**TENSÃO DE CRESCIMENTO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS,
CONTROLÁVEIS E NÃO CONTROLÁVEIS, NO DESDOBRO E
SECAGEM DO *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna***

ÉRICA DE ALVARENGA CRÊSPO

Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz".
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Mestre em Ciência. Área de
Concentração: Ciência e Tecnologia de
Madeiras.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro - 2000

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Crêspo, Érica de Alvarenga

Tensão de crescimento e suas conseqüências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* / Érica de Alvarenga Crêspo. - - Piracicaba, 2000.

119 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.
Bibliografia.

1. Empenamento 2. Madeira de eucalipto 3. Madeira serrada 4. Método de desdobro primário de tora 5. Rachadura 6. Rendimento 7. Secagem de madeira I.
Título

CDD 674.142

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Data de depósito junto à C. C. C. A. L. Q.

18 / 12 / 00

“O próprio fato de os mistérios serem ocultos é que desencadeia a imaginação do observador. Os exploradores acabam por ver a floresta como um animal vivo cuja vida interior é suprimida pelo manto verde, mas que rebrilha através da mais pálida flor e se despeja nas torrentes poderosas dos rios que correm para o mar.”

(Henry Walter Bates)

Ofereço

À minha mãe pelo carinho, dedicação e apoio, para que eu concluísse mais esta etapa de minha vida.

Dedico

Ao meu pai, que sempre me incentivou, que vibrava comigo em cada nova etapa alcançada. E hoje não mais contamos, com a sua presença física. Entretanto, sua presença é sentida em todos os momentos de nossas vidas, pois seus exemplos estão presentes em nosso dia-a-dia.

À minha avó pelo incentivo e encorajamento a mim proporcionados e que, infelizmente, não pode ver este trabalho concluído.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, fonte de todo poder, amor e justiça.
- Ao Curso de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Madeiras da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização deste trabalho.
- Ao Prof. Dr José Nivaldo Garcia, orientador deste trabalho, por seus ensinamentos, incentivo, confiança e amizade depositadas.
- Ao Lúcio pelo amor, incentivo e encorajamento nas horas difíceis.
- Ao meu irmão pelas sugestões sempre oportunas.
- Aos Professores do Curso de Ciência e Tecnologia de Madeiras pelos ensinamentos durante todo o período.
- Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos que permitiu a execução deste trabalho.
- Aos Professores Dr. Márcio Augusto Rabelo Nanhuz e Dr. Nilson Franco pelas sugestões e inestimável ajuda na correção deste trabalho.
- À CAF, ao Engenheiro Florestal Roosevelt Almado, ao técnico Agrícola Euzébio e aos funcionários Zezé e Marcílio pelo apoio e auxílio recebido na coleta dos dados no campo.
- Ao Luís Eduardo Facco, técnico do Laboratório de Engenharia da Madeira da ESALQ/USP pela colaboração prestada.
- À Sandra, Luciano e Ranyse pela amizade sincera, convivência e compreensão a mim proporcionados durante a estadia em Piracicaba.
- Aos colegas do curso em especial à Carla, Anna e Gilson pelo convívio e amizade.

SUMÁRIO

	Página
LISATA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Ocorrência e potencialidades das espécies.....	3
2.2 Tensão de crescimento.....	5
2.2.1 Distribuição das tensões de crescimento.....	6
2.2.2 Conseqüências das tensões de crescimento.....	10
2.2.2.1 Cerne quebradiço.....	10
2.2.2.2 Fendas ou rachaduras de extremidade de tora	11
2.2.2.3 Empenamentos	17
2.3 Desdobro.....	18
2.4 Técnicas utilizadas para reduzir o efeito das tensões de crescimento	21
3. RACHADURAS DE EXTREMIDADE DE TORA <i>DE Eucalyptus grandis</i> <i>E Eucalyptus saligna</i>	23
3.1 Resumo.....	23
3.2 Summary	24
3.3 Introdução	25
3.4 Material e métodos.....	28
3.4.1 Diâmetros da tora (D, d).....	30
3.4.2 Rachaduras das toras	32
3.4.3 Índice de rachadura em seções adjacentes da árvore.....	34
3.5 Resultados e discussão	35
3.5.1 Índice de rachadura de extremidade de tora (IR).....	35

3.5.1.1 Influência do tempo de armazenamento da tora e posição relativa de suas extremidades	35
3.5.1.2 Influência da altura da qual a tora foi retirada da árvore.....	38
3.5.1.3 Influência da classe diamétrica da tora	41
3.5.1.4 Índices de rachadura em seções adjacentes da árvore.....	45
3.6 Conclusões	49
3.7 Referências Bibliográficas	50
4. RACHADURAS DE EXTREMIDADE DE TÁBUA EM <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus saligna</i>	53
4.1 Resumo.....	53
4.2 Summary	54
4.3 Introdução	55
4.4 Material e métodos.....	58
4.4.1 Comprimento da tora (L)	59
4.4.2 Volume da tora (VT).....	59
4.4.3 Conicidade da tora(C)	59
4.4.4 Desdobro.....	60
4.4.5 Volumes de madeira serrada no estado verde (VMSV), projetado e real.....	62
4.4.6 Volume de madeira serrada seca (VMSS).....	63
4.4.7 Rendimentos em madeira serrada, nos estados verde (RMSV) e seco, (RMSS), projetado e real	63
4.4.8 Correlação entre a rachadura de extremidade de tábuas (I_{or}) e o índice de rachadura de extremidade de tora (IR)	64
4.5 Resultados e discussão	64
4.5.1 Rachaduras de extremidade de tábuas (I_{od}) e rendimento em madeira serrada.....	64

4.5.2 Influência do comprimento da tora na rachadura de extremidade de tábua.....	75
4.5.3 Relação entre o índice de rachadura de extremidade de tora (IR) e a rachadura de extremidade de tábua (l_{or}).....	77
4.5.4 Conicidade	79
4.5.5 Relações entre os rendimentos em madeira serrada no estado verde.....	81
4.5.6 Relações entre as rachaduras da madeira serrada pós-destopo e pós-secagem	84
4.6 Conclusões	86
4.7 Referências Bibliográficas	87
5. EMPENAMENTOS DA MADEIRA SERRADA NOS ESTADOS VERDE E SECO DE <i>Eucalyptus grandis</i> E <i>Eucalyptus saligna</i>	91
5.1 Resumo.....	91
5.2 Summary	92
5.3 Introdução	93
5.4 Material e métodos.....	94
5.4.1 Flecha da tora (F).....	95
5.4.2 Flechas da madeira serrada (f_x e f_y).....	96
5.5 Resultados e discussão	97
5.5.1 Flecha da tora	97
5.5.2 Influência da flecha da tora no encurvamento e no arqueamento das peças serradas	99
5.5.3 Empenamentos da madeira serrada no estado verde e seco.....	101
5.6 Conclusões	107
5.7 Referências Bibliográficas	108
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	110
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Pesos atribuídos por Malan às classes de comprimento das rachaduras	13
2 Classes de comprimento e pesos atribuídos às rachaduras.....	16
3 Análise de variância para a variável índice de rachadura da tora (IR), discriminando posições na tora	35
4 Análise de variância para a variável índice de rachadura de tora (IR), discriminando posições na árvore	39
5 Análise de variância para a variável índice de rachadura de tora (IR), discriminando classes diamétricas	41
6 Análise de variância para o índice de rachadura (IR) em seções adjacentes da árvore	46
7 Análise de variância para a variável rachadura de extremidade tábua.....	65
8 Análise de variância para a variável rendimento em madeira serrada no estado verde, projetado	72
9 Análise de variância simplificada para a rachadura de extremidade de tábua.....	76
10 Análise de variância para a rachadura de extremidade de tábua pós - destopo e pós-secagem.....	84
11 Análise de variância para a variável flecha da tora.	97
12 Análise de variância para as deformações (F), da tora e (F_x) e (F_y) da madeira serrada	99
13 Análise de variância para a variável encurvamento da madeira serrada, no estado verde.	101
14 Análise de variância para a variável arqueamento da madeira serrada, no estado verde	102

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Distribuição teórica da componente longitudinal da tensão de crescimento. O sinal positivo indica tração e o negativo compressão	7
2 Distribuição de tensões longitudinais em 4 árvores de <i>Eucalyptus grandis</i>	8
3 Distribuição da componente tangencial da tensão de crescimento em 4 árvores de <i>Eucalyptus grandis</i>	9
4 Propagação das rachaduras de extremidade de tora, em função do tempo pós-seccionamento.....	26
5 Posições das toras em um conjunto padrão de duas árvores. As coordenadas do eixo (h) indicam a altura do ponto médio da tora em relação ao nível do solo.....	30
6 Diâmetros máximos, médios e mínimos das toras de <i>E. grandis</i> e de <i>E. saligna</i>	31
7 Rachadura de extremidade de tora (7A) e detalhe da rachadura crítica (7B) de <i>Eucalyptus grandis</i> , imediatamente após a derrubada e o seccionamento da árvore	33
8 Índice de rachadura de extremidade de tora do <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> nos tempos de armazenamento T_1 (3 dias) e T_2 (30 dias)	37
9 Índice de rachaduras na base e topo das toras de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i>	38
10 Rachadura de extremidade de tora em função da posição da tora na árvore	40
11 Índice de rachadura de extremidade de tora em função da classe diamétrica da tora	42

12	Relação entre o índice de rachadura de extremidade de tora e o diâmetro da tora, para o conjunto das duas espécies	43
13	Regressões obtidas para relacionar a rachadura de extremidade de tora e a sua classe diamétrica	44
14	Desvios entre valores observados e preditos	45
15	Índices de rachadura medidos no topo da primeira tora e / ou topo da terceira tora e na base das toras subsequentes.....	47
16	Índice de rachadura de extremidade de tora (IR) em seções adjacentes da árvore.	48
17	Correlações entre os índices de rachaduras de seções adjacentes da árvore	49
18	Corte primário da tora na serra de fita dupla (A) e corte secundário na serra circular múltipla (B).....	61
19	Rachaduras de extremidade de tábua para espécies, tempos de armazenamento e para cada espécie dentro do tempo de armazenamento.....	67
20	Rachadura de extremidade de tábua dentro de classes diamétricas ...	98
21	Correlações entre rachadura de extremidade de tábua e largura da tábua.....	69
22	Regressões lineares que relacionam a rachadura de extremidade de tábua com o diâmetro médio da tora, para o conjunto total dos dados (a) e para as espécies dentro do tempo de armazenamento (b)	70
23	Distribuições dos resíduos dos modelos para o conjunto total de dados (a) e para os tratamentos estratificados (b).	71
24	Rendimento em madeira serrada para <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> nos tempos de armazenamento T_1 (3 dias) e T_2 (30 dias).	73

25	Rendimento em madeira serrada, no estado verde, projetado em função do diâmetro da tora, sendo $C_1 = [19,00 - 25,00)$; $C_2 = [25,00 - 31,00)$; $C_3 = [31,00 - 37,00)$; $C_4 = [37,00 - 43,00)$; $C_5 = [43,00 - 49,00)$, com centro de classe, respectivamente, de 22,00; 28,00; 34,00; 40,00 e 46,00 cm.....	74
26	Efeito da espessura da costaneira no rendimento em madeira serrada, no estado verde.....	75
27	Rachadura de extremidade de tábua em função do comprimento da tora	76
28	Relação entre a rachadura de extremidade de tábua e o índice de rachadura de extremidade de tora.....	78
29	Relação entre o rendimento em madeira serrada e o índice de rachadura da tora.	79
30	Conicidade das toras de <i>E. grandis</i> e de <i>E. saligna</i>	80
31	Relação entre o rendimento em madeira serrada, no estado verde e a conicidade das toras de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i>	81
32	Correlação entre o rendimento em madeira serrada, no estado verde, projetado, e o rendimento em madeira serrada, no estado verde, real.....	82
33	Correlação entre as rachaduras das tábuas e o rendimento em madeira serrada, no estado verde.....	83
34	Rachaduras de extremidade de tábuas pós-destopo e pós-secagem.	85
35	Relação entre a rachadura de extremidade da tábua pós - destopo e pós-secagem.	86
36	Método utilizado para determinar a flecha da tora, em que a linha pontilhada representa a tora indeformada.....	95

37	Método utilizado na determinação do encurvamento (a) e do arqueamento (b), em peças serradas.....	96
38	Flecha da tora de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> nos tempos de armazenamento T_1 (3 dias) e T_2 (30 dias)	98
39	Deformações da tora e da madeira serrada de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> nos tempos de armazenamento T_1 (3 dias) e T_2 (30 dias).....	100
40	Empenamentos da madeira serrada, no estado verde, de <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i> nos tempos T_1 (3 dias) e T_2 (30 dias) de armazenamento das toras.	103
41	Empenamentos da madeira serrada, nos estados verde e seco	105
42	Correlações entre os empenamentos da madeira serrada seca e no estado verde, para as espécies <i>E. grandis</i> e <i>E. saligna</i>	106

TENSÃO DE CRESCIMENTO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS, CONTROLÁVEIS E NÃO CONTROLÁVEIS, NO DESDOBRO E SECAGEM DO *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna*

Autora: Érica de Alvarenga Crêspo

Orientador: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

RESUMO

As espécies de *Eucalyptus* utilizadas para produção de madeira serrada apresentam algumas características como rachaduras nas extremidades das toras, rachaduras nas extremidades das tábuas e empenamentos nas peças serradas, que dificultam o seu total aproveitamento. As rachaduras que ocorrem nas extremidades das toras por ocasião da derrubada e seccionamento das árvores são devidas à liberação das tensões de crescimento que estavam em equilíbrio no interior da árvore. Durante o desdobro, as tensões de crescimento ainda residuais na tora provocam as rachaduras de extremidades e os empenamentos das tábuas e conseqüentemente, afetam o rendimento e qualidade da madeira serrada. O objetivo do presente trabalho foi o de estudar as variáveis que interferem no rendimento e na qualidade da madeira serrada e também estudar as interações existentes entre algumas das variáveis mais importantes, tanto aquelas do meio florestal, como aquelas do meio industrial propriamente dito, visando a otimização do processo de produção de madeira serrada. O experimento foi realizado com toras de *E. grandis* e *E. saligna* de 20 anos de idade. Foram analisadas 40 toras por espécie em dois tempos de armazenamento. As variáveis estudadas antes do desdobro foram: diâmetro, comprimento, curvatura, conicidade e rachaduras das extremidades das toras. Após a quantificação dessas variáveis, efetuou-se o desdobro numa serraria industrial,

utilizando-se uma serra de fita dupla como principal e uma serra circular múltipla como secundária. Em seguida mediram-se os comprimentos das rachaduras das extremidades das peças serradas, os seus empenamentos e as suas dimensões, real e projetada. Foi possível verificar que as espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentam o mesmo padrão de curvatura de tora. Com relação às rachaduras de extremidade de tora, verificou-se que as duas espécies apresentam a mesma intensidade inicial mas se diferenciam ao longo do período de armazenamento da tora, embora ambas as espécies sejam prejudicadas por esse tempo de estocagem pré desdobro. O *E. saligna* se destacou do *E. grandis* já no tempo de 30 dias com uma intensidade de rachadura significativamente maior. Nessa espécie as rachaduras de extremidade de tora foram as grandes responsáveis pelas rachaduras de extremidade de tábua, mas no *E. grandis*, mostraram-se ser independentes. Portanto, nessa espécie, as rachaduras de extremidade de tábua surgem durante o desdobro. Os empenamentos das peças serradas são independentes da curvatura da tora, fato esse, que reforça a importância da aplicação de adequadas técnicas de desdobro, uma vez que esses defeitos são devidos à liberação das tensões de crescimento efetuada pelos cortes longitudinais. O diâmetro da tora não influencia nas rachaduras de extremidade de tora e nem nas rachaduras de extremidade de tábua. Entretanto a largura da tábua, que é dependente do diâmetro da tora, influi significativamente nas rachaduras de extremidade de tábua. O encurvamento pode ser minimizado por uma adequada operação de secagem da madeira, mas o arqueamento apresenta um comportamento que depende da espécie. No caso do *E. grandis* o arqueamento se agrava com a secagem enquanto que no *E. saligna* se mantém estável.

Palavras Chave: eucalyptus, tensão de crescimento, rachadura, madeira serrada, empenamento, serraria.

**GROWTH STRESS AND ITS CONTROLLED AND NOT
CONTROLLED CONSEQUENCES, ON THE *Eucalyptus grandis* and
Eucalyptus saligna SAWING AND DRYING**

Author: Érica de Alvarenga Crêspo

Adiviser: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

SUMMARY

Eucalyptus species used for sawing purposes have shown some characteristics as log end splitting, board end splitting and deflections which make difficult to explore their total growth potential for sawn wood production. Splits which occur at the log ends after any cross cut of the tree trunk are due to the growth stresses release. The release of the residual stresses during log sawing provokes board end splitting and warps which affect the sawn lumber yield and the board quality. This work aims to study the variables which interfere in the yield and quality of the sawn lumber and also to study the interaction of some important variables, either those related to the forest field or those of the industrial point of view, with the objective of optimizing the production process of sawn lumber. The trial was carried out in twenty year old *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* plantations. Eighty logs were taken from each stand and performed into two plot which were sawed after different period of storage. The studied variables before sawing were: log diameter, log length, log sweep, conicity and log end splitting. After measuring those variables the logs were sawed in a headrig twin band saw and the secondary cut was done in a gang circular saw. After log sawing it were measured the splits of both ends of each board, board deflections and board size.

It was observed that *E. saligna* is rather susceptible to split in log ends and that the storage period before cutting has directly influenced the log end split increase. It was verified that the species *E. grandis* and *E. saligna* presented the same pattern of log sweep. Therefore the log sweep did not influence the board deflection which means that all board deflection are generated during the log processing into the sawmill. The log diameter has influence neither on the log end splitting nor on the board end splitting but there is as tong positive correlation between board end splitting and board width. Finaly it was verified that the board deflection can be minimized in a proper wood drying schedule.

Key words: eucalyptus, growth stress, log end splitting, sawn wood, board deflection, sawmill.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de espécies de *Eucalyptus* para fins madeiros defronta-se com algumas limitações impostas por algumas características do gênero tais como as tensões de crescimento e as altas contrações, que realmente diminuem o seu aproveitamento. As tensões de crescimento são responsáveis pelo aparecimento de rachaduras e empenamentos. As contrações são responsáveis pelas fissuras e deformações que ocorrem durante a secagem. Esses fenômenos têm dificultado e prejudicado a utilização do eucalipto na produção de madeira serrada.

As rachaduras que ocorrem nas extremidades das toras por ocasião da derrubada da árvore, são devidas à liberação de tensões internas que estavam equilibradas no interior da árvore. Como consequência, as rachaduras reduzem o rendimento, a qualidade e dimensões da madeira serrada, levando à produção de peças curtas e de pequena largura.

Os problemas apresentados pelos eucaliptos devem ser solucionados, para torná-los efetivamente viáveis. Para utilizarem-se espécies de eucaliptos como produtoras de madeira serrada, há a necessidade de maiores investigações, tais como manejo, melhoramento genético e desdobro, a exemplo do que ocorre em outros países como Austrália, África do Sul, Chile, Nova Zelândia, Uruguai e Argentina onde as possibilidades de sua utilização já são bastante diversificadas (Ponce, 1995).

Devem ser realizados trabalhos na área de melhoramento genético e manejo florestal com vistas à produção de fustes de boa forma e com tensões de crescimento minimizadas. Entretanto, devem ser concentrados esforços na

etapa de processamento dessas madeiras para produzir a qualidade desejada, aliada a um rendimento satisfatório.

Os estudos de técnicas adequadas de colheita e desdobro visando minimizarem-se os defeitos decorrentes das tensões de crescimento, aliados à economicidade de processos de produção, poderão ser fatores importantes no sucesso e consolidação do gênero *Eucalyptus* como a principal matéria-prima para a indústria de base florestal.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudarem-se as variáveis que interferem no rendimento e na qualidade da madeira serrada e também estudar as interações existentes entre algumas das variáveis mais importantes, tanto aquelas do meio florestal, como aquelas do meio industrial propriamente dito, visando a otimização do processo de produção de madeira serrada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ocorrência e potencialidades das espécies

Eucalyptus grandis

O *Eucalyptus grandis* ocorre naturalmente na região costeira leste da Austrália desde Newcastle, New South Wales até a região de Atherton em Queensland (Golfari et al. , 1978).

De acordo com Golfari et al. (1978), o clima da área de ocorrência da espécie varia de temperado quente a subtropical moderado com invernos suaves e chuvas abundantes e bem distribuídas, com exceção da área mais ao norte onde as chuvas são mais periódicas. Altas umidades prevalecem em todas as estações e os solos são férteis, profundos e bem drenados. A precipitação anual varia de 1000 a 1800 mm, predominantemente no verão.

Segundo Ferreira (1979) o *E. grandis* é a espécie mais plantada tanto no Brasil como na África do Sul.

No Brasil essa espécie ocorre principalmente no Estado de São Paulo, sendo intensamente utilizada como matéria prima na indústria de celulose (Ferreira, 1979), e no Estado de Minas Gerais, sendo utilizada como matéria prima para a produção de carvão vegetal.

Na África do Sul, o *Eucalyptus grandis* já está sendo muito utilizado na construção civil, marcenarias, indústrias de compensados, fábricas de pisos e indústrias moveleiras (Ferreira, 1979).

No Brasil o uso do *Eucalyptus grandis* para construção civil e indústria moveleira ainda é bastante limitado. Costa (1996), estudando a madeira de eucalipto na indústria moveleira, para fabricação de protótipos de móveis, concluiu que a madeira de eucalipto apresentou bom desempenho no acabamento e durante a usinagem, facilitando as operações de aplainamento, furação, torneamento e pregação. Estudos realizados pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), mostraram a viabilidade de utilização da madeira serrada do *E. grandis* na substituição de espécies nativas, podendo-se obter bons resultados na fabricação de móveis, estruturas para telhados, paletes, casas pré-fabricadas, componentes para edificações e passarelas para pedestres, entre outros usos (Ponce, 1994).

Algumas empresas já estão produzindo móveis e tacos de *Eucalyptus grandis*, tanto para exportação como também para abastecer o mercado interno, comprovando a sua viabilidade. Apesar do grande preconceito ainda existente em torno do eucalipto, seu produto está tendo boa aceitação no mercado.

Eucalyptus saligna

Ocorre naturalmente na região litorânea e nos vales da cadeia montanhosa do litoral de New South Wales e sul de Queensland. Situa-se entre as latitudes 28 - 35°S, em altitudes que variam desde o nível do mar até 1000m. O clima predominante é quente variando de subúmido a úmido, com temperaturas, nos meses mais quentes, variando entre 28°C e 30°C e nos meses mais frios entre 3°C e 4°C. Ocorrem geadas numa intensidade de 5 a 10 dias/ano. O regime é periódico com chuvas uniformemente distribuídas durante o ano, ou concentradas no verão com média de precipitação pluviométrica entre 800 à 1200 mm. A estação seca não ultrapassa a quatro meses (Golfari et al. , 1978).

Essa espécie é extensamente plantada na África (África do Sul e Moçambique), Nova Zelândia e América do Sul (Brasil, Argentina e Uruguai). Na América Central apresenta-se em pequenas plantações na Guatemala, Costa Rica e Honduras (CATIE, 1986).

Freqüentemente a espécie é confundida com o *E. grandis* em função das afinidades existentes entre elas. A madeira de *E. saligna* é indicada para laminação, móveis, estruturas, caixotarias, postes, escoras, mourões, celulose e carvão. A floresta de *E. saligna* apresenta suscetibilidade às geadas severas, tolerância a fogo baixo, e alta capacidade de regeneração por brotação das cepas (Ferreira, 1979).

As árvores podem atingir 40–50 m de altura. O tronco é reto e de boa forma. Em New South Wales, Austrália, é das madeiras mais importantes para a construção, sendo indicada também para assoalhos. Seu cerne tem coloração rosa a vermelho e o alburno é distintamente mais claro. A madeira apresenta fácil trabalhabilidade, acabamento e polimento (FAO, 1981).

No Brasil, essa espécie apresenta rápido crescimento, fuste com boa forma sendo muito utilizada para celulose e serrarias (Golfari & Pinheiro Neto, 1970).

Nogueira (1991), estudando as indicações para o emprego de dezesseis espécies de *Eucalyptus*, na construção civil, verificou que o *E. saligna*, pode ser utilizado para a produção de lambris, vigas, rodapés, caibros, ripas, painéis, molduras e forros.

2.1 Tensão de crescimento

As tensões de crescimento e seus efeitos em árvores têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores, Jacobs (1938; 1945), Kubler (1959), Boyd (1972), Malan (1984), Kubler (1987), Garcia (1992) e Lisboa (1993).

De acordo com a Sociedade Americana de Florestas, tensões de crescimento resultam de forças encontradas nos troncos lenhosos verde

(Dinwoodie, 1965). Dessa maneira são distintas das tensões de secagem, que ocorrem na madeira como resultado da perda de água.

Segundo Kubler & Wilhelmy (1973), as tensões de crescimento originam-se durante o amadurecimento das células do prosênquima, que tendem a se encurtar longitudinalmente e a expandir-se lateralmente. Uma vez que as novas células fazem parte do tecido contínuo da árvore, elas estão restritas quase que totalmente às mudanças dimensionais. Como consequência, as novas camadas de células ficam em um estado de tensão longitudinal de tração e tangencial de compressão.

2.2.1 Distribuição das tensões de crescimento

As tensões de crescimento atuam longitudinalmente e transversalmente em relação ao tronco da árvore.

Segundo Jacobs (1939)¹, citado por Kubler & Wilhelmy (1973), as tensões longitudinais nas fibras da madeira nova são independentes do diâmetro da árvore, (Figura 1). Se a tensão da madeira nova permanece constante através dos anos de crescimento das árvores e a força de uma nova camada comprime o tecido mais velho uniformemente, chega-se a uma distribuição de tensão de crescimento longitudinal através do diâmetro do tronco (Kubler², 1959 citado por Kubler, 1987).

¹ JACOBS, M. R. Further studies on fibre tension. Canberra: Commonwealth Forestry Bureau, 1939. P. 7-34.

² KUBLER, H. Studies on growth stresses in trees. 2. Longitudinal stresses. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.17, n. 2, p. 44-54, 1959b. In German.

Fonte: Kubler & Wilhelmy (1973), adaptada

Figura 1 - Distribuição teórica da componente longitudinal da tensão de crescimento. O sinal positivo indica tração e o negativo compressão.

Segundo Kubler & Wilhelmy (1973), a auto tração gerada quando a camada de crescimento é diferenciada comprime, longitudinalmente, de forma uniforme, todo o cilindro já formado anteriormente (Figura 2). Assim, em uma certa camada, a tração original fica cada vez menor à medida que novas camadas anuais de crescimento são adicionadas na periferia da árvore. Após alguns anos, a tensão chega a zero e a camada fica então sujeita a um aumento contínuo de compressão. Essa compressão pode, na região da

medula exceder à resistência do material e causar as falhas de compressão, normalmente encontradas na parte central das árvores de grande diâmetro.

Existe portanto um gradiente de tensão que parte de uma tração máxima nas proximidades da casca e culmina numa compressão, também máxima, na medula.

Fonte: Garcia (1992)

Figura 2 - Distribuição de tensões longitudinais em 4 árvores de *Eucalyptus grandis*.

Observa-se na Figura 2, que ocorre uma tensão de compressão máxima de 80MPa na região da medula e decresce ao longo do raio até um ponto em que ela se anula, sendo este o ponto de transição. Atinge uma tração máxima de 10 Mpa, na periferia. Cada camada de crescimento é depositada no tronco de uma árvore em estado de auto tração longitudinal. Esta tração é pequena para elementos individuais, mas tem um efeito cumulativo de compressão

longitudinal sobre as células interiores, podendo alcançar na região da medula, valores superiores à própria resistência da madeira à compressão.

Por ocasião do corte transversal, as forças longitudinais são transferidas para o plano horizontal, e como consequência ocorre um aumento das tensões transversais, iniciando o aparecimento das rachaduras de topo das toras (Kubler & Wilhelmy, 1973).

O gradiente da componente tangencial da tensão de crescimento é inverso ao da componente longitudinal. Vai de uma compressão máxima na periferia a uma tração máxima na medula, conforme mostra a Figura 3.

Fonte: Garcia (1992)

(a)

Figura 3 - Distribuição da componente tangencial da tensão de crescimento em 4 árvores de *Eucalyptus grandis*.

Na direção radial a tensão varia de uma tração máxima na medula a um valor zero na periferia, condição imposta pelas condições de equilíbrio externo da árvore.

2.2.2 Conseqüências das tensões de crescimento

As árvores desenvolvem a tensão de crescimento durante a maturação do tecido. Esse é um fenômeno comum em árvores e geralmente apresentam intensidade inferior em gimnosperma. Nas angiospermas a componente longitudinal de tensão de crescimento é gerada dentro das células do xilema recentemente formadas. Em algumas angiospermas chegam a valores excessivamente altos. O gênero *Eucalyptus* é um exemplo notável de madeira comercial que apresenta essa característica. Os altos níveis de tensão de crescimento provocam três principais defeitos: cerne quebradiço, fendas ou rachaduras de extremidade de tora e empenamentos das peças serradas Nicholson (1973).

2.2.2.1 Cerne quebradiço

O cerne quebradiço é o resultado de uma excessiva tensão de compressão que leva a madeira à ruptura por exceder a sua resistência intrínseca. Essa característica limita o uso da madeira (Nicholson, 1973).

Segundo Malan (1995), a presença desse defeito tem um resultado muito significativo na qualidade e no rendimento do produto final. A madeira quebradiça é pouco atrativa e de pouca resistência. As pranchas serradas que apresentam esse defeito geralmente saem da máquina de serrar fraturadas, porque elas não têm capacidade de suportar os choques causados pelas operações de desdobro.

Estudos realizados por Chafe (1979), demonstraram que o diâmetro exerce uma influência sobre a formação do cerne quebradiço. Quanto maior o diâmetro da árvore maiores serão as forças de compressão no centro da árvore, ocasionando a formação do cerne quebradiço.

2.2.2.2 Fendas ou rachaduras de extremidade de tora

As espécies de *Eucalyptus* apresentam a característica de rachar nas extremidades, das toras obtidas do seccionamento do fuste. As rachaduras que são oriundas da tensão de crescimento, normalmente elevada nesse gênero, constitui-se numa das principais limitações do processo de conversão de toras em madeira serrada. Como é o caso do topo das toras, constituindo-se numa de suas maiores limitações. Os rendimentos que se tem obtido no desdobro da maioria das espécies de *Eucalyptus* têm sido baixos, quando comparados com aqueles obtidos no desdobro das boas espécies nativas.

Bariska (1990), observou que podem ser distinguidos vários tipos de rachaduras que degradam a madeira. Essas rachaduras podem ser, de acordo com suas origens, resumidas nos seguintes tipos:

- 1 – Rachaduras de fendilhamento que surgem durante a queda da árvore podendo causar danos imediatos nas laterais do tronco;
- 2 - Rachaduras provocadas pela tensão de crescimento;
- 3 – Rachaduras devidas ao fenômeno da secagem, incluindo a parcela devida ao colapso.

Segundo o mesmo autor, pouco depois da queda da árvore podem-se distinguir dois tipos de rachaduras causadas pela tensão de crescimento:

- 1 – Rachaduras que se originam na medula e se propagam em direção à periferia, pertencentes ao plano da seção transversal da tora;
- 2 - Rachaduras que ocorrem ao longo da lateral do tronco, geralmente representando a continuação das rachaduras de extremidade que alcançaram a periferia.

As rachaduras de extremidade aumentam durante a primeira semana, podendo alcançar a periferia da tora. As rachaduras laterais crescem rapidamente dentro dos primeiros seis dias como consequência dos alívios

parciais das tensões de crescimento, e se estabilizam após esse período (Bariska, 1990).

Schacht & Garcia (1997), estudando a variação entre e intra clones das rachaduras de topo de tora em *E. urophylla*, concluíram que as rachaduras iniciais aparecem até o quarto dia de armazenamento e podem já estar manifestando a ação combinada da tensão de crescimento, com a tensão de secagem, principalmente aquela associada a perda de água livre. As rachaduras de secagem por retração começam a manifestar-se após o quarto dia de armazenamento, enquanto que as rachaduras oriundas do colapso podem iniciar-se num tempo de vinte minutos após a exposição da seção transversal às condições ambientais.

Portanto, as rachaduras vistas no topo de uma tora é o resultado da ação de um fenômeno complexo e como dependem do tempo para as suas manifestações, os vários tipos de rachaduras podem interagir entre si.

A ocorrência de rachaduras radiais no topo de toras de árvore recém abatidas é muito comum. Normalmente, iniciam próximo à medula e alcançam seu máximo após um período de três dias (Malan, 1979).

Quando a árvore é abatida e seccionada em toras, ocorre um alívio parcial das tensões de crescimento longitudinal, porém este alívio é bastante limitado. Ele se estende apenas a uma pequena distância da extremidade cortada. O corte transversal causa principalmente redistribuição e transformação da tensão longitudinal em tensão transversal.

A tendência de desenvolvimento de qualquer tipo de rachadura após a queda é presumivelmente uma característica hereditária da árvore. Porém, as rachaduras são dependentes do tempo. Portanto, é de grande importância obter-se uma técnica que, com algum grau de exatidão, possa prever a extensão do máximo dano possível no produto final em um estágio tão cedo quanto possível, como por exemplo, na hora da queda da árvore (Bariska, 1990). Várias técnicas foram desenvolvidas com a finalidade de quantificarem-se as rachaduras de extremidades de toras.

Villiers (1973) e Malan (1979)³ citado por Conradie (1980), realizaram medições da circunferência antes da derrubada da árvore e após 72 horas da derrubada. Constataram que o rendimento em madeira serrada variava inversamente com o aumento da circunferência em relação àquela medida anteriormente ao corte. O aumento da circunferência da extremidade da tora é devida à abertura das rachaduras após certo período de tempo. É importante observar que apenas as rachaduras que alcançam a periferia da seção transversal têm realmente influência no aumento do diâmetro.

A metodologia utilizada por Conradie (1980), consiste em fazer-se apenas uma avaliação visual das rachaduras da seção transversal de corte. Nessa avaliação levam-se em conta também, as rachaduras que não atingiram a periferia.

Malan (1984), propôs uma metodologia na qual as rachaduras podem ser agrupadas em três classes de comprimento com base na distância que elas alcançam, no plano da seção transversal, a partir da medula.

Às rachaduras de comprimento igual ao valor do raio soma-se 1 à medida da abertura dessas rachaduras, todas em milímetros. Às rachaduras que não atingem a periferia e portanto são menores que o raio atribui-se o valor direto do seu peso, de acordo com o Tabela 1.

Tabela 1 – Pesos atribuídos por Malan às classes de comprimento das rachaduras.

Classe de comprimento	Peso (Pi)
Iguais ao raio ou que atingem a periferia	1,00
Menores que o raio e maiores que $\frac{3}{4}$ do raio	0,75
Menores que $\frac{3}{4}$ do raio	0,50

³ Malan, F. S. , 1979. Algemene studie van ent- spleting in blokke van Suid-Afrikaans gekweekte *E. grandis* (W. Hill ex Maiden). M. Sc. Thesis, University of Stellenbosh, 188p. (With English summary).

O índice de rachadura é calculado por meio da equação 1.

$$IR = \left(\frac{\sum_{i=1}^n P_i (a_i + 1)}{0.01D} \right) \quad (1)$$

Onde: IR = índice de rachadura (não apresenta unidade própria);

P_i = peso atribuído à rachadura da classe de comprimento i ;

a_i = abertura da rachadura medida na seção transversal (mm);

D = diâmetro médio da seção de corte, (mm);

n = número de rachaduras.

A metodologia utilizada por Wilson (1985), permite avaliar a severidade da rachadura, independentemente do diâmetro. Estudos com *E. elata*, *E. macarthurii* e *E. radiata* mostraram que as rachaduras nem sempre apresentam o comprimento do raio. Portanto, foram atribuídos pesos para caracterizar os diferentes comprimentos das rachaduras. A equação (2) resume o procedimento de cálculo do IR segundo essa metodologia.

$$IR = \left[\frac{W}{d} + \frac{W}{1.33d} + \frac{W}{2d} + \frac{W}{4d} \right] \div \pi \quad (2)$$

Onde: $l = r$ $l = 0.75r$ $l = 0.5r$ $l = 0.25r$

Sendo: l = comprimento da rachadura;

r = raio;

W = largura da rachadura;

d = diâmetro;

IR = índice de rachadura (%).

Bariska (1990), desenvolveu um método para o cálculo do índice de rachadura que expressa a soma dos comprimentos das rachaduras. Esse método foi obtido por apenas uma avaliação visual, realizada no quinto dia após a derrubada da árvore. O autor criou três classes de qualidade da madeira:

- Classe I : $IR < 0.5$; significando que o total dos comprimentos das rachaduras é menor que a metade do diâmetro da tora. Nesse caso a tora é classificada como de melhor qualidade e pode ser utilizada em serraria;
- Classe II: $0.5 < IR < 1.5$; significando que a soma das rachaduras está compreendida no intervalo de 0,5 a 1.5 vezes o diâmetro da tora. Nesse caso é indicada para utilização em minas;
- Classe III: $1.5 < IR$; significando que o total dos comprimentos das rachaduras excede 1.5 vezes o diâmetro da tora. Nesse caso o material poderá ser utilizado como polpa ou madeira para carvão. As toras também deverão ser rejeitadas se sinais de uma severa queda forem detectados.

A metodologia utilizada por Schacht & Garcia (1997), foi adaptada da metodologia proposta por Wilson (1985), na qual o índice de rachadura é uma relação entre a área total de rachaduras e a área da seção transversal da tora, como mostra a equação (3).

$$IR = \frac{(\sum A_i P_i) * 100}{\pi D} \quad (3)$$

Onde: IR = índice de rachaduras (%);

A_i = abertura máxima do triângulo ou da elipse da rachadura, formada pela classe de comprimento i . No caso de rachadura trapezoidal ou retangular a mesma deve ser considerada como dois triângulos adjacentes.

P_i = peso atribuído à rachadura da classe de comprimento i (Tabela 2);

D = diâmetro médio da seção transversal, livre de rachaduras.

As rachaduras foram agrupadas em quatro classes de comprimento, com os respectivos pesos mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de comprimento e pesos atribuídos às rachaduras.

Classe de comprimento	Peso (P_i)
Iguais ao raio ou que atingirem a periferia	1,00
Menores que o raio e maiores que $\frac{3}{4}$ do raio	0,75
Menores que $\frac{3}{4}$ do raio e maiores que $\frac{1}{2}$ do raio	0,50
Menores que $\frac{1}{2}$ do raio e maiores que $\frac{1}{4}$ do raio	0,25

Lima (2000) utilizou, para o cálculo do índice de rachadura, a metodologia da medição direta de cada uma das rachaduras do topo da tora e calculou a área real de cada uma delas, sem atribuição de pesos.

Através da equação (4) o autor comparou a sua própria metodologia com aquelas citadas anteriormente e constatou que todas elas apresentavam valores diferentes para quantificar o mesmo fenômeno.

$$IR_p = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i c_i}{\pi D^2} \right) \quad (4 a)$$

$$IR_{paj} = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i c_i}{2} \right) \quad (4 b)$$

Onde: IR_p = índice de rachadura proposto (%);

IR_{paj} = índice anterior ajustado para a unidade (cm^2);

a_i = abertura máxima da rachadura (cm);

c_i = comprimento da rachadura; ($i = 1, \dots, n$) (cm);

D = diâmetro médio da seção de corte (cm).

Essas metodologias foram propostas com o objetivo de quantificar de forma indireta, as variações da tensão de crescimento e deveriam ser efetivas principalmente quando da necessidade de procederem-se avaliações rápidas e discriminatórias.

2.2.2.3 Empenamentos

Martley (1928), foi o primeiro pesquisador a observar que duas metades de uma tora fletiam de tal forma a deixar longitudinalmente convexa a face serrada. Supôs assim a existência de um gradiente de compressão que vai de um máximo no centro até um valor zero na periferia. Entretanto, cálculos de distribuição associados a dados reais de diferentes espécies convenceram-no

de que as tensões devidas ao peso próprio da árvore não seriam suficientes para causar influência nas dimensões longitudinais de madeira serrada.

Garcia (1995), determinou uma forma para quantificar, também de forma indireta, as variações da tensão de crescimento utilizando o empenamento da peça serrada como um indicador do nível de tensão de crescimento que existia na árvore. Segundo o autor, os indicadores são importantes para a seleção de árvores para serraria.

Schacht et al. (1998), mostraram que tanto as rachaduras como os empenamentos são características bastante herdáveis e que portanto podem ser consideradas como importantes indicadores de seleção de árvores para serraria.

Durante a secagem podem surgir vários tipos de empenamentos. Em muitas espécies de eucalipto é comum o encanoamento, devido à grande diferença entre a contração tangencial e radial. O torcimento é um outro tipo de empenamento que ocorre durante a secagem, sendo a grã espiralada a sua causa principal. A grã espiralada é uma característica que segundo alguns autores, também está sob controle genético.

2.3 Desdobro

No processamento de madeiras de espécies de eucalipto, o efeito de rachamento das toras antes e durante o seu desdobro é a principal responsável pelos baixos rendimentos em madeira serrada. Os altos níveis de tensão de crescimento em eucaliptos são, sem dúvida nenhuma, sérios fenômenos que afetam a qualidade da madeira, as dimensões do produto e o rendimento em madeira serrada (Malan, 1979).

Durante o desdobro da tora, as rachaduras de topo tendem a aumentar, principalmente se técnicas de corte que favorecem o alívio simétrico e homogêneo de tensões não forem utilizadas. Esse mesmo cuidado deve ser tomado para minimizar a ocorrência de empenamentos de pranchões e

tábuas, conseqüentes do encurvamento da própria tora, freqüentemente observado durante a operação de desdobro assimétrico (Lisbôa, 1993).

Para produzir madeira serrada de eucalipto e obter bons rendimentos e boa qualidade deve-se adotar uma técnica de desdobro que compatibilize a matéria prima com os equipamentos existentes na serraria. Entretanto, há uma técnica de desdobro mais apropriada para cada "lay out", porque em cada um deles a manifestação das tensões de crescimento, se dará de uma forma diferente (Garcia, 1995).

Montagna et al. (1991), estudaram o desdobro de *E. grandis*, no qual foram retiradas simultaneamente duas costaneiras opostas, uma de cada lado a 1/3 do raio a partir da periferia da tora e repetindo-se a operação para retirar as outras duas costaneiras. O bloco de seção quadrada resultante foi serrado em um serra de fita simples. O autor comparou esse método com o dos cortes paralelos, tradicional, em que a tora é fixada e serrada em sucessivas passadas para a retirada das tábuas, uma a uma. Concluiu que o desdobro pelo sistema de cortes a 1/3 do raio da tora apresentava índices de rachaduras nas tábuas menores do que aqueles apresentados pelo sistema de cortes paralelos, diminuindo os danos causados pelas rachaduras.

Garcia (1988), observou a existência de um gradiente de qualidade no sentido medula-casca e concluiu que se esse gradiente se mantiver constante ao longo da altura da árvore, o desdobro convencional, de cortes paralelos a medula, produziria peças serradas de pior qualidade. Esse problema não existe no desdobro de toras cilíndricas.

Segundo o mesmo autor cortes paralelos à casca só serão possíveis utilizando-se serras do tipo convencional, de um único corte, e dotado de carro porta toras. Entretanto, este equipamento não é mais utilizado no desdobro de madeiras provenientes de reflorestamentos devido à sua baixa eficiência.

Segundo Ponce (1995), a solução mais simples e adequada tanto para pequenas como grandes indústrias é o de corte simultâneo de duas costaneiras, por meio de serras duplas. Em seguida o bloco restante deve ser

desdobrado em uma serra múltipla de vários cortes simultâneos. Desse modo têm-se obtido bons resultados, com rendimentos próximos de 50% em madeira serrada para toras de 15 a 30 cm de diâmetro.

Entretanto, Garcia (1997), serrando toras de *E. urophylla* utilizando uma serra de fita dupla seguida de uma serra múltipla para aliviar as tensões de crescimento de forma balanceada, observou que ocorre uma redução do comprimento das peças serradas, por causa das rachaduras de extremidades, sendo muito comum ter-se uma perda de 23 cm no comprimento total da peça.

Portanto, para reduzir essa perda, deve-se evitar trabalhar com toras de pequenos comprimentos, pois cada corte transversal efetuado no tronco da árvore produzirá duas extremidades livres e portanto sujeitas a rachaduras. As toras devem ser transportadas para a serraria no comprimento máximo possível e no caso da impossibilidade de desdobrarem-se toras longas, é recomendado que os cortes transversais sejam feitos imediatamente antes do desdobro. (Garcia, 1997).

Não é recomendado serrar toras com tensão de crescimento muito elevada em uma serra de uma única lâmina. Em razão da presença das tensões de crescimento, na parte que permanece no sistema de alimentação depois de remover a primeira prancha, ocorre uma deformação. Conseqüentemente, as tábuas subseqüentemente serradas a partir dessa porção apresentarão espessura variável ao longo do seu comprimento (Villiers, 1973).

Esse problema pode ser superado utilizando-se uma serra que realiza cortes simetricamente em relação à seção do corte transversal, aliviando assim, as tensões simultaneamente. (Villiers, 1973).

O desenvolvimento inovador segundo Szymani (1995), é a serra principal “rotary headrig” que possui um carro rotatório e uma serra de fita que se desloca em relação a ele. O carro de forma triangular, possui três estações de processamento de toras: fixação, varredura e desdobro. Depois da fixação da tora, o carro gira 120° para a posição superior em que a tora é analisada pelo

scanner, após o que o carro gira outros 120° e a tora é desdobrada por uma serra de fita de corte duplo que se desloca paralelamente ao eixo da tora. Esse tipo de equipamento aumentou o rendimento em uma serraria, na Carolina do Norte, em mais de 38% em relação aos equipamentos anteriores utilizados que eram do tipo canteador-perfilador.

2.4 Técnicas utilizadas para reduzir o efeito das tensões de crescimento

Vários estudos, foram realizados com a finalidade de verificar a influência da idade de corte das árvores (Kikuti et al., 1996; Vignote et al., 1996; Andrade, 1961), e de práticas silviculturais (Vignote et al., 1996; Ferrand, 1983; Okuyama, 1997), tendo como objetivo minimizar as tensões de crescimento. Entretanto, até o presente momento nenhuma dessas técnicas utilizadas apresentou resultados satisfatórios na redução dos defeitos decorrentes das tensões.

Foram pesquisadas também algumas técnicas com o objetivo de prevenir rachaduras nas toras, ou mesmo eliminar o efeito das tensões internas presentes nas mesmas. Entre elas, pode-se citar o anelamento da árvore antes de sua derrubada (Villiers, 1973; Kubler & Wilhelmy, 1973; Ponce, 1995), armazenamento sob aspersão e imersão total das toras em água (Aguiar, 1986), armazenamento na sombra, uso de placas de dentes estampados (Kubler & Wilhelmy, 1973), aquecimento da madeira (Jara et al., 1997), e a técnica do furo no centro do tronco, Mattheck & Walther (1991), antes do corte de derrubada da árvore. Porém, esses métodos podem ser efetivos em situações específicas.

Segundo Malan (1988), muitos estudos foram realizados com o objetivo de relacionar as características da madeira aos níveis de tensão de crescimento existentes na árvore. Algumas correlações foram encontradas entre as tensões de crescimento e as propriedades da madeira, mas não foram suficientemente fortes.

As tensões de crescimento são características altamente herdáveis, mas até o momento não foi encontrada uma maior relação entre os níveis de tensão e as características da árvore ou as propriedades de sua madeira (Malan, 1995).

3. RACHADURAS DE EXTREMIDADE DE TORA DE *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna*

Autora: Érica de Alvarenga Crêspo

Orientador: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

3.1 RESUMO

As tensões de crescimento apresentam, segundo alguns autores, efeitos benéficos à estabilidade da árvore viva. Entretanto, introduzem algumas dificuldades no processamento da madeira. O corte transversal provoca liberação das tensões longitudinais causando rachaduras na seção transversal. Para avaliar o efeito da tensão de crescimento existente na tora, foi estudado o índice de rachadura de extremidade de tora. Essa característica é de grande importância, quando se deseja selecionar toras para serraria. O objetivo do presente trabalho foi o de aprimorar os estudos a respeito da variabilidade das rachaduras de extremidade de tora. Foram analisadas 80 toras por espécie, subdivididas em dois tempos de armazenamentos. Os resultados mostraram que o tempo de armazenamento das toras no pátio da serraria influencia significativamente nas rachaduras das extremidades das toras. Ocorre um aumento do índice de rachadura de extremidade de tora, com o aumento da altura da qual a tora foi retirada da árvore para ambas as espécies, mas o diâmetro da tora não apresentou nenhum efeito na rachadura de extremidade de tora. Foi verificado também que em seções transversais adjacentes da árvore os índices de rachaduras de extremidades de tora foram praticamente

iguais. Esse fato indica que a metodologia desenvolvida para as avaliações das rachaduras de extremidades de tora pode ser considerada suficientemente consistente.

Palavras Chave: eucalyptus, tensão de crescimento, rachadura, madeira serrada, serraria.

LOG END SPLITTING IN *Eucalyptus grandis* AND *Eucalyptus saligna*

3.2 SUMMARY

Growth stress existing in standing tree may provide beneficent effects to its stability. However, it introduce some considerable difficulties in wood processing. The cross cutting provokes longitudinal stresses relief, causing splits on the transversal section. In order to get a good evaluation of growth stress effect on log end, a log end splitting index has been proposed. This characteristic is of great importance when the log selection is required for sawing processes. The present study has had the main objective of analyzing the split index of twenty year old *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* plantations. It were considered the log diametric, height where the logs where cut from the trees and period of log storage, before cutting. This study was carried out in two parts in which was sampled forty logs. Each part refers to a specified period of log storage before be sawed. The results showed that the log storage period before cutting has a remarkable influence on the increase of the log end splitting. As the height where the log has been taken from the tree increases, an increase in the index of the log end splitting is expected for both species. The log diametric did not influence on the split of the log end. It was also verified that

the log end splitting indexes at adjacents transversal section of the tree are the same.

Key words: eucalyptus, growth stress, log end splitting, sawn wood, sawmill.

3.3 INTRODUÇÃO

O eucalipto apresenta-se como uma das melhores opções de matéria prima para a indústria madeireira, graças ao rápido crescimento, às facilidades de adaptação edafoclimáticas e pela sua disponibilidade.

A madeira de eucalipto apresenta algumas características que dificultam o seu aproveitamento, como as tensões de crescimento e as altas contrações. Entretanto, essas características ditas indesejáveis não são maiores do que as que apresentam muitos outros gêneros tradicionais.

Quando a árvore é abatida e seccionada em toras ocorre um alívio parcial das tensões de crescimento. Esse alívio é bastante limitado, estendendo-se à uma pequena distância da extremidade recém cortada. Entretanto, é suficiente para provocar as rachaduras de extremidades, porque o corte transversal causa, principalmente, a transformação da tensão longitudinal em tensão transversal.

Quando as tensões internas presentes nos troncos das árvores são liberadas por qualquer corte transversal, seja na derrubada da árvore ou na subdivisão do seu fuste em toras, elas são reequilibradas instantaneamente, provocando os deslocamentos que são responsáveis pelas rachaduras de extremidade de tora.

As tensões de crescimento alcançam um limite máximo após um período de aproximadamente três dias (72h) (Malan, 1979). Estudos realizados por Schacht (1998), com *E. urophylla*, mostraram que as rachaduras iniciais, aparecem até o quarto dia de armazenamento. A Figura 4, mostra uma

decrecente taxa de variação do índice de rachadura de extremidade de tora (IR) em função do tempo pós-seccionamento.

Fonte: Schacht (1998), adaptado

■ Rachadura de extremidade da tora protegida com saco plástico;

▲ Déficit de pressão do vapor de água, em centímetros de Hg;

◆ Rachadura de extremidade da tora com as extremidades livres.

Figura 4 – Propagação das rachaduras de extremidade de tora, em função do tempo pós-seccionamento.

Segundo alguns pesquisadores, outro fator que pode influenciar no aumento da rachadura de topo de toras, é o aumento do diâmetro da tora. Entretanto, existe uma certa controvérsia entre os pesquisadores. Kubler & Wilhelmy (1973), e Wilson (1985), verificaram que ocorre um aumento das rachaduras com o aumento do diâmetro da tora.

Chafe (1985), estudando *E. nitens*, também verificou uma correlação positiva entre a tensão de crescimento e o diâmetro da árvore, indicando que à medida que aumenta o diâmetro ocorre um aumento da tensão de crescimento.

Entretanto, Waugh¹ (1974), citado por Malan (1979), estudando *E. regnans*, verificou que não existe correlação entre o crescimento em diâmetro e o nível de tensão de crescimento da árvore.

A variação do nível das tensões de crescimento no sentido base-topo, é outro fator que requer maiores atenções. Chafe (1981), estudando *E. regnans* encontrou um aumento das tensões de crescimento no sentido base-topo. Segundo o autor, esse fenômeno ocorre porque as tensões estão distribuídas em diâmetros menores da árvore. Entretanto, Chafe (1985), estudando *E. nitens*, verificou uma redução nas tensões no sentido base-topo, e Schacht (1998), trabalhando com *E. urophylla*, concluiu que as rachaduras de topo de toras foram maiores nas alturas 1,3 e 4,7m do solo do que nas alturas 8,1 e 11,5 m.

Segundo Garcia (1995), as maiores intensidades de rachaduras são encontradas nas pontas mais finas das árvores.

Esses estudos realizados a respeito da variação do nível da tensão de crescimento em função do diâmetro da tora e ao longo do fuste da árvore levaram os pesquisadores a conclusões divergentes. Em razão dos desacordos existentes, propôs-se o presente trabalho, que tem por objetivo aprimorar os estudos a respeito da variabilidade das rachaduras de extremidade de tora.

Várias metodologias já foram utilizadas com a finalidade de quantificar o índice de rachadura no topo das toras. Villiers (1973) e Malan (1979)², citado por Conradie (1980), realizaram medições do diâmetro antes e após a derrubada da árvore. Conradie (1980), realizou uma avaliação visual das rachaduras, segundo a qual levam-se em conta também as rachaduras que não atingiram a periferia da seção transversal de corte. Wilson (1985), utilizou uma

¹ - Waugh, G. ,1974. Controlling growth stresses. Research working groups of the Australian Forest Council, Forest Genetics. Proceeding of the 4th meeting of representatives held at Melbourne Vitoria, 4-7 March 1974.

² Malan, F. S. , 1979. Algemene studie van ent- spleting in blokke van Suid-Afrikaans gekweekte *E. grandis* (W. Hill ex Maiden). M. Sc. Thesis, University of Stellenbosh, 188p. (With English summary).

metodologia na qual o índice de rachadura é a relação entre a área das rachaduras e a área da seção transversal da tora. Schacht & Garcia (1997), adaptaram a metodologia utilizada por Wilson (1985). O método utilizado por Bariska (1990), foi o do índice de proporção de rachadura. Nesse método obtém-se a soma dos comprimentos das rachaduras existentes no quinto dia da derrubada da árvore. Lima (2000), utilizou o método da medição direta.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Vinte árvores de *E. grandis* e outras vinte de *E. saligna*, de 20 anos de idade foram obtidas na área experimental da empresa CAF, localizada no município de Quartel Geral/MG. O solo da região é do tipo latossolo vermelho-escuro, profundo, bem drenado e de baixa fertilidade. O relevo é suavemente ondulado. Situa-se nas coordenadas geográficas 19° 20' de latitude sul e 45° 14' de longitude leste, sendo a altitude média de 700 m. A cobertura vegetal primária era constituída por cerrado (Golfari et al., 1986).

O clima é do tipo subtropical úmido, com temperatura média anual na faixa de 21°- 22°C. A precipitação média anual é de 1150-1400 mm. A umidade relativa anual varia de 75 a 77% (Golfari et al., 1986).

O espaçamento utilizado no plantio das árvores de *E. grandis* e de *E. saligna* foi de 3 x 2 m e 3 x 1,5 m, respectivamente. Os talhões nos quais as árvores foram plantadas não sofreram tratos silviculturais como desrama, fertilização e desbaste.

Foi realizado um levantamento de DAP, CAP, altura, porcentagem de sobrevivência e volume cilíndrico das árvores. Com base nesses parâmetros e nas observações fenotípicas, como fuste reto e ausência de desvio de grã, foram escolhidas as árvores, para posterior seleção das toras. As árvores da bordadura por se destacarem das demais, em termos de DAP, não foram consideradas neste estudo, evitando-se assim o seu efeito.

As árvores que preencheram os requisitos estabelecidos, foram então identificadas com números de 1 a 20.

O corte transversal de derrubada foi realizado perpendicularmente ao eixo transversal do fuste, a uma altura de aproximadamente 20 cm do solo.

Após a queda procedeu-se o seccionamento das árvores. A espécie *E. grandis* forneceu, em média, seis toras por árvore e as árvores de *E. saligna* forneceram apenas cinco. Dessas duas espécies foram então retiradas quatro toras por árvore, a basal e as três subseqüentes.

Para a realização do estudo selecionaram-se duas toras por árvore para cada tempo de armazenamento, sendo retiradas as duas primeiras toras de uma árvore para o tempo 1 de armazenamento e as duas toras subseqüentes, da mesma árvore, para o tempo 2 de armazenamento (Figura 5). Portanto, para o tempo 1 (*E. grandis* ou *E. saligna* com três dias de armazenamento) e para o tempo 2 (*E. grandis* ou *E. saligna* com trinta dias de armazenamento), foram selecionadas 10 toras de cada uma das posições A, B, C, D.

Foram estudadas duas espécies, quarenta toras por espécie e dois tempos de armazenamento, totalizando 80 toras por espécie. Após a seleção das toras no campo, para os tempos 1 (3 dias) e 2 (30 dias) de ambas as espécies, o material foi transportado para a serraria.

A parte experimental do projeto que envolveu desdobro e medição das variáveis foi desenvolvida na Unidade de Industrialização da Madeira da Empresa CAF Santa Bárbara Ltda., pertencente ao conglomerado Belgo Mineiro, localizada em Martinho Campos/MG, na região do alto São Francisco.

O delineamento experimental adotado para este experimento foi o inteiramente casualizado e analisado segundo o método fatorial, para verificarem-se os possíveis efeitos interativos entre as variáveis estudadas. Os dados, quando necessário, foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Figura 5 – Posições das toras em um conjunto padrão de duas árvores. As coordenadas do eixo (h) indicam a altura do ponto médio da tora em relação ao nível do solo.

3.4.1 Diâmetros da tora (D, d)

A partir dos diâmetros máximo e mínimo, referentes à base e ao topo das toras (Figura 6), determinaram-se cinco classes diamétricas diferentes: a superior [43,00 – 49,00), a inferior [19,00 – 25,00) e três classes intermediárias: [25,00 – 31,00); [31,00 – 37,00) e [37,00 – 43,00); com centros de classe, respectivamente de 46,00; 22,00; 28,00; 34,00 e 40,00 cm.

Figura 6 – Diâmetros máximos, médios e mínimos das toras de *E. grandis* e de *E. saligna*.

As classes diamétricas foram determinadas por meio das equações (5).

$$L_1 = X_m + \left(\frac{B - A}{2} \right) \quad (5a)$$

$$B = pc \quad (5b)$$

$$h = \frac{A}{p} \quad (5c)$$

Onde: L_1 = limite inferior da classe inferior;

X_m = menor diâmetro observado;

p = número de classes diamétricas desejadas;

$c > h$ amplitude da classe diamétrica;

A = amplitude total;

X_M = maior diâmetro observado.

Em cada extremidade das toras realizou-se, utilizando uma trena comum, duas medidas de diâmetros com casca, conforme utilizado na produção industrial, perpendiculares entre si.

Os diâmetros máximos (D) e mínimos (d) foram calculados respectivamente pelas equações (6a) e (6b).

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (6a)$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (6b)$$

Onde: D = diâmetro médio máximo (cm);

d = diâmetro médio mínimo (cm);

D_i = diâmetro medido na extremidade mais grossa (cm);

d_i = diâmetro medido na extremidade mais fina (cm)

3.4.2 Rachaduras das toras

Antes do desdobro das toras foi medida a rachadura existente nas extremidades das mesmas, (Figura 7A). A metodologia utilizada para o cálculo do índice de rachadura de extremidade de tora foi a da medição direta. Essa metodologia é mais simples e requer menor habilidade do operador. Quando existia mais de uma rachadura foi então medida a rachadura de maior largura (Foto 7B). Uma régua comum foi o instrumento utilizado para medirem-se a largura e o comprimento dessas rachaduras.

Figura 7 – Rachadura de extremidade de tora (7A) e detalhe da rachadura crítica (7B) de *Eucalyptus grandis*, imediatamente após a derrubada e o seccionamento da árvore.

As rachaduras de extremidade de tora foram expressas pelos índices de rachaduras calculados pela equação (7), que expressam a relação entre a área da rachadura crítica pela área da seção transversal, com casca, na qual a rachadura foi medida.

$$IRb = \left(\frac{400c_b e_{b\max}}{\pi D^2} \right) \quad (7a)$$

$$IRt = \left(\frac{400c_t e_{t\max}}{\pi D^2} \right) \quad (7b)$$

Onde: IRb = índice de rachadura na base da tora (considerada como a extremidade da tora que apresentava o maior diâmetro) (%);

IRt = índice de rachadura no topo da tora (considerada como a extremidade da tora que apresentava o menor diâmetro) (%);

$e_{b\max}$ = largura da rachadura mais larga da base da tora (mm);

c_b = comprimento da rachadura de largura $e_{b\max}$ (mm);

$e_{t\max}$ = largura da rachadura mais larga do topo da tora (mm);

c_t = comprimento da rachadura de largura $e_{t\max}$ (mm).

3.4.3 Índice de rachadura em seções adjacentes da árvore

Para a comparação dos índices de rachadura de seções adjacentes da árvore foram utilizados os índices de rachaduras encontrados nas posições base e topo das toras. Os cálculos foram realizados com os índices de rachaduras encontrados no topo da tora A e/ ou topo da tora C, sendo este conjunto de dados denominado seção 1, e a base da tora B e/ ou base da tora D representando o conjunto de dados denominado seção 2. Esse procedimento de cálculo foi utilizado para os dois tempos de armazenamento e para ambas as espécies.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Índice de rachadura de extremidade de tora (IR)

3.5.1.1 Influência do tempo de armazenamento da tora e posição relativa de suas extremidades

Verifica-se na Tabela 3 que existem diferenças significativas entre as espécies, entre os tempos de armazenamento e entre as posições base e topo da mesma tora. Também foi significativa a interação da espécie com o tempo de armazenamento, mas não houve significância nas demais interações.

Tabela 3 – Análise de variância para a variável índice de rachadura da tora (IR), discriminando posições na tora.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	36,27 **
Tempo de Armazenamento (T)	1	245,48 **
Posição (P)	1	3,81 *
E x T	1	33,99 **
T D E ₁	1	48,38 **
T D E ₂	1	231,08 **
E D T ₁	1	0,01 ns
E D T ₂	1	70,25 **
E x P	1	0,21 ns
T x P	1	0,38 ns
E x T x P	1	1,17 ns
(Tratamento)	(7)	
Resíduos	312	

** e * indicam diferenças entre tratamentos ao nível de 1% e 5% de probabilidade respectivamente. ns indica diferenças não significativas. CV = 14,93. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

A espécie *E. saligna* apresentou um índice de rachaduras de extremidade de tora superior ao do *E. grandis*, Figura 8 (a). Ocorreu um aumento nas rachaduras de extremidade de tora, à medida que se aumentou o tempo de armazenamento. O tempo de armazenamento é, portanto, um fator importante na progressão das rachaduras de extremidade de tora para ambas as espécies.

Comparando-se as espécies dentro dos tempos de armazenamento verifica-se que o *E. grandis* apresentou, no tempo de armazenamento 2 (30 dias), um nível mais acentuado de rachaduras, caracterizando-se como diferença significativa, como mostra a Figura 8 (b). Para o *E. saligna* no tempo 2 (30 dias) as toras racharam significativamente mais. A interação significativa ExT mostra que as duas espécies apresentaram o mesmo nível de rachaduras no tempo 1 (3 dias), mas o *E. saligna* rachou significativamente mais no tempo 2 (30 dias).

Os resultados encontrados estão de acordo com Malan (1979), Schacht & Garcia (1997) e Freitas & Brito Neto (1993), que concluíram que quanto maior o tempo decorrido entre a derrubada da árvore e o desdobro das toras, piores são as consequências das tensões de crescimento.

Lima (2000), trabalhando com *E. grandis*, realizou um estudo comparativo das metodologias de Conradie (1980), Malan (1984), Wilson (1985), e da sua metodologia própria e encontrou índices de rachadura, respectivamente, de 0,90%, 0,65%, 0,56% e 0,76%.

Os valores médios encontrados no presente trabalho, com a nova metodologia, para as espécies *E. grandis* e *E. saligna*, ambas no tempo de armazenamento 1 (3 dias), foram de respectivamente 0,47% e 0,48%.

A metodologia proposta por Lima (2000), pode produzir valores mais elevados quando comparado com a presente metodologia, uma vez que foi utilizado para o cálculo do índice de rachadura o somatório de todas as rachaduras existentes no topo das toras e na nova metodologia o índice de

rachadura foi calculado, apenas, pela rachadura de maior espessura existente no topo da tora.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 8 – Índice de rachadura de extremidade de tora do *E. grandis* e *E. saligna* nos tempos de armazenamento T₁ (3 dias) e T₂ (30 dias).

Observa-se na Figura 9, que a extremidade de menor diâmetro da tora racha mais do que a extremidade correspondente à sua base. Isso vale tanto para cada espécie, quanto para o conjunto delas.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 9 – Índice de rachaduras na base e topo das toras de *E. grandis* e *E. saligna*.

3.5.1.2 Influência da altura da qual a tora foi retirada da árvore

Para identificar a correta posição de cada uma das quatro toras retiradas ao longo do fuste da árvore, foi adotada a altura da metade do comprimento da tora em relação ao nível do solo.

Verifica-se na Tabela 4, que existem diferenças significativas entre as espécies e entre os tempos de armazenamento. Observa-se também,

significância da interação da espécie com o tempo de armazenamento. Esses resultados já foram discutidos no item 3.5.1.1.

Observa-se que existe diferença significativa entre as alturas das quais as toras foram retiradas da árvore, mas essa diferença só ocorre da primeira para a segunda tora e ainda, para o conjunto das duas espécies Figura 10. Não foram encontradas diferenças entre as alturas dentro de uma mesma espécie, porque os graus de liberdade do resíduo caíram para a metade do total. Isso significa que para detectarem-se diferenças entre as alturas é preciso aumentar o tamanho da amostragem. Dessa forma, pode-se considerar, dentro do ponto de vista prático, que o índice de rachadura de extremidade de tora não varia ao longo do fuste da árvore.

É importante ressaltar, que a interação da altura da tora na árvore com o tempo de armazenamento não foi significativa. Depreende-se portanto, que o padrão de rachadura ao longo da altura do fuste é o mesmo para qualquer um dos dois tempos de armazenamento.

Tabela 4 – Análise de variância para a variável índice de rachadura de tora (IR), discriminando posições na árvore.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	26,64 **
Tempo de Armazenamento (T)	1	175,75 **
Altura da tora na árvore (A)	3	6,95 **
E x T	1	25,11 **
T D E ₁	1	33,99 **
T D E ₂	1	166,86 **
E D T ₁	1	0,01 ns
E D T ₂	1	51,75 **
E x A	3	0,08 ns
T x A	3	0,76 ns
E x T x A	3	0,38 ns
(Tratamento)	(15)	
Resíduos	144	

** indica diferenças entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. ns indica diferenças não significativas. CV = 12,44. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

As alturas representadas A1, A 2, A 3 e A4 correspondem, respectivamente, às alturas de 2,30; 6,15; 10,00 e 13,85 m acima do nível do solo. Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 10 – Rachadura de extremidade de tora em função da posição da tora na árvore.

Esses resultados não estão completamente de acordo com os de Chafe (1981), que verificou em seus estudos que as tensões de crescimento aumentam no sentido base-topo da árvore, mas é possível dizer que o índice de rachadura de extremidade de tora aumenta, embora não significativamente, da base para o topo da árvore .

Garcia (1995), verificou que, teoricamente, as maiores intensidades de rachaduras deveriam ser encontradas nas pontas mais finas das toras, se mantida fixa a tensão de crescimento e garantida a uniformidade das

propriedades anatômicas e mecânicas da madeira. Entretanto, variações naturais podem modificar a tendência teórica.

3.5.1.3 Influência da classe diamétrica da tora

Verifica-se na Tabela 5, que existem diferenças significativas entre as espécies e entre os tempos de armazenamento. A interação do tempo com a espécie também foi significativa, mas todos esses resultados já foram discutidos no item 3.5.1.1.

Tabela 5 – Análise de variância para a variável índice de rachadura de tora (IR), discriminando classes diamétricas.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	5,80 *
Tempo de Armazenamento (T)	1	67,59 **
Classes Diamétricas (C)	4	1,96 ns
E x T	1	5,80 *
T D E ₁	1	16,88 **
T D E ₂	1	56,50 **
E D T ₁	1	0,00 ns
E D T ₂	1	11,61 **
E x C	4	0,48 ns
T x C	4	0,57 ns
E x T x C	4	0,35 ns
(Tratamento)	(19)	
Resíduos	140	

** e * indicam diferença entre tratamentos ao nível de 1% e 5% de probabilidade respectivamente. ns indica diferença não significativa. CV = 12,64. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Verificando-se o conjunto das classes diamétricas dentro das duas espécies e para cada uma delas isoladamente (Figura 11), observa-se que existe uma tendência de toras com menores diâmetros apresentarem valores

superiores de rachaduras. Entretanto, verificou-se que não houve diferença significativa entre as classes diamétricas, mostrando que o diâmetro não é um fator que influencia nas rachaduras de extremidade de tora. O *E. grandis* apresentou praticamente o menor índice de rachadura em todas as classes de diâmetro mas o *E. saligna* mostrou um decréscimo, embora também não significativo, bem mais acentuado.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 11 - Índice de rachadura de extremidade de tora em função da classe diamétrica da tora.

O coeficiente de correlação de Pearson obtido para a correlação entre as variáveis índice de rachadura de extremidade de tora e diâmetro da tora foi de $-0,23$, (Figura 12), demonstrando haver uma tendência de redução do índice de rachadura de extremidade de tora, proporcionalmente ao aumento do diâmetro da tora. Observa-se, entretanto, que essa tendência é imposta pelo *E. saligna* no tempo de armazenamento de 30 dias.

Figura 12 – Relação entre o índice de rachadura de extremidade de tora e o diâmetro da tora, para o conjunto das duas espécies.

Esse fato pode ser melhor visualizado na Figura 13, que mostra as regressões obtidas para cada uma das espécies, dentro de cada tempo de armazenamento. Como os coeficientes de determinação foram muito baixos, procedeu-se à análise de resíduos mostrada na Figura 14.

Os coeficientes de determinação das regressões foram baixos e os valores de F não foram significativos. A dispersão dos resíduos foi pequena para a espécie *E. grandis* nos dois tempos de armazenamento e para o *E. saligna* apenas no tempo de armazenamento de 3 dias. No tempo de 30 dias do *E. saligna* a dispersão dos dados aumentou significativamente e a regressão linear ajustada para relacionar o índice de rachadura de extremidade de tora com o diâmetro da tora foi significativa. Para o conjunto das duas espécies pode-se dizer que não existe relação confiável entre o índice de rachadura de extremidade de tora e o diâmetro, mas para o *E. saligna* pode-se dizer que o

diâmetro tende a minimizar o aumento das rachaduras que se propagam ao longo do tempo. Isso significa que a rigidez da tora de *E. saligna* aumenta do tempo de 3 dias para o tempo de 30 dias mas esse aumento de rigidez foi maior para toras de maior diâmetro.

Figura 13 – Regressões obtidas para relacionar a rachadura de extremidade de tora e a sua classe diamétrica.

Figura 14 – Desvios entre valores observados e preditos.

3.5.1.4 Índices de rachadura em seções adjacentes da árvore

Na Tabela 6 observam-se os resultados da análise de variância efetuada para a variável IR em seções adjacentes da árvore. Verifica-se que não houve diferença entre seções adjacentes da árvore. Observa-se ainda que essa constatação é válida para qualquer uma das espécies e também para qualquer um dos tempos de armazenamento, uma vez que as interações não foram significativas.

Tabela 6 – Análise de variância para o índice de rachadura (IR) em seções adjacentes da árvore.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	19,78 **
Tempo de armazenamento (T)	1	129,31 **
Seção adjacente (S)	1	0,65 ns
E x T	1	26,14 **
T D E ₁	1	19,58 **
T D E ₂	1	135,87 **
E D T ₁	1	0,22 ns
E D T ₂	1	45,70 **
E x S	1	0,29 ns
T x S	1	0,12 ns
E x T x S	1	0,00 ns
Tratamento	7	
Resíduos	152	

** indica diferença entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. ns indica diferenças não significativa. CV = 13,63. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

As médias das espécies e dos tempos de armazenamento observadas na Figura 15, foram diferentes das médias encontradas no item 3.5.1.1 porque o número de repetições utilizadas, nesse caso, foi inferior ao utilizado na análise anterior.

Nessa análise, o comportamento das espécies e do tempo de armazenamento foi o mesmo apresentado no item 3.5.1.1 mesmo tendo sido executada uma amostragem de tamanho equivalente à metade do tamanho daquela utilizada naquele item.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 15 – Índices de rachadura medidos no topo da primeira tora e / ou topo da terceira tora e na base das toras subsequentes.

A Figura 16 mostra, de forma mais clara, a não significância da interação E X S ou T X S, onde a variável seção 1 (S_1) refere-se aos topos das primeiras toras e / ou topos das terceiras toras retiradas da árvore e a seção 2 (S_2) refere-

se às bases das toras subsequentes. Observa-se nessa figura uma grande semelhança entre o que acontece na seção 1 e o que acontece na seção 2, adjacentes entre si.

S₁: topos das toras A e / ou topos das toras C;
 S₂: bases das toras B e / ou bases das toras D.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 16 – Índice de rachadura de extremidade de tora (IR) em seções adjacentes da árvore.

Na Figura 17 observam-se os coeficientes de correlação de Pearson, obtidos para as espécies, demonstrando claramente a boa correlação existente entre as rachaduras de seções adjacentes. No caso do *E. saligna* o índice de rachadura na seção 1 é praticamente o mesmo encontrado na seção 2. No caso do *E. grandis*, a seção 2 apresentou embora não significativamente, maiores rachaduras do que a seção 1.

Figura 17 - Correlações entre os índices de rachaduras de seções adjacentes da árvore.

Esses resultados indicam que em trabalhos futuros, poderão ser realizadas medições do índice de rachadura de extremidade de toras em apenas uma única seção. Isso significará uma grande economia de tempo nas avaliações do efeito das tensões de crescimento nas rachaduras de extremidade de tora.

3.6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- A espécie *E. saligna* apresenta maior índice de rachadura do que o *E. grandis*;

- O tempo de armazenamento das toras no pátio da serraria aumenta as rachaduras de extremidade de tora. Quanto maior o tempo de armazenamento maior é o índice de rachadura;
- Não existe diferença significativa entre as posições base e topo da mesma tora, embora tenha sido verificado que a base da tora tende a rachar menos do que o seu topo;
- O tempo de armazenamento das toras não exerce influência na progressão das rachaduras de extremidade de tora, ao longo da altura das árvores;
- A altura referente a 2,30 m acima do nível do solo apresentou, para o conjunto das duas espécies, valores inferiores de índice de rachadura;
- A classe diamétrica da tora não influencia nos valores do índice de rachadura de extremidade de tora. Entretanto, esse índice decresce com o aumento do diâmetro da tora;
- Os índices de rachadura de extremidade de tora são semelhantes em seções adjacentes da árvore;
- A metodologia utilizada para o cálculo do índice de rachadura de extremidade de tora mostrou-se bastante consistente e portanto permite incorporar essa importante propriedade na seleção de árvores para serraria. Por ser de fácil execução, pode ser aplicada até mesmo no campo.

3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: MANAGEMENT OF *Eucalyptus grandis* IN SOUTH AFRICA, Stellenbosh, 1990. **Proceedings**. Stellenbosh: Southern African Institute of Forestry, 1990. p.215-228.

- CHAFE, S. C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. **Australian Forest Research**, v.11, n.1, p.79-82, 1981.
- CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress, with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. **Australian Forest Research**, v.15, n.1, p.51-55, 1985.
- CONRADIE, W. E. **Utilization of South African grown *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) as veneer logs**. Part. 1 Control of end-splitting in veneer logs. CSIR, 1980. 27p. (Special Report, 206).
- FREITAS, A.R. ; NETO, O. B. Os avanços tecnológicos no processamento e uso de produtos florestais: Produção de madeira serrada de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v. 3, p. 293-295.
- GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de Eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59 – 67.
- GOLFARI, L. ; CASER, R. L. Avaliação da situação Atual dos Experimentos e Plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* na Região Centro – Leste do Brasil. Brasília: PNUD\ FAO\IBDF, 1986. 48p.
- KUBLER, H. , WILHELMY, V. Stress and Checks in Log Ends From Relieved Growth Stresses. **Wood Science**, v. 6, n. 2, p.136-143, 1973.
- LIMA, I.L. Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste. Piracicaba: 2000. 106p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- MALAN, F. S. The control of end splitting in sawlogs: A short literature review. **South African Forestry Journal**. n.109, p.14-18, jun. 1979.
- MALAN, F. S. Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* Stellenbosch: US/SA, 1984, 272p. Tese (Doutorado) – University of Stellenbosch.
- SCHACHT, L.; GARCIA, J. N. Variação entre e intra clones nas rachaduras de topo em *Eucalyptus urophylla*, S. T. Blake. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTS*, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997, v.3, p.401-404.
- SCHACHT, L. Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em *Eucalyptus urophylla*. Piracicaba: 1998. 74p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- VILLIERS, A. M. Utilisation problems with some eucalypts in South Africa. In: IUFRO MEETING DIVISION, 5, Pretoria, 1973. **Proceedings**. Pretoria, 1973. v. 2, p. 479 – 512.
- WILSON, P. J. Splitting studies on logs of *Eucalyptus macarthurii*, *E. elata*, and *E. radiata*. **Annual Report Institute for Commercial Forestry Research**, 1985. p. 135-142, 1985.

4. RACHADURAS DE EXTREMIDADE DE TÁBUA EM *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*

Autora: Érica de Alvarenga Crêspo

Orientador: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

4.1 RESUMO

No processamento da madeira de espécies de eucalipto, o rachamento da tora antes e durante o seu desdobro é o principal responsável pelos baixos rendimentos em madeira serrada, no estado verde. Realizou-se, portanto, um trabalho com o objetivo de verificar a influência do índice de rachadura de extremidade de tora, do diâmetro, do comprimento e conicidade da tora e do seu tempo de armazenamento, nas rachaduras de extremidade de tábuas e conseqüentemente no rendimento em madeira serrada. Foi verificada também, a existência de possíveis correlações entre a rachadura de extremidade de tora e a rachadura de extremidade de tábuas e entre a rachadura de extremidade de tábuas, no seu estado verde e aquela no seu estado seco. O experimento foi realizado com toras de *E. grandis* e de *E. saligna* de 20 anos de idade. Foram medidos os diâmetros, os comprimentos, as rachaduras de extremidade de tora e calculadas as conicidades. Em seguida procedeu-se o desdobro das toras utilizando-se uma serra de fita dupla, seguida de uma serra circular múltipla. Após o desdobro mediu-se o comprimento da maior rachadura longitudinal em cada extremidade da peça serrada e calculou-se o rendimento

em madeira serrada. Foi verificado que as tábuas do *E. grandis* racham mais do que as de *E. saligna*, independente do tempo de armazenamento das toras. Observou-se que a classe diamétrica não influencia na progressão das rachaduras de extremidade de tábua. Entretanto, as rachaduras de extremidade de tábuas aumentam proporcionalmente ao aumento da largura da própria tábua. O aumento da classe diamétrica, foi prejudicial ao rendimento em madeira serrada, demonstrando a importância da compatibilização entre matéria prima e técnica de desdobro. Verificou-se a existência de uma correlação importante entre a rachadura de extremidade de tábua e o índice de rachadura de tora para a espécie *E. saligna*. Para o *E. grandis* a correlação foi baixa, indicando que as rachaduras de suas tábuas estão ocorrendo durante o processo de desdobro. Observou-se uma forte correlação entre as rachaduras de tábua pós-destopo e pós-secagem demonstrando que tábuas que racham mais durante o processo de desdobro também racham mais durante o processo de secagem.

Palavras Chave: eucalyptus, madeira serrada, tensão de crescimento, rachadura, serraria.

***Eucalyptus grandis* AND *Eucalyptus saligna* BOARD END SPLITTING**

4.2 SUMMARY

Log end splitting which occur before *Eucalyptus* sawing those which during log processing are the main responsible for low production in sawn wood when wood is still in the green stage. Thus, in order to verify the influence of the log end splitting, log diameter, log length and the period of log storage on the board end splitting and consequently in sawn wood yield when the wood is still in green state this work has been developed. It was also verified the log conicity influence on sawn wood yield. The trial was done in twenty year old *E. grandis*

and *E. saligna* plantation. Log diameters, log length, and log end splitting were measured and log conicity was calculated. After that, the logs were sawed in a heading twin band saw followed by a gang circular gang saw. After sawing, the length of the longest longitudinal split was measured on each end of the board. It has been verified that the period of log storage before sawing do not introduce a significant effect on the yield. It was observed that the log diameter did not influence on the board end splitting progress. The existence of a positive correlation between the board end splitting and the log end splitting was verified.

Key words: eucalyptus, saw wood, growth stress, board end splitting, sawmill.

4.3 INTRODUÇÃO

Nunca a pressão foi tão grande para que os rendimentos das indústrias madeiras fossem maximizados. À medida que o suprimento de toras diminui, o seu preço se eleva e portanto a indústria deve aumentar a sua eficiência para melhorar suas receitas operacionais. Por outro lado, com a concorrência entre produtores, por causa da globalização da economia, apenas sobreviverão as empresas que conseguirem tirar o máximo proveito de suas matérias primas e se adaptarem rapidamente às mudanças de mercado (Szymani, 1995).

No processamento de madeiras de espécies de eucalipto, o rachamento das toras antes e durante o seu desdobro é a principal responsável pelos baixos rendimentos em madeira serrada. Os altos níveis de tensão de crescimento em eucaliptos são, sem dúvida nenhuma, sérios fenômenos que afetam a qualidade da madeira, as dimensões do produto e o rendimento em madeira serrada (Malan, 1979).

Durante o desdobro das toras, as rachaduras de extremidades tendem a aumentar, principalmente se as técnicas de corte que favorecem o alívio simétrico e homogêneo das tensões não forem utilizadas.

Lima (2000), realizou um estudo comparativo das metodologias de Conradie (1980), Malan (1984) e Wilson (1985), com a finalidade de verificar a existência de uma correlação entre as rachaduras de extremidade de tora com as rachaduras de extremidade de tábua e verificou para a espécie *E. grandis*, que nenhuma das metodologias que expressam o índice de rachadura em porcentagem são úteis na predição das rachaduras de extremidade de peça serrada.

Para produzir madeira serrada de eucalipto e obter bons rendimentos e boa qualidade deve-se adotar uma técnica de desdobro que compatibilize a matéria prima com os equipamentos existentes na serraria. Entretanto, há uma técnica de desdobro mais apropriada para cada “lay out”, porque em cada um deles as manifestações das tensões de crescimento, se darão de uma forma diferente (Garcia, 1995).

O rendimento em serraria é afetado pela interação entre o diâmetro, o comprimento, a conicidade, as condições de funcionamento e de manutenção dos equipamentos e dos métodos de processamento (Steele, 1984).

Segundo Ponce (1995), a solução mais simples e adequada tanto para pequenas como grandes indústrias é o de corte simultâneo de duas costaneiras, através de serras duplas. Em seguida o bloco restante deve ser desdobrado em uma serra múltipla de vários cortes simultâneos. Desse modo têm-se obtido bons resultados, com rendimentos próximos de 50% em madeira serrada para toras de 15 a 30 cm de diâmetro. Lisboa (1995), serrando toras de *E. grandis*, concluiu que maiores rendimentos são obtidos utilizando-se o processo de desdobro de cortes simultâneos.

Entretanto, Garcia (1997), serrando toras de *E. urophylla* utilizando uma serra de fita dupla seguida de uma serra múltipla para aliviar as tensões de crescimento de forma balanceada, observou que ocorre uma redução do comprimento das peças serradas, por causa das rachaduras de extremidade, sendo muito comum ter-se uma perda de 23 cm no comprimento total da peça.

Portanto, para reduzir essa perda, deve-se evitar trabalhar com toras de pequenos comprimentos, pois cada corte transversal efetuado no tronco da árvore produzirá duas extremidades livres e portanto sujeitas a rachaduras. No caso da impossibilidade de desdobrarem-se toras longas, é recomendado que os cortes transversais sejam feitos imediatamente antes do desdobro (Garcia, 1997).

Toras de pequenos comprimentos propiciam a obtenção de peças serradas mais uniformes, maior rendimento em madeira serrada e aumento da eficiência na operação de desdobro Garcia (1988).

Segundo Villiers (1973), posteriormente confirmado por Van Wyk (1978), o aumento do comprimento da tora não aumenta a quantidade de rachaduras.

A quantidade de rachaduras na madeira serrada pode ser reduzida desdobrando-se as toras imediatamente após a queda das árvores Villiers (1973).

Outro fator que interfere no rendimento em madeira serrada é o diâmetro das toras. Van Wyk (1978), Vianna Neto (1984), Leite (1994), CORFO/INFOR (1989), verificaram que toras de maiores diâmetros apresentam um potencial maior e produzem tábuas de melhor qualidade em relação àquelas obtidas de pequenos diâmetros. Fernandes & Ferreira (1991) também concluíram, em seus estudos, com *E. saligna*, que a intensidade de rachadura de tábua diminuiu com o aumento do diâmetro.

Priest et al. (1983), desdobrando toras de *E. grandis*, obteve um rendimento em madeira serrada da ordem de 56,3% em toras de diâmetros variando entre 15 e 39 cm. Entretanto, Priest et al. (1982), desdobrando toras de *E. grandis*, de 24 anos e diâmetro variando de 38 a 51 cm encontrou rendimento por volta de 59%, verificando que à medida que aumentava o diâmetro da tora ocorria um aumento no rendimento em madeira serrada.

Essa relação também foi encontrada por Del Menezzi (1999), que estudando toras de *E. cloeziana*, verificou que os maiores diâmetros resultaram em maiores rendimentos nas toras da base da árvore. Entretanto, para o *E.*

grandis não foi detectada nenhuma diferença significativa entre os rendimentos em madeira serrada nas posições base e topo.

O rendimento e qualidade da madeira serrada de eucalipto pode ser afetado, como visto anteriormente, pelo diâmetro da tora, coincidência e método de desdobro utilizado. A conicidade e o diâmetro das toras podem ser controlados respectivamente por programas de melhoramento genético e pela utilização de práticas silviculturais adequadas. Deve-se, também, concentrar esforços no processamento das madeiras desse gênero com o objetivo de investigar qual a técnica de desdobro mais adequada para cada espécie, para obter-se madeira serrada de boa qualidade, isenta de rachaduras e como consequência, obterem-se bons rendimentos.

O objetivo do presente trabalho foi o de verificar a influência do índice de rachadura de extremidade de tora, do diâmetro, do comprimento e conicidade da tora e do seu tempo de armazenamento, nas rachaduras de extremidade de tábua e conseqüentemente no rendimento em madeira serrada, no estado verde. Foi verificada também, a existência de possíveis correlações entre a rachadura de extremidade de tora e a rachadura de extremidade de tábua e entre a rachadura de extremidade de tábua, no seu estado verde e aquela no seu estado seco.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

As características da floresta, a escolha das árvores e posteriormente das toras, a medição dos diâmetros e do índice de rachadura de extremidade de toras foram descritos no item 3.4. As outras variáveis serão descritas a seguir.

4.4.1 Comprimento da tora (L)

O experimento foi realizado com toras de comprimentos L_1 e L_2 sendo, $L_1 = 3,10$ m e $L_2 = 4,60$ m. Esses padrões de comprimentos foram determinados pela empresa, sendo essas medidas as mais, comercialmente, utilizadas.

O comprimento das toras foi medido com uma trena comum.

4.4.2 Volume da tora (VT)

Para cálculo do volume da tora foi utilizado a equação (8) de Smalian.

$$VT = \frac{\pi}{8} L(D^2 + d^2) \quad (8)$$

4.4.3 Conicidade da tora (C)

A conicidade, característica natural da maioria das árvores de *Eucalyptus*, expressa a redução do diâmetro para cada unidade de comprimento da tora, e portanto, é dada em cm/m. A equação (9) mostra o critério utilizado para determinar-se a conicidade da tora. Depreende-se, obviamente, que quanto maior for a conicidade menor será o seu rendimento em madeira serrada, pois o número de tábuas a ser obtido é diretamente dependente do diâmetro mínimo da tora. Por outro lado, quanto menor for a conicidade, mais cilíndrica será a tora e melhor será o seu processamento mecânico.

$$C = \frac{(D - d)}{L} \quad (9)$$

4.4.4 Desdobro

O método de desdobro utilizado foi o mesmo adotado pela Empresa em sua produção industrial, em que, primeiramente, foram executados dois cortes simultâneos numa serra de fita dupla, para a retirada das costaneiras. Em seguida o bloco remanescente foi reserrado numa serra circular múltipla, como representado na Figura (18).

A serra circular múltipla foi regulada para produzir tábuas de 32 mm de espessura, de forma a atender a demanda comercial da Empresa.

As operações de derrubada, seccionamento transversal do fuste da árvore, identificação do material, medição de diâmetros e rachaduras de topo de toras e também o transporte do material, foram planejadas para que o tratamento 1, das duas espécies, fosse desdobrado em um período máximo de 3 dias após a derrubada das árvores.

Após o transporte de todo o material do tratamento 1 foi realizado o transporte das toras componentes do tratamento 2. As toras do tratamento 2, depois de adequadamente identificadas, ficaram armazenadas no pátio da serraria por um período de trinta dias. Após esse período foram realizadas as medições das rachaduras de topo e efetuada a operação de desdobro, de todas as toras do tratamento.

Antes do destopo foram medidos os comprimentos da maior rachadura de cada uma das extremidades das tábuas para possibilitar a comparação da perda observada no destopo praticado pela empresa com a perda nominal que seria obtida no caso da completa eliminação das rachaduras de topo.

O número de tábuas obtido de cada tora variou, em função do seu diâmetro. Para a espécie *E. grandis*, no tratamento 1 (3 dias de armazenamento), obtiveram-se, em média, 7 tábuas por tora e para o tratamento 2 (30 dias de armazenamento), obtiveram-se, em média, 6 tábuas por tora. No caso do *E. saligna*, obtiveram-se, em média, 6 tábuas por tora, no tratamento 1, e 6 tábuas por tora, no tratamento 2.

Figura 18 – Corte primário da tora na serra de fita dupla (A) e corte secundário na serra circular múltipla (B).

4.4.5 Volumes de madeira serrada no estado verde (VMSV), projetado e real

O cálculo do volume de madeira serrada, foi realizado antes e após o destopo e os volumes obtidos foram chamados, respectivamente, de projetado e real. O volume de madeira serrada real foi calculado medindo-se, com uma trena, as dimensões (comprimento real, largura e espessura) das peças serradas. Para o cálculo do volume de madeira serrada projetado, substituiu-se o comprimento real da peça serrada pelo seu comprimento isento de rachaduras de extremidade.

Os volumes de madeira serrada, projetado e real, foram calculados pela equação (10). Portanto, o volume de madeira serrada real foi obtido do produto das dimensões reais das peças serradas e o volume de madeira serrada projetada seria aquele isento de rachaduras de extremidades da peça serrada.

$$VMSV = \sum_{i=1}^n a_{vi} b_{vi} c_{vi} \quad (10)$$

Onde: n = número de peças serradas obtidas de cada tora;

a_{vi} = largura da peça serrada, no estado verde;

b_{vi} = espessura da peça serrada, no estado verde;

c_{vi} = comprimento da peça serrada, obtido pelas equações (11), abaixo.

$$c_v = L - l_{od} \quad (11a)$$

$$c_v = L - l_{or} \quad (11b)$$

$$l_{od} = l_{bd} + l_{td} \quad (11c)$$

$$l_{or} = l_{br} + l_{tr} \quad (11d)$$

Onde: l_{od} = comprimento efetivamente perdido no destopo industrial;

l_{or} = comprimento que seria perdido com a eliminação das rachaduras das extremidades das peças serradas;

l_{bd} = comprimento perdido no destopo na base da tábua (m);

l_{br} = comprimento longitudinal da rachadura mais longa na base da tábua (m);

l_{td} = comprimento perdido no destopo no topo da tábua (m);

l_{tr} = comprimento longitudinal da rachadura mais longa no topo da tábua (m).

4.4.6 Volume de madeira serrada seca (VMSS)

Para determinar o VMSS, as medidas $a_{s\ i}$ e $b_{s\ i}$ foram tomadas sobre a madeira serrada seca, conforme mostra a equação (12), e a medida $c_{s\ i}$ foi obtida pela equação (13), abaixo.

$$VMSS = \sum a_{s\ i} b_{s\ i} c_{s\ i} \quad (12)$$

$$c_s = L - l_{od} - \Delta l_s \quad (13)$$

Onde: Δl_s = perda do comprimento da peça serrada seca, em razão da secagem.

4.4.7 Rendimentos em madeira serrada, nos estados verde (RMSV) e seco, (RMSS), projetado e real

Os rendimentos em madeira serrada foram calculados, como se pode observar nas equações (14), pela relação entre o volume de madeira serrada, no estado verde ou seco e o volume da tora que deu origem a essa mesma

madeira. O rendimento projetado é aquele obtido do volume projetado, isento de rachaduras e o rendimento real é aquele obtido do volume real produzido comercialmente.

$$RMSV(\%) = \frac{VMSV}{VT} 100 \quad (14a)$$

$$RMSS(\%) = \frac{VMSS}{VT} 100 \quad (14b)$$

4.4.8 Correlação entre a rachadura de extremidade de tábua (I_{or}) e o índice de rachadura de extremidade de tora (IR)

Essas duas variáveis foram correlacionadas por meio de um modelo matemático adaptado, da melhor forma possível, aos dados do experimento. Esse modelo está expresso pela função f na equação (15).

$$I_e = f (IR) \quad (15)$$

Onde: I_e = perda total por destopo ou comprimento total estimado das rachaduras.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Rachaduras de extremidade de tábua (I_{od}) e rendimento em madeira serrada

Na análise de variância efetuada para a variável rachadura de tábua (Tabela 7), verificou-se que existe diferença significativa entre as espécies, entre os tempos de armazenamento e que houve efeito interativo da espécie

com o tempo de armazenamento. Não foram verificadas diferenças entre as classes diamétricas.

Tabela 7 – Análise de variância para a variável rachadura de extremidade tábua.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	12,55 **
Tempo de Armazenamento (T)	1	6,67 *
Classe Diamétrica (C)	4	1,35 ns
E x T	1	6,03 *
T D E ₁	1	0,00 ns
T D E ₂	1	12,68 **
E D T ₁	1	17,99 **
E D T ₂	1	0,59 ns
E x C	4	0,59 ns
T x C	4	0,26 ns
E x T x C	4	0,65 ns
(Tratamento)	(19)	
Resíduos	140	

** e * indicam diferenças entre tratamentos ao nível de 1% e 5% de probabilidade respectivamente. ns indica diferenças não significativas. CV = 24,30. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Observa-se na Figura 19 (a), que o *E. grandis* apresenta maiores rachaduras que o *E. saligna*, e que o tempo de armazenamento contribuiu, para o conjunto dessas duas espécies, para um aumento das rachaduras de extremidade de tábua. As rachaduras medidas no tempo de armazenamento de 30 dias foram significativamente maior do que aquela verificada no tempo de três dias.

O tempo de armazenamento influencia, como se vê na Figura 19 (b), de forma diferente para as espécies. Para o *E. grandis* não foi detectada diferença significativa entre os tempos e para o *E. saligna*, no tempo 2 (30 dias), as tábuas racharam significativamente mais do que no tempo 1 (3 dias).

Comparando-se as espécies dentro de cada tempo de armazenamento, observa-se que o *E. grandis* racha significativamente mais do que o *E. saligna*, no tempo 1. No tempo 2 as duas espécies apresentam-se praticamente semelhantes.

Verifica-se portanto, que o *E. saligna* perde, ao longo do tempo de armazenamento da tora, a sua grande vantagem inicial em relação ao *E. grandis*.

Os resultados encontrados para a espécie *E. saligna* foram confirmados por Villiers (1973), que verificou que a quantidade de rachaduras na madeira serrada pode ser reduzida, desdobrando-se as toras imediatamente após a queda da árvore.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 19 – Rachaduras de extremidade de tábuas para espécies, tempos de armazenamento e para cada espécie dentro do tempo de armazenamento.

De acordo com a Figura 20, verifica-se que o diâmetro da tora não afetou os valores de rachadura de extremidade de tábua, mas é possível observar-se que há uma tendência de as toras de classes diamétricas maiores racharem mais.

Figura 20 – Rachadura de extremidade de tábua dentro de classes diamétricas.

Verifica-se na Figura 21, que a rachadura de extremidade de tábua, aumenta proporcionalmente ao aumento da sua largura. Ressalta-se que as rachaduras se acentuaram, nas larguras de tábuas superiores a 20 cm.

Entretanto, os coeficientes de correlação de Pearson podem ser considerados médios em função da grande variabilidade dentro de cada largura de tábua. Essas variações podem ser devidas às diferentes tensões de crescimento existentes em diferentes toras.

Figura 21 - Correlações entre rachadura de extremidade de tábua e largura da tábua.

A Figura 22 (a) mostra as regressões obtidas para relacionar o índice de rachadura de extremidade de tábua e o valor central da classe diamétrica, para o conjunto total dos dados que compreende as duas espécies e os dois tempos de armazenamento. O coeficiente de determinação encontrado para a regressão foi muito baixo, mostrando que o diâmetro da tora não é, por si só, suficiente para prever, com segurança, a intensidade da rachadura de extremidade de tábua.

Na Figura 22 (b), observa-se que a estratificação dos tratamentos não modifica, em nada, a conclusão anterior. Como os coeficientes de determinação foram baixos, procedeu-se a análise de resíduos, mostrada na Figura 23.

Figura 22 – Regressões lineares que relacionam a rachadura de extremidade de tábua com o diâmetro médio da tora, para o conjunto total dos dados (a) e para as espécies dentro do tempo de armazenamento (b).

Figura 23 – Distribuições dos resíduos dos modelos para o conjunto total de dados (a) e para os tratamentos estratificados (b).

Depreende-se dessa análise de resíduos que os modelos lineares adotados podem ser considerados satisfatórios e que a fraca relação entre as variáveis pode ser devido à variabilidade natural dentro da espécie, já que em qualquer classe de diâmetro, existem toras que racham pouco e toras que racham muito.

A Tabela 8, mostra que existem diferenças significativas, para a variável rendimento em madeira serrada, entre as espécies e entre as classes diamétricas, não existindo diferença entre os tempo de armazenamento. Não foi observada nenhuma interação significativa, mostrando que as duas espécies, apresentam comportamento semelhante em qualquer um dos dois tempos de armazenamento e em qualquer uma das cinco classes diamétricas.

Tabela 8 – Análise de variância para a variável rendimento em madeira serrada no estado verde, projetado.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	4,44 **
Tempo de Armazenamento (T)	1	1,12 ns
Classes Diamétricas (C)	4	18,72 **
E x T	1	0,27 ns
E x C	4	0,44 ns
T x C	4	0,19 ns
E x T x C	4	0,30 ns
(Tratamento)	(19)	
Resíduos	140	

** indica diferença entre tratamentos a nível de 1% de probabilidade. ns indica diferença não significativa. CV = 12,37.

Na Figura 24 (a), verifica-se que o *E. saligna* apresentou maior rendimento do que o *E. grandis*, para o conjunto dos dois tempos de armazenamento. Na Figura 24 (b), vê-se o efeito da interação não significativa na qual se observa que o *E. saligna* apresenta rendimento maior do que o *E. grandis* tanto no tempo T_1 como no tempo T_2 . Entretanto, estatisticamente, não

houve diferença nem entre as espécies e nem entre as espécies dentro de cada tempo de armazenamento.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 24 – Rendimento em madeira serrada para *E. grandis* e *E. saligna* nos tempos de armazenamento T₁ (3 dias) e T₂ (30 dias).

Constatou-se, da observação da Figura 25, que houve diferenças significativas entre as classes diamétricas. As classes superiores apresentaram, diferentemente do esperado, rendimentos menores. Isso ocorreu por causa da limitação da serraria em aproveitar as costaneiras oriundas de toras grossas.

Colunas de mesma cor com letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 25 – Rendimento em madeira serrada, no estado verde, projetado em função do diâmetro da tora, sendo $C_1 = [19,00 - 25,00)$; $C_2 = [25,00 - 31,00)$; $C_3 = [31,00 - 37,00)$; $C_4 = [37,00 - 43,00)$; $C_5 = [43,00 - 49,00)$, com centro de classe, respectivamente, de 22,00; 28,00; 34,00; 40,00 e 46,00 cm.

Na Figura 26, verifica-se, pela alta correlação obtida, que a diferença entre o diâmetro da tora e a largura da tábua dela obtida, aumenta com o aumento do diâmetro. Isso indica que as espessuras das costaneiras aumentam com o aumento do diâmetro da tora e como consequência reduzem o rendimento, uma vez que as costaneiras não são resserradas.

Figura 26 – Efeito da espessura da costaneira no rendimento em madeira serrada, no estado verde.

Pode-se observar nessa mesma figura, que a largura da tábua aumenta na mesma proporção do aumento do diâmetro, quando este varia aproximadamente, entre 20 e 27 cm.

4.5.2 Influência do comprimento da tora na rachadura de extremidade de tábua

Verifica-se na Tabela 9 que além da diferença significativa entre as espécies, já encontradas anteriormente, a rachadura de extremidade de tábua não variou entre os dois comprimentos estudados.

Tabela 9 – Análise de variância simplificada para a rachadura de extremidade de tábua.

Fonte de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	19,70 **
Comprimento (C)	1	0,56 ns
E x C	1	0,51 ns
Tratamento	3	
Resíduos	156	

** indica diferença entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. ns indica diferença não significativa. CV = 26,43. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Na Figura 27, observa-se, que quando se realiza uma análise em conjunto para as duas espécies, não se verifica diferença entre os comprimentos. Vê-se também, na análise separada de comprimentos, que o *E. grandis* rachou mais do que o *E. saligna* nos dois comprimentos.

Colunas de mesma cor com letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si, C1 = Comprimento 1 (3.10 m); C2 = Comprimento 2 (4.60 m)

Figura 27 - Rachadura de extremidade de tábua em função do comprimento da tora.

Os resultados estão de acordo com Villiers (1973) e Van Wyk (1978), que verificaram que o aumento do comprimento da tora não provoca nem aumento e nem redução das rachaduras de extremidade de tábua.

4.5.3 Relação entre o índice de rachadura de extremidade de tora (IR) e a rachadura de extremidade de tábua (I_{or})

O coeficiente de correlação de Pearson obtida da correlação da rachadura de extremidade de tábua com o índice de rachadura da tora foi de 0,77 para o *E. saligna* e 0,21 para o *E. grandis* demonstrando que a relação entre as variáveis depende da espécie. Em geral ocorre um aumento da rachadura de extremidade de tábua com o aumento do índice de rachadura de extremidade de tora (Figura 28).

Para o *E. saligna* 77% das rachaduras das tábuas são explicadas pelas rachaduras de extremidade de tora, ao passo que para o *E. grandis* apenas 21% das rachaduras das tábuas são explicadas pelas rachaduras de toras. Isso significa que a técnica de desdobro, utilizada para as duas espécies, não é adequada para o *E. grandis*, uma vez que a maior parte das rachaduras, surgiram durante o desdobro. Outro fator que se deve levar em consideração é que o *E. grandis* apresenta maior capacidade de armazenar a tensão de crescimento em tora e menor capacidade de armazenar a tensão residual em tábuas.

Esses resultados confirmam a conclusão de Lima (2000), com relação ao *E. grandis*, mas por outro lado, indicam que é possível minimizarem-se as rachaduras de extremidade de tábua de *E. saligna* a partir da seleção de toras.

Figura 28 – Relação entre a rachadura de extremidade de tábua e o índice de rachadura de extremidade de tora.

Na Figura 29 verifica-se que o rendimento em madeira serrada, no estado verde, projetado, não depende do índice de rachadura de extremidade de tora. Depreende-se que esse é um caso particular dessa serraria, na qual, como mostrado anteriormente, a maior perda de rendimento está no aumento das espessuras das costaneiras, que não estão sendo reaproveitadas na produção de madeira serrada.

Figura 29 – Relação entre o rendimento em madeira serrada e o índice de rachadura da tora.

4.5.4 Conicidade

A conicidade expressa a variação do diâmetro por unidade de comprimento da tora. Portanto, quanto menor for essa variação, mais cilíndrica será a tora e portanto maior será o rendimento em madeira serrada.

Na Figura 30(a), constata-se que o *E. grandis* apresenta conicidade ligeiramente superior ao *E. saligna*, mas a diferença não é significativa.

Observa-se, entretanto, na Figura 30 (b), que a conicidade é crescente com o aumento do diâmetro da tora.

Figura 30 – Conicidade das toras de *E. grandis* e de *E. saligna*.

A Figura 31 mostra, como era de se esperar, correlações negativas entre o rendimento em madeira serrada e a conicidade da tora.

Os coeficientes de correlação de Pearson foram de $-0,55$ para o *E. grandis* e de $-0,45$ para o *E. saligna* indicando que ocorre uma redução no rendimento em madeira serrada, proporcionalmente ao aumento da conicidade da tora.

É importante ressaltar que a conicidade apresentou, sobre o rendimento em madeira serrada, impacto significativamente maior do que a rachadura de extremidade de tora e da mesma ordem de grandeza que a rachadura de extremidade de tábua.

Figura 31 – Relação entre o rendimento em madeira serrada, no estado verde e a conicidade das toras de *E. grandis* e *E. saligna*.

Os resultados estão de acordo com Steele (1984), que verificou que a conicidade é uma das características da tora que mais afeta o rendimento em serraria. A conicidade pode ser reduzida por meio de programas de melhoramento genético e manejo florestal.

4.5.5 Relações entre os rendimentos em madeira serrada, no estado verde

O rendimento em madeira serrada, no estado verde, projetado, foi calculado antes do destopo das peças serradas, e o rendimento em madeira

serrada, no estado verde, real, foi calculado após o destopo. A Figura 32, possibilita verificar-se que na operação de destopo das tábuas a perda real não foi superior à perda projetada, estimada pelo comprimento total das rachaduras das extremidades das tábuas.

Os coeficientes de correlação de Pearson foram de 0,95 e 0,96 para as espécies *E. grandis* e *E. saligna* respectivamente. Isso significa que essas variáveis são altamente correlacionadas.

Como o destopo não eliminou, completamente, as rachaduras de extremidades de todas as peças serradas depreende-se que o destopo também foi efetuado desnecessariamente em peças não rachadas. Isso pode ser verificado pelos coeficientes angulares das retas da Figura 32.

Figura 32 – Correlação entre o rendimento em madeira serrada, no estado verde, projetado, e o rendimento em madeira serrada, no estado verde, real .

Os coeficientes de correlação de Pearson (Figura 33), obtidos nas correlações entre as variáveis rendimento em madeira serrada e rachadura de extremidade de tábua foram de $-0,55$ e $-0,42$ para o *E. grandis* e *E. saligna* respectivamente. Portanto, a um aumento no comprimento da rachadura de extremidade de tábua segue uma redução proporcional no rendimento em madeira serrada. Em geral o *E. saligna* apresenta maior rendimento do que o *E. grandis* para o mesmo nível de rachadura. É importante ressaltar que a rachadura de extremidade de tábua responde por aproximadamente 50% da perda do rendimento em madeira serrada, podendo-se verificar entretanto, que nas intensidades de rachaduras mais baixas podem ocorrer variações de até 20% no rendimento em madeira serrada.

Figura 33 – Correlação entre as rachaduras das tábuas e o rendimento em madeira serrada, no estado verde.

Os resultados encontrados estão de acordo com Malan (1995), que verificou que altos níveis de tensão de crescimento afetam a qualidade da madeira e o rendimento. As rachaduras de extremidade de tábua reduzem os

comprimentos das peças serradas, reduzindo, conseqüentemente, o rendimento.

4.5.6 Relações entre as rachaduras da madeira serrada pós-destopo e pós-secagem

Observa-se na Tabela 10, que além da diferença significativa entre espécie, existe também diferença significativa, para a variável rachadura de extremidade de tábua, entre condições de umidade. A interação da espécie com a condição de umidade não foi significativa, indicando que as duas espécies apresentam o mesmo comportamento quando passam do estágio destopado verde para o destopado seco. Esse fato pode ser claramente observado na Figura 34.

Tabela 10– Análise de variância para a rachadura de extremidade de tábua pós - destopo e pós-secagem.

Fonte de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	38,94 **
Condição de umidade (C)	1	12,75**
E x C	1	2,05 ns
(Tratamento)	(3)	
Resíduos	316	

** indica diferença entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. ns indica diferença não significativa. CV = 25,03. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Observa-se ainda, nessa figura que as tábuas do *E. grandis* que já estavam significativamente mais rachadas do que o *E. saligna* após a operação de destopo racharam significativamente mais, durante o processo de secagem da madeira.

Colunas de mesma cor com letras de mesma cor indicam que as médias foram comparada entre si

Figura 34 – Rachaduras de extremidade de tábuas pós-destopo e pós-secagem.

Verifica-se na Figura 35, que o coeficiente de correlação de Pearson para a variável rachadura de extremidade de tábua, nos estados verde e seco, foram altos, observando-se portanto, uma alta correlação entre a rachadura medida logo após o destopo e a rachadura medida depois da secagem.

Durante a secagem da madeira as rachaduras de extremidade das peças serradas aumentaram, proporcionalmente, em relação às rachaduras da madeira serrada, no estado verde.

Lima (2000), também encontrou, para o *E. grandis* de 18 anos de idade, uma alta correlação entre as rachaduras medidas na condição verde e aquelas medidas na condição seca.

Figura 35 – Relação entre a rachadura de extremidade da tábua pós - destopo e pós-secagem.

4.6 CONCLUSÕES

- As tábuas do *E. grandis* racham mais do que as do *E. saligna*, independentemente do tempo de armazenamento das toras. Entretanto, o tempo de armazenamento é prejudicial apenas para o *E. saligna*;
- As classes diamétricas não influenciam nas rachaduras de extremidade de tábuas. Entretanto, as rachaduras de extremidade de tábuas aumentam proporcionalmente ao aumento da sua largura;

- A espécie *E. saligna* apresenta maior rendimento em madeira serrada quando comparada com o *E. grandis*;
- O tempo de armazenamento da tora não é um fator que influencia no rendimento em madeira serrada para ambas espécies;
- O comprimento da tora não introduz efeito significativo nas rachaduras de extremidade de tábua;
- Existe uma correlação importante entre a rachadura de extremidade de tábua e o índice de rachadura da tora para a espécie *E. saligna*. Para a espécie *E. grandis* essa correlação foi muito baixa, indicando que para essa espécie a maior parte das rachaduras das tábuas estão ocorrendo durante o processo de desdobro;
- O rendimento em madeira serrada em estado verde projetado não depende do índice de rachadura de extremidade de tora;
- A conicidade da tora aumenta com o aumento da classe diamétrica;
- Verificou-se que ocorre uma redução no rendimento em madeira serrada proporcionalmente ao aumento da conicidade da tora e também proporcionalmente e na mesma ordem de grandeza, ao aumento da rachadura de extremidade de tábua;
- Existe uma alta correlação entre as rachaduras de tábua pós-destopo e pós-secagem demonstrando que tábuas que racham mais durante o processo de desdobro também racham mais durante o processo de secagem. A propagação da rachadura de extremidade de tábua durante a secagem também é significativamente maior no *E. grandis* do que no *E. saligna*.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONRADIE, W. E. **Utilization of South African grown *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) as veneer logs**. Part. 1 Control of end-splitting in veneer logs. CSIR, 1980. 27p. (Special Report, 206).

- CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN, INSTITUTO FORESTAL – COFOR/INFOR. **Principios de organización y operación del aserradero**. Concepción, 1989. 217p.
- DEL MENEZZI, C. H. S. Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *E. grandis* e *E. cloeziana*. Piracicaba: 1999. 100p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, P.S., FERREIRA, M.C. Tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* e suas relações com os diâmetros. **Revista do Instituto Florestal**. v. 3, n.2.p. 639 – 655, dez. 1991.
- GARCIA, J.N. **Processamento mecânico do pinus e eucalyptus**. Piracicaba: ESALQ/ Departamento de Ciências Florestais, 1988. 20p.
- GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de Eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59 – 67.
- GARCIA, J.N. An Alternative Sawmill Plant To Improve Eucalyptus Lumber Quality. **International Wood Machining Seminar**. 13. Proceedings Vancouver – Canadá, p. 865 – 874, jun/1997.
- LEITE, H. G. Conversão de troncos em multiprodutos da madeira utilizando programação dinâmica. Viçosa, 1994. 242p. Tese (Dr Sci.). Universidade Federal de Viçosa.
- LIMA, I.L. Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste. Piracicaba: 2000. 106p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- LISBÔA, C. D. J. Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* (Hill. ex Maiden). **Floresta**, Curitiba, v.23, n.1/2, p. 82 –83, jun/dez. 1995.
- MALAN, F. S. The control of end splitting in sawlogs: A short literature review. **South African Forestry Journal**. n.109, p.14-18, jun. 1979.
- MALAN, F. S. Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* Stellenbosch: US/SA, 1984, 272p. Tese (Doutorado) – University of Stellenbosch.
- MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT, 1995. p. 1 – 19.
- PONCE, R. H. Madeira serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT, 1995. p. 50 – 58.
- PRIEST, D. T. ; MALAN, F.S.; KNUFFEL, W.; **End – splitting in E. grandis sawlogs and sawn timber**. Pretoria: CSIR/National Timber Research Institute:, 1982. 20p. (CSIR Special Report, Hout/223).
- PRIEST, D. T. ; MALAN, F.S.; LINE, C. G.; VAN NIEKERK, J. P. **The yield of furniture grade timber from 12 year old Eucalyptus grandis**. CSIR/National Timber Research Institute: Pretoria, 1983. 15p. (CSIR Special Report, Hout/281).
- STEELE, P. H. Factors determining lumber recovery in sawmilling. USDA. Forest Science, FLP General Technical Report, n.39, p.1 – 8, abr. 1984

- SZYMANI, R. Latest advances in sawmilling. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT , 1995. p. 68 – 73.
- VAN WYK, J.L. Hardwood sawmilling can have bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, n. 107, p. 47 – 53, dez. 1978.
- VIANNA NETO, J. A. A. Considerações básicas sobre o desdobro de *Pinus* spp. *Silvicultura*, v.8, n. 34, p.15-29, jan./fev. 1984.
- VILLIERS, A. M. Utilisation problems with some eucalypts in South Africa. In: IUFRO MEETING DIVISION, 5, Pretoria, 1973. **Proceedings**. Pretoria, 1973. v. 2, p. 479 – 512.
- WILSON, P. J. Splitting studies on logs of *Eucalyptus macarthurii*, *E. elata*, and *E. radiata*. **Annual Report Institute for Commercial Forestry Research**, 1985. p. 135-142, 1985.

5. EMPENAMENTOS DA MADEIRA SERRADA NOS ESTADOS VERDE E SECO DE *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna*

Autora: Érica de Alvarenga Crêspo

Orientador: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

5.1 RESUMO

Os empenamentos da madeira serrada estão entre os principais problemas que afetam a qualidade e o rendimento em madeira serrada da maioria dos eucaliptos. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi o de estudar a curvatura natural da tora e os empenamentos das peças serradas de *E. grandis* e *E. saligna*, de 20 anos de idade. Foram verificadas também as correlações existentes entre essas variáveis e discutidas as possibilidades do controle de seus efeitos. Inicialmente mediram-se as flechas das toras que depois foram desdobradas em uma serra de fita dupla, seguida de uma serra circular múltipla. Em seguida foram medidos os empenamentos das peças serradas, nas condições verde e seca. Os resultados mostraram que as espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentam o mesmo comportamento quanto à curvatura da tora mas o *E. saligna* apresentou um menor arqueamento quando comparado com o *E. grandis*. A flecha da tora não exerceu nenhum efeito no encurvamento ou no arqueamento da peça serrada. As espécies apresentaram, quanto ao arqueamento, comportamentos diferentes ao longo do tempo de armazenamento da tora. O encurvamento da madeira serrada seca foi significativamente inferior ao da madeira serrada verde demonstrando o efeito

benéfico do processo de secagem. Os empenamentos da madeira serrada seca foram proporcionais aos da madeira serrada verde.

Palavras Chave: eucalyptus, tensão de crescimento, empenamentos, madeira serrada, serraria.

SAWN WOOD BENDING DRY AND IN GREEN STATE OF *Eucalyptus grandis* AND *Eucalyptus saligna*

5.2 SUMMARY

The deflection of sawn wood are among the main problems which affect the quality and yield in sawed wood in *Eucalyptus*. So, this study was carried out to evaluate the influence of the log sweep on twenty year *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*, board warps. At the beginning, log sweep was measured, and later the logs were sawed in a heading twin band saw, followed by a gang circular saw. Measurements of board deflections were taken in green and dry stages. The results showed that *Eucalyptus saligna* presented smaller board deflection than *Eucalyptus grandis*. No significant differences were found for sawn wood warps in green stage, or for log sweep for both studied species. Dry board deflection was lower than that one observed on the green board showing a good performance of the drying process.

Key words: eucalyptus, growth stress, deflection, sawn wood, sawmill .

5.3 INTRODUÇÃO

Os empenamentos da madeira serrada estão entre os principais problemas que afetam a qualidade e o rendimento em madeira serrada dos eucaliptos e que têm como principal causa, as tensões de crescimento.

Os empenamentos são caracterizados como distorções das peças de madeira em relação aos planos originais de suas superfícies, tendo sua ocorrência determinada não só pelas tensões de secagem como também pelas deformações oriundas da liberação das tensões internas de crescimento (Fernandes, 1982; Garcia, 1995).

A primeira tentativa de explicar as tensões de crescimento foi realizada por Martley (1928), quando observou que tábuas de Olmo (*Ulmus* sp) curvavam-se durante o desdobro da tora. Atribuiu como causa, a influência do peso da árvore, que introduzia tensões de compressão durante o crescimento da árvore. Kubler (1987), verificou que as tensões longitudinais são as principais responsáveis pelos empenamentos das peças de madeira serrada.

Garcia (1995), determinou uma fórmula para relacionar a tensão de crescimento medida na árvore aos empenamentos da madeira serrada. Verificou que os empenamentos apresentados por uma peça serrada variam proporcionalmente ao quadrado do seu comprimento. Isso significa que os empenamentos podem ser significativamente reduzidos com a simples diminuição do comprimento da peça serrada. Entretanto, os efeitos da liberação das tensões internas, dificultam a produção de madeira serrada por causa dos empenamentos (Okuyama, 1997).

Segundo Ponce (1995), os empenamentos ocorrem na madeira durante o desdobro e secagem. Durante o desdobro há uma tendência da peça que está sendo serrada se curvar de modo tal que as suas extremidades se afastam do centro da tora.

Para serrar toras com altos níveis de tensão de crescimento, o que normalmente acontece quando se trabalha com *Eucalyptus*, pode-se usar uma serra dupla seguida de uma serra múltipla para balancear a liberação das tensões de crescimento. Esse método de desdobro não evita a curvatura da madeira, porém provoca encurvamentos nas peças serradas, que podem ser previstas com suficiente exatidão (Garcia, 1997).

Segundo Nicholson (1973), altos níveis de tensão de crescimento provocam deformações em tábuas, e para obter-se um produto com melhor qualidade é preciso resserrar a peça.

O encurvamento da madeira tem sido um grande problema a ser resolvido, mas pode ser minimizado, em parte, pela imposição de tensão residual durante a secagem da madeira serrada. Entretanto, o problema pode ser reduzido com fortes programas de melhoramento florestal (Schacht & Garcia, 1997).

O encurvamento da madeira não é muito preocupante porque pode ser minimizado através de um empilhamento correto no processo de secagem. O arqueamento é mais preocupante, pois só pode ser eliminado pela redução do comprimento da peça ou através do desgaste de suas bordas.

Com o objetivo de estudar a curvatura natural da tora e os empenamentos das peças serradas de *E. grandis* e *E. saligna*, de 20 anos de idade e verificar também as correlações existentes entre essas variáveis foi realizado o presente trabalho.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental do projeto que envolveu a seleção do material no campo, identificação, derrubada da árvore, seleção das toras e desdobro, foram descritas no item 3.4. A seguir serão descritas as metodologias utilizadas para as medições das flechas das toras e dos encurvamentos das peças serradas.

5.4.1 Flecha da tora (F)

A flecha da tora, definida como o afastamento máximo de um ponto da sua periferia em relação a este mesmo ponto da tora suposta indeformada, foi medida para possibilitar a comparação das espécies estudadas, quanto à forma e também para verificar a sua influência nos empenamentos das peças serradas. Na Figura 36, pode-se observar o método utilizado para medir a flecha da tora.

Figura 36 – Método utilizado para determinar a flecha da tora, em que a linha pontilhada representa a tora indeformada.

Para medir-se a flecha máxima (F), utilizou-se uma linha bem esticada e presa às extremidades da tora, em seu lado de maior concavidade. Em seguida, com o auxílio de uma régua comum, foi medida a distância da linha à periferia da tora.

5.4.2 Flechas da madeira serrada (f_x e f_y)

Os empenamentos de uma tábua podem ser entendidos como sendo quaisquer distorções ocorrida nessa peça em relação aos seus planos principais. Uma causa importante da ocorrência do encurvamento (f_x) e/ou arqueamento (f_y) está relacionada à liberação das tensões internas de crescimento por ocasião do desdobro (Garcia, 1995).

O encurvamento é a flecha medida no plano perpendicular à face da tábua, Figura 37 (a), e o arqueamento é a flecha medida no plano paralelo à face da tábua Figura 37 (b).

Figura 37 - Método utilizado na determinação do encurvamento (a) e do arqueamento (b), em peças serradas.

Tanto a flecha f_x , oriunda do encurvamento, quanto a flecha f_y , oriunda do arqueamento foram medidas de forma análoga àquela utilizada na medição da flecha da tora.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Flecha da Tora

Observa-se na Tabela 11, que não existem diferenças significativas entre as espécies e entre os tempos de armazenamento. A interação da espécie com o tempo de armazenamento também não foi significativa, mostrando que as duas espécies apresentaram o mesmo padrão de forma em qualquer um dos tempos de armazenamento.

Tabela 11 – Análise de variância para a variável flecha da tora.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	1,73 ns
Tempo de armazenamento (T)	1	0,06 ns
E x T	1	0,18 ns
(Tratamento)	(3)	
Resíduo	156	

ns indica diferenças não significativas entre tratamentos. CV = 25,80. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

O *E. saligna* e o tempo de armazenamento de 3 dias, apresentaram maiores valores de flechas, comparadas aos seus respectivos tratamentos, mas não houve diferença estatística nem entre as espécies e nem entre os tempos de armazenamento, Figura 38 (a e b).

(a)

(b)

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 38 – Flecha da tora de *E. grandis* e *E. saligna* nos tempos de armazenamento T₁ (3 dias) e T₂ (30 dias).

5.5.2 Influência da flecha da tora no encurvamento e no arqueamento das peças serradas

A análise conjunta dos empenamentos, tanto o da tora como os da madeira serrada, genericamente denominados de deformações está mostrada na Tabela 12. Verifica-se que existem diferenças significativas apenas entre as deformações. Não se observa também, nenhuma interação significativa.

Tabela 12 – Análise de variância para as deformações (F), da tora e (F_x) e (F_y) da madeira serrada.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	0,39 ns
Tempo de Armazenamento (T)	1	0,56 ns
Deformações (D)	2	172,58 **
E x T	1	1,32 ns
E x D	2	2,29 ns
T x D	2	0,58 ns
E x T x D	2	0,73 ns
(Tratamento)	(11)	
Resíduo	468	

** indica diferenças entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. ns indica diferenças não significativas entre tratamentos. CV = 20,48. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Verifica-se na Figura 39, que a flecha da tora e o encurvamento da madeira serrada, no estado verde (F_{xv}), não diferiram estatisticamente entre si. Entretanto, pode-se constatar que o arqueamento da madeira serrada no estado verde (F_{yv}) difere significativamente dos outros dois tipos de

empenamento. Depreende-se portanto, que o arqueamento é um defeito independente da flecha da tora e do encurvamento da peça serrada.

Não sendo a flecha da tora a responsável pelo arqueamento da madeira serrada, depreende-se que esse tipo de empenamento foi gerado durante o desdobro das toras. No desdobro, as toras devem estar bem centralizadas para haver liberação uniforme das tensões de crescimento. A centralização das toras, que é realizada visualmente pelo operador da serra dupla é muitas vezes, difícil tendo em vista a alta velocidade de alimentação dessa máquina. Se a tora não estiver bem centralizada, o corte não será simétrico e portanto haverá uma flexão do bloco devido à liberação de tensões de intensidades diferentes. O arqueamento aparece então, quando esse bloco é resserrado na serra múltipla.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 39 – Deformações da tora e da madeira serrada de *E. grandis* e *E. saligna* nos tempos de armazenamento T₁ (3 dias) e T₂ (30 dias).

Os coeficientes de correlação de Pearson obtidos das correlações entre o encurvamento ou o arqueamento da madeira serrada, ambos com a flecha da

tora, foram de 0,18 e 0,14 para o *Eucalyptus grandis* e de 0,16 e 0,08 para a espécie *Eucalyptus saligna*. Deduz-se portanto, que a flecha da tora não explica o encurvamento e nem o arqueamento da madeira serrada, reforçando a hipótese de que esses defeitos estão surgindo durante o processamento mecânico da madeira.

5.5.3 Empenamentos da madeira serrada no estado verde e seco

Na análise de variância efetuada para a variável encurvamento da madeira serrada, no estado verde, (Tabela 13), verifica-se que não existem diferenças significativas nem entre os tempos de armazenamento e nem entre as espécies. Também não houve interação significativa da espécie com o tempo de armazenamento.

Tabela 13 – Análise de variância para a variável encurvamento da madeira serrada, no estado verde.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	0,23 ns
Tempo de armazenamento (T)	1	1,52 ns
E x T	1	0,07 ns
(Tratamento)	(3)	
Resíduo	156	

ns indica diferenças não significativas entre tratamentos. CV = 16,85. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Na Tabela 14, entretanto, verifica-se que existe diferença significativa entre as espécies, no tocante ao arqueamento da madeira serrada. É interessante observar que a interação da espécie com o tempo de armazenamento também foi significativa. Portanto, as espécies não

apresentaram comportamentos semelhantes nos dois tempos de armazenamento.

Tabela 14 – Análise de variância para a variável arqueamento da madeira serrada, no estado verde.

Causa de Variação	Gl	F
Espécie (E)	1	10,76 **
Tempo de armazenamento (T)	1	0,69 ns
E x T	1	19,51 **
T D E1	1	13,79 **
T D E2	1	6,41 **
E D T1	1	0,64 ns
E D T2	1	29,63 **
(Tratamento)	(3)	
Resíduo	156	

** indica diferenças entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade. ns indica diferenças não significativas entre tratamentos. CV = 9,48. Os dados foram transformados por $\sqrt{x+0,5}$.

Houve uma tendência de a espécie *E. saligna* e do tempo de armazenamento 1 (Figura 40), apresentarem valores superiores de encurvamento, respectivamente em relação ao *E. grandis* e tempo de armazenamento 2. Entretanto a análise estatística mostrou que a diferença entre o encurvamento do *E. grandis* ou do tempo 2 não é diferente do encurvamento do *E. saligna* ou do tempo 1.

Para a variável arqueamento da madeira serrada pôde-se verificar que o *E. grandis* apresentou maiores valores. Isso significa que as toras de *E. grandis* apresentam maiores excentricidades naturais ou são, via de regra, serradas assimetricamente.

Letras de mesma cor indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 40 - Empenamentos da madeira serrada, no estado verde, de *E. grandis* e *E. saligna* nos tempos T₁ (3 dias) e T₂ (30 dias) de armazenamento das toras.

A Figura 41, mostra que o *E. grandis* apresentou maiores valores de arqueamento no tempo de armazenamento 2 (30 dias) e o *E. saligna* apresentou um maior valor de arqueamento no tempo 1 (3 dias). Essa é a causa da significância da interação da espécie com o tempo de armazenamento, que confirma que as duas espécies apresentam comportamentos diferentes ao longo do tempo de armazenamento das toras. No caso do *E. grandis*, o tempo de armazenamento de 30 dias foi prejudicial e no caso do *E. saligna* esse tempo foi benéfico. Esse fato indica a necessidade de um estudo profundo a respeito da interação da tensão de crescimento residual da tora com a tensão de secagem que se desenvolve ao longo do tempo de armazenamento.

A ocorrência do encurvamento não é preocupante visto que o mesmo pode ser corrigido, em grande parte, durante o processo de secagem e/ou no momento da utilização das tábuas, quando estas forem fixadas e/ou reduzidas a

comprimentos menores. Pode-se observar na Figura 41, que o encurvamento da madeira diminuiu significativamente quando passou do estado verde para o seco. Isso demonstra a ação benéfica do processo de secagem, mas é importante lembrar que foi introduzida uma tensão de flexão na madeira ainda no estado verde, pelo peso da pilha, e que se armazenou como tensão residual. Isso acontece porque o módulo de elasticidade, da madeira cresce significativamente quando passa do estado verde para o seco, impedindo a deformação no sentido inverso, quando da liberação do peso da pilha depois da secagem. Del Menezzi (1999), também verificou que o encurvamento foi reduzido durante o processo de secagem.

Não houve diferença significativa entre o arqueamento da madeira serrada no estado verde e o arqueamento da madeira serrada seca, exceto para o *E. grandis* no tempo de 3 dias em cujo tratamento, o arqueamento da madeira serrada seca foi superior. É importante observar na Figura 41, que o arqueamento se agrava com a secagem. Isso se deve a uma, ainda desconhecida interação da tensão residual de crescimento armazenada na tábua até antes da secagem com as tensões que se desenvolvem no processo de secagem. O equilíbrio dessas tensões parece estar exigindo contrações diferenciadas das bordas das peças que estão sendo submetidas à secagem.

Letras de mesma cor em cada tempo de armazenamento indicam que as médias foram comparadas entre si

Figura 41 – Empenamentos da madeira serrada, nos estados verde e seco.

A Figura 42, mostra as correlações encontradas na comparação dos empenamentos da madeira seca com os empenamentos da madeira, no estado verde. Os coeficientes de correlação de Pearson mostram que as correlações são possíveis, principalmente para o *E. grandis*. Portanto, é possível estimar-se uma das variáveis quando a outra é conhecida.

Essas correlações mostram ainda que as peças mais empenadas, no estado verde, continuam sendo as mais empenadas, no estado seco. Dessa forma depreende-se que houve um rebaixamento generalizado dos empenamentos e aparentemente constante em todas as classes de intensidade de empenamento.

Figura 42 - Correlações entre os empenamentos da madeira serrada seca e no estado verde, para as espécies *E. grandis* e *E. saligna*.

5.6 CONCLUSÕES

- As espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentam o mesmo comportamento quanto à curvatura da tora e encurvamento. Entretanto, o *E. grandis* apresentou maior arqueamento do que o *E. saligna*. O tempo de armazenamento das toras não é um fator que influência nessa curvatura;
- A flecha da tora não influencia o encurvamento ou o arqueamento da madeira serrada. Portanto, o arqueamento observado na madeira serrada está sendo gerado durante o desdobro;
- As espécies apresentam, quanto ao arqueamento, comportamentos diferentes ao longo do tempo de armazenamento da tora. No tempo de 3 dias as espécies apresentam o mesmo arqueamento, mas o arqueamento do *E. grandis* aumenta significativamente no tempo de 30 dias e o arqueamento do *E. saligna* diminui significativamente. Dessa forma, o arqueamento do *E. saligna* torna-se portanto significativamente diferente do arqueamento do *E. grandis* no tempo de 30 dias;
- O encurvamento da madeira serrada seca é significativamente inferior ao da madeira serrada, no estado verde demonstrando o efeito benéfico do processo de secagem;
- A diferença entre o arqueamento da madeira serrada, no estado verde e o arqueamento da madeira serrada seca também depende da espécie. No *E. grandis* o arqueamento se agrava na secagem enquanto que no *E. saligna* se mantém estável;
- Os empenamentos da madeira serrada seca são proporcionais aos empenamentos da madeira serrada, no estado verde.

5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEL MENEZZI, C. H. S. Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *E. grandis* e *E. cloeziana*. Piracicaba: 1999. 100p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, P.S. Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênies de *Eucalyptus urophylla*. Piracicaba: 1982. 96p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de Eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. Anais. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59 – 67.
- GARCIA, J.N. An Alternative Sawmill Plant To Improve Eucalyptus Lumber Quality. International Wood Machining Seminar. 13. Proceedings Vancouver – Canadá, p. 865 – 874, jun/1997.
- KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. Forest Products Abstracts, v. 10, n. 3, p. 61-119, 1987.
- MARTLEY, J. F. Theoretical calculations of the pressure distribution on the basal section of a tree. Forestry, London. v. 2, n.1,p. 39-72, 1928.
- NICHOLSON, J. E. Growth stress differences in eucalypts. Forest Science, v.19, n.3, p.169 – 174, Set. 1973.

- OKUYAMA, T. Assessment of growth stresses and peripheral strain in standing trees. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*. Salvador, 1997. Anais. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997. v.3, p.1 – 14. p. 01-07.
- PONCE, R. H. Madeira serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. Anais. Piracicaba: IPEF / IPT, 1995. p. 50 – 58.
- SCHACHT, L.; GARCIA, J. N. Variação entre e intra clones nas rachaduras de topo em *Eucalyptus urophylla*, S. T. Blake. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTS*, Salvador, 1997. Anais. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997, v.3, p.401-404.

6. CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

- O tempo de armazenamento das toras no pátio da serraria aumenta as rachaduras de extremidade de tora. Quanto maior o tempo de armazenamento maior será o índice de rachadura;
- O tempo de armazenamento das toras não exerce influência na progressão das rachaduras de extremidade de tora, ao longo da altura das árvores;
- A classe diamétrica da tora não influencia significativamente nos valores do índice de rachadura de extremidade de tora. Entretanto, esse índice decresce com o aumento do diâmetro;
- Os índices de rachadura de extremidade de tora são semelhantes em seções adjacentes da árvore;
- A metodologia utilizada para o cálculo do índice de rachadura de extremidade de tora mostrou-se bastante consistente e portanto permite incorporar essa importante propriedade na seleção de árvores para serraria. Por ser de fácil aplicação, pode ser utilizada até mesmo no campo;
- As tábuas de *E. grandis* racham mais do que as de *E. saligna* independentemente do tempo de armazenamento das toras.

Entretanto, o tempo de armazenamento é prejudicial apenas para o *E. saligna*;

- O diâmetro não influencia nas rachaduras de extremidade de tábua. Entretanto, as rachaduras de extremidade de tábua aumentam proporcionalmente ao aumento da sua largura;
- Existe uma correlação importante entre a rachadura de extremidade de tábua e o índice de rachadura de extremidade de tora para a espécie *E. saligna*. Para a espécie *E. grandis* essa correlação foi muito baixa, indicando que para essa espécie a maior parte das rachaduras das tábuas ocorrem durante o processo de desdobro;
- Ocorre uma redução no rendimento em madeira serrada proporcionalmente ao aumento da conicidade da tora e também proporcionalmente e, na mesma ordem de grandeza, ao aumento da rachadura de extremidade de tábua;
- Existe uma alta correlação entre as rachaduras de tábua pós-destopo e pós-secagem demonstrando que tábuas que racham mais durante o processo de desdobro também racham mais durante o processo de secagem;
- As espécies *E. grandis* e *E. saligna* apresentam o mesmo comportamento quanto à curvatura da tora e encurvamento da peça serrada. Entretanto, o *E. grandis* apresentou maior arqueamento do que o *E. saligna*;
- A flecha da tora não influencia o encurvamento ou o arqueamento da madeira serrada. Portanto, o arqueamento observado na madeira serrada está sendo gerado durante o desdobro, pela simples liberação das tensões residuais na tora;
- O encurvamento da madeira serrada seca é significativamente inferior ao da madeira serrada, no estado verde demonstrando o efeito benéfico do processo de secagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E.N. **O eucalipto**. 2. ed. Jundiaí: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 664p.

AGUIAR, O. J. R. Método para controle das rachaduras de topo em toras de *Eucalyptus grandis*, visando a produção de lâminas por desenrolamento. Piracicaba: 1986. 104 p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BARISKA, M. A method for predicting timber quality in eucalypts. In: MANAGEMENT OF *Eucalyptus grandis* IN SOUTH AFRICA, Stellenbosh, 1990. **Proceedings**. Stellenbosh: Southern African Institute of Forestry, 1990. p.215-228.

BOYD, J.D. Tree growth stress. V. Evidence of an origin in differentiation and lignification. **Wood Science and Technology**, v.6, n.4, p.251-262. 1972.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA – CATIE. **Silvicultura de espécies promissoras para produção de lenha em America Central**: resultados de cinco anos de investigação. Turrialba, 1986, (Série Técnica: Informe Técnico. 86).

CHAFE, S. C. Growth stress in trees. **Australian Forest Research**. v.9, n. 3, p. 203-223. out.1979.

CHAFE, S. C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. **Australian Forest Research**, v.11, n.1, p.79-82, 1981.

- CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress, with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. **Australian Forest Research**, v.15, n.1, p.51-55, 1985.
- CONRADIE, W. E. **Utilization of South African grown *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden) as veneer logs**. Part. 1 Control of end-splitting in veneer logs. CSIR, 1980. 27p. (Special Report, 206).
- CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN, INSTITUTO FORESTAL – COFOR/INFOR. **Principios de organización y operación del aserradero**. Concepción, 1989. 217p.
- COSTA, E. M. A madeira do eucalipto na industria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 4, Curitiba, 1996. **Anais**. Curitiba: ABPM, 1996. p. 75-89.
- DEL MENEZZI, C. H. S. Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *E. grandis* e *E. cloeziana*. Piracicaba: 1999. 100p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- DINWOODIE, J.M. Growth stresses in timber: a review of european investigations. In: IUFRO MEETING OF WORKING GROUPS ON WOOD QUALITY, SAWING AND MACHINING, WOOD AND TREE CHEMISTRY, Melbourne, 1965. **Proceedings**. Melbourne: CSIRO, 1965. v.3, p.1-10.
- FERNANDES, P.S. Variações de densidade da madeira e suas relações com as tensões de crescimento em progênies de *Eucalyptus urophylla*. Piracicaba: 1982. 96p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- FERNANDES, P.S., FERREIRA, M.C. Tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus saligna* e suas relações com os diâmetros. **Revista do Instituto Florestal**. v. 3, n.2.p. 639 – 655, dez. 1991.
- FERRAND, J. Ch. Growth stresses and silviculture of eucalyptus. **Australian Forest Research**, v.13, n.1, p. 75-81, 1983.
- FERREIRA, M. Escolha de espécies de eucalipto. **Circular Técnica – IPEF**, v. 47, p. 1-30, mai. 1979.
- FAO. **Eucalyptus for planting**. Roma, 1981. 677p.
- FREITAS, A.R. ; NETO, O. B. Os avanços tecnológicos no processamento e uso de produtos florestais: Produção de madeira serrada de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais**. São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v. 3, p. 293-295.
- GARCIA, J.N. **Processamento mecânico do pinus e eucalyptus**. Piracicaba: ESALQ/ Departamento de Ciências Florestais, 1988. 20p.
- GARCIA, J.N. Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada. São Paulo, 1992. 262p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de Eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59 – 67.
- GARCIA, J.N. An Alternative Sawmill Plant To Improve Eucalyptus Lumber Quality. **International Wood Machining Seminar**. 13. Proceedings Vancouver – Canadá, p. 865 – 874, jun/1997.
- GOLFARI, L.; PINHEIRO NETO, F. A. Escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**, v.1, n.3, p. 17 – 38, jul./set. 1970.

- GOLFARI, L. ; CASER, R. L. ; MOURA V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil.** Série Técnica: PRODEPEF, v.11, p.1 – 66, 1978.
- GOLFARI, L. ; CASER, R. L. Avaliação da situação Atual dos Experimentos e Plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* na Região Centro – Leste do Brasil. Brasília: PNUD\FAO\IBDF, 1986. 48p.
- JACOBS, M. R. The fibre tension of woody stems with special reference to the genus *Eucalyptus*. Canberra: **Commonwealth Government Printer**, 39 p, 1938.
- JACOBS, M. R. The growth stresses of woody stems. Canberra: **Commonwealth Forestry Bureau**, 67 p, 1945.
- JARA, E.R.P.; MIRANDA, M. J. de A. C.; HUMPHREYS, R. D. Influência do tratamento térmico na redução das tensões internas de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis*. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*. Salvador, 1997. Anais. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997, v.3, p.276 – 280.
- KUBLER, H. Studies on growth stresses in trees – Part I: The origin of growth stresses and the stresses in transverse direction. Commonwealth scientific and industrial research organization. 26 p, 1959.
- KUBLER, H. Studies on growth stresses in trees – Part II: Longitudinal stresses. Commonwealth scientific and industrial research organization. 36p. 1959.
- KUBLER, H. , WILHELMY, V. Stress and Checks in Log Ends From Relieved Growth Stresses. **Wood Science**, v. 6, n. 2, p.136-143, 1973.
- KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, v. 10, n. 3, p. 61-119, 1987.

- KIKUTI, P.; FIER, I.S.N.; CALORI, J. V. Produção de Madeiras de Reflorestamento de Alta Qualidade. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 4, Curitiba, 1996. **Anais**. Curitiba: ABPM, 1996. p. 53 – 58.
- LEITE, H. G. Conversão de troncos em multiprodutos da madeira utilizando programação dinâmica. Viçosa, 1994. 242p. Tese (Dr Sci.). Universidade Federal de Viçosa.
- LIMA, I.L. Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste. Piracicaba: 2000. 106p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LISBÔA, C. D. J. Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill. ex Maiden. Curitiba, 1993. 298p. Tese(Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.
- LISBÔA, C. D. J. Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* (Hill. ex Maiden). **Floresta**, Curitiba, v.23, n.1/2, p. 82 –83, jun/dez. 1995.
- MALAN, F. S. The control of end splitting in sawlogs: A short literature review. **South African Forestry Journal**. n.109, p.14-18, jun. 1979.
- MALAN, F. S. Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* Stellenbosch: US/SA, 1984, 272p. Tese (Doutorado) – University of Stellenbosch.
- MALAN, F. S. Relationships between growth stress and some tree characteristics in South African grown *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**. n.144, p.43-46, 1988.

- MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT, 1995. p. 1 – 19.
- MARTLEY, J. F. Theoretical calculations of the pressure distribution on the basal section of a tree. **Forestry, London**. v. 2, n.1,p. 39-72, 1928.
- MATTHECK, C.; WALTHER, F. A new felling technique to avoid end – splitting of deciduous trees. Karlsruhe, Germany, Karlsruhe Nuclear Research Centre, Institute for Materials Research II, 1991. p. 110-113.
- MONTAGNA, R. G.; PONCE, R. H.; FERNANDES, P. S.; RIBAS, C. Desdobro de *Eucalyptus grandis* visando a diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, v.3, n. 2, p.181-190, 1991.
- NICHOLSON, J. E. Growth stress differences in eucalypts. **Forest Science**, v.19, n.3, p.169 – 174, Set. 1973.
- NOGUEIRA, M.C.J.A. Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil. São Carlos, 1991. 137p. Tese (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- OKUYAMA, T. Assessment of growth stresses and peripheral strain in standing trees. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTUS*. Salvador,1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. v.3, p.1 – 14. p. 01-07.
- PONCE, R. H. Perspectivas do eucalipto na substituição de madeiras nativas. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 3, Curitiba, 1994. **Anais**. Curitiba: ABPM, 1994. p. 41 – 46.

- PONCE, R. H. Madeira serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT, 1995. p. 50 – 58.
- PRIEST, D. T. ; MALAN, F.S.; KNUFFEL, W.; **End – splitting in *E. grandis* sawlogs and sawn timber**. Pretoria: CSIR/National Timber Research Institute:, 1982. 20p. (CSIR Special Report, Hout/223).
- PRIEST, D. T. ; MALAN, F.S.; LINE, C. G.; VAN NIEKERK, J. P. **The yield of furniture grade timber from 12 year old *Eucalyptus grandis***. CSIR/National Timber Research Institute: Pretoria, 1983. 15p. (CSIR Special Report, Hout/281).
- SCHACHT, L.; GARCIA, J. N. Variação entre e intra clones nas rachaduras de topo em *Eucalyptus urophylla*, S. T. Blake. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF *EUCALYPTS*, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1997, v.3, p.401-404.
- SCHACHT, L. Variação de caracteres e suas implicações para o melhoramento genético da madeira serrada em *Eucalyptus urophylla*. Piracicaba: 1998. 74p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SCHACHT, L. ; GARCIA, J. N.; VENCOSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.54, p. 55-68, dez. 1998.
- STEELE, P. H. Factors determining lumber recovery in sawmilling. USDA. Forest Science, FLP General Technical Report, n.39, p.1 – 8, abr. 1984.
- SZYMANI, R. Latest advances in sawmilling. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF / IPT , 1995. p. 68 – 73.

- VAN WYK, J.L. Hardwood sawmilling can have bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, n. 107, p. 47 – 53, dez. 1978.
- VIANNA NETO, J. A. A. Considerações básicas sobre o desdobro de *Pinus* spp. *Silvicultura*, v.8, n. 34, p.15-29, jan./fev. 1984.
- VIGNOTE, S.; MOLINERO, I.; GERARD, J. DIEZ, M. R. Estudio de las tensiones de crecimiento del *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relacion con las características de la estacion y morfologicas del propio arbol. **Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales**, v.5, n.1, p.153 – 176, jun. 1996.
- VILLIERS, A. M. Utilisation problems with some eucalypts in South Africa. In: IUFRO MEETING DIVISION, 5, Pretoria, 1973. **Proceedings**. Pretoria, 1973. v. 2, p. 479 – 512.
- WILSON, P. J. Splitting studies on logs of *Eucalyptus macarthurii*, *E. elata*, and *E. radiata*. **Annual Report Institute for Commercial Forestry Research**, 1985. p. 135-142, 1985.