redução da porcentagem de colapso.

Na FIGURA 13 estão representados os escores do número de tábuas com defeitos de secagem por espécie.

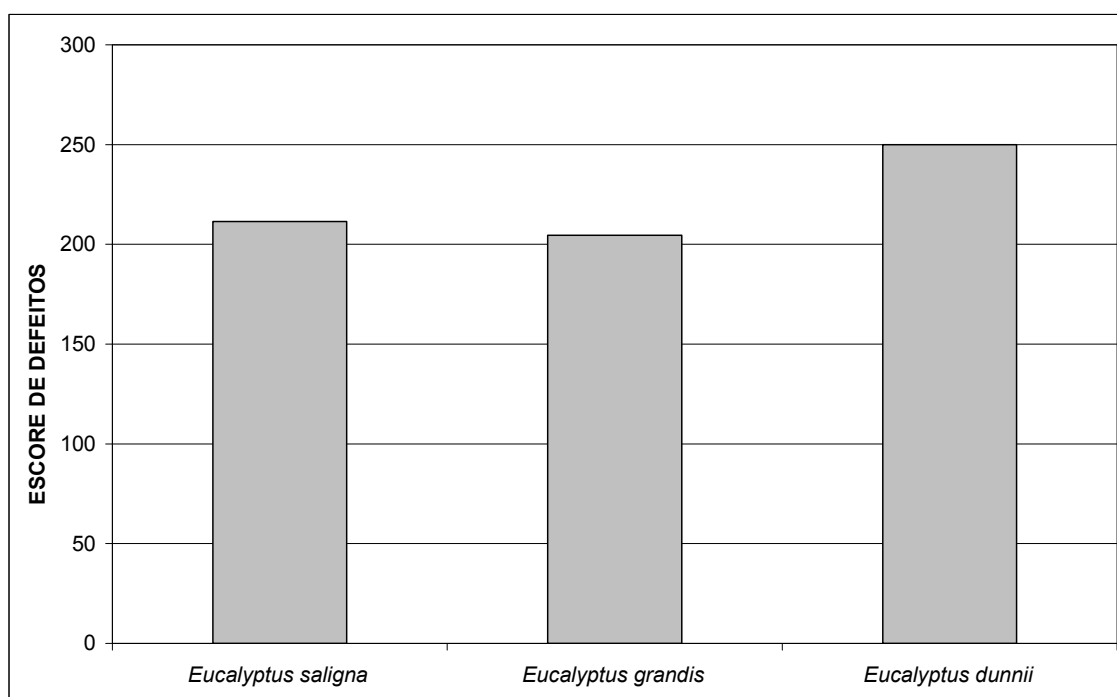


FIGURA 13 – ESCORE DO NÚMERO DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL POR ESPÉCIE

FONTE: O autor (2009)

De acordo com o teste H a 5% de significância ( $0,98^{NS}$ ) não há diferença do número de tábuas com defeitos de secagem entre as espécies. No entanto, como observado na TABELA 10 o *E.dunnii* foi a espécie que apresentou a maior porcentagem de defeitos de secagem, nos quais os mais severos foram o encanoamento e o colapso. Estes resultados confirmam a maior dificuldade de secagem desta espécie.

A tendência do escore do número de tábuas com defeitos de secagem obedeceu a mesma tendência do escore de defeitos obtido na taxa de secagem. Assim a utilização daquela metodologia é eficiente para prever a incidência de defeitos de secagem convencional, sendo muito importante para espécies de comportamento de secagem desconhecido.

#### 4.8.5 Defeitos de secagem dos clones por espécie

##### 4.8.5.1 *Eucalyptus saligna*

Na TABELA 9 encontram-se os resultados da porcentagem de tábuas com defeitos de secagem por clone de *E.saligna*. A classificação entre parênteses refere-se ao critério de tendência de incidência de defeitos de secagem proposto por Martins (1984) *apud* Brandão (1989). De cada clone foram avaliadas 27 tábuas.

TABELA 9 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM POR CLONE DE *E.saligna*

Clone	%			
	Rachaduras de topo	Rachaduras de superfície	Encanoamento	Colapso
1	3,70 (AUSENTE)	0 (AUSENTE)	37,04 (MODERADA)	14,81 (PEQUENA)
2	3,70 (AUSENTE)	3,70 (AUSENTE)	81,48 (GRANDE)	33,33 (MODERADA)
3	7,41 (AUSENTE)	7,41 (AUSENTE)	85,19 (GRANDE)	37,04 (MODERADA)

FONTE: O autor (2009)

Todos os clones apresentaram tendência ausente ao surgimento de rachaduras de topo e superfície durante a secagem. O clone 1, porém, foi o que apresentou a menor porcentagem de defeitos de secagem, contrapondo-se ao clone 3. Estes resultados estão de acordo com aqueles de propriedades físicas, taxa de secagem e escore de defeitos da taxa de secagem, que

indicavam maior dificuldade de secagem e propensão a defeitos do clone 3 em contraposição ao clone 1.

Na FIGURA 14 encontram-se os escores dos defeitos de secagem dos clones de *E.saligna*.

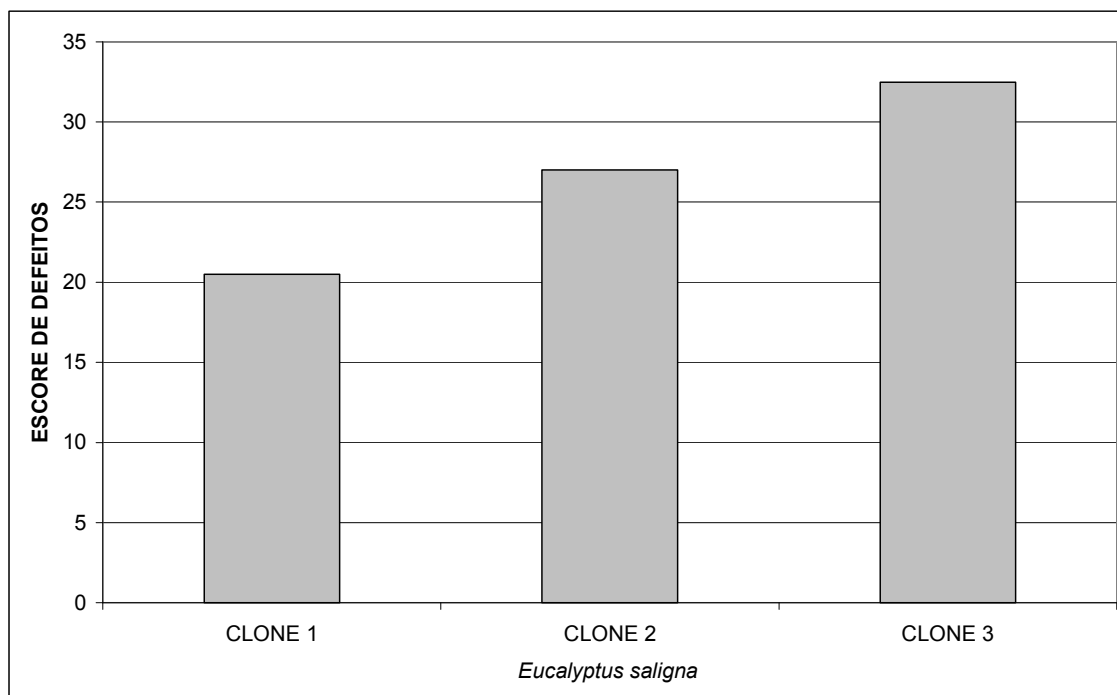


FIGURA 14 – ESCORE DE DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DOS CLONES DE *E.saligna*

FONTE: O autor (2009)

De acordo com o teste H a 5% de significância ( $3,41^{NS}$ ) não há diferença entre o número de tábuas com defeitos entre os clones. No entanto, o escore do número de tábuas com defeitos de secagem obedeceu ao mesmo padrão do escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem, no qual o clone 1 apresentou menos tábuas com defeitos, seguido pelos clones 2 e 3, confirmando aquela metodologia.

#### 4.8.5.2 *Eucalyptus grandis*

Na TABELA 10 encontram-se os resultados da porcentagem de tábuas com defeitos de secagem por clone de *E.grandis*. A classificação entre parênteses refere-se ao critério de tendência de incidência de defeitos de

secagem proposto por Martins (1984) *apud* Brandão (1989). De cada clone foram avaliadas 27 tábuas.

TABELA 10 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM POR CLONE DE *E. grandis*

Clone	%			
	Rachaduras de topo	Rachaduras de superfície	Encanoamento	Colapso
1	14,81 (PEQUENA)	0 (AUSENTE)	37,04 (MODERADA)	40,74 (MODERADA)
2	7,41 (AUSENTE)	0 (AUSENTE)	81,48 (GRANDE)	25,93 (PEQUENA)
3	0 (AUSENTE)	0 (AUSENTE)	62,96 (GRANDE)	44,44 (MODERADA)

FONTE: O autor (2009)

Os clones de *E. grandis* não apresentaram um padrão definido quando a porcentagem de tábuas com defeitos. O clone 1 apresentou a maior porcentagem de rachaduras de topo; o clone 2 apresentou a maior porcentagem de tábuas encanoadas; enquanto o clone 3 apresentou maior incidência de colapso. Assim, não foi possível estabelecer uma relação definida entre os ensaios preliminares com a incidência de defeitos de secagem.

Na FIGURA 15 encontram-se os escores do número de tábuas com defeitos de secagem dos clones de *E. grandis*.

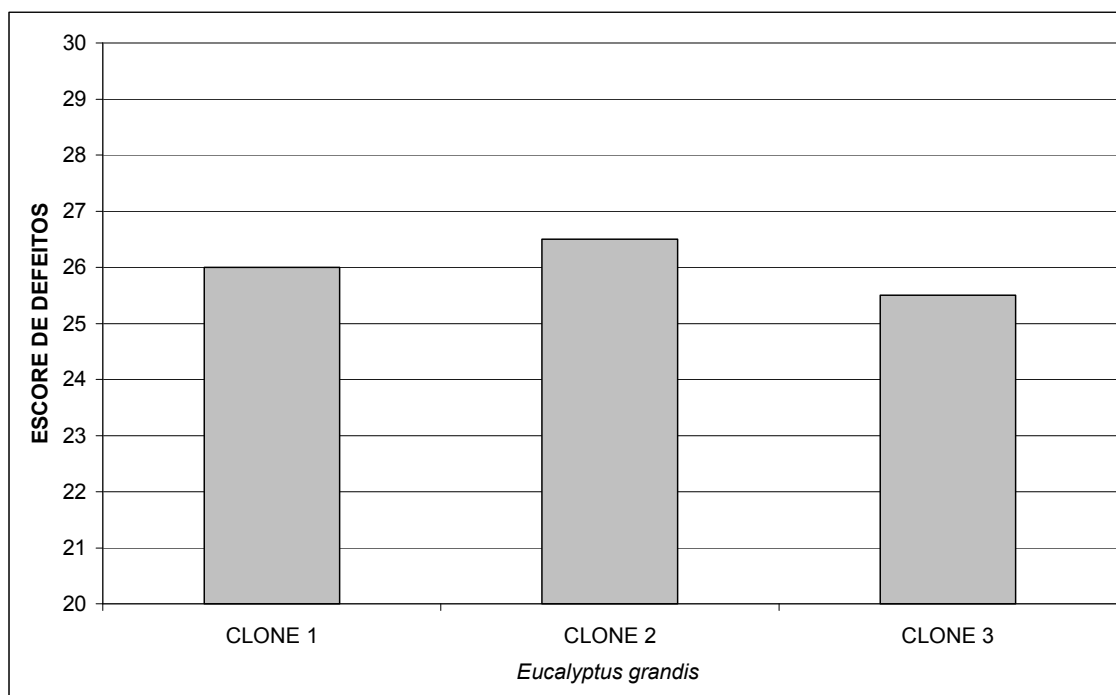


FIGURA 15 – ESCORE DO NÚMERO DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DOS CLONES DE *E. grandis*

FONTE: O autor (2009)

De acordo com o teste  $H$  a 5% de significância ( $0,0096^{NS}$ ) não houve diferença entre o número de tábuas com defeitos entre os clones, que pode ser notado pela pequena diferença entre os escores (25,5, 26 e 26,5). Este resultado corrobora com a falta de tendência quanto à porcentagem de defeitos entre os clones, observada na TABELA 12, no entanto aponta que o clone 3 foi o menos propenso a defeitos de secagem, em contraposição ao clone 2.

O escore do número de tábuas com defeitos de secagem apresentou tendência contrária ao escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem, indicando que na prática, considerando-se todos os tipos de defeitos, não houve uma diferenciação tão marcante entre a qualidade dos clones de *E. grandis*. Ressaltam-se, mais uma vez, a pequena diferença entre os escores e a não significância indicada pelo teste  $H$ .

4.8.5.3 *Eucalyptus dunnii*

Na TABELA 11 encontram-se os resultados da porcentagem de tábuas com defeitos de secagem por clone de *E.dunnii*. A classificação entre parênteses refere-se ao critério de tendência de incidência de defeitos de secagem proposto por Martins (1984) *apud* Brandão (1989). De cada clone foram avaliadas 27 tábuas.

TABELA 11 – PORCENTAGEM DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM POR CLONE DE *E.dunnii*

Clone	%			
	Rachaduras de topo	Rachaduras de superfície	Encanoamento	Colapso
1	11,11 (PEQUENA)	0 (AUSENTE)	77,78 (GRANDE)	29,63 (PEQUENA)
2	11,11 (PEQUENA)	7,41 (AUSENTE)	70,37 (GRANDE)	66,67 (GRANDE)
3	7,41 (AUSENTE)	7,41 (AUSENTE)	74,07 (GRANDE)	70,37 (GRANDE)

FONTE: O autor (2009)

O clone 1 apresentou a menor propensão a defeitos de secagem, apesar de ter a maior porcentagem de encanoamento, com 77,78%. No entanto, a tendência ao desenvolvimento deste defeito foi classificada como grande em todos os clones.

Da mesma maneira, o clone 3 apresentou a maior propensão a defeitos de secagem, apesar de ter a mesma porcentagem de rachaduras de superfície, de 7,41%, que o clone 2. Assim, o clone 2 apresentou uma tendência intermediária aos outros clones quanto ao desenvolvimento de defeitos de secagem.

Estes resultados podem ser observados na FIGURA 16, onde são apresentados os escores de defeitos de secagem dos clones de *E.dunnii*.



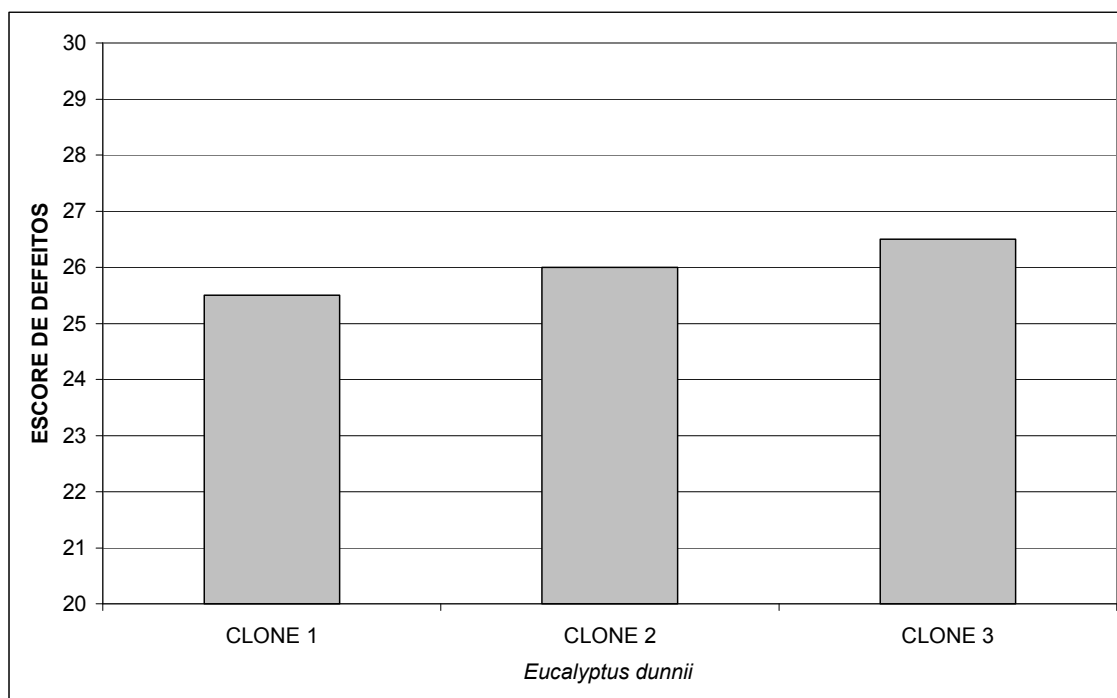


FIGURA 16 – ESCORE DO NÚMERO DE TÁBUAS COM DEFEITOS DE SECAGEM CONVENCIONAL DOS CLONES DE *E.dunnii*

FONTE: O autor (2009)

De acordo com o teste H a 5% de significância ( $0,0096^{NS}$ ), os clones não diferiram estatisticamente quanto ao desenvolvimento de defeitos de secagem. O escore do número de tábuas com defeitos de secagem apresentou tendência contrária ao escore de defeitos do ensaio de taxa de secagem, indicando que na prática, considerando-se todos os tipos de defeitos, não houve uma diferenciação tão marcante entre a qualidade dos clones. Nota-se, no entanto, a pequena diferença entre os escores (25,5, 26 e 26,5) e a não significância indicada pelo teste H.

#### 4.8.6 Gradiente de umidade e tensões de secagem entre espécies

Na TABELA 12 encontram-se as médias do gradiente de umidade e o tipo de tensão de secagem, fornecido pelo teste do garfo, por espécie. Para tais avaliações foram utilizadas 81 tábuas por espécie. Os gradientes de umidade 1 e 2 equivalem à dedução da umidade final do centro das tábuas em relação às superfícies das tábuas.

Como não foi observado o tensionamento de secagem do tipo invertido, decidiu-se reclassificar as tábuas tensionadas em tensionamento suave e forte. O tensionamento suave foi aquele nos quais os extremos dos garfos não se tocavam, em contraposição ao tensionamento forte onde estes se tocavam. Esta diferenciação pode ser evidenciada nas FIGURAS 17 e 18.



FIGURA 17 – TENSIONAMENTO SUAVE

FONTE: O autor (2009)



FIGURA 18 – TENSIONAMENTO FORTE

FONTE: O autor (2009)

TABELA 12 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM POR ESPÉCIE

Espécie	%				
	Gradiente de umidade		Tensões de secagem		
	1	2	Suave	Forte	Livre
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,62 a	0,50 a	88,89	3,70	7,41
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,58 a	0,49 a	81,48	0	18,52
<i>Eucalyptus dunnii</i>	2,37 b	2,10 b	40,74	59,26	0

FONTE: O autor (2009)

NOTA - Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

O gradiente de umidade 2 refere-se à face superior das tábuas, e notou-se que este gradiente foi inferior ao gradiente 1 (face inferior). Tal resultado comprovou que a face superior das tábuas sofre maior influência da convecção forçada, secando mais rápido. Somente o clone 1 de *Eucalyptus saligna* (TABELA 13) não obedeceu esta tendência.

O *E.grandis* apresentou os menores gradientes médios de umidade, não diferindo estatisticamente do *E.saligna*, enquanto o *E.dunnii* apresentou os maiores gradientes médios de umidade. Os gradientes de umidade do *E.saligna* e *E.grandis* foram semelhantes aos 0,6% obtidos por Mellado (1993) para a madeira de *E.grandis*. Ainda de acordo com esse autor, mesmo gradientes de umidades pequenos levam a incidência de tensões de secagem nas tábuas. O gradiente de umidade de 2,37% apresentado pelo *E.dunnii* foi inferior aos 4% obtidos por Ciniglio (1998) para a madeira de *E.grandis*, porém, superior aos 2% obtidos por essa mesma autora para *E.urophylla*.

O *E.grandis* não apresentou nenhuma peça com tensionamento forte e foi a espécie com a maior porcentagem de tábuas livres de tensões de secagem, com 18,52%; enquanto o *E.dunnii* foi aquela na qual todas as tábuas apresentaram tensões de secagem, com a maior porcentagem de tábuas com

tensionamento forte, 59,26%, e a menor porcentagem de tábuas com tensionamento suave, 40,74%.

Assim, o gradiente de umidade foi diretamente relacionado com a presença de tensões de secagem, no qual quanto maior o gradiente, maior a incidência de tensões de secagem. Estes resultados estão de acordo com aqueles de taxa de secagem e umidade final, nos quais o *E.dunnii* seria a espécie de secagem mais difícil, em oposição ao *E.grandis* e *E.saligna*.

A grande porcentagem de tábuas tensionadas sugere que as suas superfícies estavam sob compressão, enquanto o centro estava sob tração (SKAAR, 1972). Este resultado reforça que os tempos de uniformização e condicionamento utilizados neste trabalho (ambos de oito horas) foram insuficientes, indicando que para futuras secagens destas espécies estes tempos devam ser aumentados, principalmente para o *E.dunnii*.

O gradiente de umidade e as tensões de secagem por espécie também se correlacionaram diretamente com os defeitos de secagem, no qual quanto maior o gradiente de umidade, mais tensionadas são as tábuas, levando a um maior índice de defeitos.

#### 4.8.7 Gradiente de umidade e tensões de secagem dos clones por espécie

##### 4.8.7.1 *Eucalyptus saligna*

Na TABELA 13 encontram-se as médias do gradiente de umidade e o tipo de tensão de secagem, fornecido pelo teste do garfo, dos clones de *E.saligna*. Para tais avaliações foram utilizadas 27 tábuas por clone.

TABELA 13 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM DOS CLONES DE *E. saligna*

Clone	%				
	Gradiente de umidade		Tensões de secagem		
	1	2	Suave	Forte	Livre
1	0,19 a	0,37 a	88,89	11,11	0
2	0,69 b	0,43 a b	77,78	0	22,22
3	1,14 c	0,78 b	100	0	0

FONTE: O autor (2009)

NOTA - Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

O clone 1 apresentou os menores gradientes de umidade médios, enquanto o clone 3 apresentou os maiores gradientes médios, estatisticamente diferentes entre si. Estes resultados estão de acordo com aqueles de taxa de secagem, no qual seria esperado maior dificuldade de secagem do clone 3 em contraposição aos clones 1 e 2.

O clone 3, no entanto, apresentou 100% das tábuas com tensionamento suave, apesar de ter os maiores gradientes de umidade médios. Da mesma maneira, o clone 1, com os menores gradientes de umidade médios, foi o único que apresentou tábuas com tensionamento forte. O clone 2, que apresentou gradientes de umidade médios intermediário aos demais clones, foi o único que apresentou tábuas livres de tensão e nenhuma tábua com tensionamento forte.

Embora o gradiente de umidade não tenha se correlacionado com a presença das tensões de secagem, foi observada uma correlação direta entre o este e os defeitos de secagem, à semelhança dos resultados obtidos por espécie.

#### 4.8.7.2 *Eucalyptus grandis*

Na TABELA 14 encontram-se as médias do gradiente de umidade e o tipo de tensão de secagem, fornecido pelo teste do garfo, dos clones de *E. grandis*. Para tais avaliações foram utilizadas 27 tábuas por clone.

TABELA 14 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM DOS CLONES DE *E.grandis*

Clone	%				
	Gradiente de umidade		Tensões de secagem		
	1	2	Suave	Forte	Livre
1	0,16 a	0,13 a	88,89	0	11,11
2	0,59 b	0,55 b	100	0	0
3	1,18 c	0,98 c	55,56	44,44	0

FONTE: O autor (2009)

NOTA - Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

O clone 1 apresentou os menores gradientes de umidade médios, enquanto o clone 3 apresentou as maiores médias, estatisticamente diferentes entre si. Tais resultados levaram o clone 1 a ser o único com tábuas livres de tensões e, juntamente ao clone 2, não apresentarem tábuas com tensionamento forte. Estes resultados obedeceram ao proposto no ensaio de taxa de secagem, no qual o clone 3 seria o de secagem mais difícil em contraposição ao clone 1.

Para estes clones, o gradiente de umidade e as tensões de secagem apresentaram relação direta entre si, porém sem relação definida com a incidência de defeitos de secagem.

#### 4.8.7.3 *Eucalyptus dunnii*

Na TABELA 15 encontram-se as médias do gradiente de umidade e o tipo de tensão de secagem, fornecido pelo teste do garfo, dos clones de *E.dunnii*. Para tais avaliações foram utilizadas 27 tábuas por clone.

TABELA 15 – GRADIENTE DE UMIDADE E TENSÕES DE SECAGEM DOS CLONES DE *E.dunnii*

Clone	%				
	Gradiente de umidade		Tensões de secagem		
	1	2	Suave	Forte	Livre
1	0,51 a	0,47 a	77,78	22,22	0
2	2,22 b	2,20 b	22,22	77,78	0
3	3,87 c	3,24 c	22,22	77,78	0

FONTE: O autor (2009)

NOTA - Médias seguidas de uma mesma letra, em uma mesma coluna, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5%

O clone 1 apresentou os menores gradientes de umidade médios e este resultado influenciou na ocorrência de menos tábuas com tensões de secagem forte e mais tábuas com tensões de secagem do tipo suave. Nota-se, no entanto, que todas as tábuas apresentaram tensões de secagem. O clone 3 apresentou os maiores gradientes de umidade médios, apresentando, no entanto, as mesmas porcentagens de tábuas com tensões de secagem que o clone 2, que apresentou gradientes de umidade médio inferiores. Estes resultados estão de acordo com o proposto no ensaio de taxa de secagem, no qual o clone 1 seria de mais fácil secagem, contrário ao clone 3, de maior dificuldade.

À semelhança do ocorrido entre espécies, os clones de *E.dunnii* apresentaram relação direta entre gradiente de umidade, tensões de secagem e incidência de defeitos.

Pode-se observar que o *E.dunnii* apresentou qualidade de secagem muito aquém do desejado quando comparado às outras espécies, apesar de o programa ter sido desenvolvido especificamente para esta espécie. Os elevados gradientes de umidade e tensões de secagem apresentados na secagem convencional comprovam que o programa necessita de ajustes, principalmente nas etapas de aquecimento, uniformização e condicionamento.

#### 4.8.8 Perdas de volume por espécie

A FIGURA 19 mostra as perdas de volume total (de verde a aplainado), de secagem (de verde a 10% de umidade) e de usinagem (de 10% a aplainado) por espécie.

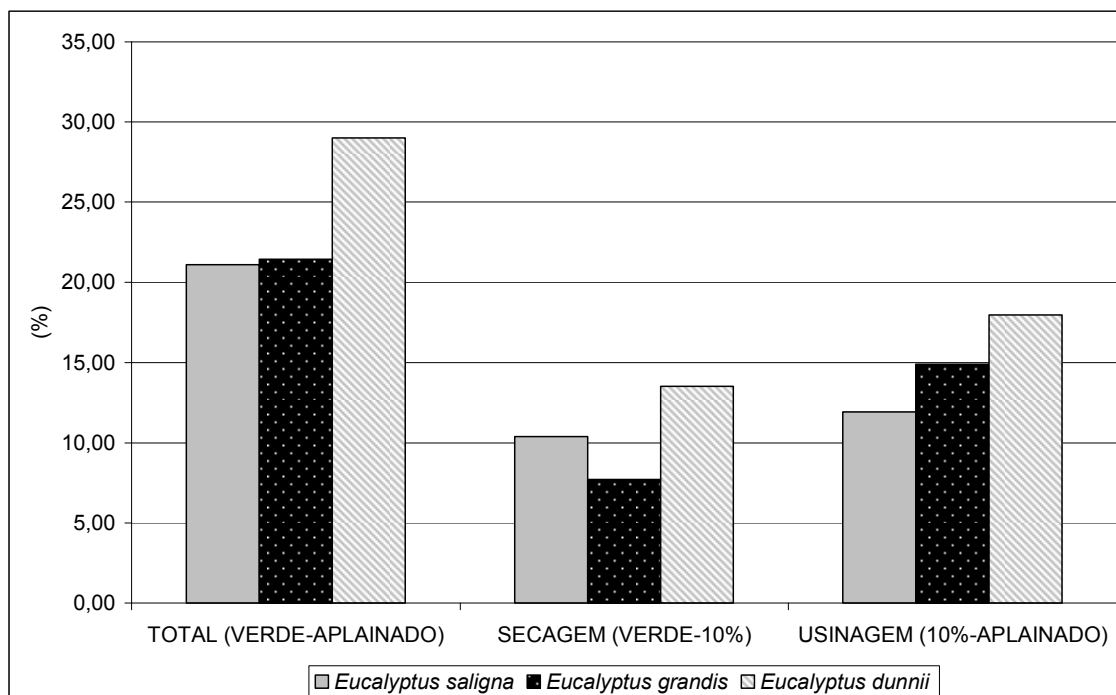


FIGURA 19 – PERDAS DE VOLUME POR ESPÉCIE

FONTE: O autor (2009)

Nota-se que o *E.dunnii* apresentou as maiores perdas de volume em todos os intervalos avaliados, chegando a uma perda total de volume de 29,02%, contra 21,11% e 21,46% respectivos a *E.saligna* e *E.grandis*. Estes resultados foram inferiores aos 34,74% obtidos por Klitzke e Batista (2008) que trabalharam com *E.dunnii* de 13 anos de idade. A maior perda de volume total do *E.dunnii* foi o resultado de uma combinação de características prejudiciais, tal como a maior instabilidade dimensional e propensão a defeitos, confirmando esta espécie como a de menor qualidade na secagem. Rocha (2000) estudou as espécies *E.grandis* e *E.dunnii* e também concluiu que o *E.grandis* é mais adequado que o *E.dunnii* para a obtenção de madeira serrada, devido a menor qualidade do *E.dunnii*.

A perda de secagem obedeceu ao mesmo padrão do ensaio de retratibilidade. O *E.grandis* apresentou a menor média de contração



volumétrica máxima (14,10%) e também a menor perda de secagem (7,72%). Rocha (2000) obteve perdas de secagem menores, de 4,17% e 4,24% para *E.grandis* seco até 8% de umidade. O *E.dunnii* apresentou a maior média de contração volumétrica máxima (18,71%) e a maior perda de secagem (13,54%), resultado semelhante aos 13,25% obtidos por Klitzke e Batista (2008) e superiores aos 10,49% e 10,55% obtidos por Rocha (2000).

Os defeitos de secagem mais relevantes na perda de usinagem deste trabalho foram o encanoamento e o colapso. Assim, o *E.dunnii*, que mais apresentou estes defeitos, também foi a espécie com a maior perda de usinagem (17,96%). Este resultado foi inferior aos 21,49% obtidos por Klitzke e Batista (2008) para esta mesma espécie.

Embora o encanoamento e o colapso não tenham sido classificados quanto à severidade, supõe-se que tenham sido menos severos no *E.saligna* quando comparado ao *E.grandis*, uma vez que a primeira espécie apresentou 11,93% de perdas de usinagem contra 14,89% da segunda. Nota-se que o *E.saligna* teve maior porcentagem de tábuas encanoadas (67,90%) que o *E.grandis* (60,49%), de acordo com as TABELAS 9 e 10, corroborando que a severidade do encanoamento tenha sido maior no *E.grandis*, resultando em maior perda de usinagem.

#### 4.8.9 Perdas de volume dos clones por espécie

##### 4.8.9.1 *Eucalyptus saligna*

A FIGURA 20 mostra as perdas de volume total (de verde a aplainado), de secagem (de verde a 10% de umidade) e de usinagem (de 10% a aplainado) por clone de *E.saligna*.

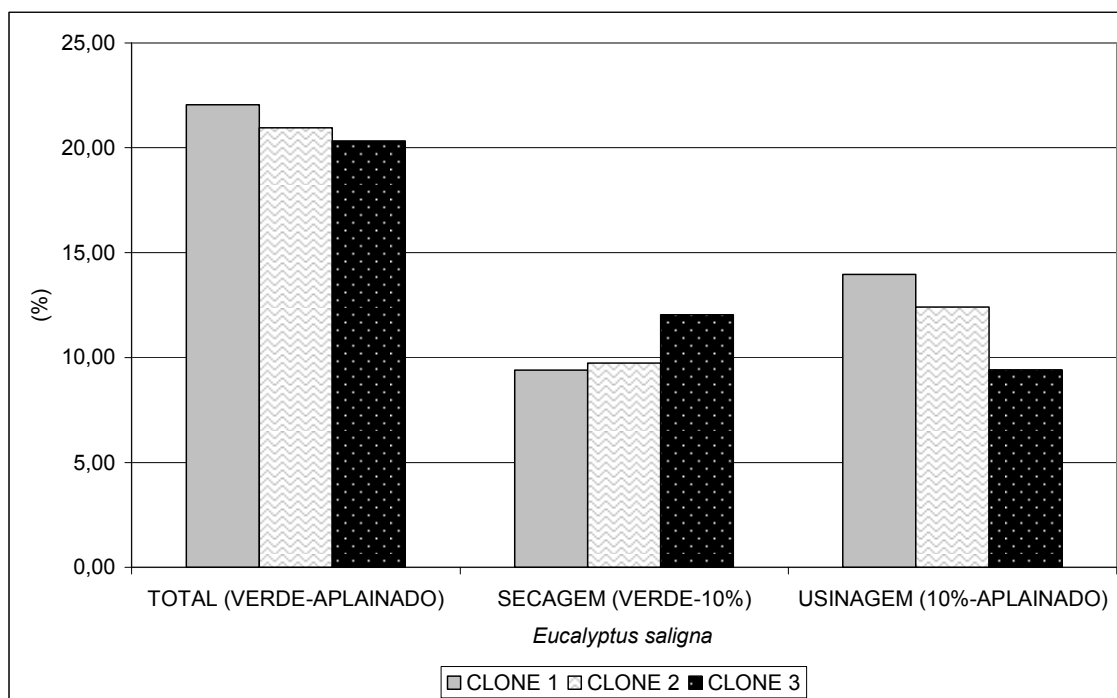


FIGURA 20 – PERDAS DE VOLUME POR CLONES DE *E. saligna*

FONTE: O autor (2009)

O clone 1 apresentou a maior perda total de volume, com 22,05%, seguido pelos clones 2 e 3, com respectivamente 20,94% e 20,33%. Portanto, a diferença entre os clones não foi tão acentuada.

Situação contrária ocorreu na perda de secagem, no qual o clone 1 apresentou a menor perda, de 9,40%, similar ao clone 2 com 9,74%. O clone 3 apresentou a maior perda de secagem, com 12,04%. Estes resultados apresentaram a mesma tendência do ensaio de retratibilidade, à semelhança da comparação entre espécies.

A perda de usinagem apresentou o mesmo comportamento da perda total, no qual o clone 1 apresentou a maior perda, seguido pelos clones 2 e 3. Estes resultados também sugerem que a severidade do encanoamento e do colapso do clone 1 tenha sido maior que a dos demais clones, uma vez que este clone apresentou a menor incidência de defeitos de secagem, porém, a maior perda parcial de volume.

#### 4.8.9.2 *Eucalyptus grandis*

A FIGURA 21 mostra as perdas de volume total (de verde a aplainado), de secagem (de verde a 10% de umidade) e de usinagem (de 10% a aplainado) por clone de *E. grandis*.

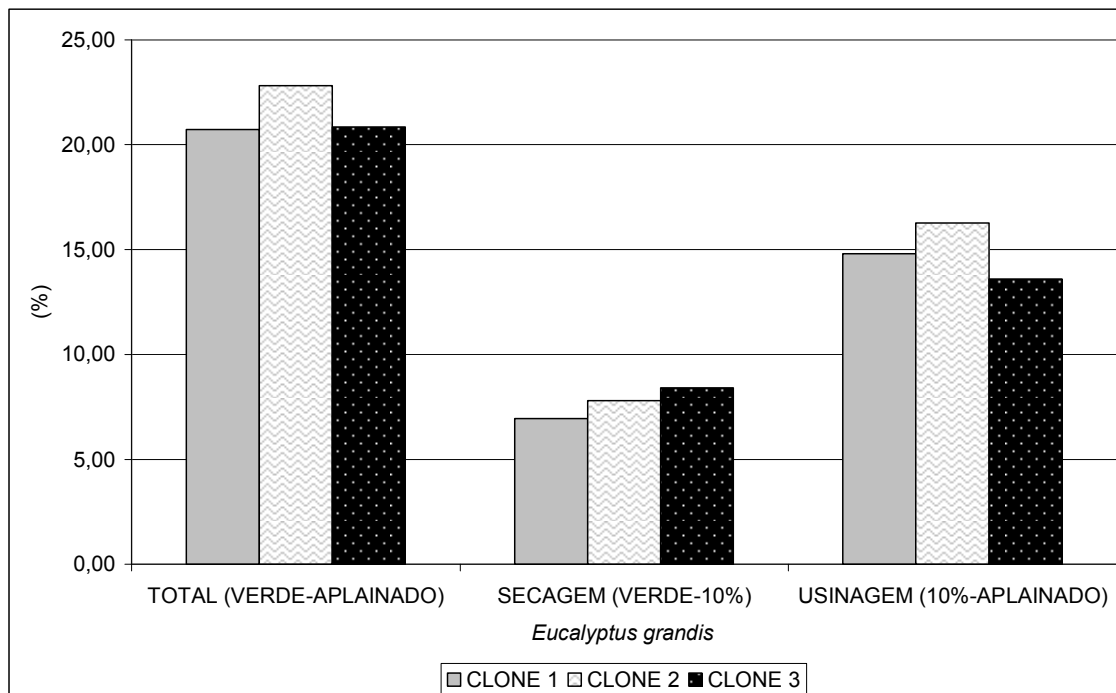


FIGURA 21 – PERDAS DE VOLUME POR CLONES DE *E. grandis*

FONTE: O autor (2009)

O clone 2 apresentou a maior perda total de volume, com 22,81%, similar aos 20,72% e 20,85% dos clones 1 e 3, respectivamente.

O clone 3 apresentou maior perda de secagem, com 8,40%, seguido pelos clones 2 e 1, com 7,79% e 6,95%, respectivamente. Estes resultados também seguiram a mesma tendência do ensaio de retratibilidade.

O clone 3, no entanto, apresentou a menor perda de usinagem, com 13,59%, seguido pelos clones 1 e 2 com 14,79% e 16,28%, respectivamente. Este resultado seguiu a mesma tendência dos defeitos de secagem, sugerindo que, neste caso, a severidade dos defeitos e a perda de volume estejam relacionadas diretamente com a quantidade de tábuas com defeito.

#### 4.8.9.3 *Eucalyptus dunnii*

A FIGURA 22 mostra as perdas de volume total (de verde a aplainado), de secagem (de verde a 10% de umidade) e de usinagem (de 10% a aplainado) por clone de *E.dunnii*.

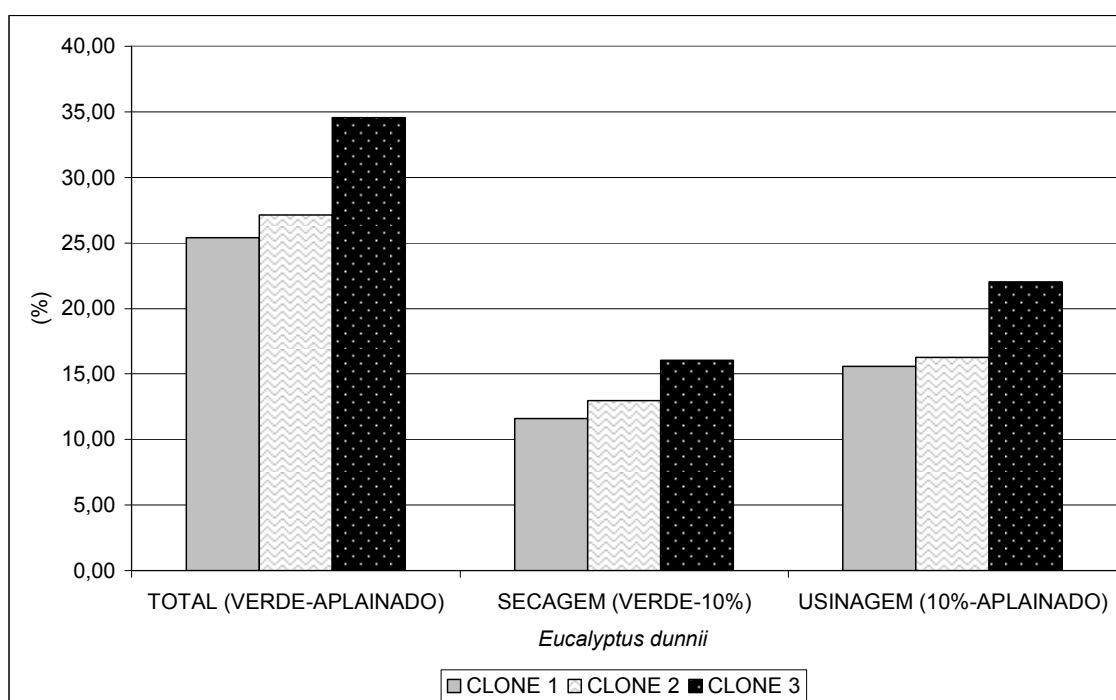


FIGURA 22 – PERDAS DE VOLUME POR CLONES DE *E.dunnii*

FONTE: O autor (2009)

Para os clones do *E.dunnii*, o mesmo comportamento foi observado em todos os tipos de perda de volume avaliados, no qual o clone 1 apresentou menores perdas, em contraposição ao clone 3, que apresentou maiores perdas de volume.

Estes resultados estão em concordância com a porcentagem de defeitos de secagem, no qual o clone 1 apresentou menos tábuas defeituosas, seguido pelos clones 2 e 3.

O *E.dunnii*, comparado às outras espécies, apresentou o menor aproveitamento em volume para os três clones, comprovando a dificuldade de secagem desta espécie em função baixa permeabilidade maior instabilidade dimensional.

## 5 CONCLUSÕES

1. As análises preliminares foram suficientes para a predição da qualidade de secagem convencional conjunta;
2. Maiores taxas de secagem indicaram maior facilidade de atingir a umidade final desejada e o desenvolvimento de menores gradientes de umidade e tensões de secagem;
3. O *Eucalyptus grandis* foi a espécie com a melhor qualidade de secagem convencional, enquanto o *Eucalyptus dunnii* foi a espécie com a pior qualidade;
4. O *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus saligna* apresentaram características semelhantes na secagem convencional, possibilitando que estas espécies sejam secas em uma mesma carga;
5. O clone 1 (maior IMA) foi o que apresentou a melhor qualidade de secagem convencional para as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*, enquanto para o *Eucalyptus saligna* foi o clone 2 (médio IMA);
6. Para as três espécies o clone 3 (menor IMA) foi o que apresentou pior qualidade de secagem convencional.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2008: ANO BASE 2007. Brasília: ABRAF, 2008.

ANDRADE, A; JANKOWSKY, I.P.; DUCATTI, M.A. Grupamento de madeiras para secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 89-99, jun. 2001.

ALFONSO, V.A. **Caracterização anatômica do lenho e da casca das principais espécies de Eucalyptus L'Hérit. cultivadas no Brasil**. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

BARBOSA, C.G.; LIMA, J.T.; ROSADO, S.C.S.; TRUGILHO, P.F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2005.

BRANDÃO, A.T.O. **Determinação de Metodologia para a Indicação de Programas de Secagem de Madeiras**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

BRACELPA. Relatório florestal estatístico BRACELPA 2007. Disponível em: [http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/BracelpaRelatorio\\_Estatistico\\_Florestal-2007.pdf](http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/BracelpaRelatorio_Estatistico_Florestal-2007.pdf). Acesso em 30 set 2008.

CELULOSEONLINE **Melhoramentos usa clonagem de eucalipto**, Ribeirão Preto, 18 setembro 2008. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?IDItem=20865&IDNoticia=17471>>. Acesso em 30 set 2008.

CINIGLIO, G. **Avaliação da secagem de madeira serrada de *E.grandis* e *E.urophylla***. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

COPANT – COMISSION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **462: Método de determinación de la contracción**. Buenos Aires, 1972

ELDRIDGE, K., DAVIDSON, J., HARWOOD, C., VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. Oxford: Oxford University Press, 1994.

GALVÃO, A. P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985.

GONÇALEZ, J.C. *et al.* Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341. 2006.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of sawn timber**. Germany, 1970.

JANKOWSKY, I.P. Equipamento e processos para secagem de madeira. In: SEMINÁRIO DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF, IPT, 1995. p. 109-118.

JANKOWSKY, I.P.; SANTOS, G.R.V.; ANDRADE, A. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica do IPEF**, Piracicaba, n. 199, dez. 2003.

KEEY, R.B.; LANGRISH, T.A.G.; WALKER, J.C.F. **Kiln-drying of lumber**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2000.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA *et al.* **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 271-342.

KLITZKE, R.J.; BATISTA, D.C. Development of an experimental drying schedule for *Eucalyptus dunnii* wood aiming further industrial application. In: 51<sup>ST</sup> ANNUAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2008, Concepción. **Proceedings...** Concepción, WS 29, nov. 2008.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ JUNIOR, W.A. **Principles of Wood Science and Technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968.

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

MARCHESAN, R., MATTOS, P.P., SHIMIZU, J.Y. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Eucalyptus microcorys* F. Muell.** Colombo: Embrapa Florestas. Comunicado Técnico 133, 5p. 2005.

MELLADO, E.C.R. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MELO, J.R. **Secagem de madeiras: teoria e prática de secagem artificial de madeiras**. Lisboa: Estação Florestal Nacional, 1999.

MELO, J.E. **Madeira: características e aplicações**. Brasília: LPF, 2002.

MUÑIZ, G.I.B. **Caracterização e Desenvolvimento de Modelos para Estimar as Propriedades e o Comportamento na Secagem da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 235f. Tese (Doutorado em Ciências

Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

NAHUZ, M.A.R. Atividades industriais, usos, aplicações de madeiras no Brasil, com ênfase em *Pinus* e *Eucalyptus*. In: OLIVEIRA *et al.* **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 159-208.

OLIVEIRA, J.T. SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.381-385. 2003.

PAIVA, H.N. Implantação de Florestas Econômicas. In: OLIVEIRA *et al.* **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 61-106.

PEREIRA, J.C.D. *et al.* **Características de madeiras de algumas espécies de eucaliptos plantadas no Brasil**. Documentos da Embrapa Florestas, Colombo, n. 38. 2000.

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

PONCE, R.M.; WATAI, L.T. **Manual de secagem de madeira**. Brasília: MIC/STI-IPT, 1985.

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

SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.V. Efeito da temperatura e velocidade do ar sobre a taxa de secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 99-106. 2002.

SANTOS, G.R.V.; JANKOWSKY, I.P.; ANDRADE, A. Curva característica de secagem para madeira de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 214-220, jun. 2003.

SEVERO, E.T.D. **Estudo sobre o efeito da vaporização nas propriedades e comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid**. 200 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SIAU, J.F. **Wood: influence of moisture on physical properties**. Virginia: Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University. 1995.



SILVA, J.C. *et al.* Variação da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.5, p.803-810. 2006.

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

SKAAR, C. **Water in Wood**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, Makron Books, 3<sup>a</sup> edição, 1994.

TOMASELLI, I. **The influence of high-temperature drying on some physical and mechanical properties of *Pinus radiata* D.Don**. 264 f. Tese (Doctor of Philosophy) – Faculty of Agriculture and Forestry, University of Melbourne, Melbourne. 1977.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n.29, p.37-45, abr.1985.

TRUGILHO, P.F., LIMA, J.T., MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, 1996.

## **ANEXOS**

TABELA A-1 – ANOVA DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE ESPÉCIES

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE ESPÉCIES	1,65843	2	0,829215	141,36	0,0000**
DENTRO	4,36423	447	0,0058659		
TOTAL	6,02266	449			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-2 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE DENSIDADE BÁSICA ENTRE ESPÉCIES

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
<i>E.grandis</i> (2)	150	0,45	A
<i>E.saligna</i> (1)	150	0,46	A
<i>E.dunnii</i> (3)	150	0,56	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,00914323		
1-3	-0,0950486*	0,0161191	
2-3	-0,1041928*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-3– ANOVA DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE ESPÉCIES

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE ESPÉCIES	154,577	2	77,2885	41,51	0,0000**
DENTRO	1385,26	447	1,86191		
TOTAL	1539,84	449			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-4 - TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE ESPÉCIES

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>E.grandis</i> (2)	150	4,60	A
<i>E.saligna</i> (1)	150	5,03	B
<i>E.dunnii</i> (3)	150	5,70	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,436078		
1-3	-0,669097*	0,287179	
2-3	-1,10518*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-5 – ANOVA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA ENTRE ESPÉCIES

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE ESPÉCIES	1733,15	2	866,573	284,47	0,0000**
DENTRO	2266,43	447	3,04628		
TOTAL	3999,58	449			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-6 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA ENTRE ESPÉCIES

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>E.grandis</i> (2)	150	9,25	A
<i>E.saligna</i> (1)	150	9,86	B
<i>E.dunnii</i> (3)	150	12,74	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,614398*		
1-3	-2,87866*	0,367332	
2-3	-3,49305*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-7 – ANOVA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE ESPÉCIES

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE ESPÉCIES	2899,63	2	1449,82	179,40	0,0000**
DENTRO	6012,77	447	8,08167		
TOTAL	8912,4	449			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-8 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE ESPÉCIES

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA (%)</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
<i>E. grandis</i> (2)	150	14,09	A
<i>E. saligna</i> (1)	150	15,17	B
<i>E. dunni</i> (3)	150	18,70	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	1,07118*		
1-3	-3,53744*	0,598307	
2-3	-4,60862*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-9 – ANOVA DO COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE ESPÉCIES

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE ESPÉCIES	15,3319	2	7,66597	36,02	0,0000**
DENTRO	158,353	447	0,21284		
TOTAL	173,685	449			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-10 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE ESPÉCIES

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>E. grandis</i> (2)	150	2,05	A
<i>E. saligna</i> (1)	150	2,06	A
<i>E. dunni</i> (3)	150	2,36	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,00662903		
1-3	-0,300528*	0,090958	
2-3	-0,307157*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-11 – ANOVA DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE CLONES DE *E. saligna*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	0,595623	2	0,148906	36,24	0,0000**
DENTRO	0,998487	147	0,004109		
TOTAL	1,59411	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-12 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE DENSIDADE BÁSICA ENTRE CLONES DE *E. saligna*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (g/cm <sup>3</sup> )	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	0,42	A
CLONE 2(2)	50	0,44	A
CLONE3(3)	50	0,50	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,00914323		
1-3	-0,0950486*	0,0161191	
2-3	-0,1041928*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-13 – ANOVA DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E. saligna*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	126,979	2	31,7448	18,07	0,0000**
DENTRO	426,814	147	1,75644		
TOTAL	553,793	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-14 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E. saligna*

ESPECIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	4,51	A
CLONE 2(2)	50	4,55	A
CLONE3(3)	50	5,79	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,0414		
1-3	-1,28116*	0,460645	
2-3	-1,23976*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-15 – ANOVA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E. saligna*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	309,591	2	77,3977	39,63	0,0000**
DENTRO	474,546	147	1,95287		
TOTAL	784,137	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-16 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.saligna*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	8,16	A
CLONE 2(2)	50	9,53	B
CLONE3(3)	85	11,08	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-1,3679*		
1-3	-2,91584*	0,47208	
2-3	-1,54796*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-17 – ANOVA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.saligna*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	761,774	2	190,443	28,79	0,0000**
DENTRO	1607,18	147	6,61393		
TOTAL	2368,96	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-18 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.saligna*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	12,92	A
CLONE 2(2)	50	14,35	B
CLONE3(3)	50	17,15	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-1,4294*		
1-3	-4,23415*	0,875212	
2-3	-2,80475*		

\*Significante a 5% de confiança



TABELA A-19 – ANOVA DO COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE CLONES DE *E.saligna*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	15,3319	2	7,66597	36,02	0,0000**
DENTRO	158,353	147	0,21284		
TOTAL	173,685	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-20 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE CLONES DE *E.saligna*

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
CLONE1(1)	50	1,83	A
CLONE 2(2)	50	2,02	B
CLONE3(3)	50	2,21	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,3765*		
1-3	-0,190339*	0,144937	
2-3	-0,186161*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-21 – ANOVA DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE CLONES DE *E.grandis*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	0,217967	2	0,0544917	22,07	0,0000**
DENTRO	0,604899	147	0,00246897		
TOTAL	0,822866	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-22– TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE DENSIDADE BÁSICA ENTRE CLONES DE *E.grandis*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (g/cm <sup>3</sup> )	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	0,40	A
CLONE 2(2)	50	0,45	B
CLONE3(3)	50	0,48	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,0525*		
1-3	-0,0769*	0,0168231	
2-3	-0,0244*		

\*Significante a 5% e confiança

TABELA A-23 – ANOVA DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.grandis*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	19,3942	2	1449,82	1,79	0,58 <sup>NS</sup>
DENTRO	127,939	147	808,167		
TOTAL	147,333	149			

\*\*NS – Não significativa a 5% de confiança

TABELA A-24 – ANOVA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.grandis*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	177,031	2	44,2577	48,21	0,0000**
DENTRO	224,906	147	0,917986		
TOTAL	401,937	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-25 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.grandis*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	8,48	A
CLONE 2(2)	50	8,74	A
CLONE3(3)	50	10,15	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,2648		
1-3	-1,6712*	0,346592	
2-3	-1,4064*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-26 – ANOVA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.grandis*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	171,569	2	42,8924	19,22	0,0000**
DENTRO	546,655	147	2,23124		
TOTAL	718,655	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-27 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.saligna*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	13,07	A
CLONE 2(2)	50	13,65	A
CLONE3(3)	50	15,06	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,5762		
1-3	-1,9852*	0,50031	
2-3	-1,409*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-28 – ANOVA DO COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE CLONES DE *E.grandis*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	15,3319	2	7,66597	36,02	0,0000**
DENTRO	158,353	147	0,21284		
TOTAL	173,685	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-29 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE CLONES DE *E.grandis*

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
CLONE2(1)	50	1,90	A
CLONE 1(1)	50	1,95	A
CLONE3(3)	50	2,25	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,0495		
1-3	-0,301*	0,11896	
2-3	-0,3505*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-30 – ANOVA DA DENSIDADE BÁSICA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	0,707195	2	0,176799	34,79	0,0000**
DENTRO	1,24006	147	0,00508222		
TOTAL	1,94726	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-31 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE DENSIDADE BÁSICA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (g/cm <sup>3</sup> )	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	50	0,51	A
CLONE 3(3)	50	0,52	A
CLONE2(2)	50	0,62	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,110659*		
1-3	-0,0159711	0,0205798	
2-3	0,0946877*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-32 – ANOVA DA CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	154,944	2	38,7359	17,86	0,0000**
DENTRO	529,192	147	2,16882		
TOTAL	684,135	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-33 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE3(3)	50	4,98	A
CLONE 2(2)	50	5,30	A
CLONE1(1)	50	6,59	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITES SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-1,28586*		
1-3	0,31801	0,416192	
2-3	1,60387*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-34 – ANOVA DA CONTRAÇÃO TANGENCIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	290,845	2	72,7113	22,47	0,0000**
DENTRO	789,515	147	3,23572		
TOTAL	1080,36	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-35 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO RADIAL MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA (%)</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
CLONE3(3)	50	11,97	A
CLONE 2(2)	50	13,14	B
CLONE1(1)	50	13,44	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,304035		
1-3	1,47039*	0,558195	
2-3	1,16635*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-36 – ANOVA DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	652,331	2	163,083	17,50	0,0000**
DENTRO	2273,25	147	9,31661		
TOTAL	2925,58	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-37 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÁXIMA ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE3(3)	50	17,18	A
CLONE 1(1)	50	19,02	B
CLONE2(2)	50	20,00	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,980169		
1-3	1,84243*	1,08902	
2-3	2,8226*		

\*Significante a 5% e confiança

TABELA A-38 – ANOVA DO COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	15,3319	2	7,66597	36,02	0,0000**
DENTRO	158,353	147	0,21284		
TOTAL	173,685	149			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-39 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DE CONTRAÇÃO ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE2(2)	50	2,08	A
CLONE 3(3)	50	2,49	B
CLONE1(1)	50	2,67	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,597251*		
1-3	0,182223*	0,13203	
2-3	-0,415028*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-40 – ANOVA DA UMIDADE INICIAL ENTRE ESPÉCIES

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE ESPÉCIES	290,249	2	145,125	0,42	0,6607 <sup>NS</sup>
DENTRO	61825,0	177	349,294		
TOTAL	62115,3	179			

NS: Não significativa a 5% de confiança

TABELA A-41 – ANOVA DA UMIDADE INICIAL ENTRE CLONES DE *E. saligna*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	5159,1	2	2580,5248	8,96	0,0004 <sup>**</sup>
DENTRO	17280,3	57	208,005		
TOTAL	22,439,4	59			

<sup>\*\*</sup>Significante a 1% de confiança

TABELA A-42 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE UMIDADE INICIAL ENTRE CLONES DE *E. saligna*

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA (%)</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
<i>CLONE1</i> (1)	20	67,06	A
<i>CLONE 2</i> (2)	20	77,70	AB
<i>CLONE3</i> (3)	20	89,48	B
<b>CONTRASTE</b>	<b>DIFERENÇA</b>	<b>LIMITE SUPERIOR E INFERIOR</b>	
1-2	-22,4197*		
1-3	-10,6448	12,7518	
2-3	11,7748		

\*Significante a 5% de confiança



TABELA A-43 – ANOVA DA UMIDADE INICIAL ENTRE CLONES DE *E.grandis*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	8850,51	2	4425,25	129,06	0,0000**
DENTRO	11609,4	57	232,189		
TOTAL	20459,9	59			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-44 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE UMIDADE INICIAL ENTRE CLONES DE *E.grandis*

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA (%)</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
CLONE2(2)	20	59,36	A
CLONE 3(3)	20	85,85	B
CLONE1(1)	20	87,34	B
<b>CONTRASTE</b>	<b>DIFERENÇA</b>	<b>LIMITE SUPERIOR E INFERIOR</b>	
1-2	27,9794*		
1-3	1,48858		12,2698
2-3	-26,4919*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-45 – ANOVA DA UMIDADE INICIAL ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	3720,38	2	1860,19	8,81	0,0004**
DENTRO	12461,6	57	211,214		
TOTAL	16182,0	59			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-46 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE UMIDADE INICIAL ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	20	66,47	A
CLONE 2(2)	20	74,56	AB
CLONE3(3)	20	85,07	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-8,09436		
1-3	-18,6056*	11,4937	
2-3	-10,5112		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-47 – ANOVA DA UMIDADE FINAL ENTRE ESPÉCIES

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE ESPÉCIES	46,9815	2	23,4907	11,60	0,0000**
DENTRO	196,428	78	2,02503		
TOTAL	243,41	80			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-48 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DE UMIDADE FINAL ENTRE ESPÉCIES

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>E.grandis</i> (2)	27	9,96	A
<i>E.saligna</i> (1)	27	10,08	A
<i>E.dunnii</i> (3)	27	11,45	B
CONTRASTE		LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,115464		
1-3	-1,37512*	0,840362	
2-3	-1,49058*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-49 – ANOVA DA UMIDADE FINAL ENTRE CLONES DE *E. saligna*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	0,328686	2	0,164343	0,17	0,8477 <sup>NS</sup>
DENTRO	28,6716	24	0,988676		
TOTAL	29,0003	26			

NS: Não significativa a 5% de confiança

TABELA A-50 – ANOVA DA UMIDADE FINAL ENTRE CLONES DE *E. grandis*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	2,66899	2	1,33449	1,15	0,3289 <sup>NS</sup>
DENTRO	34,6884	24	1,15628		
TOTAL	37,6884	26			

NS: Não significativa a 5% de confiança

TABELA A-51 – ANOVA DA UMIDADE FINAL ENTRE CLONES DE *E. dunnii*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	18,7803	2	9,39016	2,70	0,0825 <sup>NS</sup>
DENTRO	111,29	24	3,47782		
TOTAL	130,071	26			

NS: Não significativa a 5% de confiança

TABELA A-52 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE ESPÉCIES

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE ESPÉCIES	58,923	2	29,4615	29,22	0,0000 <sup>**</sup>
DENTRO	78,6393	78	1,0082		
TOTAL	137,562	80			

<sup>\*\*</sup>Significante a 1% de confiança

TABELA A-53 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE ESPÉCIES

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>E. grandis</i> (2)	27	0,58	A
<i>E. saligna</i> (1)	27	0,62	A
<i>E. dun nii</i> (3)	27	2,37	B
CONTRASTE		LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,0336462		
1-3	-1,74949*		0,649687
2-3	-1,78313*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-54 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE ESPÉCIES

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE ESPÉCIES	48,5663	2	24,2832	29,71	0,0000**
DENTRO	63,7477	78	0,817278		
TOTAL	112,314	80			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-55 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE ESPÉCIES

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
<i>E. grandis</i> (2)	27	0,49	A
<i>E. saligna</i> (1)	27	0,50	A
<i>E. dun nii</i> (3)	27	2,10	B
CONTRASTE		LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	0,0123231		
1-3	-1,59741*		0,584947
2-3	-1,60973*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-56 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE CLONES DE *E. saligna*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	3,81394	2	1,90697	45,91	0,0000**
DENTRO	0,955322	24	0,0415357		
TOTAL	4,76927	26			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-57 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE CLONES DE *E. saligna*

<b>ESPÉCIE</b>	<b>REPETIÇÕES</b>	<b>MÉDIA (%)</b>	<b>GRUPOS HOMOGÊNEOS</b>
CLONE1(1)	9	0,19	A
CLONE 2(2)	9	0,69	B
CLONE3(3)	9	1,14	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,499889*		
1-3	-0,953857*	0,2573	
2-3	-0,453968*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-58 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE CLONES DE *E. saligna*

<b>FV</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>FC</b>	<b>P</b>
ENTRE CLONES	0,769886	2	0,384943	4,89	0,0170*
DENTRO	1,80972	24	0,0786834		
TOTAL	2,5796	26			

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-59 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE CLONES DE *E. saligna*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	9	0,38	A
CLONE 2(2)	9	0,43	AB
CLONE3(3)	9	0,78	B
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,0674444		
1-3	-0,414429*	0,354137	
2-3	-0,346984		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-60 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE CLONES DE *E. grandis*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	4,26808	2	2,13404	36,78	0,0000**
DENTRO	1,27655	24	0,0580249		
TOTAL	5,54462	26			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-61 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE CLONES DE *E. grandis*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	9	0,16	A
CLONE 2(2)	9	0,59	B
CLONE3(3)	9	1,18	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,43175*		
1-3	-1,018*	0,287134	
2-3	-0,58625*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-62 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE CLONES DE *E.grandis*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	2,64339	2	1,3217	19,36	0,0000**
DENTRO	1,5017	24	0,0682592		
TOTAL	4,1451	26			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-63 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE CLONES DE *E.grandis*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	9	0,13	A
CLONE 2(2)	9	0,55	B
CLONE3(3)	9	0,97	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-0,4195*		
1-3	-0,794143*	0,339797	
2-3	-0,374643*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-64 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	58,2256	2	29,1128	77,83	0,0000**
DENTRO	10,0998	24	0,374068		
TOTAL	68,3254	26			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-65 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 1 ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	9	0,51	A
CLONE 2(2)	9	2,22	B
CLONE3(3)	9	3,87	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-1,71111		
1-3	-3,35694*	0,715051	
2-3	-1,64583*		

\*Significante a 5% de confiança

TABELA A-66 – ANOVA DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

FV	SQ	GL	QM	FC	P
ENTRE CLONES	39,4594	2	19,7297	30,33	0,0000**
DENTRO	17,5636	24	0,650504		
TOTAL	57,023	26			

\*\*Significante a 1% de confiança

TABELA A-67 – TESTE DE TUKEY PARA DIFERENCIAÇÃO DE MÉDIAS DO GRADIENTE DE UMIDADE 2 ENTRE CLONES DE *E.dunnii*

ESPÉCIE	REPETIÇÕES	MÉDIA (%)	GRUPOS HOMOGÊNEOS
CLONE1(1)	9	0,47	A
CLONE 2(2)	9	2,20	B
CLONE3(3)	9	3,24	C
CONTRASTE	DIFERENÇA	LIMITE SUPERIOR E INFERIOR	
1-2	-1,72556*		
1-3	-2,76528*	0,882044	
2-3	-1,03972*		

\*Significante a 5% de confiança