



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

**INCIDÊNCIA DOS DEFEITOS DE SECAGEM COMO ÍNDICE DE
QUALIDADE E DE SELEÇÃO GENÉTICA PARA MADEIRA DE
*Eucalyptus***

CELSONO GONÇALVES BARBOSA

2003

55903

MFN047880

CELSO GONÇALVES BARBOSA

**INCIDÊNCIA DOS DEFEITOS DE SECAGEM COMO ÍNDICE DE
QUALIDADE E DE SELEÇÃO GENÉTICA PARA MADEIRA DE
*Eucalyptus***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador
Prof. José Tarcísio Lima

LAVRAS

1985 - BRASIL

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Barbosa, Celso Gonçalves

Incidência dos defeitos de secagem como índice de qualidade e de seleção genética para madeira de *Eucalyptus* / Celso Gonçalves Barbosa. -- Lavras : UFLA, 2003.

71 p. : il.

Orientador: José Tarcísio Lima.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Clone. 3. Secagem de madeira. 4. defeito de secagem. 5. Seleção genética. 6. Programa de secagem. 7. Elaboração de programa de secagem. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**CDD-634.97342
-634.98**


**INCIDÊNCIA DOS DEFEITOS DE SECAGEM COMO ÍNDICE DE
QUALIDADE E DE SELEÇÃO GENÉTICA PARA MADEIRA DE
*EUCALYPTUS***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 14 de abril 2003

Prof. Ivaldo Pontes Jankowsky ESALQ

Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado UFLA


Prof. José Tarcísio Lima
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Manoel e Áurea, pelo incentivo e a confiança em mim depositado.

Aos meus irmãos, Inês, Davi, Salmo e Deniz, pelo apoio e incentivo.

A minha esposa, Grazielle e filha, Gabriela, pelo companheirismo, dedicação, amor e carinho.

Aos meus sogros, Vicente e Edi, pelo apoio e ajuda.

AGRADECIMENTOS

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais da UFLA.

Aos colegas de pósgraduação, Cláudia, Sérgio, Adelson e Murilo, pelo companheirismo.

A minha cunhada, Micheline e sobrinha, Drielle, pela contribuição durante a coleta de dados.

Ao co-orientador, Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado.

Ao orientador, Prof. José Tarcisio Lima.

Ao professor Ivaldo Pontes Jankowsky, pela colaboração na elaboração dos programas de secagem.

À Companhia Mineira de Metais – Unidade Agroflorestal, do grupo Votorantim, pelo material fornecido para o desenvolvimento deste trabalho.

3.3.2 Avaliação dos defeitos pós-secagem em estufa convencional.	38
3.4 Análise estatística dos dados.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Elaboração de programa de secagem	52
4.2 Secagem da madeira em estufa convencional	58
4.2.1 Avaliação do programa de secagem convencional.....	58
4.2.2 Avaliação dos defeitos pós-secagem em estufa	61
5 CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Secagem da madeira.....	3
2.2 Programa de secagem.....	5
2.2.1 Estrutura dos programas de secagem.....	6
2.2.1.1 Aquecimento inicial.....	6
2.2.1.2 Secagem propriamente dita.....	7
2.2.1.3 Uniformização e condicionamento.....	8
2.3 Elaboração de programa de secagem.....	9
2.4 Defeitos da secagem.....	12
2.5 Melhoramento da qualidade da madeira de <i>Eucalyptus</i>	22
2.6 Secagem da madeira de <i>Eucalyptus</i>	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Material utilizado.....	27
3.2 Elaboração do programa de secagem.....	28
3.2.1 Preparação das amostras.....	28
3.2.2 Determinação da umidade das amostras.....	29
3.2.3 Determinação da densidade básica.....	30
3.2.4 Ensaio para determinação dos programas de secagem.....	30
3.2.5 Determinação dos parâmetros do programa de secagem.....	34
3.3 Secagem da madeira em estufa convencional.....	35
3.3.1 Avaliação do programa de secagem.....	37

3.3.2 Avaliação dos defeitos pós-secagem em estufa convencional.....	38
3.4 Análise estatística dos dados.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.1 Elaboração de programa de secagem	52
4.2 Secagem da madeira em estufa convencional	58
4.2.1 Avaliação do programa de secagem convencional.....	58
4.2.2 Avaliação dos defeitos pós-secagem em estufa	61
5 CONCLUSÕES.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

RESUMO

BARBOSA, Celso Gonçalves. Incidência dos defeitos de secagem como índice de qualidade e de seleção genética para madeira de *Eucalyptus*. 2003. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal/Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

Madeiras de *Eucalyptus* plantados originalmente para a produção de carvão vegetal têm sido avaliadas para aplicação como sólidos. Para contribuir com essa avaliação, madeiras de dez clones de híbridos naturais de *Eucalyptus*, plantados em um sistema agro-florestal na região noroeste do estado de Minas Gerais, foram avaliadas quanto à ocorrência de defeitos pós-secagem em estufa convencional. Para isso as toras foram desdobradas de acordo com três variações do método tangencial: paralela ao diâmetro das toras (M1), paralela ao diâmetro da tora, mas com costaneiras cortadas a 1/3 do raio (M2) e paralela à casca (M3). As tábuas foram amostradas segundo sua posição radial de amostragem na tora. O programa de secagem foi determinado em ensaio a 100 °C, definindo-se um programa de secagem comum aos dez clones, com temperatura inicial igual a 40 °C, temperatura final igual a 65 °C e potencial de secagem igual a 2,2. O tempo de secagem das tábuas da condição verde até 14 % de umidade foi de 443 horas. Os efeitos dos clones e das posições de amostragem das tábuas nas toras sobre os defeitos de secagem foram testados em um modelo estatístico de parcelas subdivididas. Os clones apresentaram defeitos pós-secagem diferenciados em função do método de desdobro. O colapso foi o defeito de maior impacto na qualidade da madeira dos clones, demonstrando ter grande potencial para o melhoramento genético. Os clones 44-94, para os métodos M1 e M3, e o clone 66, para o método M2, apresentaram menores intensidades de colapso. O arqueamento, o encurvamento longitudinal e a rachadura de topo das tábuas não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os clones, para os três métodos de desdobro. Os clones 44-94, 66 e 41 apresentaram os menores índices de rachadura de superfície no método M1. No método M2 os melhores resultados de rachaduras de superfície foram apresentados pelos clones 2 e 58, enquanto para o M3 os clones 44-94, 44-88, 58 e 36 foram os melhores. De uma forma geral as madeiras mais externas das toras apresentaram menores intensidades de defeitos nos três métodos de desdobro. Uma análise conjunta dos defeitos pós-secagem revelou que o clone 41 foi o melhor no método M1; no método M2 o melhor clone foi o 44-94, enquanto no método M3 os clones 36, 41, 58, 62 e 44-94 foram os melhores.

* Comitê orientador: Orientador: José Tarcísio Lima - UFLA (orientador), Paulo Fernando Trugilho - UFLA, Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA.

The first part of the report deals with the general situation of the country, and the second part with the details of the various departments. The first part is divided into three sections: the first section deals with the general situation of the country, the second section deals with the details of the various departments, and the third section deals with the details of the various departments. The second part is divided into three sections: the first section deals with the details of the various departments, the second section deals with the details of the various departments, and the third section deals with the details of the various departments.

The first part of the report deals with the general situation of the country, and the second part with the details of the various departments. The first part is divided into three sections: the first section deals with the general situation of the country, the second section deals with the details of the various departments, and the third section deals with the details of the various departments. The second part is divided into three sections: the first section deals with the details of the various departments, the second section deals with the details of the various departments, and the third section deals with the details of the various departments.

The first part of the report deals with the general situation of the country, and the second part with the details of the various departments. The first part is divided into three sections: the first section deals with the general situation of the country, the second section deals with the details of the various departments, and the third section deals with the details of the various departments. The second part is divided into three sections: the first section deals with the details of the various departments, the second section deals with the details of the various departments, and the third section deals with the details of the various departments.

ABSTRACT

BARBOSA, Celso Gonçalves. Incidence of drying defects as index of quality and genetic selection for *Eucalyptus* wood. 2003. 98p. Dissertation (Master in Forest Engineering/Wood Science and Technology) Universidade Federal de Lavras, Lavras.*

Woods from *Eucalyptus* usually cultivated for charcoal production have been assessed for solid utilization in Brazil. Thus, aiming to contribute with this assessment, ten natural hybrids *Eucalyptus* clones, planted in an agroforestry system at the Northwest Minas Gerais State were assessed in terms of their performance during the drying in conventional kiln drying. For this, the clones' logs were broken down following three variations of the parallel method: parallel to the log diameter (M1), parallel to the log diameter, but cutting slab at 1/3 of the log ray (M2) and parallel to the bark (M3). The lumbers were labeled following their radial position of origin in the log. The drying schedule utilized was experimentally determined at 100 °C, where a common schedule was defined for all clones lumbers. So, the initial temperature was identified as 40 °C, the final temperature was equal to 65 °C and the potential of drying was equal to 2.2. The time for drying of the lumber from green to 14 % moisture content was equal to 443 hours. The effects of both the clones and radial positions of lumber removal in the logs on the drying defects were tested in a split-plot statistical model. The clones presented different intensities of after-drying defects depending on the sawing method. Collapse was the defect most influential on the wood quality showing to have a great capacity for genetic improvement. The clone 44-94 for both the method M1 and M3, and the clone 66 for the method M2 presented the smallest intensities of collapse. The lumber cup, longitudinal warp and end checking have not presented statistical differences between clones, for the three breakdown methods. Clones 44-94, 66 and 41 presented the minors surface checking for the method M1. In the method M2, the best results of surface checking index were presented by the clones 2 and 58, while for method M3, clones 44-94, 44-88, 58 and 36 were the bests. In a general manner, wood sampled from outer position in the logs presented smallest intensities of defects for all breakdown tested methods. A joint analyses of the after-drying defects revealed that clone 41 was the best for method M1; in the method M2 the clone 44-94 was the best, while in the method M3 the clones 36, 58 e 62 and 44-94 were the test.

* Advising Committee: José Tarcísio Lima - UFLA (Adviser), Paulo Fernando Trugilho - UFLA, Sebastião Carlos da Silva Rosado - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é uma matéria-prima para a confecção de móveis, esquadrias, assoalhos, instrumentos musicais, telhados, carrocerias de caminhões e inúmeros outros produtos. Todos estes usos necessitam de adequada estabilidade dimensional que somente pode ser proporcionada por madeira seca até a umidade de equilíbrio.

Por possuir uma grande capacidade produtiva, boa adaptabilidade em diversos ambientes e ainda pela sua expressiva diversidade genética, a utilização de *Eucalyptus* parece indicar que é possível atender aos requisitos tecnológicos vinculados aos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira. Com a crescente redução da disponibilidade de madeira, as espécies de *Eucalyptus* têm se mostrado como uma alternativa que se torna cada vez mais viável para o abastecimento dos setores de transformação e industrialização.

Entretanto, a madeira de *Eucalyptus* é difícil de ser seca sem que ocorram defeitos graves. As causas desses defeitos são a elevada instabilidade dimensional e a dificuldade de movimentação da água na madeira, cujas conseqüências são, principalmente, empenamentos, colapsos e rachaduras.

Outro problema a ser minimizado decorre do fato de que os lotes de madeira colocados nas estufas pertencem a diferentes árvores e posições dentro do tronco, apresentando assim comportamentos distintos durante a secagem. Esta variabilidade é apontada por Ilic & Bennett (2000) como sendo responsável por diferenças nas propriedades da madeira, resultando em diferentes taxas e qualidades de secagem. O método de desdobro utilizado para a produção das tábuas de diferentes dimensões e orientações anatômicas, pode também contribuir para o desempenho da secagem.

Algumas alternativas para reduzir essas dificuldades da secagem da madeira de *Eucalyptus* podem ser encontradas com a clonagem e com a

classificação das tábuas, em função das posições da tora de onde são cortadas. Essas técnicas poderiam proporcionar maior uniformidade da madeira a ser seca num mesmo lote. Neste contexto, este trabalho teve como objetivos principais:

- desenvolver programas de secagem para a madeira dos clones de *Eucalyptus* e verificar a adequação de um programa comum a todos os clones;
- verificar se existem diferenças nos defeitos das madeiras entre clones e entre tábuas provenientes de diferentes posições radiais da tora, em função do método de desdobro;
- identificar os melhores clones quanto ao comportamento na secagem;
- avaliar os componentes de variação genética, fenotípica e ambiental para os defeitos de pós-secagem da madeira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Secagem da madeira

A secagem é uma etapa importante para garantir melhor qualidade da madeira antes de sua transformação em produtos. A classificação do material por densidade e padronização de espessura, largura e comprimento das tábuas, contribui para melhorar a uniformização da secagem. Práticas adequadas de empilhamento como descrito por Galvão & Jankowsky (1985), devem ser adotadas para que a madeira sofra o mínimo possível de depreciação durante o processo de secagem.

Segundo Martins (1988), a secagem da madeira apresenta vários benefícios:

- estabilidade dimensional;
- redução dos riscos de mancha e apodrecimento;
- redução do peso;
- melhora da trabalhabilidade;
- aumento da resistência mecânica;
- melhora da propriedade de pega e da fixação de pregos e parafusos;
- melhora da propriedade de isolamento.

Segundo o mesmo autor, a secagem da madeira sofre influência das variáveis do processo de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar) e das características da madeira (espécie, espessura, proporção de cerne e de alburno, orientação dos elementos anatômicos, densidade, tipo de grã e textura).

A velocidade de secagem da madeira varia entre espécies. Os principais fatores que afetam essa velocidade são representados por suas características

anatômicas, como a morfologia das fibras, elementos de vasos e células parenquimáticas (Marchiori, 1992).

O incremento na espessura da peça em secagem implica também no aumento da proporção entre a massa de água a ser retirada e a superfície de evaporação, tomando o processo mais lento (Andrade, 2000).

A densidade da madeira é também uma característica que pode influenciar na velocidade de secagem. De acordo com Martins (1988), madeiras mais densas e com maior espessura requerem mais tempo de secagem. É importante ressaltar que a densidade da madeira é muito influenciada por sua estrutura anatômica (Panshin & De Zeeuw, 1980), o que denota a importância fundamental deste fator, conforme anteriormente descrito.

A grã e a textura são outras características que influenciam no processo de secagem. Segundo Burguer & Richter (1991), espécies com grã regular e textura grossa apresentam maior facilidade de secagem. A posição da grã (grã direita, crespa, espiralada e reversa) tem grande influência no comportamento da madeira durante a secagem, sendo freqüentemente responsável por empenamentos, rachaduras e outros defeitos. A grã direita é a única não responsável por defeitos na madeira durante o processo de secagem (Santini, 1992).

A direção estrutural também afeta a movimentação da água. As tábuas de corte tangencial secam mais rapidamente do que as tábuas de corte radial, pois a posição dos raios em relação à espessura das peças favorece a retirada de umidade do interior da madeira. Segundo Martins (1988), o fluxo de umidade longitudinal é de 10 a 15 vezes maior que no transversal (radial ou tangencial) sendo que esse fluxo é de 20% a 50 % maior no sentido radial que no tangencial. Entretanto, esta movimentação mais rápida pode favorecer a ocorrência de defeitos.

Tanto o fluxo da água capilar como a difusão da água higroscópica são maiores no sentido longitudinal do que no transversal, e maiores na direção radial em comparação com tangencial (Siau, 1984).

Em função do grau de dificuldade de movimentação da água na madeira e da influência dessa movimentação na ocorrência de defeitos, são desenvolvidos os programas de secagem.

Como pode ser observado em estudo desenvolvido por Severo (2000), o melhor programa para secagem do *E. dunnii* é um programa suave no qual não se aplicam temperaturas superiores a 45°C até que a madeira atinja o ponto de saturação das fibras.

Com relação às variáveis do processo, a elevação da temperatura contribuirá para o aumento de velocidade de remoção de água (Oliveira, 1981). Entretanto, temperaturas muito elevadas podem causar maior degradação do material.

Adicionalmente, a circulação do ar é também um fator de grande importância no processo de secagem. Sua finalidade é transferir calor do sistema de aquecimento para o secador e para a madeira, distribuir o calor uniformemente na câmara, misturar e condicionar o ar antes da sua passagem pela carga e remover a umidade da madeira (Ponce & Watai, 1985).

2.2 Programa de secagem

Um programa de secagem é um plano para aplicar a combinação correta de temperatura e umidade relativa à carga de madeira na estufa, no momento apropriado durante o processo de secagem. O programa correto deve possibilitar a obtenção da madeira seca com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível (Martins, 1988).

Este último autor comenta que a escolha do programa de secagem é um fator determinante para que a secagem convencional ocorra de maneira adequada. Os principais fatores envolvidos na escolha de um programa de secagem são: espécie de madeira, teor de umidade inicial, teor de umidade final, espessura da peça de madeira, uso que o material se destina, equipamento de secagem.

2.2.1 Estrutura dos programas de secagem

Os programas de secagem se caracterizam pela variação dos valores de temperatura e umidade relativa que são determinados em função da fase de secagem da madeira. De forma geral, pode-se dizer que são três (Stumpp, 1992): aquecimento inicial, secagem propriamente dita e uniformização e condicionamento.

2.2.1.1 Aquecimento inicial

O aquecimento inicial é a fase na qual a madeira é aquecida sem iniciar o processo de secagem propriamente dito. Nesta fase, o ar deve ser aquecido até atingir a temperatura do bulbo seco desejado, não sendo aconselhável que a diferença higrométrica (temperatura de bulbo seco – temperatura de bulbo úmido) seja superior a 2°C. Após o aquecimento do ar ocorre o aquecimento da madeira cuja duração deve ser proporcional à espessura da peça a ser seca. Segundo Hildebrand, citado por Galvão & Jankowsky (1985), é aconselhável um período mínimo de 1 hora por 1cm de espessura da peça, devendo a diferença higrométrica ser mantida.

2.2.1.2 Secagem propriamente dita

Segundo Skaar (1988), a secagem da madeira passa por três etapas. A primeira etapa ocorre quando a madeira encontra-se com alta porcentagem de umidade. Nesta etapa retira-se principalmente a água livre da madeira, sendo caracterizada por apresentar velocidade constante de retirada de água (ocorre quando a velocidade de evaporação da água livre da madeira é menor ou igual à velocidade de chegada do líquido à superfície do sólido).

A segunda etapa se caracteriza por apresentar o primeiro período de velocidade decrescente de retirada de água (em que a velocidade de evaporação é pouco maior que a velocidade de chegada de líquido à superfície da madeira). Nesta etapa começa a ser retirada a água adsorvida às paredes celulares, sendo iniciados também os fenômenos de retratibilidade da madeira. À medida em que a madeira torna-se mais seca existe a necessidade de empregar maior energia para a retirada da água (Skaar, 1988).

Quando o teor de umidade aproxima-se da umidade de equilíbrio, ocorre a terceira etapa da secagem, que se caracteriza pelo segundo período de velocidade decrescente de retirada de água (em que a velocidade de evaporação é maior que a velocidade de chegada do líquido à superfície da madeira). A quantidade de energia empregada nesta etapa é maior, pois grande parte da água adsorvida já foi retirada e existe uma camada seca na superfície para ser ultrapassada (Skaar, 1988).

Segundo Santos (2002), as madeiras de *Eucalyptus* não apresentam a primeira etapa do processo de secagem descrito anteriormente, apenas duas etapas de decréscimo da velocidade de retirada de água da madeira.

A primeira etapa não ocorre nas madeiras de *Eucalyptus* porque a movimentação da água nas madeiras sofre restrições pelas características anatômicas (com predomínio de pontuações de pequenos diâmetros e com vasos

usualmente bloqueados por tilos). Estas características definem a madeira de *Eucalyptus* como impermeável. A baixa permeabilidade da madeira de *Eucalyptus* é tida como a principal responsável pela dificuldade da secagem e alta incidência de defeitos, principalmente o colapso.

Por apresentar propensão ao colapso e a rachaduras, durante a secagem da madeira de *Eucalyptus* é recomendado, inicialmente, retirar-se a água livre mediante aplicação de baixa temperatura (menor que 45°C) e de alta umidade relativa (Martins et al., 2001). Recomenda-se também nesse início, baixos potenciais de secagem, visando reduzir as tensões internas de secagem que poderiam causar defeitos na madeira (Galvão & Jankowsky, 1985).

A umidade relativa inicial a ser aplicada depende da espécie (espécies de difícil secagem devem ser submetidas inicialmente a umidades relativas altas). Segundo Simpson (1991), quando cerca de 1/3 da umidade inicial da madeira for retirada, pode-se iniciar a redução gradual da umidade relativa.

2.2.1.3 Uniformização e condicionamento

Uniformização é a redução da diferença de umidade entre peças de madeira constituintes da carga. Segundo Pratt (1974), uma amplitude de 2% na umidade ao fim da secagem é um bom resultado, podendo a uniformização ser dispensada, dependendo do material e da operação de secagem.

O condicionamento visa aliviar as tensões desenvolvidas durante o processo de secagem da madeira. Consiste em manter a temperatura do bulbo seco e elevar a umidade relativa de forma que ocorra o reumedecimento das camadas superficiais das peças, suavizando o gradiente de umidade (Galvão & Jankowsky, 1985).

Para avaliar a qualidade da madeira após o condicionamento faz-se o teste do garfo (Mendes et al., 1998). Quando os dentes do garfo arqueiam para

dentro, a madeira ainda apresenta endurecimento e o período de condicionamento deve ser prolongado para cargas semelhantes da mesma espécie. Na seqüência, se os dentes externos que estavam arqueados ficarem retos, a carga deverá estar livre do endurecimento. Assim, o mesmo período de condicionamento deve ser usado para as cargas similares da mesma espécie. Mas, se os dentes externos arquearem-se consideravelmente para fora, indicando que a carga apresenta endurecimento reverso, o período de condicionamento para as cargas subseqüentes de material semelhante deve ser diminuído.

2.3 Elaboração de programa de secagem

Um programa de secagem, na maioria das vezes não atende às necessidades de todas as espécies de madeira (Brandão, 1989), necessitando de elaboração de programas (específicos) para uma espécie ou grupo de espécies com características semelhantes durante o processo de secagem.

A dificuldade de elaboração de programa de secagem para madeiras, tem forçado muitos pesquisadores a buscarem definir uma metodologia para atender a esse fim.

Simpson (1996), elaborando programas de secagem para espécies de madeiras tropical e temperada, estabeleceu as seguintes etapas para definir uma metodologia para elaboração de programa de secagem:

- estimar a temperatura inicial de bulbo seco;
- estimar a depressão inicial de bulbo úmido;
- estimar o teor de umidade para primeira mudança de depressão de bulbo úmido;
- estabelecer um método para aumentar a temperatura do bulbo seco;

- estabelecer um método para aumentar a depressão do bulbo úmido;
- calcular o programa de secagem estimado;
- aplicar o método para uma espécie sem programa conhecido.

Brandão (1989), baseado no trabalho de Terazawa, testou a viabilidade da utilização de uma metodologia que relacionava, em pequenas amostras de madeira (2,5 x 5,0 x 10,0 cm), ocorrência de diferentes graus de rachaduras e colapsos, decorrentes de uma secagem a 100°C com a temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem de programas de secagem encontrados na literatura para diferentes tipos de madeira. O autor concluiu que a metodologia empregada é eficiente para prever o comportamento de uma dada madeira quando submetida a um processo de secagem convencional. De acordo com esse método, a taxa de secagem e a rachadura de topo foram as variáveis de maior importância para a elaboração dos programas de secagem.

Segundo Ciniglio (1998), Jankowsky aprimorou esta metodologia definindo os defeitos e características de secagem que mais interferem na elaboração dos programas (tempo de secagem, velocidade de secagem e rachadura de topo) bem como a elaboração de equações para a estimativa dos parâmetros de secagem (temperatura inicial, temperatura final e potencial de secagem).

Após ser aprimorada, esta metodologia foi testada em várias espécies e aceita por diversos autores, como por exemplo: Ciniglio (1998) para as espécies de *E. grandis* e *E. urophylla*; Andrade (2000) para as espécies *E. grandis*, *E. tereticornis*, *Cordia goeldiana*, *Ocotea porosa*, *Mezilaurus itauba*, *Hymenaea sp*, *Maartiodendron sp*, *Aspidosperma sp*, *Balfourodendron riedelianum*, *Pinus caribaea*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Couratari sp* e Santos (2002) para *E. grandis*.



Simpson (1996) testou a viabilidade de elaborar programas de secagem através da relação da temperatura inicial de bulbo seco e da depressão inicial de bulbo úmido, com a densidade. Usando o método de quadrados mínimos estas relações foram estabelecidas para 268 espécies de folhosas tropicais e temperadas, para as quais tanto a densidade específica quanto o programa recomendado eram conhecidos. Foi então desenvolvido um método para estimar sistematicamente o aumento da temperatura de bulbo seco e da depressão do bulbo úmido através da relação dos dados coletados na literatura de densidade e programa de secagem. Foram então estimados programas para 3.237 espécies da África, Ásia, Oceania e América Latina.

A metodologia estima com eficiência a temperatura inicial do bulbo seco e depressão inicial de bulbo úmido. Porém, alguns desvios apresentados podem comprometer a metodologia para a condução da secagem. No entanto, o método de Simpson (1996) representa um bom indicativo para a seleção de programas para aquelas espécies que não têm um programa conhecido.

Martins et al. (2001) elaboraram programas de secagem com amostras de madeira de eucalipto nas dimensões 2,5 x 50,0 x 14,0 cm. A metodologia utilizada consistia em submeter as amostras a três níveis de temperatura: 80°C (programa forte), 60°C (programa médio) e 45°C (programa suave). Diariamente analisavam-se o tempo de duração e os defeitos ocorridos durante a secagem. Por meio deste método foi possível identificar qual a melhor temperatura de secagem e, posteriormente, elaborar programas de secagem, relacionando cada nível de temperatura com os defeitos apresentados. Os programas são montados com base nas seguintes variáveis operacionais: teor de umidade, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, teor de umidade de equilíbrio, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

2. 4 Defeitos da secagem

O conceito de defeitos da madeira é muito amplo e sua classificação complexa. Há sempre uma dose de risco na designação de um defeito, pois o que muitas vezes, é tido como impróprio para certas aplicações pode ser requerido para outros (Grosser, 1980).

A ocorrência de defeito na madeira, entre outros aspectos, pode estar associado ao seu processo de formação, ao desdobro e à secagem, os quais geram elevadas perdas de material.

Segundo Miranda (1997), é necessário o uso de técnicas de desdobro e cuidados na condução da secagem, juntamente com práticas silviculturais apropriadas (desbaste, desrama, etc), para obter madeira serrada de qualidade. O melhoramento genético e técnicas de propagação vegetativa aplicadas aos *Eucalyptus*, possibilitarão a criação de florestas altamente produtivas e uniformes.

O conhecimento do comportamento dos defeitos da madeira antes e depois da secagem pode orientar a seleção de matéria-prima e a obtenção de um produto final de qualidade.

Crêspo (2000), estudando a relação dos defeitos da madeira antes e depois da secagem, observou uma alta correlação ($R = 0,77$) entre rachadura de extremidade de tábua e o índice de rachadura de tora para *E. saligna*. Já para *E. grandis*, essa correlação foi baixa ($R = 0,21$). A mesma autora também observou que existe uma alta correlação ($R = 0,93$) entre as rachaduras de tábuas pós-desdobro e de tábuas pós-secagem, demonstrando que tábuas que racham mais durante o processo do desdobro também racham mais durante a secagem.

As rachaduras de extremidade de toras, de bloco e das peças serradas, bem como os empenamentos da costaneira e das peças serradas, são indicadores das tensões de crescimento que existiam na árvore e são altamente herdáveis

(Crêspo, 2000). Portanto, podem ser utilizados nos programas de melhoramento florestal como caracteres indicativos de produtividade e de qualidade da madeira serrada (Schacht, 1998). Este autor ainda comenta que o melhoramento de qualquer tipo de rachadura, indiretamente, favorecerá o melhoramento de todos os tipos de empenamentos da madeira serrada, pois todos estes caracteres estão positiva e significativamente correlacionados geneticamente.

O aumento da altura ao longo do fuste da árvore não tem influência nas rachaduras de toras e na flecha do vigote da costaneira, mas a intensidade de rachaduras de tábuas diminui significativamente com o aumento da altura (Schacht, 1998).

Segundo Santini (1992), o conhecimento da madeira e técnicas de secagem permite exercer um controle mais efetivo sobre o processo, enquanto a identificação das causas dos defeitos de secagem possibilita a adoção das medidas necessárias para prevenir os efeitos desfavoráveis sobre a qualidade da madeira.

A remoção de água da madeira é, invariavelmente, acompanhada pelo desenvolvimento de tensões resultantes da diferença de umidade entre regiões contíguas e da anisotropia de contração. Este fenômeno se manifesta sob quaisquer condições de secagem, e a menos que estas sejam adequadamente controladas, podem surgir defeitos na madeira (Santini, 1992).

Segundo Galvão & Jankowisk (1985), as tensões que se desenvolvem na madeira são a causa básica dos defeitos de secagem, os quais são a seguir agrupados e discutidos:

1. Empenamentos

Empenamentos são distorções que ocorrem na peça de madeira em relação aos planos originais de sua superfície (Galvão & Jankowsky, 1985 e

Santini, 1992). De maneira geral, originam-se das diferenças inerentes às contrações radial, tangencial e longitudinal. São influenciados também pela irregularidade da grã, lenho de reação e lenho juvenil (Mendes et al., 1998).

Segundo Galvão & Jankowsky (1985) e Santini (1992), se forem levados em conta os planos em relação aos quais houve alteração, os empenos podem ser do tipo encanoamento, arqueamento, encurvamento, encurvamento complexo e torcimento.

1.1 Encanoamento ou empeno em canoa

Numa peça de madeira que apresenta o encanoamento, as margens da peça permanecem aproximadamente paralelas, e ela adquire um aspecto encanoado ou de canaleta, isto é, o encanoamento se manifesta na forma de uma curvatura através da largura da peça de madeira (Galvão & Jankowsky, 1985; Santini, 1992).

Este tipo de empenamento é o mais comum em tábuas tangenciais de madeira de folhosas, principalmente aquelas cortadas próximo à periferia das toras. Ele aparece em consequência da diferença de estabilidade entre as direções radial e tangencial, que provoca a maior movimentação de uma das faces da peça em relação à outra. Outra causa para o empeno encanoado é a secagem mais rápida de uma face (Galvão & Jankowsky, 1985).

1.2 Arqueamento

Arqueamento é uma curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira, num plano paralelo à face.

Este defeito se manifesta, principalmente, em peças orientadas radialmente, em que uma das margens contém lenho juvenil. A presença de

lenho de reação numa das bordas também provoca o arqueamento. Nesse tipo de lenho, em razão de suas características peculiares, a contração axial é mais acentuada (Santini, 1992).

1.3 Encurvamento ou empenamento longitudinal

O empenamento longitudinal é caracterizado pelo afastamento de uma face em relação a um plano que une uma extremidade a outra da peça, ou seja, é a curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira, num plano perpendicular à face (Galvão & Jankowsky, 1985). Ocorre como consequência de irregularidade da grã, resultante da própria madeira ou do seu desdobro ou contração excessiva provocada pela secagem rápida ao longo da face côncava. É comum a ocorrência deste defeito associado ao encanoamento. Pode ocorrer também como consequência de tensões desenvolvidas durante o crescimento da árvore. Nessas condições, quando as toras são desdobradas, as pranchas racham ao centro com empenamento longitudinal. Esse tipo de defeito é freqüente em *Eucalyptus saligna* (Santini, 1992).

1.4 Encurvamento complexo

Encurvamento complexo é o empeno que se caracteriza pela ocorrência de mais de uma curvatura ao longo do comprimento da peça. As causas deste defeito são as mesmas relacionadas para o encurvamento (Santini, 1992).

1.5 Torcimento

Torcimento é um empenamento helicoidal ou espiral no sentido do eixo da peça de madeira. Colocada sobre uma superfície plana, como uma mesa, os cantos da peça não permanecem no mesmo plano. É causado principalmente pela presença de grã espiralada e inclinada na peça de madeira (Galvão & Jankowsky, 1985 e Santini, 1992).

Mendes et al. (1998) concluíram que pouco pode ser feito durante o processo de secagem para minimizar o aparecimento de empenos, a não ser tornar os programas menos severos (diminuindo o potencial de secagem em cada passo do processo) e evitar teores de umidade finais muito baixos. De maneira geral, os procedimentos mais efetivos para a redução de empenos são: desdobro adequado, empilhamento correto com alinhamento vertical perfeito dos separadores, pré-secagem ao ar livre e restrição da carga por meio da colocação de peso no topo da pilha ou do tracionamento da pilha com molas.

2. Rachadura

Rachaduras são aberturas estreitas e longas, que aparecem tanto nas faces como no topo da madeira. Se desenvolvem quando a secagem inicial é muito acelerada, produzindo uma diferença acentuada de umidade entre a camada superficial e a camada interna. Essa diferença gera uma tensão de tração transversal na superfície que ultrapassa a resistência da madeira, provocando a separação das fibras (Ponce & Watai, 1985). Segundo Galvão & Jankowsky (1985), as rachaduras podem ser causadas também pelas diferenças nas contrações radiais e tangenciais, resultando em tensões de magnitude suficiente para causar a ruptura da madeira ao longo dos planos mais fracos, geralmente nas junções do tecido longitudinal (fibras, vasos, traqueídeos, etc.) com os raios.

Segundo Santini (1992), rachaduras são separações dos elementos constituintes da madeira no sentido longitudinal da grã.

As rachaduras podem ser de três tipos: rachadura de superfície, rachadura de topo e rachadura interna.

2.1 Rachadura de superfície

Na secagem artificial, as rachaduras superficiais podem aparecer quando as condições são muito severas, isto é, baixas umidades relativas provocando a rápida secagem das camadas superficiais até valores inferiores, ao ponto de saturação das fibras, enquanto as camadas internas estão ainda com mais de 30% de umidade. Como as camadas internas impedem as superficiais de se retraírem, aparecem tensões que, excedendo à resistência da madeira à tração perpendicular às fibras, provocam o rompimento dos tecidos lenhosos. Normalmente, a ruptura ocorre nos tecidos que compõem os raios, constituídos de células parenquimáticas (Galvão & Jankowsky, 1985 e Santini, 1992).

Segundo Mendes et al. (1998), quanto mais espessa for a madeira, maior a possibilidade do aparecimento de rachaduras superficiais. Este defeito ocorre, principalmente, na fase inicial da secagem e, quando detectado a tempo pode ser reduzido, aumentando-se a umidade relativa dentro da câmara. Isto é conseguido elevando-se a temperatura do bulbo úmido, sem alterar a temperatura do bulbo seco.

2.2 Rachadura de topo

Normalmente, uma peça de madeira seca mais rapidamente nos extremos do que no centro. Este fato origina gradientes de umidade, em que os extremos tendem a contrair-se transversalmente mas são impedidos pelo restante

da peça. Em consequência, desenvolvem-se tensões na madeira que, quando altas, causam rachaduras de topo (Santini, 1992). Segundo Mendes et al. (1998), estas rachaduras são causadas principalmente durante a fase de secagem inicial e são mais freqüentes em peças de maior espessura. As rachaduras de topo podem ser reduzidas aplicando-se o mesmo procedimento descrito no item anterior, sendo também recomendada a vedação dos extremos com produtos impermeabilizantes (resinas hidroasfálticas ou tintas apropriadas).

2.3 Rachadura interna

As rachaduras internas aparecem durante a secagem da madeira em estufa e se manifestam principalmente no interior de peças espessas. Este tipo de defeito se desenvolve nos últimos estágios de secagem, normalmente associado ao encurvamento, quando as camadas internas e externas estão submetidas, respectivamente, aos esforços da tração e compressão (Santini, 1992). As rachaduras internas são detectadas somente quando a madeira é resserrada, razão pela qual é uma das mais caras formas de degradação.

As rachaduras, de maneira geral, ocorrem em determinadas regiões da madeira consideradas críticas, como a área de contato entre as células radiais e axiais, e na transição entre os lenhos iniciais e tardios.

Apesar de estas rachaduras manifestarem-se somente em estágios avançados de secagem, seu controle deve ser feito ainda na fase inicial. Quando muito acelerada, a secagem causa um desequilíbrio entre as tensões no interior e na superfície da peça que acaba por produzir rachaduras internas, à medida que o processo evolui (Mendes et al., 1998).

3. Encruamento (endurecimento superficial)

Durante a secagem convencional, é comum desenvolverem-se tensões de compressão na superfície e de tração no interior da peça de madeira, causadas pelo aparecimento de um gradiente de umidade ao longo da espessura (Santini, 1992). Este fenômeno, conhecido por endurecimento superficial ou encruamento, é detectado e analisado pelo “teste do garfo” (Kollmann & Côté, 1968). Apesar do desenvolvimento dessas tensões ser considerado normal na secagem forçada, quando a madeira se destina à usinagem, o encruamento deve ser removido por meio do condicionamento. Do contrário, podem ocorrer defeitos como rachaduras e empenos que comprometerão o seu uso (Mendes et al., 1998).

Segundo Kollmann & Côté (1968), este defeito é provocado por uma secagem artificial rápida e desuniforme. A menos que ocorram rachaduras externas, sua presença só é detectada quando a madeira é resserrada. Neste caso, as peças oriundas do corte resultam empenadas.

Se o condicionamento for por tempo muito prolongado o endurecimento superficial pode se tornar endurecimento reverso, em que há uma inversão das forças que estão atuando na peça de madeira (Mendes et al., 1998).

4. Colapso

O colapso pode ser caracterizado por ondulações nas superfícies da peça de madeira. Ele é basicamente ocasionado por forças geradas durante a movimentação da água capilar, as quais deformam as células.

Contrações normais envolvem apenas movimentações na espessura da parede da célula, relacionadas com a retirada da água adsorvida. No colapso

ocorrem distorções na cavidade das células, sendo o achatamento das fibras evidenciado (Ewood, 1962, citado por Ciniglio, 1998).

De maneira geral, as causas deste defeito são (Santini, 1992):

- alta tensão capilar, resultante da alta tensão superficial do líquido;
- pequeno diâmetro das células e pequenas aberturas das pontuações;
- alta tensão hidrostática, exercida pelo líquido;
- altas temperaturas de secagem, que influem na plasticidade da parede celular.

Segundo Kollmann & Coté (1968), colapso é um defeito que ocorre em secagem de madeiras, normalmente quando são empregadas temperaturas do bulbo seco excessivamente altas nos estágios iniciais de secagem em estufa. A madeira verde torna-se um tanto plasticizada, diminuindo sua resistência à compressão e possibilitando esmagamento interno devido a esforços elevados. A aparência externa da madeira colapsada é geralmente torcida, sugerindo um empeno agravado. As células nas áreas colapsadas apresentam-se severamente torcidas ou achatadas.

Segundo Santini & Tomaselli (1980), os fatores que influenciam no colapso são inerentes à madeira e ao processo de secagem.

Fatores inerentes à madeira:

- espécie – a maioria das espécies sofrem colapso em pequeno grau durante a secagem, porém, o colapso é restrito a certas angiospermas de média densidade e a algumas gimnospermas;
- distribuição geográfica – dentro da mesma espécie, o colapso varia com a distribuição geográfica;
- idades – madeiras de árvores imaturas geralmente sofrem mais colapso do que madeiras de árvores maduras;
- partes consideradas da árvore – o colapso é mais intenso na extremidade mais desenvolvida do que no topo da tora, e apresenta maior severidade

freqüente no lenho formado no início da vida das árvores do que no lenho mais recente de árvores maduras;

- presença de extrativos – o colapso está também relacionado com a quantidade de extrativos na madeira, visto que os extrativos aparentemente obstruem o movimento do ar nas células;
- teor de umidade – o teor de umidade da madeira também exerce uma certa importância na formação do colapso. O colapso inicia-se a um teor de umidade de 100% a 120% e é completo quando as células atingem o ponto de saturação das fibras. Seu desenvolvimento atinge o máximo entre 50% a 70% de umidade.

Fatores inerentes à secagem:

- Temperatura – a temperatura exerce tanto um efeito irreversível como um efeito reversível. O efeito irreversível é devido à degradação térmica da madeira. O efeito reversível é devido à plastificação transitória das paredes celulares, o que reduz sua resistência mais rápido do que a redução da tensão hidrostática com a temperatura.

A temperatura da madeira para espécies susceptíveis ao colapso deve ser mantida abaixo de 60°C durante o processo de secagem até que todas as partes das tábuas estejam abaixo do PSF. Desse modo, é possível evitar a contração excessiva e rachaduras severas.

- Umidade relativa, pressão atmosférica e tempo – freqüentemente tem sido mencionado que o colapso é tanto maior quanto maior a umidade relativa durante a secagem

As variações na pressão atmosférica não apresentam grande influência na ocorrência de colapso.



O tempo de secagem para atingir o PSF é de pouca influência em madeiras serradas já que o tempo de liberação do esforço de colapso é usualmente menor do que aquele do processo de secagem, exceto a temperaturas em torno de 100°C ou maiores.

- Esforço de contração – o colapso pode ser provocado pelos esforços de compressão originados durante a secagem. Estes esforços devem-se a contração desigual causada pela presença de um gradiente de umidade, e podem comprimir a parte central de uma tábua o suficiente para causar o colapso.

2. 5 Melhoramento da qualidade da madeira de *Eucalyptus*

O melhoramento genético, aplicado aos *Eucalyptus* no Brasil, é muito importante devido à grande adaptação e crescimento de dezenas de espécies deste gênero em diversas condições ecológicas. A isto deve-se adicionar as grandes variabilidades inter e intra-específica que expressam diversificadas propriedades físicas, mecânicas, anatômicas e químicas da madeira. Isto possibilita o seu emprego para os mais diversos fins tecnológicos, incluindo aqueles de uso sólido na indústria moveleira e na construção civil (Rosado, et al., 2002).

Apesar de representar uma alternativa potencial no abastecimento desse tipo de indústria, a madeira da maioria das espécies de *Eucalyptus* apresenta problemas técnicos próprios do uso de florestas jovens, sobretudo as tensões de crescimento, que são responsáveis pela maior parte das perdas verificadas durante o processamento industrial.

Segundo Assis (2001), rachaduras associadas a essas tensões de crescimento, juntamente com madeira juvenil, orientação das fibras e defeitos decorrentes do processo de secagem, estão entre os principais entraves à

utilização econômica de espécies de *Eucalyptus* para serraria. Além disso, características importantes, diretamente ligadas à qualificação da madeira serrada, tais como bolsas de resina, podridão de cerne e ataque de insetos constituem dificuldade adicionais.

Entretanto, o mesmo autor comenta que existe variabilidade genética e bons níveis de controle genético na expressão da maioria das características de interesse. Os programas de melhoramento genético são alternativas viáveis para tornar a madeira de *Eucalyptus* mais adequada para serraria. As variações existentes entre espécies, procedências, famílias e clones constituem uma oportunidade de se alterar características importantes da madeira, no sentido de se produzir matéria-prima com qualidade adequada aos processos e aos produtos. Tendo em vista que os resultados efetivos desses programas são de longo prazo, é necessário utilizar técnicas que sejam capazes de imprimir maior velocidade na obtenção de ganhos genéticos e na integração desses ganhos ao processo produtivo.

Neste contexto Rosado et al. (2002) afirmam que a estratégia mais lógica para o melhoramento genético da qualidade da madeira é a definição de um número limitado de características da madeira para ser estudado com maior detalhamento do ponto de vista da amostragem e da obtenção de ganhos genéticos. Esses autores apresentam alguns destes índices encontrados na literatura, com as respectivas estimativas dos parâmetros genéticos, incluindo as porcentagens esperadas no ganho decorrente da seleção (Tabela 1).

A seleção genética baseada nestes índices pode ser de grande contribuição para melhorar a qualidade da madeira no processo de secagem. Segundo Souza (2002), existe um ganho correlacionado na ordem de 58% nos índices de rachadura pós-desdobro, decorrente da seleção baseada nos valores de deformação residual longitudinal, associada às tensões de crescimento - DRL.

TABELA 1 Coeficiente de variação genotípica (CVg), ambiental (CVe) e relação CVg/CVe, herdabilidade clonal (h^2_c) e ganho genético (G%), estimados em testes clonais de *Eucalyptus*.

Propriedades	CVg (%)	CVe (%)	CVg/CVe	H^2_c (%)	G (%)
DRL (Souza, 2000)	30,6	12,8	2,4	94,0	28,2
IR (Souza, 2002)	48,2	30,1	1,6	88,8	75,0
DB (Moura, 2000)	8,9	4,3	2,1	98,5	12,0
CR (Moura, 2000)	13,0	10,3	1,2	96,0	10,9
CT (Moura, 2000)	15,7	7,9	2,0	98,0	12,1
CV(Moura, 2000)	15,0	9,0	1,7	98,0	4,9
Ec (Moura, 2000)	17,3	12,4	1,4	97,0	12,8
Ef (Moura, 2000)	8,9	9,4	0,9	93,0	9,2

DRL = deformação residual longitudinal; IR = índice de rachamento de tábuas; CR, CT e CV = contração radial, longitudinal e volumétrica; Ec, Ef = módulo de elasticidade - compressão e flexão; DB = densidade básica.

Moura (2000) concluiu em seus estudos que as contrações da madeira encontram-se sob forte controle genético e que, por meio de uma seleção genética adequada, pode-se reduzir as contrações excessivas e, assim, aumentar a estabilidade dimensional da madeira, reduzindo o aparecimento de defeitos de secagem, como empenamentos e rachaduras.

2.6 Secagem da madeira de *Eucalyptus*

A madeira de *Eucalyptus* tem sido pouco aproveitada, do ponto de vista de madeira serrada e laminada. Isto se deve a características como elevada retratibilidade, alta susceptibilidade ao colapso, rachaduras superficiais, altas contrações e elevado gradiente de umidade e tensões de secagem (Rozas & Tomaselli, 1993).

A dificuldade de secagem da madeira de *Eucalyptus* tem levado muitos pesquisadores a buscar a melhor forma (técnicas) para a secagem desta madeira.

Rozas & Tomaselli (1993), estudando a secagem da madeira serrada de *Eucalyptus viminalis* de 25,0 mm espessura, testaram um programa de secagem que constou de três diferentes fases de vaporização: uma inicial, de duas horas, para acelerar a secagem; uma intermediária, de quatro horas, para a recuperação do colapso e uma final, de uma hora, para diminuir o gradiente de umidade e as tensões de secagem. Todas realizadas a 100°C. Os resultados obtidos com este programa de secagem, permitiram produzir apenas 45% das tábuas com rachadura de superfície e 22% das tábuas com colapso.

Ciniglio (1998), avaliando a secagem de madeira serrada de *E. grandis* e *E. urophylla*, encontrou os seguintes resultados: 8,3% das tábuas com colapso, 16,7% com torcimento, 29,2% com encanoamento. Nesse estudo não foram encontrado empenamento longitudinal e arqueamento, pois as tábuas avaliadas tinham apenas 0,50 metros de comprimento.

Severo (2000) avaliou a qualidade da secagem de madeira serrada de *E. dunnii*, testando três programas de secagem. Cada programa de secagem teve uma vaporização inicial (pré-vaporização) de 3 horas, após uma hora de aquecimento inicial. Teve também uma vaporização intermediária de cinco horas para recuperação do colapso, quando a madeira encontrava-se a 17% de umidade. Os resultados mostraram que, entre os programas de secagem utilizados, somente o programa considerado como mais suave apresentou um bom resultado em termos de qualidade seca. Entre os defeitos encontrados estão 37% de colapso, 35% de encanoamento e 10% de rachadura. Do total, apenas uma pequena parte (1/10 das peças) foi considerada como defeito de forte intensidade.

Martins et al (2001), estudando a secagem convencional de madeira de *E. cloeziana*, *E. grandis*, *E. pilularis*, nas dimensões 2,5x50,0x14,0 (espessura,

comprimento e largura), encontraram os seguintes resultados: 12,5% das tábuas com rachadura de topo; 71,0% com torcimento para *E. cloeziana*; 4% das tábuas com rachaduras de topo; 8,0% com encanoamento; 29% com torcimento; 58,0% com colapso para *E. grandis*; 8,0% com rachadura de topo; 4% com rachadura de superfície; 4% com encanoamento e 12,5% com torcimento para *E. pilularis*.

Santos (2002), estudando a otimização da secagem da madeira de *E. grandis*, encontrou as seguintes percentagens de tábuas com defeitos: 90,7% com arqueamento, 94,42% com torcimento, 100% com encurvamento, 92,56% com rachadura de topo, 4,65% com rachadura de superfície e 19,5% com colapso. O autor também observou que a secagem combinada (pré-secagem ao ar até 35% e secagem convencional) demandou 31% a mais de tempo do que a secagem convencional isoladamente, mas reduziu em 78% o uso do secador, maximizando seu uso e reduzindo os índices de colapso.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material utilizado

Neste estudo foram utilizados 10 clones de *Eucalyptus* spp (híbridos naturais), apresentados na Tabela 2. Estes clones provêm de um plantio em sistema agro-florestal, em fazendas de propriedade da Companhia Mineira de Metais (CMM-AGRO), localizadas nos municípios de Paracatu e de Vazante, região noroeste de Minas Gerais. A área está situada a 17°36'06" Sul, 46°42'42" Oeste e a 550 metros de altitude. Segundo classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 24°C e a precipitação média anual é de 1,450 mm.

TABELA 2 Clones selecionados, listados por idade, e seus respectivos espaçamentos e locais de plantio.

Clone	Idade (anos)	Espaçamento (m)	Local
58	7,5	10x4	Fazenda Riacho
62	7,5	6x4	Fazenda Bonsucesso
44-94*	7,5	6x4	Fazenda Bonsucesso
280	7,5	10x4	Fazenda Riacho
299	7,5	10x4	Fazenda Riacho
66	8,5	10x4	Fazenda Riacho
36	8,5	10x4	Fazenda Riacho
41 ^A	8,5	10x4	Fazenda Riacho
02	10,5	6x4	Fazenda Bonsucesso
07	10,5	6x4	Fazenda Riacho
44-88*	13,5	3x3	Fazenda Bonsucesso

* Os clones 44-94 e 44-88 são idênticos, variando apenas os anos de plantio, 1994 e 1988, respectivamente.

Cada clone teve sua primeira tora de três metros de comprimento desdobrada segundo três variações do método de desdobro tangencial: paralelo

ao diâmetro das toras (M1), paralelo ao diâmetro da tora, com retirada de duas costaneiras a um terço do raio da tora (M2) e o paralelo à casca (M3). Os resultados do rendimento do desdobro, em função da qualidade das toras, do método de desdobro e dos clones encontram-se detalhados no trabalho de Ferreira (2003). Após as toras serem desdobradas, as tábuas foram marcadas em função do método de desdobro, posição radial de remoção na tora e número do clone, sendo, então, utilizadas para a condução do presente estudo.

3.2 Elaboração do programa de secagem

A determinação do programa de secagem teve como base teórica a metodologia utilizada por Ciniglio (1998). A hipótese fundamental é a de que pequenas amostras de madeira, quando submetidas a secagens drásticas, apresentarão comportamentos similares aos que possivelmente ocorrerão na secagem convencional, possibilitando, assim, selecionar programas de secagem de maneira confiável e rápida.

3.2.1 Preparação das amostras

Utilizaram-se três tábuas recém-cortadas de toras verdes de cada um dos clones estudados. As dimensões mínimas das tábuas eram de 280 x 15 x 25 mm (comprimento, largura e espessura). Após serragem e aplainamento de cada tábua na sua parte central, foram retirados 12 corpos-de-prova por clone para secagem e elaboração do programa de secagem. Destes, quatro corpos-de-prova foram destinados para determinação do teor de umidade inicial, quatro corpos-de-prova destinados para densidade básica e quatro corpos-de-prova destinados para ensaios na estufa, conforme esquema da Figura 1.

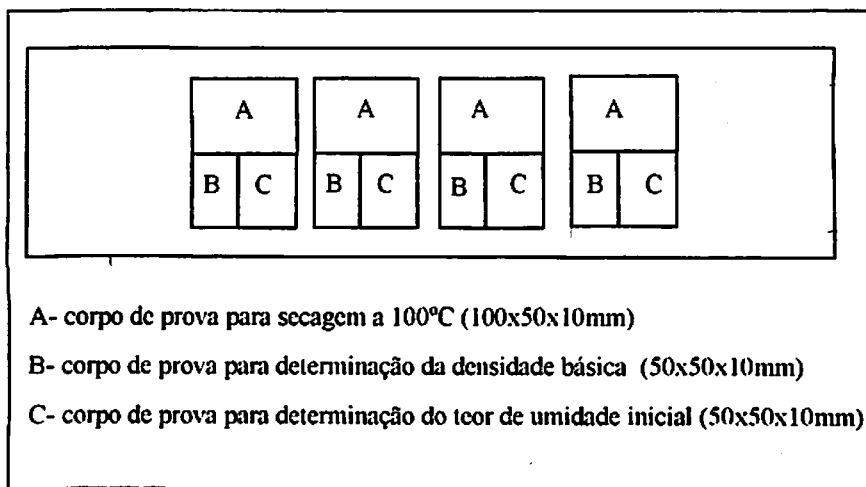


FIGURA 1 Esquema de retirada dos corpos de prova de uma tábua para secagem em estufa a 100° C.

3.2.2 Determinação da umidade das amostras

Para determinação da umidade inicial e final das amostras foi empregado o método gravimétrico, em que as amostras úmidas foram submetidas à secagem em estufa a 103°C (± 2) até massa constante, aplicando-se, em seguida, a expressão 1.

$$U = \left(\frac{m_u}{m_s} - 1 \right) * 100 \quad (1)$$

em que:

U = teor de umidade inicial (%) ;

m_u = massa úmida da amostra (g);

m_s = massa seca da amostra (g).

3.2.3 Determinação da densidade básica

Para determinação da densidade básica das amostras verdes (50 x 50 x 10 mm) foi empregado o método de imersão (expressão 2). O volume foi obtido pela imersão das amostras em água, contida em um bequer colocado sobre o prato de uma balança digital e o peso seco pela da secagem em estufa a 103°C (± 2), até massa constante.

$$D_b = \left(\frac{m_s}{V} \right) \quad (2)$$

em que:

D_b = densidade básica (g/cm^3);

m_s = massa absolutamente seca da amostra (g);

V = volume verde (cm^3).

3.2.4 Ensaio para determinação dos programas de secagem

Os parâmetros dos programas (temperatura inicial, final e potencial de secagem) foram determinados a partir das variáveis: umidade inicial, tempo de secagem, velocidade de secagem e rachadura de topo (Ciniglio, 1998).

As variáveis do ensaio a 100° C, bem como os defeitos avaliados neste ensaio, estão relacionados na Tabela 3.

TABELA 3 Variável do ensaio a 100°C (Ciniglio, 1998).

Variável	Descrição	Faixa de umidade	Unidade
U _i	Umidade inicial	Verde	%
T1	Tempo de secagem	U _i a 5%	h
T2	Tempo de secagem	U _i a 30%	h
T3	Tempo de secagem	30% a 5%	h
V1	Velocidade de secagem	U _i a 5%	g/cm ² .h
V2	Velocidade de secagem	U _i a 30%	g/cm ² .h
V3	Velocidade de secagem	30% a 5%	g/cm ² .h
R1	Rachaduras de topo	U _i a 5%	* escore
R2	Rachaduras de topo	U _i a 30%	* escore
R3	Rachaduras de topo	30% a 5%	* escore
C	Intensidade de colapso	U _i a 5%	* escore

* avaliado por escore conforme Tabela 4.

Os 12 corpos-de-prova de cada clone foram submetidos à secagem drástica a 100°C em estufa de laboratório, sem sistema de circulação de ar, até que o teor de umidade atingisse cerca de 5%. Durante a secagem drástica, as amostras eram pesadas e avaliadas a cada duas horas quanto à incidência das rachaduras de topo.

Após a secagem (até 5%) as amostras foram cortadas transversalmente para verificação da ocorrência de rachaduras internas e colapso, sendo então reconduzidas a estufa a 103°C (± 2) até atingirem massa constante. Este valor foi aplicado no cálculo dos teores reais de umidade e velocidades de secagem, empregando-se as expressões (1), (3), (4) e (5).

a) Velocidade de secagem até 5% de umidade.

$$V_1 = \frac{m_u - m_5}{T_1 * 100} \quad (3)$$

em que:

V_1 = velocidade de secagem da umidade inicial até 5% ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$);

m_u = massa da amostra a umidade inicial (g);

m_5 = massa da amostra a 5% de umidade (g);

T_1 = tempo de secagem da umidade inicial até 5% (h);

100 = área superficial da amostra (cm^2).

b) Velocidade de secagem até 30% de umidade

$$V_2 = \frac{m_u - m_{30}}{T_2 * 100} \quad (4)$$

em que:

V_2 = velocidade de secagem da umidade inicial até 30% ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$);

m_u = massa da amostra a umidade inicial (g);

m_{30} = massa da amostra a 30% de umidade (g);

T_2 = tempo de secagem da umidade inicial até 30% (h);

100 = área superficial da amostra (cm^2)

c) Velocidade de secagem de 30% a 5% de umidade.

$$V_3 = \frac{m_{30} - m_5}{T_3 * 100} \quad (5)$$

em que:

V_3 = velocidade de secagem de 30 a 5% de umidade ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$);

m_{30} = massa da amostra a 30% de umidade (g);

m_5 = massa da amostra a 5% de umidade (g);

T_3 = tempo de secagem de 30 a 5% de umidade (h);

100 = área superficial da amostra (cm^2).

d) Colapso

O colapso foi medido de acordo com a Figura 2 e a expressão (6)

$$\Delta e = A - B \quad (6)$$

em que:

Δe = variação da espessura (mm)

A = espessura com contração normal (mm)

B = espessura com contração irregular, deformada (mm)

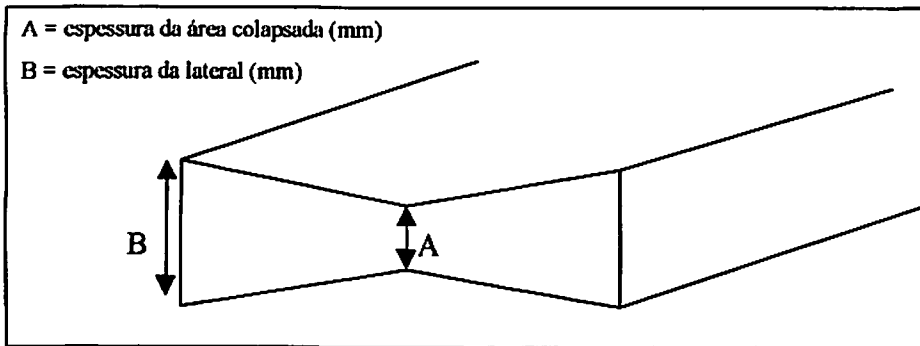


FIGURA 2 Esquema representativo da medição de colapso

e) Rachaduras de topo

As rachaduras de topo foram medidas com auxílio de lâminas calibradoras de 0,05 a 1,00 mm (espessura) e paquímetro digital com precisão de 0,01 mm (comprimento), considerando sempre a maior dimensão do defeito. As magnitudes das rachaduras foram então transformadas em escore, conforme classificação da Tabela 4.

TABELA 4 Escore atribuído à magnitude das rachaduras de topo e do colapso (Ciniglio, 1998).

Escore	Rachadura de topo	Rachadura interna	Colapso
1	Ausente	Ausente	Ausente
2	$CR < 5,0$ e $LR < 0,5$	$CR < 2,5$ e $LR < 0,5$	$e < 0,25$
3	$CR > 5,0$ e $LR < 0,5$	$CR > 2,5$ e $LR < 0,5$	$0,25 > e < 0,5$
4	$CR < 5,0$ e $0,5 < LR < 1,0$	$CR > 2,5$ e $LR > 1,0$	$5,0 < e < 0,5 < 1,0$
5	$CR > 5,0$ e $0,5 < LR < 1,0$	-	$e > 1,0$
6	$CR > 5,0$ e $LR > 1,0$	-	-

Onde: CR = comprimento da rachadura (mm) e = espessura da amostra (mm)
LR = largura da rachadura (mm)

3.2.5 Determinação dos parâmetros do programa de secagem

Os parâmetros do programa de secagem, TI, TF e PS, foram calculados com base nos valores médios das 12 amostras ensaiadas por clone, aplicando-se as equações da Tabela 5.

TABELA 5 Equações para determinação dos parâmetros do programa de secagem (Ciniglio, 1998).

Parâmetros e equações	
$TI = 27,9049 + 0,7881 T2 + 419,0254 V1 + 1,9483 R1$	
$TF = 49,2292 + 1,1834 T2 + 273,8685 V2 + 1,0754 R1$	
$PS = 1,4586 - 30,4418 V3 + 42,9653 V1 + 0,1424 R3$	
TI = temperatura inicial	T2 = tempo de secagem da umidade inicial a 30% (h)
TF = temperatura final	V1 = velocidade de secagem até 5% (g/cm ² .h)
PS = potencial de secagem	V2 = velocidade de secagem até 30% (g/cm ² .h)
	V3 = velocidade de secagem de 30 a 5% (g/cm ² .h)
	R1 = rachadura de topo até 5% (escore)
	R3 = rachadura de topo de 30 a 5% (escore)

Com base nos parâmetros encontrados, foi elaborado, com auxílio de cartas psicrométricas, o programa de secagem geral. Também por meio dos parâmetros e as variáveis do ensaio a 100°C foram criados os grupos de secagem.

3.3 Secagem da madeira em estufa convencional

Após o desdobro e a definição das dimensões das tábuas em 3 cm de espessura x 280 cm de comprimento, com largura variável, dependendo do diâmetro das toras, a madeira foi levada para secagem em estufa convencional.

Antes da secagem em estufa, todo conjunto de tábuas passou por uma pré-secagem ao ar por 7 dias, com o objetivo de minimizar a ocorrência de colapso. Também foram medidos os defeitos nas tábuas que, em seguida, foram devidamente empilhadas, utilizando-se tabiques com dimensões de 3 cm de largura, 2,5 cm de espessura e 95 cm de comprimento, dispostos em intervalos de 93 cm.

Os 10 clones em estudo foram secos juntos em estufa, seguindo o programa geral a ser determinado com auxílio da metodologia descrita no item 3.2.

A secagem foi conduzida em um secador convencional (Figura 3) da marca Beneck, Modelo M - 02 - MSVA, com capacidade para 2 m³ de madeira, sistema de queima e secagem automatizados, compreendendo: câmara de secagem, aquecedor e silo. O sistema de aquecimento utiliza como fluido a água quente. O sistema de circulação de ar é constituído por um ventilador lateral sem inversão de circulação de ar. O sistema de controle de secagem é automático constituído de um programador Marrari com quatro pinos sensores para a medição da umidade das tábuas distribuídas na pilha. O acompanhamento do processo seguiu as recomendações básicas dos manuais de secagem, utilizando-se adicionalmente cinco amostras de controle de umidade, preparadas conforme recomendação de Simpson (1991).

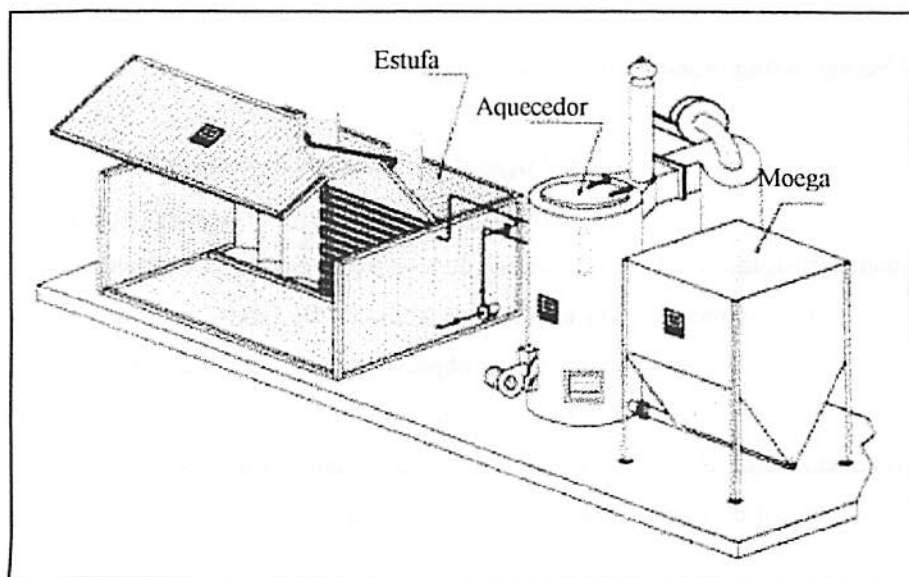


FIGURA 3 Estufa de secagem, com área útil da pilha de 3 m de comprimento, 1,0 m de largura e 1,5 m de altura

3.3.1 Avaliação do programa de secagem

A avaliação da adequação do programa de secagem foi feita com base na curva de secagem e no tempo total de secagem. A avaliação também envolveu a realização de ensaios para a determinação da umidade média entre clones, distribuição de umidade dentro das peças e verificação das tensões internas. As Figuras 4 e 5 mostram a retirada das amostras e a classificação das tensões. A amostra A destinou-se à verificação do teor final de umidade, a amostra B serviu para verificar a sua distribuição e a amostra C foi usada para verificar as tensões internas (endurecimento superficial) que se desenvolvem durante a secagem, por meio do teste do garfo.

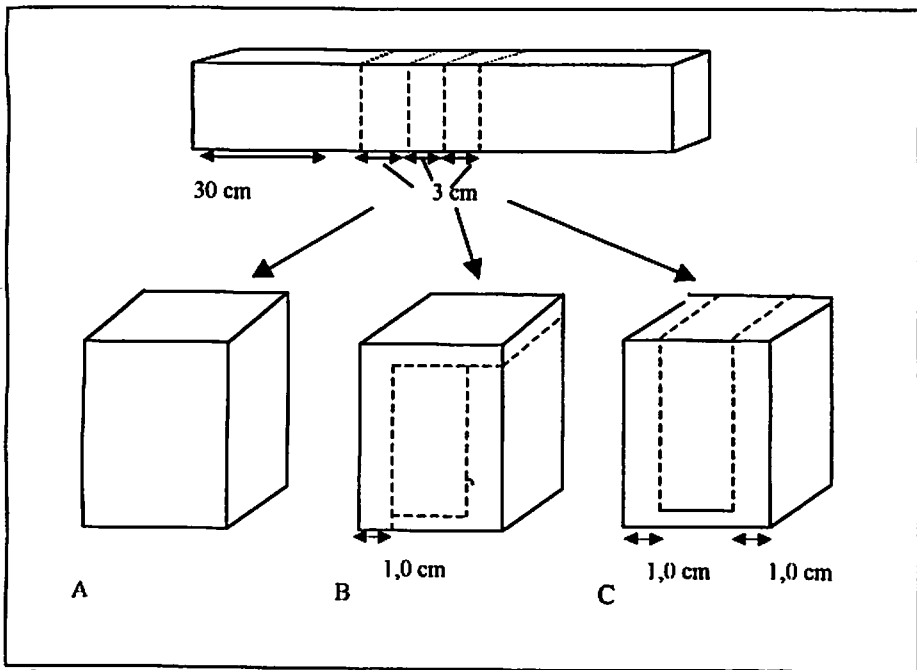


FIGURA 4 Esquema representativo da retirada das amostras para determinação do teor de umidade médio, gradiente de umidade e realização do teste do garfo

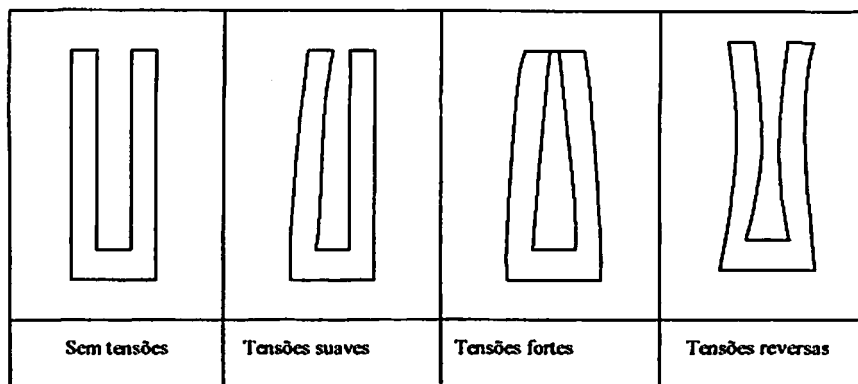


FIGURA 5 Análise do teste do garfo (Pratt, 1974)

3.3.2 Avaliação dos defeitos pós-secagem em estufa convencional

Ao atingirem 14% de umidade, conforme definido no programa de secagem, as tábuas foram analisadas, mediante as medições de seus defeitos de secagem. Os defeitos foram avaliados tomando-se como base a Norma de Classificação de Madeira Serrada de Folhosa (IBDF, 1983) e as avaliações propostas por Miranda (1997) e por Rocha (2000). Os defeitos considerados foram colapso, arqueamento, encanoamento, encurvamento, rachadura de topo e rachadura de superfície.

a) Colapso

A determinação do colapso foi feita por meio da comparação da área do topo da tábua com contração normal (calculada) e a área do topo da tábua com deformação (colapsada). A área normal foi calculada pela medição da largura e espessura da tábua, enquanto a área colapsada foi calculada com o auxílio do

programa Autocad em fatias de 3 cm extraída do topo da tábua. O colapso foi calculado conforme mostra a Figura 6 e de acordo com as expressões 7 e 8.

$$Co = \frac{AC}{AN} * 100 \quad (7)$$

em que: Co = índice representativo do colapso, %;
 AC = área colapsada, cm^2 ;
 NA = área normal, cm^2 .

$$Ac = A * B \quad (8)$$

em que : Ac = área normal, cm^2 ;
 A = largura da tábua após a secagem, cm ;
 B = espessura da tábua com contração normal, cm .

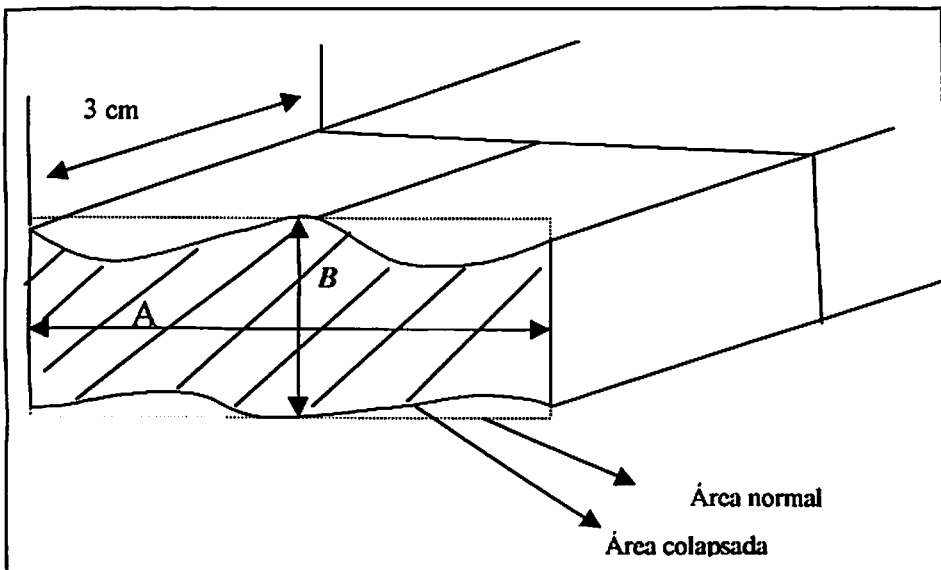


FIGURA 6 Esquema da medição do colapso

b) Arqueamento

O arqueamento foi medido conforme a Figura 7 e de acordo com a expressão 9.

$$Ar = \frac{f}{c} \quad (9)$$

em que: Ar = arqueamento (mm/m);

f = flecha de arqueamento (mm);

c = comprimento da tábua (m).

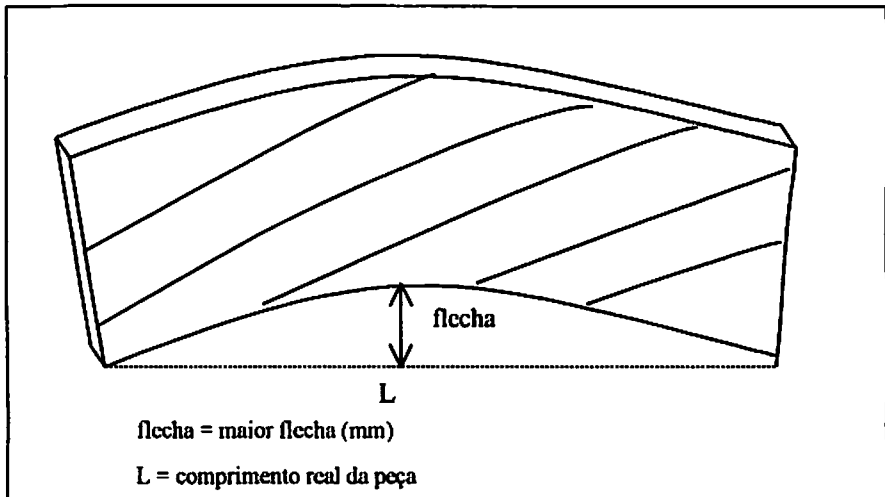


FIGURA 7. Esquema da medição do arqueamento

c) Encanoamento

Os valores de encanoamento foram apresentados como suas flechas máximas em milímetros e medidos conforme a Figura 8.

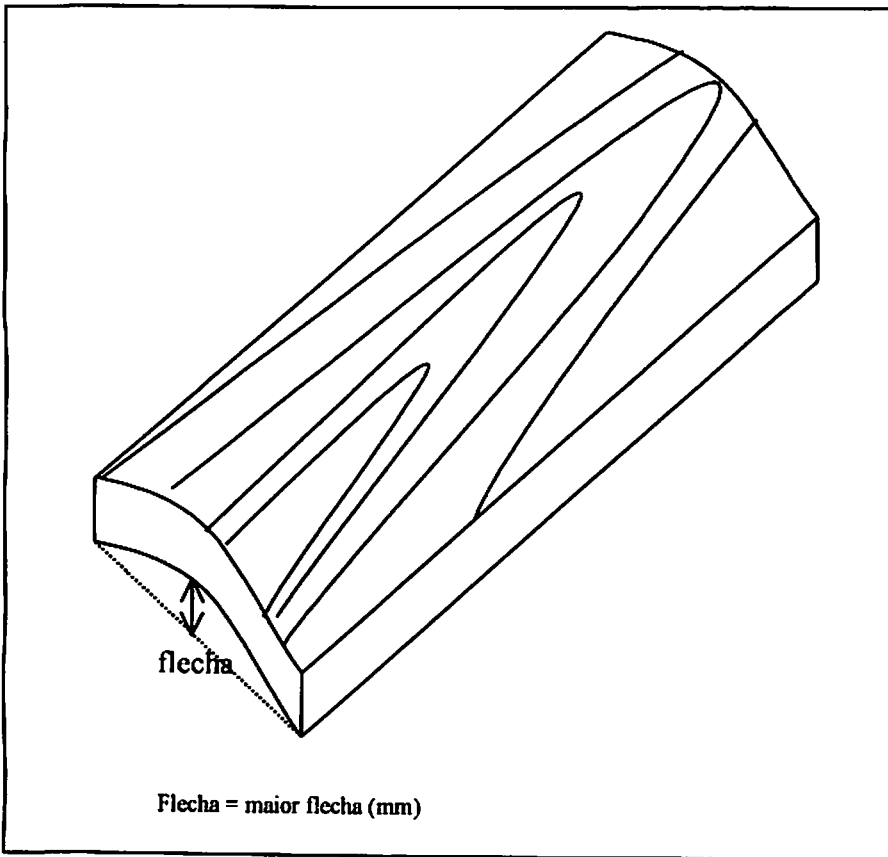


FIGURA 8. Esquema da medição do encanoamento.

d) Encurvamento longitudinal

O encurvamento longitudinal foi medido conforme a Figura 9, utilizando-se em seu cálculo a expressão 10.

$$E_v = \frac{f}{c} \quad (10)$$

em que: E_v = encurvamento longitudinal (mm/m);

f = flecha de encurvamento (mm);

c = comprimento da tábua (m).

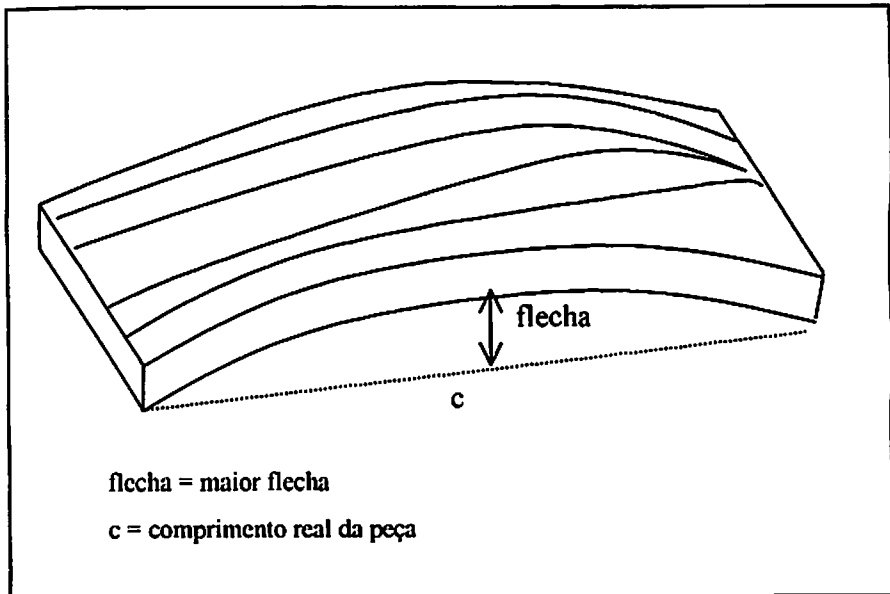


FIGURA 9 Esquema da medição do encurvamento longitudinal

e) Rachaduras

e1) Rachadura de topo

A rachadura de topo foi medida conforme a Figura 10 e seu cálculo seguiu a expressão 11.

$$Rt = \frac{(l_1 + l_2)}{L} \times 100 \quad (11)$$

em que: Rt = índice da rachadura de topo, %;

$l_1 + l_2$ = comprimento individual da rachadura, mm;

L = comprimento total da peça, mm.

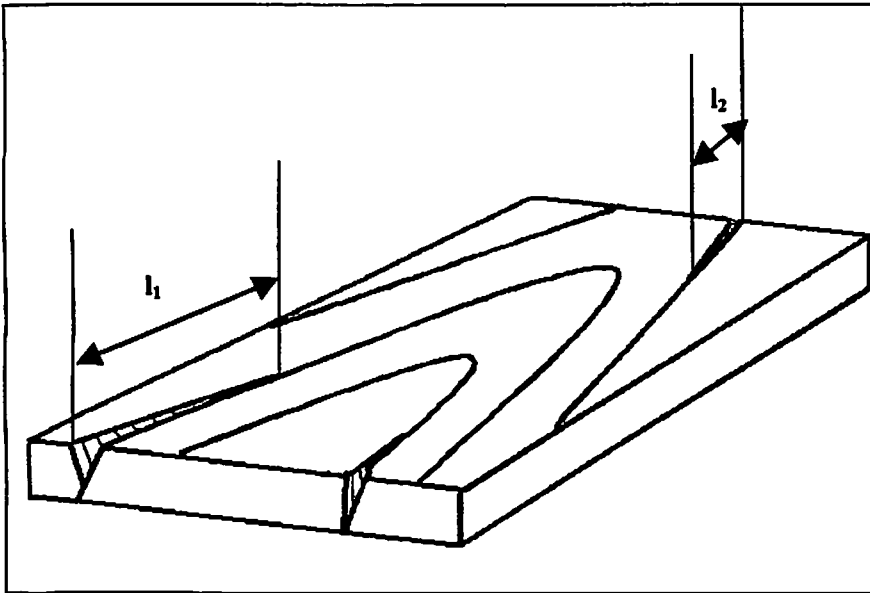


FIGURA 10 Esquema da medição da rachadura de topo



e2) Rachadura de superfície

A rachadura de superfície foi medida conforme a Figura 11 e o seu cálculo seguiu a expressão 12.

$$R_s = \frac{(l_1 + l_2 + l_n)}{L} \times 100 \quad (12)$$

em que: R_s = índice da rachadura de superfície, %;

$l_1 + l_2 + l_n$ = comprimento da rachadura, mm;

L = comprimento total da peça, mm.

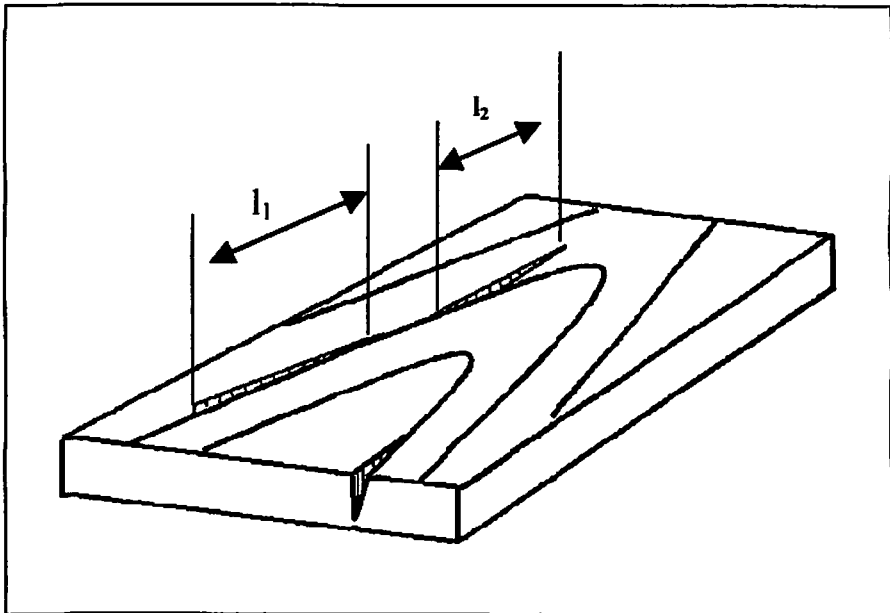


FIGURA 11 Esquema da medição da rachadura de superfície

f) Classificação dos defeitos

Para um melhor entendimento e visualização dos resultados quanto à intensidade de ocorrência de defeitos, estes foram classificados em “ausente”, “leve” e “forte”, conforme especificado na Tabela 6.

Essa classificação foi baseada nas Normas para Classificação de Madeira Serrada de Folhosas (IBDF, 1983), em que são admitidos valores ≤ 5 mm para o arqueamento, ≤ 4 mm para encanoamento, ≤ 5 mm para encurvamento e $\leq 10\%$ para rachaduras. Com base nestes valores, criou-se a Tabela 6, na qual “ausente” significa o não aparecimento do defeito, “leve” é o valor abaixo ou igual ao permitido pela norma e “forte” é a magnitude do defeito acima do valor aceito pela norma.

TABELA 6 Critérios de classificação da intensidade dos defeitos após secagem.

Defeitos	Intensidade		
	Ausente	Leve	Forte
Arqueamento mm/m	$Ar = 0$	$Ar \leq 5$	$Ar \geq 5$
Encanoamento mm	$En = 0$	$En \leq 4$	$En \geq 4$
Encurvamento mm/m	$Ev = 0$	$Ev \leq 5$	$Ev \geq 5$
Colapso %	$Co = 100$	$Co \geq 98$	$Co \leq 98$
Rachaduras %	$Ra = 0$	$Ra \leq 10$	$Ra \geq 10$

Ar = arqueamento, En = encanoamento, Ev = encurvamento, Ra = rachaduras, Co = colapso

g – Avaliação conjunta dos defeitos por clone

Após ter feito uma análise de cada defeito da madeira causado pela secagem (colapso, arqueamento, encurvamento, rachadura de topo e rachadura

de superfície), fez-se uma avaliação conjunta destes defeitos com o objetivo de identificar, por meio de ranqueamento, o melhor clone relacionado com cada método de desdobro.

Para cada tipo de defeito, realizou-se o somatório das porcentagens de tábuas nas classes de defeitos ausente e leve de cada clone. A partir desta somatória, criaram-se intervalos de classe e foram aplicadas notas para estes intervalos (Tabela 7), as quais foram multiplicadas pelo peso atribuído a cada defeito (Tabela 8). Somaram-se as notas de todos os defeitos, calculando-se a nota total por clone. O clone que obteve a maior nota foi considerado como o melhor por apresentar maior porcentagem de tábuas nas classes ausente e leve.

TABELA 7 Intervalos e notas das porcentagens de tábuas com defeitos classificados como ausente e leve intensidade.

Intervalos		Nota
2º intervalo inferior	LI da classe anterior - σ LI da classe anterior	-2
1º intervalo inferior	LI da 1ª classe - σ LI da 1ª classe	-1
Intervalo central	média - σ média + σ	1
1º intervalo superior	LS da 1ª classe LS da 1ª classe + σ	2
2º intervalo superior	LS da classe anterior LS da classe anterior + σ	3

σ = desvio padrão da média

TABELA 8 Peso atribuído ao defeito e correspondente justificativa

Defeito	Peso	Justificativa do valor do peso
Colapso	5	Defeito com maior depreciação nas tábuas. Quando ocorre em grande intensidade, geralmente está acompanhado de rachadura interna e de superfície
Arqueamento	2	Não pode ser controlado no processo de secagem
Encanoamento	1	Pode ser corrigido durante o processo de secagem através do empilhamento, com colocação de peso sobre a pilha
Encurvamento	1	
Rachadura de topo	3	Não permite correção após ocorrência, mas pode ser reduzido com programas de secagem.
Rachadura de superfície	3	

Para determinação dos intervalos e cálculo da nota total para o ranqueamento, foram seguidos os seguintes passos:

1- Determinação dos intervalos

1.1 Adotou-se o desvio padrão da média (σ) como amplitude dos intervalos.

1.2 O intervalo central foi o primeiro a ser determinado e, a partir dele foram determinados os intervalos superiores e inferiores, como mostra a Tabela 7.

1.3 Determinou-se o intervalo central, sendo que:

- LI (limite inferior da classe) é igual à média das percentagens das tábuas dos clones, menos o desvio padrão da média (σ).
- LS (limite superior da classe) é igual à média das percentagens das tábuas dos clones mais o desvio padrão (σ).

1.4 Determinaram-se os intervalos inferiores do intervalo central

Após determinação do primeiro intervalo, segue-se o seguinte critério para determinação dos intervalos inferiores.

- o limite superior da classe foi o limite inferior do intervalo anterior;
- o limite inferior foi igual ao limite superior menos o desvio padrão.

1.5- Determinaram-se os intervalos acima do intervalo central

Após determinação do primeiro intervalo foram adotados os seguintes critérios para determinação das classes superiores.

- o limite inferior foi o limite superior da classe anterior;
- o limite superior foi o limite inferior mais o desvio padrão.

2 Atribuição de notas para os intervalos

Os intervalos receberam notas (Tabela 7). O intervalo central recebeu nota 1 e os intervalos inferiores receberam notas decrescentes, enquanto os intervalos superiores receberam notas crescentes.

3 Cálculo da pontuação dos clones por defeito

Os pontos foram calculados multiplicando-se as notas dos intervalos no qual o clone se encontra pelo peso de cada defeito.

4 Ranqueamento

O resultado do ranqueamento foi obtido colocando-se os pontos em ordem decrescente, sendo considerado o melhor clone aquele que obteve maior pontuação.

3.4 Análise estatística dos dados

Os valores de cada defeito de secagem foram submetidos à análise de variância para cada método de desdobro. Esta análise seguiu o esquema de parcela subdividida, conforme o modelo abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + C_i + e_{ij} + P_k + CP_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = observação do i-ésimo clone, na k-ésima posição, j-ésimo bloco;

μ = média geral do defeito;

B_j = efeito do j-ésimo bloco ($j = 1, 2$), efeito aleatório;

C_i = efeito do i-ésimo clone ($i = 1, 2, \dots, 10$), efeito aleatório;

e_{ij} = erro a

P_k = efeito da k-ésima posição [$k = 1$ (externa), 2 (intermediária), 3 (interna)], efeito fixo;

CP_{ik} = efeito da interação do i-ésimo clone com a k-ésima posição, efeito aleatório;

ε_{ijk} - erro b (erro experimental);

O esquema da análise de variância seguindo esse modelo estatístico é apresentado na Tabela 9.

TABELA 9 Estrutura da análise de variância para os defeitos de secagem.

FV	GL	E(Q.M.)	Q.M	F
Blocos	b- 1	$\sigma^2_{ec} + p\sigma^2_{cb} + p\sigma^2_{ca} + cp\sigma^2_b$	Q_1	
Clone	c-1	$\sigma^2_{ec} + p\sigma^2_{ca} + r\sigma^2_{\phi_c}$	Q_2	QMC/QMEa
Erro A	(b-1)(c-1)	$\sigma^2_{ec} + p\sigma^2_{ca}$	Q_3	
Posição	p-1	$\sigma^2_{ec} + c\sigma^2_{cb} + r\sigma^2_{\phi_s}$	Q_4	QMP/QMEb
CxP	(c-1)(p-1)	$\sigma^2_{ec} + r\sigma^2_{cp}$	Q_5	QMCP/QMEc
Erro b	c(p-1)(b-1)	$\sigma^2_{ec} + p\sigma^2_{cb}$	Q_6	

c = clone, p = posição, r = repetições

a) Componente de variância fenotípica (σ^2_f)

$$\sigma_f^2 = \frac{\text{Quadrado médio do clone (Q}_2\text{)}}{\text{repetição x posição radial}}$$

b) Componente de variância do clone (σ^2_c)

$$\sigma_c^2 = \frac{\text{Quadrado médio do clone (Q}_2\text{)} - \text{Quadrado médio do erro a (Q}_3\text{)}}{\text{repetição x posição radial}}$$

c) Variância ambiental ($\sigma^2_{\epsilon a}$ e $\sigma^2_{\epsilon b}$)

$$\sigma_{\epsilon a}^2 = Q_3 \text{ (Quadrado médio do erro a)}$$

$$\sigma_{\epsilon b}^2 = Q_6 \text{ (Quadrado médio do erro b)}$$

d) Coeficiente de herdabilidade clonal ($h^2\%$)

$$h^2\% = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_f^2} * 100$$

e) Coeficiente de variação genética ($CV_g\%$)

$$CV_g\% = \frac{\sqrt{\sigma_c^2}}{\text{média}} * 100$$

f) Coeficiente de variação experimental ($CV_p\%$ e $CV_{sp}\%$)

Parcela (p)

$$CV_p \% = \frac{\sqrt{Q_3}}{\text{média}} * 100$$

Sub-parcela (sp)

$$CV_{sp} \% = \frac{\sqrt{Q_6}}{\text{média}} 100$$

g) Componente de variância da interação clone e posição radial (σ_{pc}^2)

$$\sigma_{pc}^2 = \frac{\text{Quadrado médio da interação CxP (Q}_3) - \text{Quadrado médio do erro b (Q}_6)}{\text{repetição}}$$

h) Componente quadrático de posição radial (φ_p)

$$\varphi_p = \frac{\text{Quadrado médio da interação CxP (Q}_5) - \text{Quadrado médio do erro b (Q}_6)}{\text{repetição x posição radial}}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Elaboração do programa de secagem

Os procedimentos empregados na metodologia visaram a elaboração de programas conservadores, isto é, com menores potenciais de secagem e condições mais suaves. A partir dos resultados obtidos, conforme recomendação de Andrade, Jankowsky e Ducatti (2001), é possível sugerir programas de secagem para tábuas de até 28 mm de espessura, sendo que para espessuras maiores é recomendável a adoção de programas mais suaves.

A Tabela 10 relaciona os valores médios de umidade inicial, densidade básica e variáveis utilizadas para determinar os parâmetros do programa de secagem (Tabela 11).

TABELA 10 Valores médios do teor de umidade inicial, da densidade básica e das variáveis do ensaio a 100°C por clone.

Clone	Db	Ui	T1	T2	T3	V1	V2	V3	R1	R2	R3	Ri	Colapso
	g/cm ³	(%)	(h)	(h)	(h)	(g/cm ² .h)	(g/cm ² .h)	(g/cm ² .h)	(Un.)	(Un.)	(Un.)	(Un.)	(Un.)
7	0,54	91,6	19,60	7,51	12,09	0,0120	0,0231	0,0059	1,41	1,41	1,41	1,08	5,00
58	0,46	109,7	16,43	6,73	9,70	0,0160	0,0285	0,0070	1,17	1,17	1,17	1,00	4,50
36	0,49	90,1	15,25	5,66	9,58	0,0160	0,0303	0,0075	2,00	2,00	2,00	1,00	4,00
280	0,46	118,0	16,04	7,37	8,67	0,0166	0,0281	0,0068	1,17	1,17	1,17	1,00	5,00
44-88	0,54	76,4	12,15	4,04	8,12	0,0175	0,0337	0,0093	1,83	1,75	1,83	1,00	3,75
299	0,54	100,7	14,95	6,12	8,82	0,0181	0,0323	0,0081	1,00	1,00	1,00	1,00	1,67
44-94	0,48	111,0	14,93	6,52	8,42	0,0186	0,0319	0,0079	1,00	1,00	1,00	1,17	3,25
2	0,50	111,3	13,21	5,69	7,52	0,0204	0,0354	0,0085	1,67	1,83	1,67	1,50	4,91
62	0,49	110,1	12,73	5,61	7,12	0,0210	0,0362	0,0090	1,17	1,17	1,17	1,17	4,75
41	0,57	95,3	11,52	4,46	7,06	0,0226	0,0427	0,0104	1,25	1,17	1,17	1,08	3,17
66	0,50	112,7	10,54	4,32	6,22	0,0258	0,0481	0,0101	1,25	1,33	1,25	1,75	4,42
Média	0,55	102,4	14,31	5,82	8,48	0,0187	0,0337	0,0082	1,36	1,36	1,35	1,16	4,04

V1= Velocidade de secagem da Ui até 5%
V2 = Velocidade de secagem da Ui até 30%
V3 = Velocidade de secagem da 30 até 5%
Ui = Umidade inicial

R1 = Rachadura de topo da Ui até 5%
R2 = Rachadura de topo da Ui até 30%
R2 = Rachadura de topo da 30 até 5%
Db = Densidade básica

T1 = Tempo de secagem da Ui até 5%
T2 = Tempo de secagem da Ui até 30%
T2 = Tempo de secagem da 30 até 5%
Un. = escore

TABELA 11 Parâmetros dos programas de secagem obtidos a partir do ensaio a 100°C.

Grupo	Clone	Temperatura inicial	Temperatura final	Potencial de secagem
1	7	41,81	65,98	2,02
	58	42,37	66,26	2,12
	36	42,96	66,39	2,20
	280	42,93	66,90	2,13
2	44 -88	41,84	65,21	2,19
	299	42,27	66,40	2,13
	44 - 94	42,77	66,76	2,16
	2	44,53	67,47	3,32
	62	43,41	67,05	2,25
3	41	43,15	67,56	2,28
	66	44,74	68,86	2,44
Média		42,98	66,80	2,20

De forma geral, os parâmetros determinados (Tabela 11) mostraram-se coerentes com os encontrados na literatura para o gênero *Eucalyptus*, como mostra a Tabela 12. Os valores médios encontrados para a madeira dos clones aqui estudados, resultaram em temperatura inicial (42,98°C), temperatura final (66,8°C) e potencial de secagem (2,20) ligeiramente superiores àquelas encontradas para *E. grandis* (Ciniglio, 1998; Andrade, 2000 e Santos, 2002), *E. tereticornis* (Andrade, 2000) e *E. urophylla* (Ciniglio, 1998). A pequena diferença pode ser decorrente das próprias variações do material biológico.

TABELA 12 Parâmetros de secagem encontrados na literatura para a madeira de *Eucalyptus* conforme método de Ciniglio (1998).

Espécie	Parâmetros			Fonte
	T °C inicial	T °C final	Potencial de secagem	
<i>E. grandis</i>	41,7	65,7	2,17	Andrade (2000)
<i>E. tereticornis</i>	39,0	62,7	2,01	Andrade (2000)
<i>E. grandis</i>	40	65	2,00	Santos (2002)
<i>E. grandis</i>	40,5	64,9	2,10	Ciniglio (1998)
<i>E. urophylla</i>	40,3	65,5	2,11	Ciniglio (1998)

Como pode-se observar na Tabela 11, os clones apresentaram valores dos parâmetros bastante próximos e também comportamentos semelhantes nas rachaduras de topo e nas rachaduras internas (Tabela 11). Isso permite a adoção de um programa único, o que também foi adotado por Andrade (2000) para diferentes espécies. Entretanto, quando observam-se os valores das velocidades de secagem da umidade inicial até a umidade de 5% (V1) nota-se um comportamento diferente entre clones.

Baseando-se no princípio de que madeiras, para serem secas juntas, devem ter o mesmo comportamento quanto à velocidade de secagem e à propensão aos defeitos, tomou-se como base a velocidade de secagem da umidade inicial até 30% (V2), para reunir os clones em três grupos de secagem (Tabela 11). Destes, o grupo 1, constituído pelos clones 7, 36, 58 e 280, é o de maior dificuldade de secagem. O grupo 2, de dificuldade intermediária, é constituído dos clones 44-88, 299, 44-94, 62, 2, 62. O grupo 3, de menor dificuldade de secagem, é formado pelos clones 41 e 66.

Embora diferentes clones estejam juntos no mesmo grupo de secagem, não significa que suas madeiras apresentarão exatamente o mesmo

comportamento durante o processo de secagem. A título de exemplo, a possível diferença de comportamento entre os clones de um mesmo grupo pode ser calculada para as madeiras do clone 7 e do clone 36, que apresentam umidades iniciais aproximadas e velocidades de secagem de água capilar de 0,0231 e 0,037 g/cm².h, respectivamente. Se for considerada uma simulação, assim como foi feita por Andrade (2000), a secagem de tábuas com 250 x 10 x 2,8 cm, a massa de água removida em 1 m³ de madeira seria de 18,48 kg/h, no caso do clone 7, e 26,96 kg/h para o clone 36, correspondendo a uma diferença de 8,48 kg/h na taxa de secagem entre os clones considerados. Neste caso, a secagem deve ser controlada pela madeira do clone 7, que apresenta uma secagem mais lenta.

Os clones apresentaram comportamentos semelhantes quanto às rachaduras e colapso, podendo ser classificados como de baixa susceptibilidade a rachaduras e de alta susceptibilidade ao colapso (Tabela 10). Mesmo assim, os clones 299 e 44-94 se destacaram pela ausência de rachaduras, indicando que provavelmente poderão ser submetidos à secagem em condições mais severas que as sugeridas pelos parâmetros encontrados.

A densidade básica dos clones variou de 0,46 g/cm³ (clones 58 e 280) a 0,570 g/cm³ (clone 41), com um valor médio de 0,550g/cm³ (Tabela 10). Esta média é superior as encontradas por Cruz (2000) e por Xavier (2001), que encontraram valores de 0,505 g/cm³ e 0,495 g/cm³, respectivamente, em clones de híbridos de *Eucalyptus* coletados no mesmo local do presente trabalho.

Como observa na Tabela 10, a densidade básica não é o único fator que deve ser considerado para indicação de programas de secagem, confirmando o resultado encontrado por Andrade (2000). A densidade individualmente não explica as variações de velocidade de secagem e a ocorrência de defeitos durante a secagem. Isto pode ser verificado pelos comportamentos dos clones 7 e 299, que são de mesma densidade básica (0,54 g/cm³) e estão em grupos de secagem

diferentes. Enquanto o clone 7 apresenta baixa velocidade de secagem e alta incidência de defeitos, o clone 299 apresenta maior velocidade de secagem e ausência de defeitos. No sentido inverso têm-se os clones 62 e 44-88 que apresentam densidades básicas diferentes, de 0,490 e 0,540 g/cm³, respectivamente, e estão em um mesmo grupo de secagem com comportamentos semelhantes quanto à ocorrência de defeitos. A partir dessas observações pode-se subentender que fatores como estruturas anatômicas (diâmetro das pontuações, maior ou menor quantidade de tilos, distribuição e área de parênquima longitudinal e radial, porosidade, etc.), além da composição química da madeira é que fundamentalmente estarão influenciando a velocidade de secagem.

É importante ressaltar que o ideal seria a secagem dos clones separadamente, não se esquecendo que a secagem conjunta de diferentes clones, mesmo sendo do mesmo grupo de secagem, deve ser controlada em função do clone que apresenta maior dificuldade de secagem, ou seja, maior tendência a defeitos e menor velocidade de secagem.

Baseando-se nos resultados das Tabelas 10 e 11 e cartas psicrométricas, elaborou-se um programa geral para todos os clones, como apresentado na Tabela 13.

TABELA 13 Programa de secagem elaborado para as madeiras dos clones de *Eucalyptus* com até 28 mm de espessura.

Umidade da madeira (%)	TS (°C)	TU (°C)	UR (%)	UE	Potencial de secagem
Aquecimento	40	39	94	22,0	-
U > 35	40	38	85	17,0	2,00
30	40	35	75	13,6	2,20
25	48	42	70	11,5	2,17
20	56	47	62	9,5	2,10
15	60	46	44	6,5	2,30
14	66	50	43	6,0	2,30
Uniformização	66	60	74	11,5	
Condicionamento (15 hs)	66	62	82	13,5	

TS = Temperatura de bulbo seco, TU = Temperatura de bulbo úmido, UR = Umidade relativa do ar, UE = Umidade de equilíbrio, U = umidade.

4.2 Secagem da madeira em estufa convencional

4.2.1 Avaliação do programa de secagem

De acordo com a Figura 12 o programa geral utilizado na secagem dos clones (Tabela 13) foi um programa suave e com uma secagem lenta da madeira.

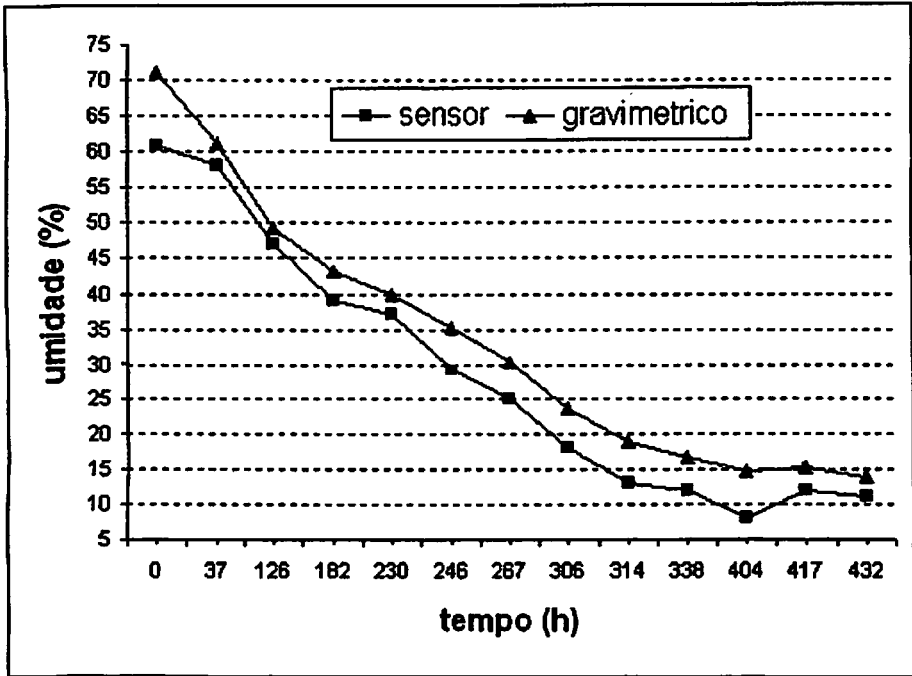


FIGURA 12. Curva de secagem

A secagem dos clones iniciou-se com 71,13% de umidade, variando de 88,5% a 61,3%. A secagem demorou 443 horas para atingir 14,0% de umidade, com uma taxa de secagem de 0,15%/h da condição verde até o ponto de saturação das fibras (PSF), e de 0,099%/h do PSF até 14% de umidade.

Os clones, de maneira geral, apresentaram taxas de secagem, antes e após o PSF, mais altas que o apresentado por Ciniglio (1998), para as espécies de *E. grandis*, *E. urophylla*, cuja taxa de secagem antes do ponto de saturação das fibras foi de 0,11%/h 0,13%/h, respectivamente e, após o PSF, de 0,073%/h para o *E. grandis* e 0,083%/h para o *E. urophylla*.

TABELA 14 Avaliação da umidade final média (%), distribuição da umidade (%) e tensões internas.

Clone	Umidade interna	Umidade externa	Umidade média	Tensão
2	15	12	14	TS
44-88	12	11	12	TS
36	15	12	14	TF
44-94	12	11	11	ST
280	12	11	12	TF
62	13	11	12	TS
41	13	11	12	TF
7	15	11	12	TF
58	14	12	13	TS
299	13	12	12	ST
66	12	11	11	ST
Média			12,3	

TS = tensão suave, TF = tensão forte, ST = sem tensão

A qualidade da secagem foi avaliada através do teor de umidade (gradiente) e tensões pós-secagem (teste do grafo), como mostra a Tabela 14. A uniformização foi eficiente para a carga de secagem, pois o valor médio de umidade da madeira encontra-se dentro do esperado, o qual era de 14% (± 2). Segundo Pratt (1974), uma variação de 2% em torno da média é um bom resultado para madeira de folhosas.

O condicionamento teve uma duração de 15 horas, que foram suficientes para os clones 44-94, 299, 66 e, para melhor resultado, recomenda-se que seja aumentado para os demais clones nas próximas secagens, para aliviar as tensões geradas.

Esta variação do comportamento dos clones quanto ao condicionamento vem confirmar a necessidade dos clones serem separados durante a secagem, como foi discutido no item 4.1 (elaboração de programa de secagem).

4. 2. 2 Avaliação dos defeitos pós-secagem em estufa convencional

Na avaliação dos defeitos pós-secagem, o clone 44 na idades 7,5 anos (44-94) e 13,5 anos (44-88) foi considerado como tratamentos distintos.

Antes de iniciar a avaliação dos defeitos da secagem, a pilha retirada da estufa ficou em descanso por dois dias. Após este período foram avaliados o colapso, arqueamento, encanoamento, encurvamento, rachadura de topo e rachadura de superfície.

a – Colapso

O índice de colapso médio para os clones estudados foi de 96,6% para o método de desdobro M1, 96,1% para o método de desdobro M2 e 96,5% para o método de desdobro M3. A Tabela 15 apresenta os resultados das análises de variância para o colapso da madeira em função dos três métodos de desdobro, bem como as estimativas dos parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais.

Observa-se, na Tabela 15, que os coeficientes de variação experimental dos índices de colapso, referentes às parcelas constituídas pelos clones ($CV_p\%$) e as subparcelas constituídas pelas posições radiais de amostragem na tora (CV_{sp}), variaram de 1,4% (M1 e M3) a 1,9% (M2). Essas pequenas variações experimentais indicam que, para o estudo de colapso da madeira, o delineamento experimental utilizado e a coleta de dados foram adequados, permitindo estimar com confiança os componentes de variância da população dos clones estudados.

Os testes de F mostram que, em todos os métodos de desdobro, existem diferenças estatísticas significativas para os efeitos de clone sobre o colapso, sendo a 1% de probabilidade para os métodos M1 e M3 e 5% de probabilidade para o método M2. Este resultado mostra que o material genético estudado

permite o melhoramento para o colapso da madeira, podendo-se obter ganhos com a seleção.

TABELA 15 Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental para o colapso, avaliada nos métodos de desdobro M1, M2 e M3.

Fv	GL			Quadrados médios		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Bloco	1	1	1	0,87**	0,05 n.s	35,47**
Clone (C)	10	10	10	21,15**	13,96*	10,88**
Erro a	10	9	10	1,92	3,30	2,02
Posição radial (P)	2	2	2	24,60 **	26,88**	30,49**
CxP	17	15	15	2,53 n.s	3,55 n.s	3,07 n.s
Erro b	15	11	12	2,42	2,72	1,88
Média				96,6	96,1	96,5
σ^2_c				3,2043	1,7767	1,4767
ϕ_p				3,6773	3,8883	4,5700
σ^2_{cp}				0,0366	0,2767	0,3967
σ^2_f				3,5250	2,3267	1,8133
$h^2\%$				90,9	76,4	81,4
$CV_g\%$				1,9	1,4	1,3
$CV_p\%$				1,4	1,9	1,5
$CV_{sp}\%$				1,6	1,7	1,4

σ^2_c : Componente de variância de Clone, ϕ_p : Componente quadrático de Posição radial, σ^2_{cp} : Componente de variância da interação Clone e Posição, σ^2_f : Componente de variância fenotípica, $h^2\%$: herdabilidade, $CV_g\%$: Coeficiente de variação genético, $CV_p\%$: Coeficiente de variação experimental – parcela, $CV_{sp}\%$: Coeficiente de variação experimental – subparcela.

Para o efeito da posição radial sobre o colapso existe diferença significativa a 1% de probabilidade para todos os métodos de desdobro, indicando que existe variação entre as posições radiais para este defeito de secagem da madeira (Tabela 15).

A interação clone x posição radial não apresentou diferença significativa a de 5% de probabilidade, para nenhum dos métodos de desdobro para a característica de colapso. Este resultado permite concluir que todos os clones apresentaram comportamentos semelhantes durante a secagem da madeira quanto ao colapso na posição radial.

Também pode ser observado, na Tabela 15, que nos métodos de desdobro M2 e M3, os valores de variação genética são semelhantes e que, tanto a herdabilidade, como a variância fenotípica e a variância genética são maiores para o método de desdobro M1. Isso indica que os ganhos da seleção genética podem ser maiores nesse método de desdobro.

Tendo em vista que clone e posição radial apresentaram diferença significativa para o colapso, procedeu-se aos testes de comparações de médias (LSD protegido de Fischer), considerando o nível de 1% de probabilidade. Os resultados dessas comparações são apresentados na Figura 13.

Ao fazer uma análise dos valores médios dos índices de colapso para os clones em cada método de desdobro apresentados na Figura 13, observa-se que para o método M1, o índice de colapso variou sua intensidade de 90,7% (clone 7) a 98,6% (clones 44-88 e 44-94). Isto significa uma perda na espessura da tábua na ordem de 9,3% e 1,4% respectivamente. Esta perda é decorrente da remoção da superfície colapsada pelo aplainamento das tábuas. Com relação à posição radial, no método de desdobro tangencial paralelo ao centro da tora (M1), verificou-se maior índice de colapso para a posição radial 3 (95,7%). Esta posição apresentou pequena variação em relação à posição radial 2 (95,9%). O menor índice foi representado para a posição radial 1 (97,8%).

Pela Figura 13 nota-se que, considerando-se a classificação do colapso (Tabela 6), baseada na metodologia desenvolvida neste trabalho para quantificar este defeito, pode-se constatar que os clones apresentaram uma forte propensão

ao colapso no método M1, com exceção dos clones 66, 44-88 e 44-94, que apresentaram leve intensidade.

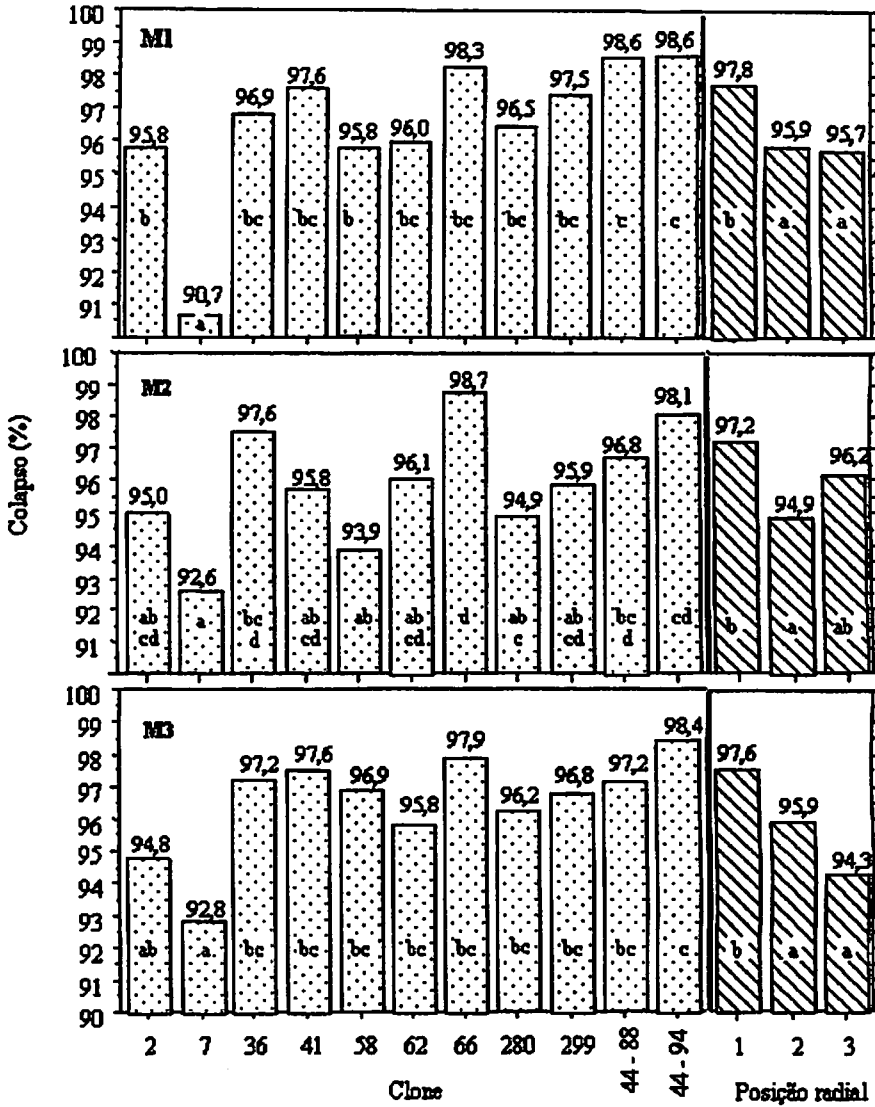



FIGURA 13 Variações nos valores médios de colapso na madeira em função dos clones, das posições radiais nas toras e dos métodos de desdobro. (As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste LSD protegido de Fischer ($p \leq 0,01$))



Pela Figura 13, observa-se que, no método M2, os clones apresentaram forte intensidade de colapso, com exceção dos clones 66 e 44-94. O clone 7 apresentou pior comportamento com índice de colapso de 92,6%, enquanto o clone 66 apresentou melhor comportamento com índice de 98,7%. A posição radial 1 foi a que apresentou menor índice de colapso (97,2%).

Para o método M3, os clones apresentaram forte intensidade de colapso, com exceção do clone 44-94, que apresentou leve ocorrência de colapso. O maior índice de colapso ocorreu no clone 7 (92,8%), enquanto o clone 44-94 apresentou o menor índice (98,4%) (Figura 13).

Na posição radial, a posição 1 (externa) foi a que apresentou menor índice de colapso, com valor de 97,6% e a posição 3 (central) foi a que apresentou maior índice 94,3%.

Quando analisa-se, de forma geral, todos os métodos de desdobro apresentados na Figura 13, observa-se que o clone 7 não obteve melhora com o método de desdobro, permanecendo sempre o pior clone, diferente do clone 44-94 que foi o melhor para todos os métodos, com exceção para o método M2 em que o melhor clone foi o 66. De forma geral, nenhum dos métodos de desdobro empregados reduz o índice de colapso em todos os clones. Isso indica que, para reduzir o colapso, o método de desdobro a ser empregado, deverá ser definido em função do clone.

Desta forma, pode-se deduzir que o método de desdobro M1 foi o melhor para os clones 2, 280, 299 e 44-94, por proporcionar-lhes menores índices de colapso. Da mesma forma, o método M2 foi o melhor para os clones 36, 62, 66 e 44-88, enquanto o método M3 foi o melhor para os clones 7 e 58. O clone 41 apresentou valores de índice de colapso iguais para o método M3 e M1, indicando que para este clone qualquer um desses métodos pode ser utilizado para obter tábuas com menor índice de colapso (Figura 13).



Quanto à posição de amostragem, foi observada uma tendência de redução de colapso no sentido medula-casca, o que indica uma maior perda de madeira devido a esse defeito nas madeiras cortadas da posição mais central da tora (Figura 13). De forma diferente, no método de desdobro M2 ocorreu uma tendência de maior índice de colapso na madeira mais externa e um menor índice na parte intermediária da tora.

A tendência do índice de colapso aumentar no sentido das posições radiais 1-3 (casca-medula) era esperada. Cruz (2000), estudando as características de madeiras de clones de *Eucalyptus* amostradas no mesmo local do presente trabalho, observou que o diâmetro dos vasos e a espessura da parede celular aumentam no sentido medula-casca. É de conhecimento que o colapso está relacionado com o diâmetro dos capilares e com a espessura da parede celular (Santini & Tomaselli, 1980, Galvão & Jankowsky, 1985), ou seja, quanto maiores o diâmetro dos vasos e a espessura da parede, menor é a intensidade do colapso. De acordo com Kollmann & Côté (1968) é regra geral que o colapso é raro em albúmo, uma vez que as paredes celulares não são impermeáveis; elas têm poros mais largos ou intervalos do que aquelas do cerne.

A Tabela 16 mostra a percentagem de tábuas de cada clone sem colapso e com ocorrências leve e forte de colapso, para os três métodos de desdobro. Quando analisa-se individualmente cada método de desdobro na Tabela 16, nota-se que, no método M1, o clone 7 apresentou 100% de suas tábuas com forte intensidade de colapso e que os clones 36 e 44-88 apresentaram menores percentagens de tábuas com colapso. Ambos com 85,71% de suas tábuas colapsadas, sendo que 57,14% das tábuas do clone 44-88 estão na classe leve.

No método M2, nenhum clone apresentou tábuas sem colapso, tendo que os clones 7, 41, 58 e 299 apresentaram 100% de suas tábuas com forte intensidade deste defeito (Tabela 16). Os clones 44-94 e 66 apresentaram melhor

comportamento neste método quanto ao colapso, apresentando 71,43% e 66,66% de suas tábuas com leve intensidade de colapso, respectivamente.

TABELA 16 Percentagem de tábuas colapsadas de cada clone por classe de intensidade (ausente, leve e forte) nos três métodos de desdobro (M1, M2, M3).

Clone	Método								
	M1			M2			M3		
	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte
2	0,00	14,29	85,71	0,00	28,57	71,43	0,00	16,66	83,33
7	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00
36	14,29	28,57	57,14	0,00	42,86	57,14	14,29	28,57	57,14
41	0,00	62,50	37,50	0,00	0,00	100,00	16,67	33,33	50,00
58	0,00	25,00	75,00	0,00	0,00	100,00	0,00	50,00	50,00
62	0,00	14,29	85,71	0,00	28,57	71,43	0,00	25,00	75,00
66	0,00	57,14	42,86	0,00	66,66	33,33	0,00	50,00	50,00
280	0,00	33,33	66,67	0,00	14,29	85,71	0,00	28,57	71,43
299	0,00	42,86	57,14	0,00	0,00	100,00	0,00	33,33	66,67
44-88	14,29	57,14	28,57	0,00	12,50	87,50	0,00	33,33	66,67
44-94	0,00	50,00	50,00	0,00	71,43	28,57	16,67	33,33	50,00

Já no método M3, os clones 36, 41 e 44-94 foram os melhores por apresentarem menores percentagens de tábuas colapsadas. Neste método, o clone 36 apresentou 85,71% de tábuas colapsadas, tendo 28,57 % delas sido com intensidade leve; os clones 41 e 44-94 apresentaram 83,33% das tábuas colapsadas, no entanto 16,67% delas apresentaram intensidade leve.

As tábuas dos clones desdobrados no método M2, quando comparadas com as tábuas dos clones desdobrados nos outros dois métodos, parecem apresentar maior susceptibilidade ao colapso. Isto pode ser observado pela redução do número de clones com tábuas na classe ausente e pelo aumento do número de clones com 100% de tábuas com forte intensidade de colapso neste método.

O colapso pode ser considerado como um dos defeitos que mais influenciam negativamente a qualidade das tábuas de todos os clones. Sua presença é decorrente de distorções das cavidades celulares, que geram diferentes deformações nas tábuas, resultando em rachaduras superficiais. Além disso, suas ondulações nas superfícies das tábuas proporcionam um aspecto de empenamento, mascarando os valores de encanoamento e de rachadura de superfície.

Uma completa recuperação do colapso pode ser impossível se as células estiverem fortemente deformadas. Este pode ser o caso quando favos de mel tenham ocorrido. Mas, de acordo com Kollmann & Côté (1968) a maioria das madeiras colapsadas podem ser recuperadas à sua forma original não colapsadas pela vaporização a temperaturas acima de 85°C e preferencialmente no ponto de ebulição da água por períodos variando de 4 a 8 horas. A madeira adsorve umidade por esse tratamento e suas células dilatam, recuperando a forma original. A seguir, deve ser procedida uma nova secagem, mais cuidadosa, em temperaturas mais baixas e umidades relativas mais elevadas. É evidente que este processo demanda tempo e é oneroso, muitas vezes não justificando sua adoção. Assim, uma forma alternativa de reduzir esse problema seria a produção de madeira geneticamente melhorada para esta característica, associada à adoção de programas de secagem suaves, precedidos de pré-secagem.

b – Arqueamento

O arqueamento é um importante defeito apresentado no processo de secagem da madeira, por reduzir o tamanho útil das tábuas e aumentar as perdas decorrentes do processo de secagem. É um defeito difícil de ser minimizado durante o processo de secagem por ocorrer na lateral das tábuas, resultado de diferenças de contrações longitudinais entre as duas fases opostas.

A Tabela 17 apresenta os resultados das análises de variância para o arqueamento nos métodos de desdobro M1, M2 e M3. As estimativas dos parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para arqueamento não foram apresentados, devido à ausência de variação entre clones.

TABELA 17 Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental para o arqueamento, avaliada nos métodos de desdobro M1, M2 e M3.

Fv	G1			Quadrados médios		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Bloco	1	1	1	28,98**	12,47**	17,21**
Clone (C)	10	10	10	2,06 n.s	1,41 n.s	1,21 n.s
Erro a	10	9	10	1,58	0,46	0,93
Posição radial (P)	2	2	2	5,80**	3,60 n.s	1,62 n.s
CxP	17	15	15	0,96 n.s	1,19 n.s	1,14 n.s
Erro b	15	11	12	1,52	0,45	1,23
Média				1,65	1,34	1,47
CV _p %				76,2	50,6	65,6
CV _{sp} %				74,7	50,1	75,4

CV_p%; coeficiente de variação experimental – parcela; CV_{sp}%; coeficiente de variação experimental – sub-parcela.

As avaliações dos clones forneceram valores médios de arqueamento após a secagem de 1,65 mm/m, 1,34 mm/m e 1,47 mm/m para os métodos M1, M2 e M3, respectivamente (Tabela 17). É importante ressaltar que os arqueamentos pós-desdobro encontrados nas mesmas madeiras empregadas neste estudo por Ferreira (2003) foram de baixa magnitude, o que é o caso de madeiras desdobradas tangencialmente.

Pela Tabela 17 observar-se que os valores de coeficiente de variação experimental referentes a parcela, constituída pelos clones (CV_p%) e os da subparcela constituídos pelas posições radiais de amostragem na madeira

(CV_{sp}%) variam de 50,1% a 76,2% para os métodos M1 e M2, respectivamente. Estes valores podem ser considerados altos, sendo provavelmente decorrentes do baixo número de repetições.

Pelo teste de F, apresentado na Tabela 17, observa-se que não existe diferença significativa do arqueamento em função de clone e de posição radial em todos os métodos de desdobro a 5% de probabilidade. Exceção ocorre no arqueamento, em função de posição de amostragem no método M1 que foi estatisticamente variável a 1% de probabilidade.

A interação clone x posição radial também não foi significativa a 5% de probabilidade, para nenhum dos métodos de desdobro estudados para o arqueamento (Tabela 17).

Como pode ser observado na Figura 14, os valores médios de arqueamento em todos os métodos de desdobro foram baixos e não significativos entre clones (Tabela 17). Todos os clones em todos os três métodos de desdobro apresentaram valores de arqueamento baixos, quando comparados com o permitido pelas normas para classificação de madeira serrada de folhosas (IBDF, 1983).

A Tabela 18 mostra a percentagem de tábuas de cada clone com ausência de arqueamento, com ocorrência de arqueamento de leve e de forte intensidade, para os três métodos de desdobro.

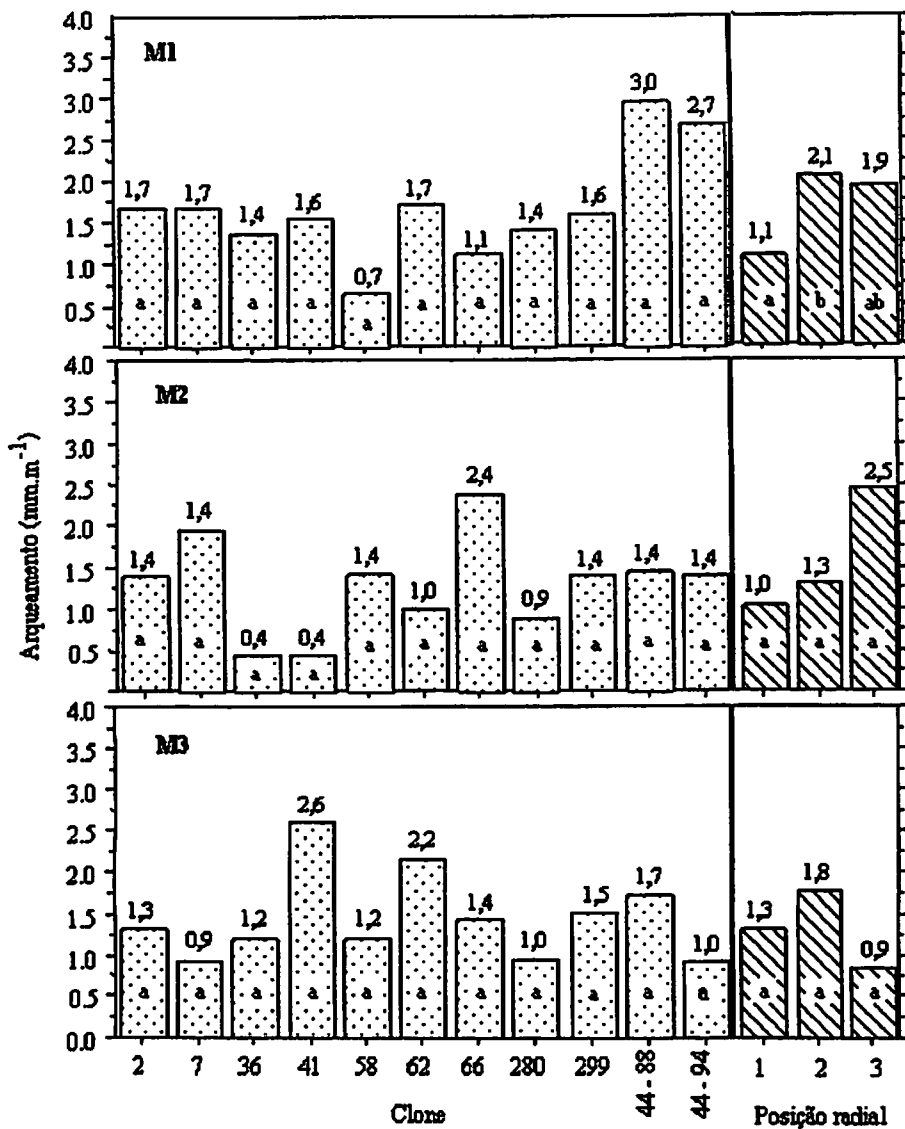


FIGURA 14 Variações nos valores médios de arqueamento na madeira em função dos clones, das posições radiais nas toras e dos métodos de desdobro. (As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste LSD protegido de Fischer ($p \leq 0,01$))

TABELA 18 Percentagem de tábuas de cada clone com arqueamento por classe de intensidade (ausente, leve e forte) nos três métodos de desdobro (M1, M2, M3).

Clone	Método								
	M1			M2			M3		
	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte
2	42,86	42,86	14,28	14,28	85,71	0,00	16,67	83,33	0,00
7	28,57	71,43	0,00	0,00	100,00	0,00	28,57	71,43	0,00
36	42,86	52,14	0,00	71,43	28,57	0,00	57,14	42,86	0,00
41	37,50	62,50	0,00	66,66	33,33	0,00	0,00	100,00	0,00
58	62,50	37,50	0,00	66,66	33,33	0,00	50,00	50,00	0,00
62	57,14	28,57	14,29	42,85	57,14	0,00	12,50	87,50	0,00
66	28,57	71,42	0,00	16,66	66,66	16,66	50,00	50,00	0,00
280	33,33	66,66	0,00	42,85	57,15	0,00	71,42	28,58	0,00
299	14,28	85,71	0,00	20,00	80,00	0,00	16,66	83,33	0,00
44-88	0,00	71,42	28,57	25,00	75,00	0,00	16,66	83,33	0,00
44-94	25,00	50,00	25,00	42,85	57,14	0,00	16,66	83,33	0,00

Analisando-se a quantidade de tábuas nas classes ausente, leve e forte apresentada na Tabela 18, observa-se que no método M1, o clone 44-88 foi o que apresentou maior percentagem de peças com arqueamento (100% das tábuas), tendo 71,42% de suas tábuas apresentado leve intensidade. O clone 58 foi o que apresentou menor percentagem de tábuas com arqueamento (37,50% das tábuas).

Para o método de desdobro M2, com exceção do 66, nenhum clone apresentou tábuas com forte intensidade de arqueamento. Para as tábuas desdobradas neste método, os clones 58 e 41 foram os que apresentaram maiores percentagens de peças sem incidência deste defeito (66,66%) (Tabela 18).

No método M3, nenhum clone apresentou arqueamento com forte intensidade, demonstrando que, de forma geral, este método foi o melhor para minimizar a propensão a este defeito. O clone 280 foi o que apresentou maior percentagem de tábuas com ausência deste defeito (71,42%).

c – Encanoamento

Encanoamento é o tipo de empenamento mais comum em tábuas tangenciais de madeira de folhosas, principalmente aquelas cortadas próximo à periferia das toras (Santini, 1992). O encanoamento médio para os clones estudados foi de 3,69 mm para o método M1; 4,58 mm para o método M2 e 4,85 mm para o método M3 (Tabela 19).

A Tabela 19 apresenta os resultados das análises de variância para o encanoamento e as estimativas dos parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais. Nota-se que os coeficientes de variação experimental (CVp% e CVsp%) foram altos, variando de 33,9% a 77,5% para os métodos M3 e M1, respectivamente. Estes altos valores podem ser decorrentes do baixo número de repetições e variação do encanoamento entre as tábuas localizadas nas diferentes posições no sentido vertical da pilha.

O teste de F não apresentou diferença significativa no encanoamento a 5% de probabilidade, em função do clone nos métodos M1 e M3 e foi diferente a 1 % de probabilidade no método M2 (Tabela 19). A análise do encanoamento em função da posição de amostragem na tora, resultou em diferença significativa para o método M1 a 1% de probabilidade e ao nível de 5% para o método M2. A influência da interação clone x posição radial sobre o encanoamento não foi significativa a 5% de probabilidade para nenhum dos métodos de desdobro.

Pode-se observar, na Tabela 19, que para o método de desdobro M2 o valor de coeficiente de variação genético do encanoamento foi de 39,2% e a sua herdabilidade foi de 83,9 %. Este resultados demonstram que esta é uma característica altamente herdável e com potencial para o melhoramento genético.

TABELA 19 Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental para o encanoamento, avaliada nos métodos de desdobro M1, M2, M3.

Fv	Gl			Quadrados médios		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Bloco	1	1	1	92,59**	24,85*	75,93**
Clone (C)	10	10	10	18,12 n.s	23,07**	6,95 n.s
Erro a	10	9	10	8,17	3,72	2,70
Posição radial (P)	2	2	2	27,54**	22,45*	17,57*
CxP	17	15	15	2,37 n.s	4,13 n.s	3,83 n.s
Erro b	15	11	12	2,62	5,06	2,82
Média				3,69	4,58	4,85
σ^2_c					3,2250	
ϕ_p					3,0533	
σ^2_{cp}					0,2721	
σ^2_f					3,8450	
$h^2\%$					83,9	
$CV_g\%$					39,2	
$CV_p\%$				77,5	42,1	33,9
$CV_{sp}\%$				43,9	49,1	34,6

σ^2_c : Componente de variância de clone, ϕ_p : Componente quadrático de posição radial, σ^2_{cp} : Componente de variância da interação clone e posição radial, σ^2_f : Componente de variância fenotípica, $h^2\%$: herdabilidade, $CV_g\%$: Coeficiente de variação genético, $CV_p\%$: Coeficiente de variação experimental – parcela, $CV_{sp}\%$: Coeficiente de variação experimental – sub-parcela.

Para os efeitos de clone e de posição de amostragem na tora que apresentaram diferença significativa foi realizado um teste de média (LSD protegido de Fisher), considerando o nível de 1% de probabilidade. Os resultados destas comparações são apresentados Figura 15.

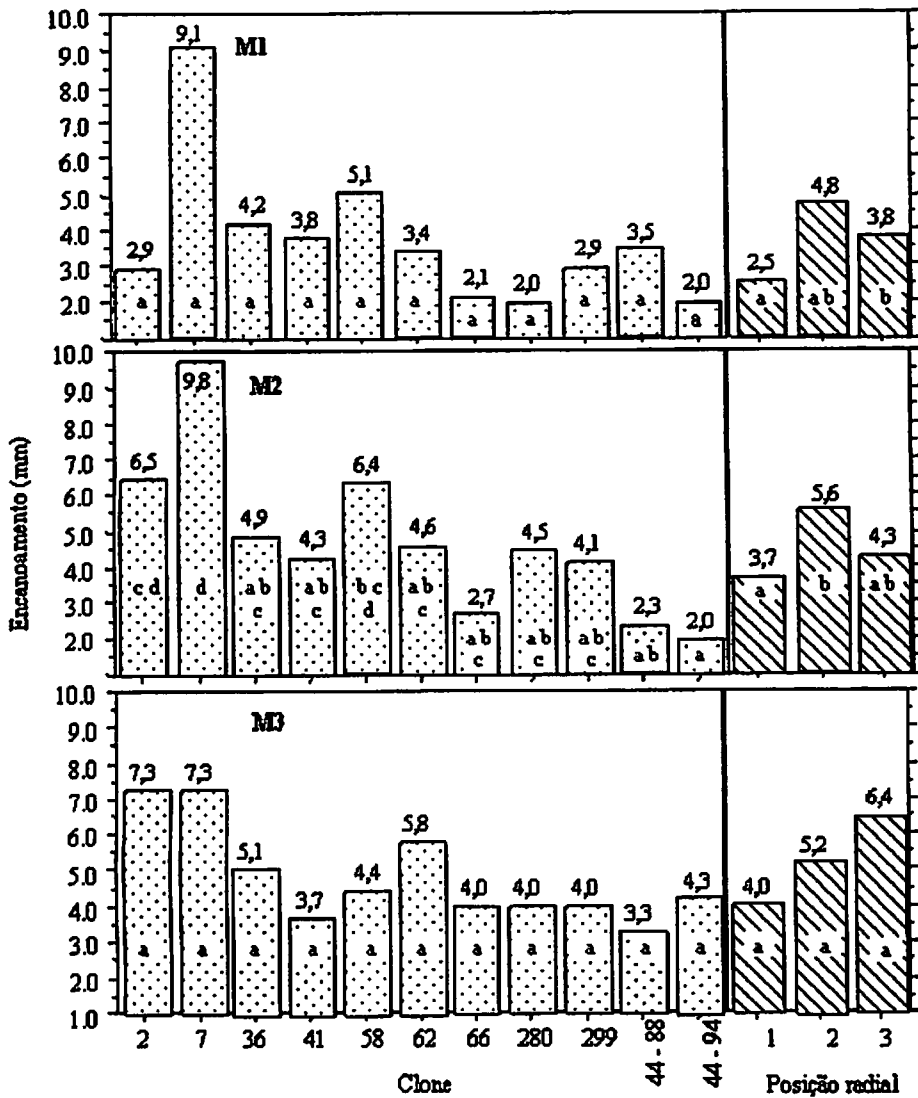


FIGURA 15 Variações nos valores médios de encançamento na madeira em função dos clones, das posições radiais nas toras e dos métodos de desdobro. (As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste LSD protegido de Fischer ($p \leq 0,01$))

A Figura 15 mostra a variação da média por clone, posição e os testes de média para os efeitos que apresentaram diferenças significativas. Observa-se, nesta figura, que para o método M1 os clones que apresentaram menores valores de encaoamento foram os clones 280 e 44-94. A posição radial que apresentou o menor valor foi a posição 1 (2,5 mm).

Para o método de desdobro M2, o clone 7 apresentou maior magnitude de encaoamento, com um valor de 9,8 e o clone 44-94 foi o clone de menor magnitude com um valor de 2,0 mm. Neste método, os clones 2, 7, 36,41, 58, 62, 280 e 299 apresentaram forte intensidade de encaoamento segundo a classificação da Tabela 6. Quanto à posição radial, a posição 1 (externa) apresentou menor valores de encaoamento (3,37 mm).

No método M3, o clone 44-88 apresentou menor intensidade de encaoamento (3,3 mm) e a posição radial que apresentou menor valor de encaoamento foi a posição 1, com o valor de 4,0 mm.

A Tabela 20 mostra a percentagem de tábuas de cada clone com ausência de encaoamento, com ocorrência de encaoamento de leve e com forte intensidade, para os três métodos de desdobro.

Quando analisa-se a Tabela 20, observa-se que no método M1 o clone 7 apresentou 100% de suas tábuas com encaoamento e o clone 44-94 foi o clone que apresentou menor percentagem de tábuas com encaoamento (50% das tábuas), tendo 25% de suas tábuas apresentado leve intensidade de encaoamento.

No método M2, o clone que apresentou maior percentagem de tábuas com forte intensidade de encaoamento foi o clone 7 com 80% de suas tábuas nesta classificação; o clone 44-88 e 44-94 apresentou 100% de suas tábuas nas classes ausente e leve.

TABELA 20 Percentagem de tábuas de cada clone com encaçamento por classe de intensidade (ausente, leve e forte) nos três métodos de desdobro (M1, M2, M3).

Clone	Método								
	M1			M2			M3		
	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte
2	14,29	57,14	28,57	0,00	28,57	71,43	0,00	33,33	66,66
7	0,00	14,29	85,71	0,00	20,00	80,00	0,00	14,29	85,71
36	14,29	57,14	28,57	0,00	42,86	57,14	0,00	42,86	57,14
41	12,50	50,00	37,50	33,33	0,00	66,66	16,66	33,33	50,00
58	25,00	12,50	62,50	0,00	33,33	66,66	0,00	60,00	40,00
62	0,00	40,00	60,00	0,00	28,57	71,43	0,00	50,00	50,00
66	42,86	42,86	14,29	16,66	66,66	16,66	25,00	25,00	50,00
280	44,44	33,33	22,22	14,29	57,14	28,57	14,29	42,86	42,86
299	14,29	71,43	14,29	20,00	40,00	40,00	14,29	42,86	42,86
44-88	14,29	71,43	14,29	20,00	80,00	0,00	16,66	83,33	0,00
44-94	50,00	25,00	25,00	28,57	71,43	0,00	0,00	33,33	66,66

No método M3, o clone que apresentou maior percentagem de tábuas com forte intensidade de encaçamento foi o clone 7 com 85,71 % de suas tábuas nesta classificação. O clone 66 apresentou maior percentagem de tábuas sem este defeito (25%) e o clone 44-88 foi o que apresentou 100% de suas tábuas nas classes ausente e leve.

d – Encurvamento

Os encurvamentos médios para os clones estudados foram de 2,64 mm/m para o método M1; 3,38 mm/m para o método M2 e 2,97mm/m para o M3. Entretanto, estas médias estão abaixo do valor permitido pelas normas de classificação de madeira de folhosa (IBDF, 1983).

A Tabela 21 apresenta os resultados das análises de variância para o encurvamento. As estimativas dos parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental não foram apresentadas devido à ausência de variação entre clones.

TABELA 21 Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental para o encurvamento, avaliada nos métodos de desdobro M1, M2 e M3.

Fv	GI			Quadrados médios		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Bloco	1	1	1	0,88 n.s	3,12 n.s	2,62 n.s
Clone (C)	10	10	10	5,46 n.s	5,13 n.s	8,03 n.s
Erro a	10	9	10	2,73	4,68	3,49
Posição radial (P)	2	2	2	0,93 n.s	3,54 n.s	5,94 n.s
CxP	17	15	15	3,62n.s	6,55 n.s	2,52 n.s
Erro b	15	11	12	2,88	3,59	1,7
Média				2,64	3,38	2,97
CV _p %				62,6	64,0	62,9
CV _{sp} %				64,3	56,1	43,9

CV_p %: Coeficiente de variação experimental – parcela, CV_{sp} %: Coeficiente de variação experimental – sub-parcela.

Observa-se, nesta tabela, que os coeficientes de variação experimental (CV_p % e CV_{sp} %) assumiram valores em uma amplitude de 43,9% para o método M3 a 64,3% para o método M1. Estes valores podem ser decorrentes do baixo número de repetições e também podem ser atribuídos à quantidade de peso insuficiente sobre a pilha, proporcionando alta variação deste defeito entre as tábuas localizadas nas diferentes posições no sentido vertical da pilha.

O encurvamento não apresentou diferença entre os clones e nem entre as posições radiais, a 5% de probabilidade. Na Figura 16, são apresentadas as médias dos clones e das posições radiais nos três métodos de desdobro.

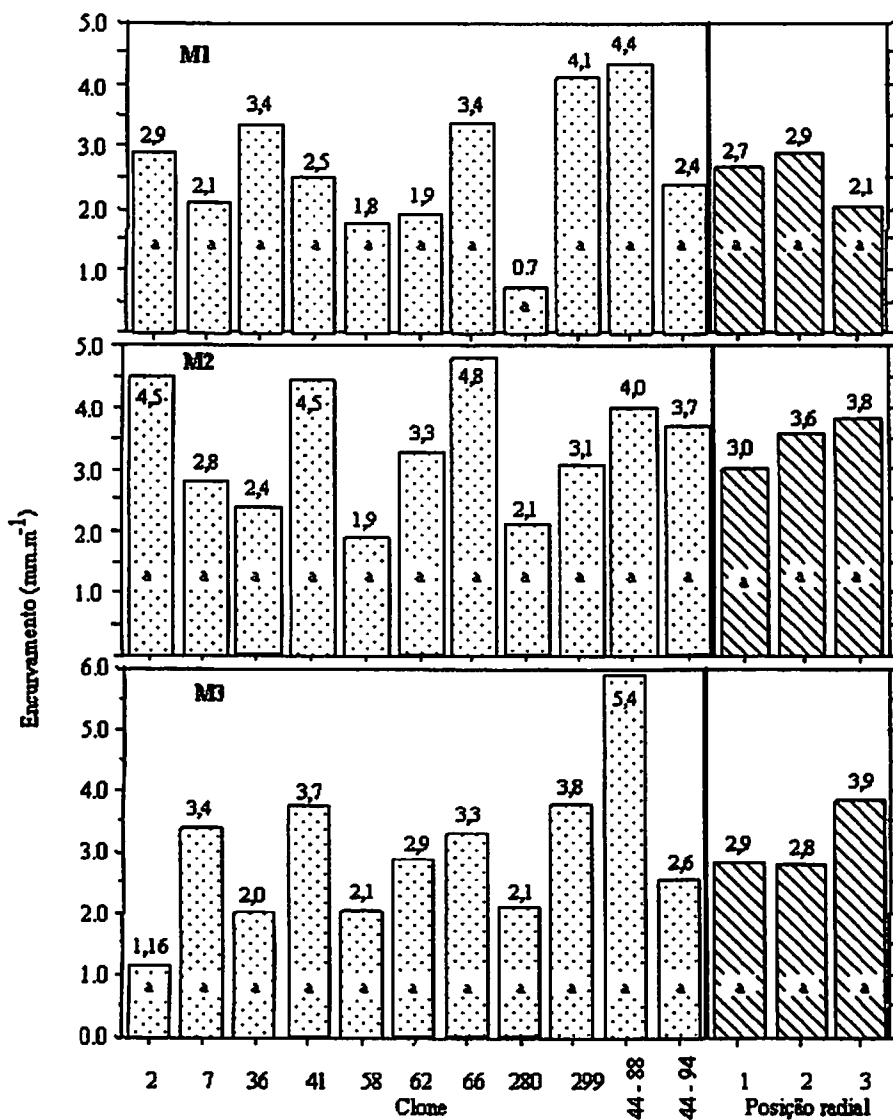


FIGURA 16 Variações nos valores médios de encurvamento na madeira em função dos clones, das posições radiais nas toras e dos métodos de desdobro. (As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste LSD protegido de Fischer ($p \leq 0,01$))

Pode-se observar, na Figura 16, pela análise das médias, que todos os clones apresentaram leve intensidade de encurvamento para madeira serrada pelos três métodos de desdobro. Exceção foi observada nos clones 44-88, que apresentaram forte encurvamento para os métodos M1 e M3: 299, para o método M1 e os clones 41 e 66, para o método M2. A posição radial 3 foi a que apresentou maiores valores de encurvamento longitudinal nos métodos de desdobro M2 e M3. Isto confirma as observações de Henderson (1951), citado por Kollmann & Côté (1968), em tábuas cortadas próximo à medula empenam mais do que tábuas cortadas das laterais da tora. O contrário ocorreu com o comportamento do M1, em que a posição 1 apresentou maior magnitude de encurvamento.

A Tabela 22 mostra a porcentagem de tábuas de cada clone sem encurvamento, com encurvamentos leve e forte para os três métodos de desdobro.

TABELA 22 Porcentagem de tábuas de cada clone com encurvamento por classe de intensidade (ausente, leve e forte) nos três métodos de desdobro (M1, M2, M3).

Clone	Método								
	M1			M2			M3		
	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte
2	14,29	57,14	28,57	28,57	28,57	42,86	50,0	50,00	0,00
7	57,14	28,57	14,29	20,00	80,00	0,00	0,00	71,43	28,57
36	14,29	57,14	28,57	14,29	85,71	0,00	0,00	100,00	0,00
41	12,50	87,50	0,00	33,33	33,33	33,33	16,66	83,33	0,00
58	37,50	62,50	0,00	16,66	83,33	0,00	40,00	60,00	0,00
62	42,86	57,14	0,00	0,00	85,71	14,29	12,50	75,00	12,50
66	0,00	100,00	0,00	0,00	50,00	50,00	0,00	100,00	0,00
280	44,44	55,55	0,00	28,57	71,43	0,00	28,57	71,43	0,00
299	0,00	85,71	14,29	20,00	80,00	0,00	33,33	33,33	33,33
44-88	14,29	57,14	28,57	12,50	75,00	12,50	0,00	50,00	50,00
44-94	50,00	25,00	25,00	0,00	85,71	14,29	16,66	83,33	0,00

Ao analisar os clones na Tabela 22, dentro de cada método de desdobro, nota-se que no método de desdobro M1, os clones 41, 58, 62, 66 e 280 apresentaram 100% de suas tábuas nas classes de encurvamento longitudinal ausente e leve (de acordo com a classificação da Tabela 6). Destes, o clone 280 apresentou menor quantidade de tábuas com encurvamento (55,56% das tábuas).

No método de desdobro M2, os clones 7, 36, 58, 280, 299 apresentaram 100% de suas tábuas com encurvamento longitudinal ausente ou leve, e dentre estes o clone 280 apresentou a maior concentração de tábuas na classe ausente (28,57 %).

Para o método M3, os clones 2, 36, 41, 58, 66, 280, 44-94 apresentaram 100% de suas tábuas com encurvamento longitudinal ausente ou leve e, dentre estes, o clone 2 apresentou a maior concentração de tábuas na classe ausente (50%).

e – Rachadura de topo

O índice de rachadura de topo médio para os clones estudados foi de 3,62 % para o método M1; 5,15 % para o método M2 e 5,11% para o M3.

A Tabela 23 apresenta os resultados das análises de variância para o índice de rachadura de topo e os coeficientes de variação experimental referentes às parcela constituídas pelos clones ($CV_p\%$) e às subparcelas constituídas pelas posições radiais de amostragem na madeira ($CV_{sp}\%$). Observam-se nesta tabela, altos valores de coeficiente de variação experimental ($CV_p\%$ e $CV_{sp}\%$), variando de 98,5% a 101,9% para o método M2 e M1, respectivamente.

Os testes de F mostraram que em todos os métodos de desdobro não existe diferença nas rachaduras de topo, significativa a 5% de probabilidade, em função de clone e em função da posição radial de amostragem. Apenas no

método M1 houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade para essa propriedade. O teste de média está apresentado na Figura 17.

TABELA 23 Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental para a rachadura de topo, avaliada nos métodos de desdobro M1, M2 e M3.

Fv	Gl			Quadrados médios		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Bloco	1	1	1	125,35**	17,78 n.s	46,39 n.s
Clone (C)	10	10	10	16,72 n.s	48,01 n.s	104,83 n.s
Erro a	10	9	10	13,27	25,75	64,31
Posição radial (P)	2	2	2	132,68*	38,31 n.s	94,32 n.s
CxP	17	15	15	23,88 n.s	27,75 n.s	142,42 n.s
Erro b	15	11	12	13,62	45,55	55,83
Média				3,62	5,15	5,11
CV _p %				100,6	98,5	156,9
CV _{sp} %				101,9	131,0	146,2

CV_p%; Coeficiente de variação experimental – parcela, CV_{sp}%; Coeficiente de variação experimental – sub-parcela.

A Figura 17 mostra as médias dos clones, das posições radiais e os testes de média (para o efeito significativo) para todos os métodos de desdobro. Ao analisar esta figura, observa-se que, de forma geral, no método M1 os clones tiveram um bom comportamento quanto à rachadura de topo, não ultrapassando os valores permitidos pelas normas para classificação de madeira serrada de folhosas (IBDF, 1983). O método M1 também apresentou o menor índice médio de rachadura (Tabela 23).

A Tabela 24 mostra a percentagem de tábuas de cada clone com diferentes classes de intensidade de rachadura de topo para os três métodos de desdobro: ausente, leve e forte.

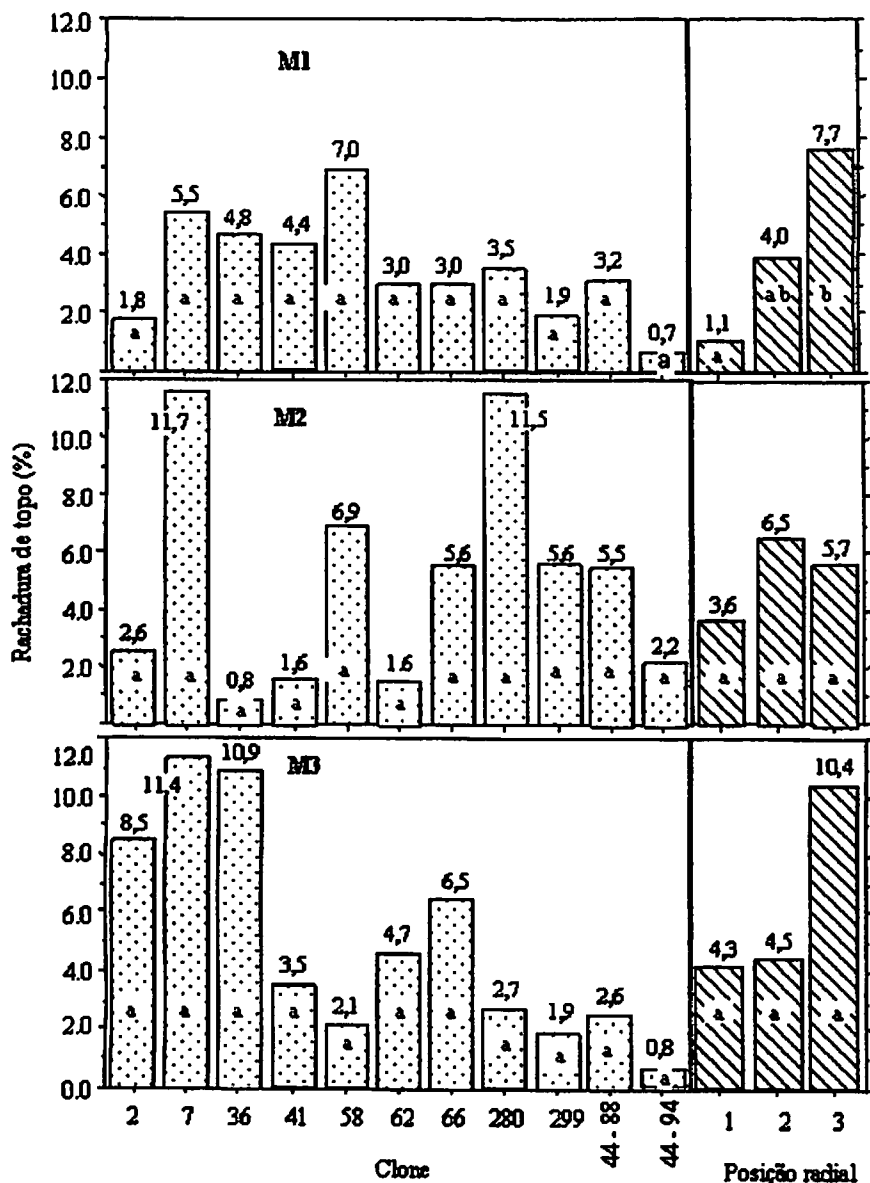


FIGURA 17 Variações nos valores médios de rachadura de topo na madeira em função dos clones, das posições radiais nas toras e dos métodos de desdobro. (As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste LSD protegido de Fischer ($p \leq 0,01$))

TABELA 24 Percentagem de tábuas de cada clone com rachadura de topo por classe de intensidade (ausente, leve e forte) nos três métodos de desdobro (M1, M2, M3).

Clone	Método								
	M1			M2			M3		
	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte
2	28,57	71,42	0,00	42,86	57,14	0,00	16,66	50,00	33,33
7	14,28	57,14	28,57	0,00	60,00	40,00	28,57	42,85	28,57
36	57,14	14,28	28,57	57,14	42,86	0,00	57,14	28,57	14,28
41	50,00	37,50	12,50	0,00	100,00	0,00	33,33	66,66	0,00
58	37,50	37,50	25,00	0,00	83,33	16,66	60,00	30,00	10,00
62	42,85	42,85	14,28	57,14	42,86	0,00	50,00	57,50	12,50
66	42,85	57,14	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	75,00	25,00
280	33,33	66,66	0,00	14,29	57,14	28,57	42,86	57,14	0,00
299	42,85	42,85	14,28	20,00	60,00	20,00	50,00	50,00	0,00
44-88	14,28	85,71	0,00	37,50	50,00	12,50	50,00	50,00	0,00
44-94	50,00	50,00	0,00	57,14	42,86	0,00	66,66	33,33	0,00

Ao analisar a Tabela 24, observa-se que, no método M1, os clones 2, 66, 280, 44-88, 44-94 apresentaram 100% de suas tábuas nas classes de rachadura de topo ausente e leve. No método M2, os clones 2, 36, 41, 62, 66, 44-94 apresentaram 100% de suas tábuas nas classes ausente e leve. Dentre estes, os clones 36, 62 e 44-94 apresentaram 57,14% de suas tábuas com ausência de rachadura de topo.

No método M3, os clones 41, 280, 299, 44-88 e 44-94 apresentaram 100% de suas tábuas nas classes ausente e leve. Destes, o clone 44-94 apresentou 66,66% de suas tábuas sem rachadura de topo.

f – Rachadura de superfície

O índice médio de rachadura de superfície para os clones estudados foi 4,89% para o método M1; 4,63% para o método M2 e 5,32% para o M3.

A Tabela 25 apresenta os resultados das análises de variância para a rachadura de superfície, assim como as estimativas dos seus parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais. Observa-se nesta tabela que os coeficientes de variação experimental ($CV_p\%$ e $CV_{sp}\%$) variaram de 57,9% para o método M2 a 143,0% para o método M3. É possível que estes altos coeficientes de variação sejam devidos ao baixo número de repetições empregadas.

TABELA 25 Resumo da análise de variância e estimativa de parâmetros fenotípico, genotípico e ambiental para a rachadura de superfície, avaliada nos métodos de desdobro M1, M2 e M3.

Fv	GI			Quadrados médios		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Bloco	1	1	1	127,23 n.s	1,85 n.s	54,61 n.s
Clone (C)	10	10	10	325,53**	98,00*	343,30**
Erro a	10	9	10	19,74	30,61	66,86
Posição radial (P)	2	2	2	81,36 n.s	153,09 n.s	85,02 n.s
CxP	17	15	15	42,00 n.s	58,68n.s	122,73 n.s
Erro b	15	11	12	33,81	7,18	57,86
Média				4,89	4,63	5,32
σ^2_c				50,9650	11,2317	46,0733
ϕ_p				6,5600	15,7350	-6,2850
σ^2_{cp}				0,4141	2,7242	0,7071
σ^2_r				54,2550	16,3333	57,2167
$h^2\%$				93,9	68,8	80,5
$CV_g\%$				146,0	72,4	127,6
$CV_p\%$				90,9	119,5	153,7
$CV_{sp}\%$				118,9	57,9	143,0

σ^2_c : Componente de variância de clone, ϕ_p : Componente quadrático de posição radial, σ^2_{cp} : Componente de variância da interação clone e posição, σ^2_r : Componente de variância fenotípica, $h^2\%$: herdabilidade, $CV_g\%$: Coeficiente de variação genético, $CV_p\%$: Coeficiente de variação experimental – parcela, $CV_{sp}\%$: Coeficiente de variação experimental – subparcela.

Os testes de F apresentados na Tabela 25 mostraram que existe diferença significativa nas rachaduras de superfície em função de clone a 1% de probabilidade para os métodos M1 e M3 e a 5% de probabilidade para o método M2. As posições de amostragem na tora não influenciaram significativamente a formação de rachaduras de superfície.

Para os efeitos que apresentaram diferenças significativas, foram realizados testes de médias, os quais estão apresentado na Figura 18. Nesta figura, observa-se que no método M1 o índice de rachadura de superfície varia de 0,0%, para os clones 41, 66 e 44-94, a 29,9% para o clone 7. A posição radial 3 neste método de desdobro apresentou maior índice de rachaduras (6,2%), enquanto a posição 1 apresentou menor índice (3,6%).

No método M1, se forem consideradas as médias na Figura 18, apenas o clone 7 é classificado como de rachadura de superfície intensa, segundo a classificação da Tabela 6. Os clones 41, 66 e 44-94 não apresentaram rachadura de superfície nas suas tábuas.

Para o método M2, o menor índice de rachadura de superfície foi para os clones 41, 66 e 44-94 (0,0%), enquanto o clone 7 apresentou o maior índice (22,4%). A posição de amostragem 1 apresentou a menor magnitude de rachadura de superfície (3,6%), enquanto a posição 3 apresentou maior magnitude (6,2%). De forma geral, o índice de rachadura reduziu sua magnitude da posição interna para a externa (Figura 18). Neste método, os clones 7 e 36 apresentaram um valor médio de rachadura de superfície classificado como forte intensidade. Os clones 2 e 58 não forneceram tábuas com forte intensidade.

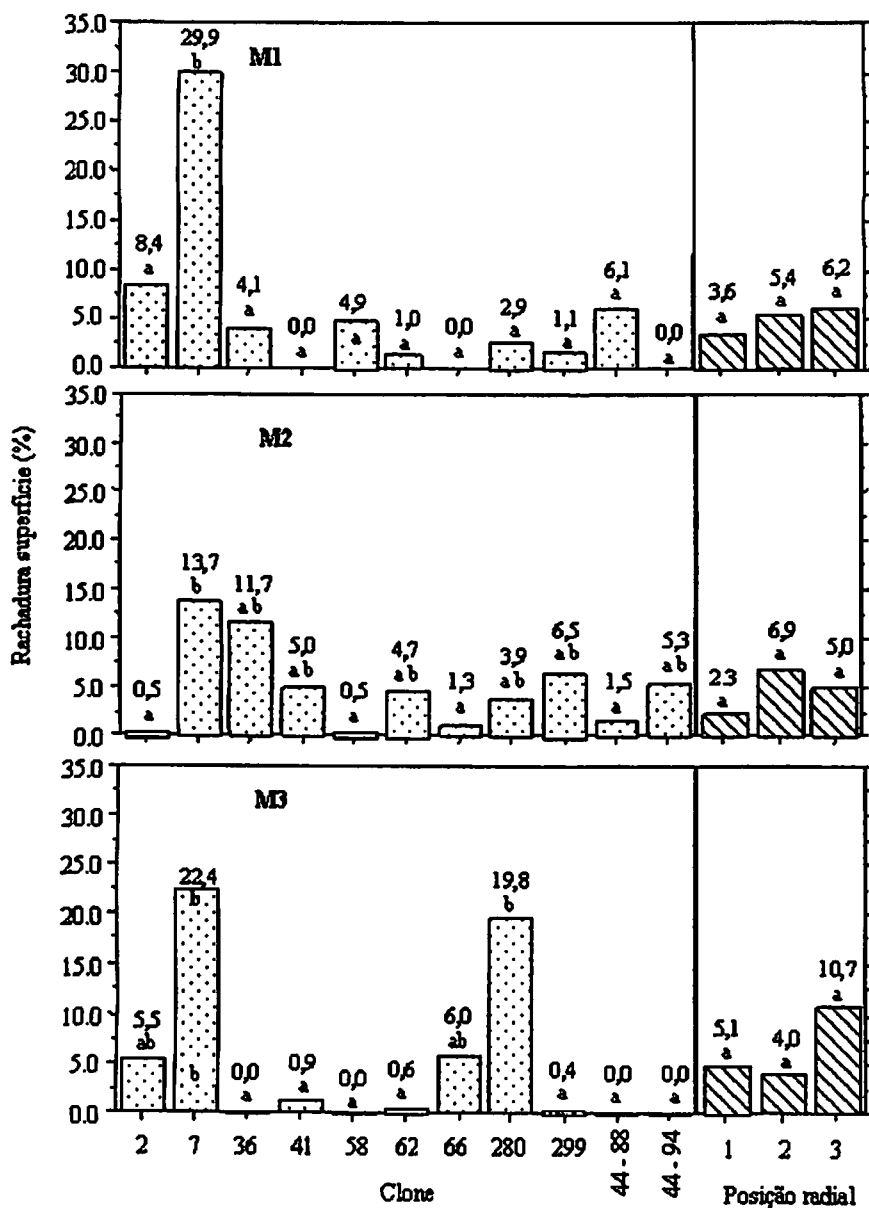


FIGURA 18 Variações nos valores médios de rachadura de superfície na madeira em função dos clones, das posições radiais nas toras e dos métodos de desdobro. (As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste LSD protegido de Fischer ($p \leq 0,01$))

Para o método M3, os clones 36, 58, 44-88 e 44-94 apresentaram menores índices de rachadura de superfície (com valor de 0,0%), enquanto o clone 7 apresentou maior índice, com valor de 22,4%. A posição radial 3 apresentou maior índice de rachadura de superfície (10,7%) e a posição 2 de menor índice (4,0%).

Quanto ao método de desdobro M3, verifica-se que os valores médios de rachadura de superfície apresentados na Figura 19 para os clones 7 e 280 foram classificados como de forte intensidade.

Ao comparar os métodos de desdobro apresentados na Figura 18, nota-se que os clones tiveram comportamentos diferenciados, ou seja, o método que favorece a redução do índice de rachadura de superfície após a secagem para um clone pode não favorecer para outro. Pode-se observar que os clones 41, 66 e 280 apresentaram menores índices de rachaduras após a secagem no método M1; os clones 2 e 7 no método M2; enquanto os clones 36, 58, 62, 299 e 44-88 no método M3. O clone 44-94 apresentou o mesmo comportamento nos métodos de desdobro M1 e M3.

Analisando-se a Tabela 26, observa-se que no método M1, os clones 66, 41, 44-94 apresentaram a totalidade de suas tábuas sem rachadura de superfície. Mas, por outro lado, o clone 7 apresentou todas as suas tábuas com rachadura de superfície. No método M2, o clone 2 apresentou 85,7% de suas tábuas sem rachadura de superfície. Já no método M3, os clones 36, 58, 44-88, 44-94 apresentaram 100% de suas tábuas sem rachaduras de superfície.

TABELA 26 Percentagem de tábuas de cada clone com rachadura de superfície por classe de intensidade (ausente, leve e forte) nos três métodos de desdobro (M1, M2, M3).

Clone	Método								
	M1			M2			M3		
	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte	Ausente	Leve	Forte
2	57,14	14,26	28,57	85,71	14,28	0,00	83,33	0,00	16,67
7	0,00	0,00	100,00	20,00	20,00	60,00	14,26	14,26	71,43
36	57,14	28,57	14,28	57,14	14,28	28,57	100,00	0,00	0,00
41	100,00	0,00	0,00	66,67	33,33	0,00	83,33	16,67	0,00
58	62,50	12,50	25,00	83,33	16,67	0,00	100,00	0,00	0,00
62	85,71	14,28	0,00	71,43	0,00	28,57	75,00	25,00	0,00
66	100,00	0,00	0,00	83,33	0,00	16,67	50,00	25,00	25,00
280	77,78	11,11	11,11	71,43	14,28	14,28	42,86	0,00	57,14
299	71,43	28,57	0,00	40,00	20,00	40,00	83,33	16,67	0,00
44-88	71,43	14,26	14,26	75,00	12,50	12,50	100,00	0,00	0,00
44-94	100,00	0,00	0,00	85,71	0,00	14,23	100,00	0,00	0,00

g – Avaliação conjunta dos defeitos

Utilizando-se os critérios descritos para o ranqueamento dos clones, em cada método de desdobro, foram elaboradas as Tabelas 27, 28 e 29, as quais contêm a pontuação de cada defeito e a pontuação total por clone. Também é apresentado o resultado do ranqueamento destas notas. O clone com maior pontuação é considerado o melhor, pois apresenta maior percentagem de tábuas nas classes ausente e leve (as quais estão dentro do permitido pelas normas para classificação de madeira serrada de folhosas (IBDF, 1983)).

No método M1, o clone 41 foi o primeiro do ranqueamento. O segundo lugar foi ocupado pelos clones 66, 299, 280 e, em terceiro lugar, ficou o 44-88 (Tabela 27).

TABELA 27 Ranqueamento dos clones no método M1

Clone	Co	Ar	En	Ev	Rt	Rs	Pontos	Ra
	pontos	pontos	pontos	pontos	pontos	Pontos	totais	
41	10	2	2	1	3	3	21	1
66	5	2	2	1	3	3	16	2
299	5	2	2	1	3	3	16	2
280	5	2	2	1	3	3	16	2
44-88	10	-2	2	-1	3	3	15	3
44-94	5	-2	2	1	3	3	12	4
36	5	2	2	-1	-3	3	8	5
58	5	2	-1	1	-3	3	7	6
2	-5	2	2	-1	3	3	4	7
62	-5	2	-1	1	3	3	3	8
7	-5	2	-2	1	-3	-6	-13	9

Co = colapso; Ar = arqueamento; En = encanoamento; Ev = encurvamento; Rt = rachadura de topo; Rs = rachadura de superfície; Ra = ranqueamento.

No método M2, os clones 44-94, 66 e 44-88 ocuparam o primeiro, segundo e terceiro lugares, respectivamente (Tabela 28). No método M3, os clones 36, 41, 58, 62 e 44-94 ficaram em primeiro lugar no ranqueamento com a mesma nota (15 pontos), enquanto os clones 44-88 e 299 ficaram em segundo e terceiro lugar, respectivamente (Tabela 29). Neste método, cinco dos clones apresentaram o mesmo comportamento (primeiro lugar no ranqueamento), mostrando uma maior uniformidade do efeito deste método em relação ao comportamento dos clones.

TABELA 28 Ranqueamento dos clones no método M2

Clone	Co	Ar	En	Ev	Rt	Rs	Pontos	Ra
	pontos	pontos	pontos	pontos	pontos	pontos	totais	
44-94	10	2	2	1	3	3	21	1
66	10	2	1	-1	3	3	18	2
44-88	5	2	2	1	3	3	16	3
36	5	2	1	1	3	3	15	4
41	5	2	1	1	3	3	15	4
62	5	2	1	1	3	3	15	4
299	5	2	1	1	3	3	15	4
2	5	2	1	-1	3	3	13	5
58	5	2	1	1	-3	3	9	6
280	5	2	1	1	-3	-3	3	7
7	5	2	-1	1	-6	-6	-5	8

Co = colapso; Ar = arqueamento; En = encanoamento; Ev = encurvamento; Rt = rachadura de topo; Rs = rachadura de superfície; Ra = ranqueamento.

TABELA 29 Ranqueamento dos clones no método M3

clone	Co	Ar	En	Ev	Rt	Rs	Pontos	Ra
	pontos	pontos	pontos	pontos	pontos	pontos	totais	
36	5	2	1	1	3	3	15	1
41	5	2	1	1	3	3	15	1
58	5	2	1	1	3	3	15	1
62	5	2	1	1	3	3	15	1
44-94	5	2	1	1	3	3	15	1
44-88	5	2	3	-2	3	3	14	2
299	5	2	1	-1	3	3	13	3
66	5	2	1	1	-3	3	9	4
280	5	2	1	1	3	-3	9	4
2	-5	2	1	1	-3	3	-1	5
7	-10	2	-1	1	-3	-6	-17	6

Co = colapso; Ar = arqueamento; En = encanoamento; Ev = encurvamento; Rtop = rachadura de topo; Rs = rachadura de superfície; Ra = ranqueamento.

Em cada método, como pode-se observar nas Tabelas 27, 28 e 29, um certo clone apresentou melhor comportamento durante a secagem. Entretanto, para o último lugar no ranqueamento, todos os métodos indicaram o clone 7.

5 CONCLUSÕES

- Foi possível o desenvolvimento de um programa de secagem comum às madeiras dos dez clones estudados. Este programa é baseado numa temperatura inicial igual a 40°C, temperatura final igual a 66°C e potencial de secagem igual a 2,2.
- O programa desenvolvido experimentalmente em laboratório foi adequado para secagem das madeiras dos clones em estufa convencional. O tempo de secagem da madeira da condição verde até 14% de umidade foi igual a 443 horas. Este tempo pode ser reduzido se os clones fossem separados em grupos, segundo a velocidade de secagem.
- Foram observadas diferenças na intensidade de defeitos pós-secagem entre os clones. Tábuas provenientes da parte mais externa da tora apresentaram menores intensidades de todos os defeitos.
- O clone 41 apresentou a melhor performance na secagem para madeira desdobrada pelo método tangencial paralelo ao diâmetro das toras; o clone 44-94 foi o melhor para o método de desdobro paralelo ao diâmetro da tora com costaneiras cortadas a 1/3 do raio, enquanto os clones 36, 41, 58, 62 e 44-94 foram os melhores para o método de desdobro tangencial paralelo à casca.
- O colapso foi o defeito de maior impacto nos clones estudados, aparentando ser o defeito com maior potencial para o melhoramento genético da qualidade da madeira dos clones estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. **Indicação de programas para secagem convencional de madeira.** 2000. 51 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

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

ASSIS, T. F. de. **Estratégias de melhoramento para a obtenção de madeira de qualidade para laminação e serraria.** In: SEMINÁRIO MADEIRA DE EUCALIPTO: tendências e usos. *Anais...* Curitiba: FPEFP/UFP, 2001. p. 1-17.

BRANDÃO, A. de O. **Determinação de metodologia para a identificação de programas de secagem de madeiras.** 1989. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

BURGUER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

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

CRÊSPO, E. A.. **Tensão de crescimento e suas conseqüências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus***

saligna. 2000. 119 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

CRUZ, C. R. Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira. 2000. 64 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, S. Produção e qualidade da madeira serrada de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. 2003. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal, Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GALVÃO, A. P.; JANKOWSKY, I. P. Secagem racional da madeira. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

GROSSER, D. Defeitos da madeira. Curitiba: FUPEF, 1980. p.1-16. (Série Técnica FUPEF, 2).

HENDERSON, H.L. The air seasoning and kiln drying of wood. 5.ed. New York: Albany, 1951.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL.
Normas para classificação de madeira serrada de folhosas. Brasília: Gráfica Brasileira, 1983. 67 p.

ILIC, J.; BERNNETT, P. J. Sorting *Eucalypt* logs and boards to facilitate drying: the futuro of *Eucalypts* for wood products. Tasmania: UFRO, 2000. p. 205-211.

KOLLMANN, F.P.; COTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, 1968. v.1, 592 p.

MARCHIORI, J. N. C. Influência da estrutura anatômica na secagem da madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p.7-34.

MARTINS, V. A. **Secagem de madeira serrada.** Brasília: IBDF, 1988. 56 p.

MARTINS, V. A.; GOUVEIA, F. N.; MARTINEZ, S. Secagem convencional de madeira de eucalipto parte I: *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, *E. grandis* Hil Ex Maiden e *E. pilularis* Sm. **Brasil Florestal**, Piracicaba, n.70, p.42-47, jul. 2001.

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

MIRANDA, J. A. C. **Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* smith no rendimento em madeira serrada, nas condições verdes e seca.** 1997. 177 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

MOURA, M. C. O. **Variações em características do crescimento e da madeira em clones de *Eucalyptus*.** 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, L. C. S. **Perguntas e respostas em secagem de madeiras.** São Paulo: IPT, 1981. 36 p.

PANSHI, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: Mac Graw-Hill, 1980. 722p.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. **Manual de secagem da madeira**. Brasília: STI/IPT, 1985. 70 p.

PRATT, G.H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment. 1974. 152 p.

ROCHA, M. P. da. ***Eucalyptus grandis* Hil ex maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fonte de matéria prima para serrarias**. 2000. 185 p.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Avanços genéticos na obtenção de sólidos de *Eucalyptus* de qualidade superior. In: **SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 2002, Lavras. Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 114-124.

ROZAS, M. E. C. E.; TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência Florestal, Santa Maria, v.3, n. 1, p.147-159, 1993.**

SANTINI, E. J. Métodos usuais de secagem de madeiras. In: **SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p. 47-59.

SANTINI, E. J. Qualidade de madeira seca. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p. 60-74.

SANTINI, E. J.; TOMASELLI, I. Colapso na madeira e algumas experiências brasileiras. Curitiba: FUPEF, 1980. 21 p. (Série Técnica,3).

SANTOS, G.R. V. dos. Otimização da Secagem da Madeira de *Eucalyptus grandis* (Hillebrand). 2002. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

SCHACHT, L. Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em *Eucalyptus urophylla*. 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii*. Ciência Florestal, Santa Maria, v.10, n. 1, p.109-124, 2000.

SIAU, J. F. Transport processes in wood. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245 p.

SIMPSON, W. T. Dry kiln operator's manual. Madison, Wisconsin: United States Department of Agriculture, 1991. 274 p.

SIMPSON, W. T. Method to estimate dry-kiln schedules and species groupings: tropical and temperate hardwoods. Madison: Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory, 1996. 55p.

SKAAR, C. Wood-Water relations. Berlin: Alemanha Shpringler-Verlag. 1988. 293p.

SOUZA, M. A. M. Deformação residual longitudinal causada pelas tensões de crescimento em clones híbridos de *Eucalyptus*. 2002. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

STUMPP, E. Curso de secagem. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 1., 1992, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. p.60-74.

XAVIER, G. K. Divergência genética em clones de *Eucalyptus* avaliada por marcadores moleculares RAPD, e variações nas propriedades da madeira. 2001. 107 p. Dissertação (Mestrado em Produção Florestal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.