**UTILIZAÇÃO DE UM MÉTODO COMBINADO DE DESDOBR O
SECAGEM PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE
Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden E *E. cloeziana* F. Muell.**

CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

Engenheiro Florestal

Orientador: Prof. Dr. **MARCIO AUGUSTO RABELO NAHUZ**

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

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Março - 1999

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

Del Menezzi, Cláudio Henrique Soares

Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *E. cloeziana* F. Muell. /

Cláudio Henrique Soares Del Menezzi. - - Piracicaba, 1999.

87p. : il.

Dissertação (mestrado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.

Bibliografia.

1. Madeira de eucalipto 2. Madeira serrada 3. Método de desdobro primário de tora 4. Secagem da madeira I. Título

CDD 674.142

Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e *E. cloeziana* F. Muell.

ERRATA

Pg.	Linha	Onde se lê	Leia-se
20	13	...para o encurvamento o isto não foi tão evidente.	...para o encurvamento isto não foi tão evidente.
30	10	... identificados...	...identificadas...
30	11	...foram...	...foi...
30	17	...área transversal da face maior...	...área transversal do maior topo...
30	18	... área transversal da face menor	...área transversal do menor topo...
33	18	... volume verde de madeira serrada destopada...	...volume de madeira serrada verde..
35	13	...será calculada...	...foi calculada...
39	3	Como será visto mais a frente...	Como será visto mais à frente...
51	24	<i>Pode-se estimar então, que porções da árvore sujeitas a somente um tipo de tensão seriam menos problemáticas, no tocante à rachadura e ao encurvamento.</i>	Ignorar a oração
51-52	27	<i>De fato, Montagna et al. (1991) utilizaram um método que consistiu em cortes simultâneos das costaneiras a 1/3 do raio, retirando a parte tracionada da tora. O bloco resultante ficou somente sob a ação da tensão de compressão e produziu tábuas com menor índice de rachadura em comparação às tábuas retiradas de toras inteiras, sujeitas à tensão de compressão e de tração.</i>	Montagna et al. (1991) utilizaram um método que consistiu em corte simultâneo das costaneiras a 1/3 do raio, retirando a parte tracionada da tora. Os autores afirmam que o bloco resultante, sob ação somente da tensão de compressão, produziu tábuas com menor índice de rachadura em comparação à tábuas obtidas de toras sujeitas à ação de compressão e tração.
52	4	<i>Após um período aproximado de 4 meses de secagem, pode-se observar que <i>E. grandis</i> apresentou um TU final inferior em 1% em comparação a <i>E. cloeziana</i>. O gradiente de umidade, que é a diferença entre o TU externa e o TU interna, ficou abaixo de 10%, refletindo numa boa distribuição de umidade nas ripas.</i>	Após um período aproximado de 4 meses de secagem, pôde-se observar que <i>E. grandis</i> apresentou TU final inferior em 1% em comparação ao <i>E. cloeziana</i> . O gradiente de umidade, que é a diferença entre o TU externo e o TU interno, ficou abaixo de 10%, refletindo numa boa distribuição de umidade nas ripas.
52	16	<i>Após um período aproximado de 4 meses de secagem, pode-se observar que <i>E. grandis</i> apresentou um TU final inferior em 1% em comparação a <i>E. cloeziana</i>. O gradiente de umidade, que é a diferença entre o TU externa e o TU interna, ficou abaixo de 10%, refletindo numa boa distribuição de umidade nas ripas.</i>	Ignorar a oração
53	3	... do material produzindo...	...do material produzido...
58	6	...intensidaddo...	...intensidade...
58	22	..., independente...	..., independentemente...
60	11	<i>Ficou comprovado então, a eficiência...</i>	Ficou comprovada então, a eficiência...
60	29	...uma vez que seria inviável...	...uma vez que seria muito difícil...
62	11	A única exceção foram...	A única exceção foi...

AGRADECIMENTOS

- A Deus, por toda a sua força espiritual a qual me ajudou bastante na superação das dificuldades;
- Aos meus pais e meus irmãos pelo apoio total em todas as etapas dessa jornada;
- À Sílvia Maria, pelo seu apoio e compreensão;
- Ao Prof. Marcio Nahuz, por sua competente orientação e por acreditar bastante em minhas idéias;
- Ao Prof. José Nivaldo Garcia, por seu interesse em dirimir muitas de minhas dúvidas e pelas sugestões;
- Ao Prof. Mário Tomazello Filho, por suas conversas e discussões nas horas mais difíceis e pelas suas sugestões;
- Ao Dr. Mário Rabelo de Souza, por suas sugestões e por acreditar mais uma vez em minhas idéias;
- Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado;
- A todos os funcionários do Agrupamento de Indústrias de Base Florestal do IPT-SP, que participaram direta ou indiretamente da execução deste trabalho, em especial aos operários e ao engenheiro florestal Erwin Jara, chefe do Agrupamento, pelos seus conselhos e sua experiência;
- A todos os funcionários do Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA-DF que participaram direta ou indiretamente da execução desse trabalho, em especial ao estatístico Júlio Mendes pelo auxílio na análise estatística;
- A todos os funcionários do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP;
- Ao Dr. Vicente P. G. Moura, pesquisador da EMBAPA/CPAC, pela concessão (mais uma vez) da madeira utilizada nesse trabalho;

- Aos colegas Alessandra Reis, Andrea Vanini, André Ferreti, Angelina Maron, Ana Lúcia Pincelli, Ariel de Andrade, Carla Daniela, Guilherme de Andrade, Gianpaolla Ciniglio, Kátia Geórgia, Marcos Ducatti, Sílvio Sá e demais colegas da pós-graduação pelo companheirismo e pela amizade;
- Ao engenheiro florestal Edward Branco, pela amizade e pelos conselhos profissionais;
- Ao engenheiro florestal Mauro Magliano, pela ajuda na coleta e seleção das árvores;
- Às pessoas que participaram direta ou indiretamente da execução deste trabalho e a todos que pelo seu interesse sempre perguntavam: “E aí Cláudio, terminou lá em Piracicaba?”.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	XI
SUMMARY	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1 PRINCIPAL OBSTÁCULO	5
2.1.1 <i>Definição e origem</i>	5
2.1.2 <i>Principais consequências</i>	7
2.1.3 <i>Variabilidade</i>	9
2.1.4 <i>Fatores externos</i>	10
2.2 TÉCNICAS DE DESDOBRIO UTILIZADAS PARA MADEIRA DE EUCALIPTO.....	11
2.2.1 <i>Corte tangencial</i>	12
2.2.2 <i>Corte radial</i>	14
2.2.3 <i>Corte simultâneo</i>	16
2.2.4 <i>Método SSR</i>	18
2.3 ESPÉCIES ESTUDADAS.....	25
2.3.1 <i>Eucalyptus grandis Hill ex-Maiden</i>	25
2.3.2 <i>Eucalyptus cloeziana F. Muell.</i>	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 SELEÇÃO E PREPARAÇÃO DO MATERIAL	29
3.2 PROCESSAMENTO DAS TORAS.....	30
3.3 AVALIAÇÃO DOS EMPENAMENTOS E DAS RACHADURAS.....	32
3.4 CONDUÇÃO E AVALIAÇÃO DA SECAGEM.....	34
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	35

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA.....	37
4.2 COMPORTAMENTO NA SERRA E NA RESSERRA.....	40
4.2.1 <i>Frequência dos defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes</i>	40
4.2.2 <i>Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes</i>	42
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS.....	52
4.3.1 <i>Frequência dos defeitos em ripas secas</i>	52
4.3.2 <i>Intensidade dos defeitos em ripas secas</i>	56
4.3.3 <i>Classificação das ripas secas</i>	69
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
APÊNDICE.....	85

LISTA DE FIGURAS

1.	Curvas de distribuição de tensões de crescimento ao longo do raio de uma árvore de 60cm de diâmetro, segundo os modelos de Kubler (1959) e Garcia (1995).....	6
2.	Áreas de ocorrência natural de <i>E. grandis</i> na Austrália (Boland, 1994).	26
3.	Área de ocorrência natural de <i>E. cloeziana</i> na Austrália. (Boland, 1994).	27
4.	Esquema dos métodos utilizados.	32
5.	Retirada de amostras para determinação do teor de umidade final e do gradiente de umidade das ripas.	34
6.	Frequência dos defeitos em tábuas recém-serradas, em relação à posição, para ambas espécies.	41
7.	Frequência dos defeitos em ripas verdes, em relação à posição, para ambas espécies.	42
8.	Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes, em relação à posição, para <i>E. cloeziana</i>	43
9.	Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes, em relação à posição, para <i>E. grandis</i>	44
10.	Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas	47
11.	Curvas de regressão para a intensidade do encurvamento e da rachadura em tábuas recém-serradas segundo a posição radial de onde foram retiradas (* significativo ao nível de 5%).	50
12.	Frequência dos defeitos em ripas secas, para ambas espécies, conforme o método.	53

13.	Frequência dos defeitos, em ripas secas de <i>E. cloeziana</i> , conforme o método e a posição.....	55
14.	Frequência dos defeitos, em ripas secas de <i>E. grandis</i> , conforme o método e a posição.....	56
15.	Intensidade dos defeitos, em ripas secas de <i>E. cloeziana</i> , em relação ao método e à posição.....	57
16.	Intensidade dos defeitos, em ripas secas de <i>E. grandis</i> , em relação ao método e à posição.....	57
17.	Intensidade dos defeitos em ripas secas, conforme o método, para ambas espécies.....	59
18.	Intensidade dos defeitos em ripas, para ambas espécies, conforme o método testado.....	63
19.	Intensidade do encurvamento em tábuas, antes e após secagem, usadas no método SSR e em ripas secas após resserra.....	64
20.	Intensidade do encurvamento nas tábuas usadas no método convencional e nas ripas após resserra e secagem.....	65
21.	Intensidade do arqueamento, antes e após secagem, em ripas produzidas pelo método convencional.....	66
22.	Influência da largura das peças na resistência aos empenamentos.....	67
23.	Porcentagem de rejeitos, para ambas espécies, conforme o método.....	68
24.	Classificação das ripas secas pelo arqueamento.....	70
25.	Classificação das ripas secas pelo encurvamento.....	70
26.	Distribuição teórica de tensões de secagem em tábuas e em ripas após resserra.....	72

LISTA DE TABELAS

1.	Rendimento de madeira serrada verde e seca para <i>E. tereticornis</i> pelos métodos CTB e de cortes radiais.....	14
2.	Intensidade dos defeitos (mm/m) e porcentagem de rejeitos em caibros de “paper-birch” conforme o método de desdobro.	21
3.	Intensidade dos defeitos (mm) e dos rejeitos em caibros de “red alder” conforme o método de desdobro e secagem.....	22
4.	Principais vantagens e desvantagens de dois sistemas de resserra para madeira de eucalipto.....	24
5.	Resumo das especificações das classes de qualidade, para alguns defeitos, para a madeira de eucalipto, segundo proposta conjunta ABPM/IPT.....	35
6.	Análise estatística utilizada no trabalho.....	36
7.	Análise de variância das características das toras e das tábuas produzidas de <i>E. cloeziana</i>	38
8.	Análise de variância das características das toras e das tábuas produzidas de <i>E. grandis</i>	38
9.	Análise de variância das características das toras e das tábuas produzidas para ambas espécies.	39
10.	Síntese do comportamento dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes em relação à posição para ambas espécies.....	45
11.	Teor de umidade final e distribuição de umidade das ripas.....	52
12.	Análise de variância para a intensidade dos defeitos em ripas secas de <i>E. cloeziana</i> , entre posições, para os métodos.	61
13.	Análise de variância para a intensidade dos defeitos em ripas secas de <i>E. grandis</i> , entre posições, para os métodos.....	61

14. Síntese do comportamento, da frequência e da intensidade dos defeitos em ripas secas para ambas espécies. 62
15. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m), em tábuas e em ripas verdes, em relação à posição da tora para *E. cloeziana*. 85
16. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m), em tábuas e em ripas verdes, em relação à posição da tora para *E. grandis*. 85
17. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em tábuas e em ripas verdes, para ambas espécies. 86
18. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em ripas secas, em relação à posição da tora e ao método, para *E. cloeziana*. 86
19. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em ripas secas, em relação à posição da tora e ao método, para *E. grandis*. 87
20. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em ripas secas, em relação à espécie, para os métodos testados. 87

UTILIZAÇÃO DE UM MÉTODO COMBINADO DE DESDOBR E SECAGEM PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden E *E. cloeziana* F. Muell.

Autor: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

Orientador: Prof. MARCIO AUGUSTO RABELO NAHUIZ

RESUMO

O processamento mecânico da madeira de eucalipto pode ser bastante problemático tendo em vista os altos níveis de tensão de crescimento. Essa tensão causa rachaduras e empenamentos, durante o desdobro e a resserra, determinando a redução do rendimento em madeira serrada. O objetivo principal do trabalho foi estudar um método que reduzisse a intensidade e as freqüências desses defeitos, principalmente os ocorridos durante a operação de resserra, em duas espécies de eucalipto: *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana*, ambas oriundas de plantios efetuados no Distrito Federal. Secundariamente, o trabalho objetivou estudar o comportamento das espécies no desdobro, avaliando-se o rendimento em madeira serrada, os empenamentos e as rachaduras em tábuas. O método proposto, chamado de SSR, baseou-se no conceito de serrar-secar-resserrar e consistiu no desdobro das toras e resserra das tábuas na dimensão final somente após a secagem ao ar. Para efeito de comparação foi utilizado um outro método, chamado de convencional, onde a resserra das tábuas foi feita logo após o desdobro das toras. Para cada espécie foram derrubadas 6 árvores, de onde se obteve 12 toras (1ª e 2ª toras), que foram transportadas por caminhão para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), onde foram desdobradas em serra alternativa de quadro cheio. As tábuas oriundas de 6 toras foram imediatamente resserradas em serra circular múltipla (método convencional). O restante das

tábuas foi resserrado somente após a secagem ao ar (método SSR). Os defeitos nas peças foram avaliados no desdobro, na resserra e também após a secagem ao ar. A avaliação consistiu na medição da flecha produzida pelo respectivo defeito e do comprimento da rachadura. As peças produzidas por ambos métodos foram também classificadas para se avaliar a sua qualidade. Os resultados demonstraram que o rendimento em madeira serrada foi igual para ambas espécies, por volta de 52%. Para *E. cloeziana* foi detectada a tendência da 1ª tora de apresentar maior intensidade e frequência de rachaduras e empenamentos, em tábuas recém-serradas e ripas verdes. Em *E. grandis*, essa tendência foi observada na 2ª tora. Na comparação do comportamento entre as espécies, foi observado que o *E. grandis* comportou-se melhor no desdobro apresentando menor frequência e intensidade dos defeitos avaliados nas tábuas recém-serradas e nas ripas verdes. O método proposto, SSR, foi bastante efetivo na redução da frequência e da intensidade do arqueamento em ripas secas para ambas espécies e posições, em comparação ao método convencional. Para o encurvamento, o método SSR reduziu levemente a sua frequência, mas não apresentou efeito no *E. cloeziana* e aumentou a intensidade do defeito no *E. grandis*. Entretanto, o método SSR reduziu em 62% as peças rejeitadas de *E. cloeziana*, em comparação ao método convencional. Para o *E. grandis* esta redução foi da ordem de 38%. Na classificação das peças pelo arqueamento observou-se que o método SSR produziu ripas secas com melhor qualidade que as produzidas pelo método convencional. Entretanto, quando classificadas pelo encurvamento as ripas secas produzidas pelo método convencional apresentaram melhor qualidade que as produzidas pelo método SSR. Observou-se que a posição da tora não influenciou na intensidade dos defeitos em ripas secas produzidas por ambos métodos, para ambas espécies. As duas espécies apresentaram intensidade, estatisticamente igual, para os defeitos avaliados em ripas secas, produzidas pelo método SSR. Tendo em vista os resultados alcançados, recomenda-se a utilização do método SSR para a produção de madeira serrada das duas espécies estudadas.

UTILIZATION OF A SAWING-DRYING COMBINED METHOD OF PRODUCTION OF SAWNWOOD FROM *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden AND *E. cloeziana* F. Muell.

Author: CLÁUDIO HENRIQUE SOARES DEL MENEZZI

Adviser: Prof. MARCIO AUGUSTO RABELO NAHUZ

SUMMARY

The mechanical processing of eucalypt wood is problematic due to the high level of growth stresses. These stresses cause split and warp during sawing and resawing, with a reduction in the yield of sawnwood. The main objective of this work was to study a method to reduce the intensity and frequency of those defects, mainly during the resawing operation, in two eucalypt species: *Eucalyptus grandis* and *E. cloeziana*, both from plantations established in the Distrito Federal. Secondly, this work aimed at studying the behavior of these species during the sawing operation, by evaluating the yield in sawnwood, and the warps and splits in the boards. The proposed method, called SDR and, based on the concept of saw-dry-rip, consisted in sawing the logs and resawing the boards into the final dimension only after air drying. For comparison, a conventional method was used, in which ripping was carried out right after sawing the logs. Six trees were collected of each species, from which 12 logs (1st and 2nd logs) were obtained. These logs were transported by truck to the Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), in São Paulo, where they were sawn in an alternating gang saw. The boards originated from six logs were immediately resawn in a multiple circular saw, characterizing the conventional method. The remaining boards were resawn after air drying, characterizing the SDR method. The defects were evaluated after sawing, then after resawing and also after air drying. The evaluation consisted of determining the deflection produced by the

respective defect and measuring the length of the splits. The pieces produced by both methods were also classified to evaluate their quality. The results demonstrated that the yield in sawnwood was similar in both species, about 52%. *E. cloeziana* showed higher intensity and frequency of defects in the first log, in fresh-sawn boards and fresh ripped boards. In *E. grandis*, this tendency was observed in the second log. Comparing the two species, it became apparent that *E. grandis* behaved better in sawing, showing less frequency and intensity of defects as evaluated in fresh-sawn boards and in the fresh ripped boards. The SDR method was effective in reducing the frequency and intensity of crook in dry ripped boards for both species and positions, in comparison with the conventional method. For bow, the SDR method reduced its frequency slightly, but it was not as effective with *E. cloeziana* and it increased the intensity of this defect in *E. grandis*. However, the SDR method reduced by 62% the rejected pieces of *E. cloeziana* in comparison with the conventional method. For *E. grandis* this reduction was 38%. After classifying the pieces for crook, it was observed that the SDR method produced dry ripped boards with better quality than those produced by the conventional method. However, when classified for bow, the dry ripped boards produced by the conventional method showed better quality than those produced by the SDR method. It was also observed, that the log position in the tree did not influence the intensity of the defects in the dry ripped boards produced by both methods, for both species. The two species showed equal intensity of defects as evaluated in the dry ripped boards, produced by the SDR method. Concluding, the SDR method is recommended for the production of sawnwood of the two species studied.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil a produção de madeira serrada de espécies de reflorestamento baseia-se significativamente no gênero *Pinus*. As espécies plantadas desse gênero, tais como *P. oocarpa*, *P. taeda* e *P. elliotti* não apresentam dificuldades no seu processamento, estando completamente aptas para a produção de madeira serrada. Entretanto, nos últimos anos o estoque dessas florestas tem diminuído consideravelmente, o que tem despertado o interesse por espécies alternativas que apresentem rápido crescimento. Uma das alternativas é a utilização das espécies do gênero *Eucalyptus*.

A madeira de eucalipto é usada maciçamente na indústria papelreira, como fonte de fibras, e na indústria metalúrgica, como energético, e talvez no mundo, o Brasil seja o país que mais a utiliza para estes fins. Entretanto, algumas empresas possuem grandes áreas de florestas de eucalipto, que dado às características de suas árvores, possuem limitações para a produção de celulose e papel, e deste modo poderiam ser destinadas para a produção de madeira serrada. A pressão ambientalista contra a utilização irracional de madeiras amazônicas tem impulsionado, também, o interesse por esse gênero para a produção de produtos sólidos de madeira. Assim, alguns estudos foram feitos, como por exemplo, para se utilizar o eucalipto na fabricação de painéis à base de madeira.

Gaiotto et al. (1993) produziram compensado de *E. grandis* e os resultados dos ensaios de resistência mecânica foram iguais ou levemente superiores aos do compensado comercial de *Araucaria angustifolia*. Del Menezzi et al. (1996) estudaram a mistura de *E. urophylla* e *P. oocarpa* na fabricação de

chapas aglomeradas e chegaram a conclusão de que a utilização de 50% (baseado na massa seca) de ambas espécies produz chapas com propriedades mecânicas que atendem à norma comercial da American National Standards Institute. Em estudo similar, Iwakiri et al. (1996) produziram chapas aglomeradas com mistura de *E. dunnii* e *P. elliottii* e chegaram a conclusão de é possível fabricar chapas que atendam às exigências de norma comercial com 100% de eucalipto.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam altos níveis de tensão de crescimento. Essas tensões são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore que ajudam a manter o equilíbrio da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e agentes silviculturais (desbaste, poda e densidade de plantio). Quando as árvores são derrubadas e suas toras são desdobradas, essas tensões são liberadas, provocando a formação de rachaduras de topo nas toras, e empenamentos e rachaduras nas tábuas, reduzindo significativamente o rendimento de madeira serrada.

Esses problemas talvez tenham desestimulado pesquisas e, assim, poucos estudos na área de processamento mecânico de eucalipto foram feitos até o início da década de 80, destacando-se o trabalho de Berengut et al. (1973), que estudaram o desdobro de *E. saligna*.

Na década de 90 observa-se um impulso nos estudos sobre a utilização de eucalipto para a produção de madeira serrada. Deste modo, Montagna et al. (1991) avaliaram a técnica de desdobro de retirada da costaneira a 1/3 do raio, cujos os resultados demonstraram que a incidência de rachaduras nas tábuas foi diminuída. Em nível de pós-graduação, duas teses de doutorado foram defendidas: Garcia (1992) e Lisbôa (1993). Ambas tiveram como objetivo principal o estudo dos níveis de tensão de crescimento em árvores e a deformação ocorrida no material serrado.

Alguns anos mais tarde, em 1995, realizou-se em São Paulo o 1º Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria (1995) onde o setor florestal brasileiro pôde conhecer mais profundamente as

limitações da madeira de eucalipto e discutir os futuros trabalhos a serem realizados para superação destes problemas. Esse evento veio impulsionar os estudos na área de processamento mecânico e secagem de eucalipto, outro setor também bastante problemático.

Miranda & Nahuz (1997) estudaram o efeito do espaçamento de plantio sobre os rendimentos de madeira serrada de *E. saligna* e não encontraram diferença significativa entre os três espaçamentos testados. Jara et al. (1997) estudaram a influência do tratamento térmico na redução das tensões de crescimento e no rendimento de madeira serrada de *E. grandis*.

Em 1998, teve lugar em Belo Horizonte outro evento de grande envergadura, o 1º Encontro sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto (1998), onde foram apresentados os últimos avanços na área, bem como os resultados das primeiras experiências de produção industrial de madeira de eucalipto. Atualmente no Brasil a madeira de eucalipto é uma realidade, e muitas empresas já a produzem industrialmente, entre elas, Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara (Minas Gerais), Flosul (Rio Grande do Sul), Klabin (Paraná) e Tecflor (Bahia).

Na área de processamento secundário, os trabalhos de Priest (1982) e Costa (1996) demonstraram que o eucalipto se comporta bem nos processamentos secundários tais como: lixamento, furação, torneamento, colagem e acabamento que o qualifica como potencial madeira para a produção de móveis. Recentemente, Gonçalves et al. (1998) estudaram os esforços de corte, de três espécies de eucalipto plantadas no Estado de São Paulo: *E. grandis*, *E. citriodora* e *E. saligna*. Este tipo de trabalho é essencial para se desenhar ferramentas de corte para madeira. Entretanto, os trabalhos até agora desenvolvidos não resolveram por completo as limitações da madeira de eucalipto e assim torna-se necessário a continuidade dos estudos.

Deste modo, o objetivo principal do trabalho foi estudar um método que reduza a incidência e a frequência dos defeitos oriundos da liberação das tensões de crescimento em duas espécies de eucalipto: *E. grandis* e *E.*

cloeziana. O método baseia-se no conceito serrar-secar-resserrar, chamado de SSR, cuja característica principal é a realização da resserra das tábuas somente após o processo de secagem. Secundariamente, o trabalho objetivou estudar o comportamento de ambas espécies no desdobro, avaliando-se e comparando-se o rendimento em madeira serrada, os empenamentos e as rachaduras em tábuas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Principal obstáculo

A madeira de eucalipto apresenta algumas limitações que dificultam o seu emprego como fonte de madeira serrada. Destas, a: madeira juvenil, as bolsas de quino, os nós, o colapso durante o processo de secagem, e as tensões de crescimento já foram citadas por Ponce (1995). Entretanto, são as tensões de crescimento o principal obstáculo a impedir que o eucalipto se consolide como fonte de madeira serrada, para os vários segmentos madeireiros. Assim, apresenta-se aqui uma breve descrição do problema, abordando sua definição, sua origem, suas consequências e os fatores que o influenciam.

2.1.1 Definição e origem

Segundo Wilkins (1986), as tensões de crescimento são tensões mecânicas, geradas dentro de árvores vivas, que ocorrem nas direções tangencial, radial e longitudinal. Nesta última direção, as tensões apresentam a mais severa forma, com uma distribuição variando progressivamente de tração na periferia da árvore (casca), até máxima compressão no centro (medula) (Figura 1).

Figura 1 - Curvas de distribuição de tensões de crescimento ao longo do raio de uma árvore de 60cm de diâmetro, segundo os modelos de Kubler (1959) e Garcia (1995).

O papel principal destas tensões é fornecer suporte à árvore durante a sua vida. Através da sua ativação, a árvore regula a posição de sua copa em resposta às condições ambientais que lhe são impostas. Como as árvores estão imóveis, a ação das tensões em um de seus lados, por exemplo, permite que ela se curve numa direção mais favorável, embora árvores de grande diâmetro necessitem de vários anos para, lentamente, se endireitarem (Kubler, 1987; 1988).

As tensões de crescimento estão em equilíbrio enquanto a árvore está em pé, mas tão logo esta é cortada, ocorrem imediatamente deformações e rachaduras nos topos das toras, em função da modificação do estado de equilíbrio que vigorava durante o crescimento (Ferrand, 1983). Sendo assim, a zona periférica da tora, sob tração, tende, após o corte, a encurtar, e a zona

central, sob compressão, tende a expandir e empurrar a face do corte para o exterior, causando as rachaduras de topo nas toras (Malan, 1979).

A tensão de tração ocorrente na periferia da árvore é causada pelo encurtamento das fibras durante o desenvolvimento da parede secundária. Segundo Wilkins (1986) este encurtamento pode ser devido a duas causas, que são, por enquanto, hipóteses: inchamento pela lignina e tração da celulose. A primeira hipótese foi proposta por Watanabe¹ e Boyd² citados por Wilkins (1986) e sugere que a deposição da lignina durante a diferenciação celular resulta no inchamento da parede celular, e caso o ângulo das microfibrilas da camada S₂ seja menor que 40°, ocorrerá encurtamento da célula e, se for maior que 40°, ocorrerá alongamento. A outra hipótese sugere que o encurtamento das células periféricas é resultante da contração dos cristais de celulose nas microfibrilas da camada S₂ e como, na hipótese anterior, é o ângulo da microfibrila desta camada que definirá se a célula encurtará ou alongará. Kubler³ citado por Wilkins (1986), sustenta esta última hipótese, e argumenta que a tração longitudinal (i.e. o encurtamento das células) está presente antes da deposição da lignina, o que contrapõe a hipótese do inchamento pela lignina.

2.1.2 Principais consequências

Segundo Nicholson (1973), este fenômeno está presente em todos os gêneros de árvore, sendo o gênero *Eucalyptus*, o exemplo mais notável de madeira comercial, onde os níveis de tensão podem ser tão altos, que reduzem a produção de madeira serrada de três modos:

¹ WATANABE, H. A study of the origin of longitudinal growth stress in tree stems. **Anais. IUFRO-41 Meeting**, Melbourne Austrália, 3, 17p.

² BOYD, J.D. Tree growth stress. V. Evidence of an origin in differentiation and lignification. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 6, n. 4, p. 251-262. 1972.

³ KUBLER, H. Studies in growth stress. Part 1: The origin of growth stress and the stresses in transverse direction. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 17, n. 1, p. 1-9, 1959. (em alemão).

1. rachaduras de topo em toras, o que requer consideráveis operações de destopamento;
2. distorção das toras e tábuas no desdobro que requerem resserra para se obter produtos comercializáveis; e
3. cerne quebradiço ("brittle heart") que toma esta porção indisponível para fins onde se necessite de material resistente;

Além disso, segundo Chafe (1979), as tensões de crescimento afetam a utilização da madeira de eucalipto de várias outras formas: empenamento das costaneiras e das tábuas oriundas da periferia das toras, movimentação da tora na mesa de corte, retenção da serra, rachadura da tábua diametral, e a espessura irregular e variável em tábuas. A rachadura das tábuas diametraes ocorre porque a tensão longitudinal não está mais balanceada pelas tensões das tábuas laterais, que já foram cortadas, e assim as tensões opostas ocorrentes nesta tábua provocam o seu rachamento na extremidade, na região da medula (Panshin & De Zeeuw, 1970).

O cerne quebradiço é outra consequência das tensões de crescimento. Como dito anteriormente, a parte periférica está sob tração, ocasionada pelo amadurecimento (encurtamento das células periféricas), fazendo com que a parte interna seja comprimida. Com o crescimento da árvore ocorre o aumento desta força de compressão, que eventualmente excede a resistência à compressão paralela da madeira, causando diversas falhas de compressão. Estas, no conjunto dão origem ao cerne quebradiço (Malan, 1995). Segundo Chafe (1979) quando uma árvore é cortada e previamente já possui este defeito, as rachaduras de topo poderão ser mais largas, começando desde a medula.

No entanto, Van Wyk (1978) relaciona algumas providências na preparação da tora, que podem reduzir a incidência destas rachaduras de topo, melhorando o seu aproveitamento na serraria:

1. corte circunferencial de 25 a 40mm acima do local de corte da árvore, na posição equivalente a $1/3$ do diâmetro da tora;
2. transporte da tora para serraria em tamanhos os maiores possíveis;
3. transporte e desdobro da tora dentro do prazo de 30 horas após o corte da árvore; e
4. descascamento da tora somente na serraria;

2.1.3 Variabilidade

Yao (1979) estudou os níveis de tensões de crescimento em função da posição de amostragem no tronco. O autor estudou “white-ash” (*Fraxinus americana*), “water-oak” (*Quercus nigra*) e “shagbark hickory” (*Carya ovata*) e encontrou que, para as duas primeiras espécies, os níveis de tensões aumentam no sentido base - topo, tendência essa comprovada estatisticamente através de uma análise de regressão. No entanto, não foi encontrada diferença significativa, entre as espécies, para os níveis de tensões, sugerindo que estes sejam de mesma magnitude para as espécies.

Resultados semelhantes foram encontrados por Chafe (1981) para *E. regnans*. O autor observou a ocorrência do aumento das tensões no sentido base - topo, o que não foi comprovado estatisticamente através de correlação. No entanto, os níveis de tensão foram maiores nas regiões superiores da árvore, e segundo o autor, toras obtidas desta região estão mais susceptíveis às

rachaduras, uma vez que maiores níveis de tensão são distribuídos em um menor diâmetro de tora. Sendo assim, toras de maior diâmetro têm um potencial maior de produzir tábuas de melhor qualidade do que toras de pequeno diâmetro (Van Wyk, 1978).

Chafe (1985) estudando este mesmo tipo de variação das tensões de crescimento em *E. nitens*, encontrou um resultado contrário, ou seja, uma diminuição das tensões no sentido base - topo, comportamento este comprovado através de análise de regressão estatisticamente significativa.

Um vez que existe esta variação do nível de tensões de crescimento no sentido base - topo, cuja variação pode ser inversa ou não, é de se esperar que haja também uma variação no que se refere ao diâmetro, uma vez que este diminui no sentido base - topo.

No entanto, Chafe (1995) trabalhando com *E. nitens* e *E. regnans*, observou que não houve uma correlação significativa entre as tensões de crescimento e o diâmetro de árvores em pé de *E. nitens*. Entretanto, a correlação foi altamente significativa e positiva para árvores em pé de *E. regnans* e árvores abatidas de *E. nitens*. Sendo assim, o aumento do diâmetro das árvores resultou no aumento das tensões de crescimento.

2.1.4 Fatores externos

As hipóteses de origem das tensões de crescimento na madeira de eucalipto levam em consideração o fator intrínseco da espécie, mas muitas evidências apontam também uma significativa influência ambiental (Wilkins, 1986; Kubler, 1988).

Muitos fatores externos, ambientais ou silviculturais, podem influenciar a intensidade das tensões de crescimento, a saber: a taxa de crescimento, a desrama, o desbaste, o espaçamento, o manejo florestal, o tipo de solo e os ventos.

Wilkins & Kitahara (1991) estudando árvores de 22 anos e de diâmetros diferentes de *E. grandis*, concluíram que não houve uma correlação significativa entre as deformações periféricas longitudinais, oriundas das tensões de crescimento, e a taxa de crescimento. Os autores sugerem, então, que o gradiente de deformações, da medula à casca, é menor em árvores de maior diâmetro (i.e. maiores taxas de crescimento), e assim esses indivíduos seriam menos susceptíveis às rachaduras durante o corte e desdobro do que árvores de menores diâmetros.

Kubler (1988) comenta que os desbastes podem desestabilizar e afirma que o desbaste pode mudar o padrão de iluminação da árvore, provocando reorientação dos ramos e do fuste, em função do fototropismo e aumentando assim as tensões. O autor conclui, então, que os plantios devem ser desbastados levemente, freqüentemente e uniformemente. No entanto Ferrand (1982) estudando *E. nitens* verificou que os níveis de tensões de crescimento diminuíram a medida que se aumentou intensidade de desbaste.

2.2 Técnicas de desdobro utilizadas para madeira de eucalipto

As técnicas de desdobro podem ser classificadas: a) segundo os anéis de crescimento e os raios lenhosos (tangencial ou radial); b) segundo o eixo longitudinal (paralelo à casca ou à medula); c) segundo a continuidade dos cortes (sucessivo, simultâneo ou alternado); e d) sistemas especiais de corte por defeitos (Tuset & Duran, 1986).

Para o processamento da madeira de eucalipto, esta classificação é válida e tem sido usada nas suas diversas formas. No entanto, a madeira de eucalipto apresenta uma particularidade, que faz com que essas técnicas apresentem resultados bem distintos: os altos níveis de tensão de crescimento. Conforme a técnica utilizada, as conseqüências das tensões de crescimento, já anteriormente citadas, podem ser maximizadas ou minoradas.

2.2.1 Corte tangencial

Consiste na obtenção de peças tangenciais às camadas de crescimento. Esta técnica foi testada por Pandey et al. (1984), em um estudo do efeito do tipo de desdobro sobre o comportamento na secagem de tábuas de 25 mm de *E. tereticomis*. Segundo os autores, esta técnica é bastante utilizada para outras espécies de madeira mas, quando é aplicada para madeira de eucalipto, apresenta problemas. Um destes problemas é que a parte interior da tábua, que está sob compressão, com o corte, tende a alongar, e a parte exterior da tábua, sob tração, tende a encurtar. Deste modo, a tábua retirada no sentido tangencial que teoricamente seria reta, torna-se encurvada para fora da tora. Relatam ainda os autores, que de 15 a 20% das tábuas obtidas deste modo, imediatamente após o corte, desenvolveram rachaduras devido a um gradiente severo de deformação existente através do diâmetro da tora. Os autores comentam também que as peças assim obtidas apresentam diversos problemas durante processos subseqüentes, tais como: colapso, empenamento, fendas de superfície e torcimento.

(Ferrand (1983) afirma que adotar o sistema de corte tangencial, tem a vantagem das tábuas apresentarem encurvamento, o que pode ser mais facilmente consertado do que as tábuas radiais.) Entretanto, como o autor afirma, para se obter unicamente cortes tangenciais torna-se necessário voltar a tora freqüentemente na serra. Isso seria antieconômico sem a presença de uma régua-guia móvel ("line-bar"), que é colocada do lado oposto ao carrinho em relação a linha de serra, e, por ocasião de cada volteamento, tal régua segura a tora permitindo o seu volteamento e o seu rápido alinhamento.

Segundo Walker (1993), originalmente esta régua-guia foi desenvolvida para ser utilizada em resserras, proporcionando uma longa barreira contra a qual a face da tora fosse pressionada, possibilitando um bom alinhamento na serra. Quando adaptada à serra principal (de entrada), a régua-guia é posicionada hidráulicamente definindo a espessura de corte. O autor

afirma ainda que no corte de abertura, a régua-guia é utilizada somente para alinhar a tora, garantindo que o primeiro corte seja paralelo à outra face da tora, e no segundo corte a face serrada da tora é pressionada firmemente contra a régua-guia, pelos ganchos do carrinho, que são operados separadamente. A face serrada da tora remanescente apresenta-se levemente empenada, por causa da liberação das tensões e sendo assim faz contato com a régua-guia em somente um ponto. O operador da máquina deve ajustar individualmente a pressão de cada gancho do carrinho, de modo a manter contato com a régua-guia apenas no ponto adiante da serra, para que a tora mova pela serra.

(A régua-guia é utilizada na Austrália (Haslett, 1988) e também lá o corte tangencial é preferido por apresentar melhor desenho, maior rendimento de madeira serrada, menor limitação de largura das tábuas e maior rapidez de secagem (Vermaas, 1995). Entretanto, a régua-guia não impede o encurvamento da tora remanescente no carrinho e da tábua recém cortada, fazendo somente com que as tábuas posteriormente cortadas apresentem menores variações de espessura ao longo de seu comprimento, o que de certo modo já é um benefício.)

(O método descrito acima apresenta uma variação, onde as toras ao invés de volteadas 90°, são volteadas 180°, permitindo a retirada alternada de tábuas, liberando gradualmente as tensões em ambos os lados da tora (Kauman et al., 1995). Esta variação é conhecida como CTB (corte tangencial balanceado), e foi testada por Sharma et al. (1988) para o processamento da madeira de *E. tereticornis*. Os resultados foram comparados com os resultados da técnica de cortes tangenciais testada por Pandey et al. (1984), conforme visto na Tabela 1.)

Tabela 1. Rendimento de madeira serrada verde e seca para *E. tereticornis* pelos métodos CTB e de cortes radiais.

Método	Degradação ¹	Rendimento	
		Madeira úmida	Madeira seca
CTB ²	42,1	70,4	58,3
Cortes radiais	57,5	55,3	55,3

Fonte: Sharma et al. (1988).

(1) porcentagem média das tábuas que apresentaram empenamentos e variação na espessura, logo após a serragem; (2) corte tangencial balanceado;

Os autores afirmam que o CTB produziu tábuas de espessura mais uniforme e com reduzida incidência de empenamentos, após a serragem, em relação à técnica de cortes radiais. No entanto, as tábuas tangenciais produzidas apresentaram durante a secagem o seguinte comportamento: tábuas contendo alburno e cerne foram secas sem problemas, exceto pela ocorrência de falhas nos anéis; e tábuas contendo medula, ocasionalmente apresentaram fendas superficiais acompanhada de um moderado a severo encanoamento. Pode-se observar, pela análise da Tabela 1, que as tábuas radiais não apresentaram degradação durante o processo de secagem.

2.2.2 Corte radial

Nesta técnica são feitos cortes radiais, em relação às camadas de crescimento, com o objetivo de obter o maior número possível de tábuas cujas as faces sejam paralelas aos raios (Bootle, 1983). Este autor afirma que uma peça é tida como “completamente radial” quando os anéis de crescimento possuem um ângulo maior que 80° em relação à face da tábua e que tal técnica apresenta numerosas vantagens, tais como:

1. possibilita melhor aparência à madeira de folhosas, através da disposição dos raios e da grã;
2. apresenta menor contração no sentido da largura da tábua, proporcionando menor movimentação em serviço;
3. as bolsas de quino, comumente encontradas em eucalipto apresentam-se, neste tipo de tábua, como linhas finas, sendo aceitáveis quanto à aparência;
4. tábuas radiais geralmente são menos susceptíveis ao encanoamento e ao fendilhamento; e
5. tábuas de eucalipto, susceptíveis ao colapso durante a secagem, respondem melhor ao condicionamento se forem radiais;

Os autores afirmam que os problemas encontrados na técnica de cortes tangenciais, citados acima, podem ser evitados quando é utilizada a técnica de cortes radiais. No entanto, afirmam que esta técnica pode ser facilmente empregada em toras de grande diâmetro (aproximadamente 1 metro), mas torna-se inviável para toras de diâmetros menores

Segundo Vermaas (1995), as tábuas radiais apresentam menos fendilhamento superficial (durante a secagem) que as tábuas tangenciais. Entretanto, este tipo de corte requer toras de maiores diâmetros, o que tem feito com que sua utilização tenha diminuído na Austrália, diante da redução do tamanho das toras disponíveis.

Sharma et al. (1988), estudando *E. tereticornis*, observaram que já na preparação da tora, o quadrante obtido sofria apreciável empenamento ainda na serra, o que dificultou a obtenção de tábuas de espessura uniforme nos cortes subseqüentes. Isto pode ser atribuído ao fato de que esta técnica envolve o quarteamento até a medula que é justamente a posição onde ocorre o gradiente máximo de tensão. Entretanto, os autores ressaltam que as tábuas

assim obtidas apresentaram bom comportamento na secagem: ausência de fendas superficiais, exceto nas porções contendo medula; o desenvolvimento de colapso brando; e o arqueamento presente inicialmente não tendo sido agravado no processo de secagem. Outro fato é que esta técnica exige uma movimentação excessiva da tora, ocasionando grande perda de tempo, o que reduz a produtividade.

As tábuas retiradas de cortes radiais tendem a apresentar arqueamento logo após o desdobro, e assim tais peças só são endireitadas mediante desgaste lateral, o que de certa forma reduz a produtividade (Garcia, 1995). Contudo, segundo este mesmo autor, tais peças não estarão inutilizadas, sendo adequadas para solicitações de flexão, onde a flecha natural (arqueamento) serve como uma contra flecha na estrutura.

2.2.3 Corte simultâneo

Nesta técnica os cortes são feitos ao mesmo tempo, e não há uma orientação em relação aos anéis de crescimento, proporcionando uma mistura de tábuas radiais e tangenciais. Segundo Tuset & Duran (1986), este tipo de corte está sendo cada vez mais utilizado e consiste na realização de dois ou mais cortes por vez sendo um trabalho de serras alternativas, não obstante ser possível também a utilização de serras circulares duplas e múltiplas e de serras de fita duplas ou quádruplas.

Baseia-se no fato de que com os cortes simultâneos ocorrerá uma liberação simétrica e simultânea das tensões, produzindo tábuas de medidas precisas (Malan, 1979). Segundo Page (1978), estas serras alternativas apresentam as vantagens de serem rápidas, de alta produtividade e possuírem precisa espessura de corte. Todavia, estas serras requerem toras de qualidade e diâmetro uniformes, uma vez que não é possível voltar a tora, explorando cortes para maximizar o seu rendimento (Walker, 1993).

Van Wyk (1978) afirma que tais serras alternativas são utilizadas na África do Sul para o desdobro de toras de pequeno diâmetro de eucalipto, porém é importante observar alguns aspectos:

1. a pressão do rolo alimentador da máquina deve ser corretamente ajustada para assegurar um firme posicionamento da tora, mas evitando o seu rachamento;
2. no lado de saída da madeira serrada deve haver rolos laterais para firmarem as costaneiras e reduzirem a abertura da tora; e
3. as serras devem ser posicionadas de modo a fazer um corte simétrico da tora, liberando as tensões na sua parte exterior;

É interessante notar que com os cortes simultâneos tem-se a produção de tábuas com medula e/ou cerne quebradiço, o que ocasiona a produção de tábuas de qualidade inferior. Priest et al. (1983) em um experimento com *E. grandis*, desdobrando toras de 15 a 39 cm em serra alternativa obtiveram rendimento de madeira serrada da ordem de 56,4%, e de 27% para madeira seca especificamente para fabricação de móveis. Relatam ainda que na maioria das tábuas verdes ocorreu algum tipo de empenamento, e o encanoamento e torcimento desenvolveram-se quando as tábuas foram secas. Na Argentina, segundo Acosta (1995), anteriormente as serrarias utilizavam serras alternativas múltiplas, mas diante de sua baixa velocidade e difícil manutenção foram quase que totalmente abandonadas. O autor cita um trabalho de Bianchet (1983), em que o desdobro de *E. grandis* proporcionou um rendimento de até 48% utilizando-se este equipamento. Todavia, atualmente tem sido utilizadas serras circulares duplas de entrada, para retirada das costaneiras, e em seguida o bloco restante é desdobrado por serras circulares múltiplas de 1 ou 2 eixos.

Em um outro sistema, as serras duplas fazem simetricamente dois cortes, retirando as costaneiras, resultando assim em um bloco que não apresentará distorção e que normalmente consegue suportar as tensões de crescimento sem rachar. Em seguida, o bloco pode ser resserrado por cortes simultâneos, ou seqüencialmente (Walker, 1993). Montagna et al. (1991) utilizaram a técnica de cortes simultâneos das 2 costaneiras a 1/3 do raio (Figura 8), voltaram a tora e novamente retiraram as 2 costaneiras na mesma posição, utilizando serra de fita dupla. Em seguida com o bloco resultante obtiveram tábuas seqüenciadas utilizando serra de fita simples. Isto se baseia no fato de que, segundo Boyd (1950) citado por Chafe (1979), as tensões de crescimento de compressão e de tração são zero a 1/3 do raio da tora, no sentido casca - medula, e sendo assim, com a retirada parcial desta parte tracionada da tora, o bloco resultante estará menos susceptível às consequências das tensões de crescimento. Os autores comentam que as tábuas de *E. grandis* obtidas através de tal técnica apresentaram um menor índice de rachadura em comparação com aquelas obtidas com a técnica de cortes paralelos.

É importante notar que nesta técnica de cortes simultâneos, as tábuas apresentarão distorções do mesmo modo que em outras técnicas. Contudo, as tábuas apresentarão menor variação de espessura que nos outros métodos, em função da liberação simultânea e simétrica das tensões de crescimento.

2.2.4 Método SSR

Este método foi desenvolvido pelo Forest Products Laboratory, em Madison - EUA, com o objetivo de se aumentar a utilização de espécies de folhosas de baixa a média densidade (Erickson et al., 1986) e diminuir os empenamentos das tábuas oriundos principalmente das tensões de crescimento ocorrentes nestas folhosas. Este método baseia-se no conceito de

serrar-secar-resserrar (SSR), conhecido em inglês como SDR ("saw-dry-rip"), que envolve o desdobro das toras em cortes paralelos e simultâneos (abordado no item 2.2.3), produzindo-se pranchas espessas que são secas, para em seguida serem resserradas nas dimensões finais desejadas. Segundo Maeglin & Boone (1983a), os precursores deste método, a ação deste método sobre a liberação das tensões de crescimento é baseada em quatro teorias:

1. os cortes paralelos e simultâneos tendem a balancear as tensões pelas faces da tábua, restringindo o encurvamento da peça;
2. a largura extra das tábuas contribui impedindo o seu arqueamento;
3. as tensões de secagem tendem a compensar em parte as tensões de crescimento - teoria corroborada também por Marshal (1973); e
4. a plastificação da lignina a altas temperaturas ($> 100^{\circ}\text{C}$) ajuda na liberação das tensões.

Malan (1995) afirma que alguns pesquisadores acham que as tábuas devem ser secas para somente em seguida serem canteadas, uma vez que a canteadeira remove a parte exterior da tábua, onde alta tensão de tração existe, o que de certo modo desbalanceia a distribuição das tensões através das tábuas. Além disso, uma certa proporção das tábuas canteadas desenvolverá rachaduras de topo e empenos durante a secagem, provocando assim novas operações de destopo e canteamento.

Por outro lado, quando não se faz o canteamento, um certo espaço na estufa é perdido, já que a pilha não será compacta, como nas pilhas de madeira canteada. Haslett (1988) afirma que só recentemente algumas empresas da Tasmânia têm canteado as tábuas para remover o esmoado e o

excesso de conicidade, e têm obtido aumentos consideráveis no volume de madeira empilhada para secagem.

Maeglin & Boone (1983a) estudaram o desdobro de “yellow-poplar” (*Liriodendron tulipifera*), comparando o método SSR e o convencional, e duas formas de secagem: convencional e a alta temperatura. Os autores concluíram que o SSR foi o melhor método de desdobro, produzindo a menor porcentagem de rejeitos e reduzindo em quase 60% a intensidade do arqueamento, quando foi utilizada a secagem convencional, e em quase 80% quando utilizada a secagem a alta temperatura. Já o efeito sobre o encurvamento não foi tão acentuado, reduzindo-se a sua intensidade em respectivamente 22% na secagem convencional e 38% na secagem a alta temperatura. Os autores concluíram que as toras da base produziram caibros com maior intensidade de arqueamento, mas para o encurvamento o isto não foi tão evidente.

Em um outro trabalho, Maeglin & Boone (1983b) estudaram o desdobro de *Pinus ponderosa* e não encontraram diferença significativa entre o método SSR e o convencional na intensidade do encurvamento e do arqueamento. Entretanto, tal diferença foi detectada na intensidade do torcimento. Segundo os autores, o que mais influenciou os empenamentos foi a madeira juvenil e a madeira de compressão, que não são tecnicamente problemas de tensões de crescimento. De um modo geral, as toras da base produziram caibros que apresentaram arqueamento mais pronunciado do que as toras superiores. Todavia, o encurvamento não apresentou um comportamento regular e o torcimento apresentou comportamento contrário ao do arqueamento.

Huber et al. (1984) obtiveram peças de “aspen” (*Populus tremuloides*) com menor intensidade de arqueamento e encurvamento utilizando o método SSR com secagem a alta temperatura. No entanto, essa menor intensidade de defeitos, não propiciou uma melhoria na qualidade das peças produzidas, e assim o método SSR produziu uma quantidade menor de peças mais bem classificadas, em comparação com o método convencional.

Erickson et al. (1986) compararam o SSR com o método convencional para o desdobro de “paper-birch” (*Betula papyrifera*) utilizando quatro formas de secagem: alta temperatura, convencional, desumidificação e ao ar, sendo utilizadas somente as duas primeiras com o método convencional de desdobro (Tabela 2). Todos os tratamentos SSR, à exceção do SSR/secagem ao ar, resultaram em menor intensidade de arqueamento e torcimento em comparação ao método convencional. Outra conclusão é que as toras da base produziram peças com maior intensidade de arqueamento bem como maior porcentagem de rejeitos.

Tabela 2. Intensidade dos defeitos (mm/m) e porcentagem de rejeitos em caibros de “paper-birch” conforme o método de desdobro.

TRAT ¹ .	Defeitos			Rejeitos (%)		
	Arq. ²	Enc. ³	Torc. ⁴	Base	Topo	Total
S-A	3,6	5,8	1,0	7,0	1,3	3,7
S-C	2,7	5,1	2,1	8,2	2,2	4,7
S-D	3,1	5,5	1,6	5,6	0,0	2,5
S-Ar	4,9	5,9	2,6	17,0	9,3	12,5
C-A	5,5	4,7	3,6	15,2	18,3	16,9
C-C	4,9	5,9	4,7	8,9	20,8	16,2

Fonte: Erickson et al. (1986)

(1) S, SSR; C, desdobro e secagem convencionais; A, secagem alta temperatura D, secagem desumidificação; Ar, secagem ao ar; (2) Arqueamento; (3) Encurvamento; (4) Torcimento.

Em outro estudo, Layton et al. (1986) compararam novamente o SSR com método convencional para o processamento de “red alder” (*Alnus rubra*). Os autores comprovaram a eficácia deste método, em função da produção de uma menor porcentagem de rejeitos (Tabela 3). Os rejeitos foram considerados aquelas peças que apresentassem o defeito acima do máximo permitido pela norma.

Tabela 3. Intensidade dos defeitos (mm) e dos rejeitos em caibros de “red alder” conforme o método de desdobro e secagem.

Defeito	Método	Secagem	
		Convencional	Alta temperatura
Arqueamento	Conv ¹ .	7,08	4,78
	SSR	0,91	0,45
Torcimento	Conv.	6,69	2,98
	SSR	5,70	3,05
Encurvamento	Conv.	2,92	1,51
	SSR	3,96	3,70
Rejeitos (%)	Conv.	60,4	31,4
	SSR	17,0	9,1

Fonte: Layton et al. (1986)

(1) Convencional.

Novamente em outro estudo sobre o desdobro de “yellow-poplar”, Maeglin & Boone (1988) comprovaram que o SSR diminuiu acentuadamente o arqueamento, mas influenciou em menor proporção o encurvamento e o torcimento, produzindo também menor porcentagem de rejeitos.

Mais recentemente, Beauregard et al. (1992) avaliaram três métodos de desdobro para “aspen”: convencional (mais usado na produção de caibros), “around” e o SSR. Os autores concluíram que após a secagem não houve diferença significativa entre os métodos em relação ao encurvamento, mas ao contrário, houve diferença no arqueamento e no torcimento, com o método SSR sempre produzindo a menor intensidade destes defeitos.

Nenhum destes trabalhos apresentados e revisados, acima, menciona a ocorrência de rachaduras de topo nas pranchas ou nas toras. Isto pode ser em função das tensões de crescimento, que normalmente ocorrem nestas espécies, apresentarem-se em intensidade somente para promover os empenamentos nas tábuas após o desdobro, sendo incapazes de provocar o

seu rachamento, o que demandaria, de certa forma, uma maior intensidade. No caso das espécies de eucalipto, as rachaduras nas tábuas e nas toras quase sempre ocorrem, o que leva a crer que a intensidade das tensões de crescimento é muito mais alta nessas do que naquelas espécies.

Com base nas teorias apresentadas por Maeglin & Boone (1983a), citadas acima, pode-se afirmar que a utilização de alta temperatura na secagem é bastante limitante para a madeira de eucalipto. Esta madeira deve ser seca a baixas temperaturas, dada a sua relativa impermeabilidade e, portanto, susceptibilidade ao colapso (Campbell & Hartley, 1978)

No entanto, este método é tido como sendo promissor para a produção de madeira serrada de eucalipto com menor incidência de empenamento (Campbell & Hartley, 1978). De fato, segundo Haslett (1990ab) esta técnica é fortemente recomendada para a produção de madeira de várias espécies de eucalipto, independentemente se as tábuas produzidas são radiais ou tangenciais.

Segundo Haslett (1988) existem dois sistemas de resserragem para a produção de madeira de eucalipto: resserragem após a secagem (SSR) e a resserragem imediata das tábuas logo após o desdobro. As vantagens e desvantagens desses sistemas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Principais vantagens e desvantagens de dois sistemas de resserra para madeira de eucalipto.

<i>SSR (serrar-secar-resserrar)</i>	
Vantagens	Desvantagens
- Requer menos habilidade;	- Resíduos secos não
- Altos rendimentos;	polpáveis;
- Pode-se utilizar serras	- Pode exigir equipamento
canteadeiras múltiplas;	especial para secagem;
- Flexibilidade de mercado;	- Reduz a capacidade da
- Defeitos de secagem são	estufa de secar somente
removidos na resserra;	material de qualidade
<i>Resserra imediata</i>	
Vantagens	Desvantagens
- Sistema tradicional usado	- Requer operadores com
pelas serraria;	alta experiência;
- Resíduos úmidos polpáveis;	- Baixo rendimento;
- Concentra as atividades	- Baixa produtividade;
de serragem na mesma	- Pouca flexibilidade de
área e ao mesmo tempo;	mercado;

Fonte: Haslett (1988).

O autor afirma que as tábuas devem ser tangenciais, o que produz peças mais largas, possibilitando a resserragem e evitando que o operador tenha que fazer cortes de ajuste para produzir peças alinhadas. Durante a secagem ocorre o relaxamento quase total das tensões de crescimento através das tábuas. Deste modo, após a secagem, as tábuas podem ser resserradas utilizando-se serras canteadeiras múltiplas produzindo assim peças mais precisas e alinhadas com conseqüente aumento do rendimento de madeira serrada.

Marshall (1973) afirma que a secagem de tábuas largas, tal como no SSR, virtualmente elimina o arqueamento. A largura extra da prancha impede alguma tendência ao arqueamento enquanto o correto entablicamento da pilha de madeira limita o encurvamento. O autor afirma ainda que outra vantagem é a redução do empenamento ao redor dos nós em função da restrição imposta pelas pranchas largas contra o nó relativamente pequeno.

Na secagem de ripas o arqueamento é usualmente um grande problema e o encurvamento não. Contrariamente, quando a prancha é corretamente seca, durante o processo de resserra as ripas praticamente não arqueiam (Marshall, 1973).

Este método já foi utilizado para o desdobro de toras de 33 anos de *E. regnans* por Campbell (1975). As pranchas, em sua largura original, foram, após secagem, resserradas em forma de ripas proporcionando um rendimento de 64%. O autor observa ainda que as ripas obtidas deste modo apresentaram um melhor alinhamento (i.e. menores empenamentos) do que aquelas resserradas de pranchas verdes.

2.3 Espécies estudadas

2.3.1 *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden

Conhecido vulgarmente na Austrália como “flooded gum” (Nova Gales do Sul) e “rose gum” (Queensland) caracteriza-se como uma árvore alta (45 a 55 m), com DAP entre 1,2 a 1,8 m, com tronco de excelente forma, reto e livre de ramos até 2/3 da altura, formando uma copa muito ampla (Lamprech, 1990; Boland, 1994).

Segundo Lamprech (1990), a espécie ocorre naturalmente sobretudo no Norte de Nova Gales do Sul e no Sul de Queensland entre 32° e 26° S de latitude. Pequenas manchas podem ocorrer a 21° S e por volta de 16 a 19° S em Queensland em altitudes entre 0 e 600 m, na área de maior ocorrência e entre 500 a 1100 m em áreas mais ao norte (Boland, 1994).

A área de ocorrência natural é ilustrada na Figura 2. O clima é principalmente quente úmido, com temperaturas no mês mais quente variando de 24 a 30° C e no mais frio entre 3 a 8°C (Boland, 1994) e precipitações anuais variando de 1000 a 1750 mm (Lamprech, 1990).

Figura 2 - Áreas de ocorrência natural de *E. grandis* na Austrália (Boland, 1994).

Desenvolve-se preferencialmente em solos profundos, permanentemente úmidos e bem drenados, de origem aluvial ou vulcânica, ocorrendo associado com outras espécies de eucaliptos tais como: “pink bloodwood” (*E. imtermedia*), “blackbutt” (*E. pilularis*), “tallowwood” (*E. microcorys*), “red mahogany” (*E. resinifera*) e “Sydney blue gum” (*E. saligna*), sendo muito confundido com esta última espécie, mas diferenciando-se por não apresentar lignotúberos (Boland, 1994).

A madeira apresenta alburno palha rosado e cerne rosa a levemente avermelhado, de textura grossa, comumente com veios de quino, grã direita, sendo moderadamente forte e durável. As principais formas de uso são construção civil, marcenaria, mobiliário, compensados, pisos, fabricação de papel e lenha (Lamprech, 1990; Boland, 1994).

Priest (1982) estudando a trabalhabilidade da espécie afirma que sua madeira é usinada satisfatoriamente nas operações de aplainamento, furação, torneamento e pregação, e que, juntamente com sua textura uniforme e padrão de grã, possibilita sua utilização na confecção de móveis e na carpintaria.

2.3.2 *Eucalyptus cloeziana* F. Muell.

Conhecido vulgarmente como “Gympie messmate” a espécie ocorre entre as latitudes 15° e 26° S no Estado de Queensland, na Austrália, variando em altitude de 75 até 950 m, sendo o clima predominante quente sub-úmido a úmido, com temperatura no mês mais quente variando entre 29 e 34°C e no mês mais frio entre 5 e 18°C. Ocorre associado com outras espécies de eucalipto, tais como “lemon-scented gum” (*E. citriodora*), “narrow-leaved red iron-bark” (*E. creba*), “white mahogany” (*E. acmeniodes*), “red mahogany” (*E. resinifera*), “pink bloodwood” (*E. intermedia*) e “flooded gum” (*E. grandis*), em solos geralmente bem drenados, ácidos e de baixa a média fertilidade (Boland, 1994). A Figura 3 ilustra a área de ocorrência natural da espécie.

Figura 3 - Área de ocorrência natural de *E. cloeziana* na Austrália. (Boland, 1994).

O principal distrito de ocorrência no Estado é Gympie, onde a espécie apresenta seu melhor desenvolvimento, com indivíduos de até 55m de altura e DAP de até dois metros e uma excelente forma. Sua madeira apresenta cerne amarelado escuro, duro, extremamente durável, forte, sendo utilizada para construções civis pesadas, dormentes, escoras de minas, postes e moirões (Boland, 1994).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Seleção e preparação do material

Foram estudadas duas espécies de eucalipto: *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell., escolhidas com base nas características de adaptação à região do Cerrado em Brasília - DF, tais como: crescimento, boa forma e desgalhamento. As duas espécies apresentam as seguintes características de plantio:

E. grandis: árvores de 21 anos, da procedência de Atherton, Estado de Queensland, Austrália, oriundas de um ensaio de espécies/procedências em espaçamento 3 x 2m, sem desbaste, instalado no Jardim Botânico de Brasília, situado entre 15°52' a 15°66' S de latitude e 47°54'W de longitude e altitude de 1000m.

E. cloeziana: árvores de 17 anos, procedência Gympie, Estado de Queensland, oriundas de um ensaio de procedências em espaçamento 3 x 2m, sem desbastes, plantado em área do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado da EMBRAPA, localizado a 15°35' S de latitude, 45°42' E de longitude e altitude de 1100 m. Informações adicionais podem ser obtidas em Moura et al. (1993).

Para cada espécie foram abatidas 6 árvores, sendo escolhidas aquelas de melhor forma, admitindo-se um diâmetro máximo de 45cm e toras de 7 m de comprimento. O número de árvores abatidas foi definido em função das condições de transporte bem como da disponibilidade de material. As toras identificadas, tiveram os topos selados com tinta a óleo, sendo transportadas por caminhão, em seu comprimento original, com casca, o mais breve possível para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), onde se desenvolveu a parte prática.

Antes do desdobro as toras foram seccionadas em duas toras de 3,5 m, sendo identificados como sendo 1ª tora e 2ª tora, originando um total de 12 toras para cada espécie estudada. O volume das toras (V_{tora}) foram calculados em m³ através da fórmula de Smalian, de acordo com a eq. (1):

$$V_{tora} = \frac{AT + at}{2} \times Ltora \quad (1)$$

onde:

AT = área transversal da face maior sem casca, em m²;

at = área transversal da face menor sem casca, em m²;

$Ltora$ = comprimento da tora, em m.

3.2 Processamento das toras

As toras foram desdobradas através de cortes paralelos e simultâneos efetuados em serra alternativa de quadro cheio hidráulica, marca Link, modelo US56, série 6/475, com motor de 100 CV, produzindo-se uma mistura de tábuas tangenciais e radiais de 2,8 cm de espessura. A velocidade de avanço foi de 3 m/minuto.

As tábuas produzidas foram canteadas e processadas, conforme dois métodos: convencional e o SSR. O método convencional envolveu a resserra imediata das tábuas úmidas, ou em estado verde, nas dimensões finais, após o que as ripas produzidas são postas para secar. O método SSR, envolveu o conceito de serrar-secar-resserrar, e consistiu na secagem das tábuas em sua largura original para somente em seguida efetuar a resserra. A resserra, em ambos os métodos, foi efetuada em serra circular múltipla, marca Link, modelo SDS59, com motor de 60 CV. Em ambos os métodos objetivou-se produzir ripas que possam ser utilizadas na confecção de painéis colados lateralmente (PCL).

A esquematização dos métodos é apresentada na Figura 4. Foi feita uma alternância entre o processamento e a posição da tora. Deste modo tem-se que para cada espécie, um conjunto de 12 toras, sendo 6 processadas pelo SSR e 6 pelo método convencional e igualmente divididos em relação à posição da tora.

Figura 4 - Esquema dos métodos utilizados.

3.3 Avaliação dos empenamentos e das rachaduras

Os empenamentos e as rachaduras foram avaliados em três fases do processamento: logo após a saída das tábuas da serra, após a resseira (i.e. das ripas produzidas) e após a secagem (ripas e tábuas). Para tanto foi medida a flecha produzida pelo respectivo empenamento, possibilitando assim o cálculo da relação entre a flecha e comprimento das tábuas (RFC), conforme a eq. (2), e

as rachaduras dos topos foram medidas em comprimento para se quantificar este defeito em relação ao comprimento da peça (RRC), conforme a eq. (3):

$$RFC = \frac{fe}{L} \quad (2)$$

$$RRC = \frac{l}{L} \quad (3)$$

onde:

fe = flecha do respectivo empenamento, em mm;

l = soma do comprimento das rachaduras em ambos os topos, em mm;

L = comprimento total da tábua, em m;

Para se avaliar a distribuição dos empenamentos e das rachaduras ao longo do diâmetro da tora, as tábuas foram numeradas seqüencialmente no sentido casca - casca. Após esta avaliação as tábuas foram destopadas e medido o seu comprimento e a largura para determinação do volume bruto de madeira serrada, e posterior cálculo do rendimento de madeira serrada (R), como apresentado na eq. (4).

$$R(\%) = \frac{Vs}{Vtora} \times 100 \quad (4)$$

onde:

Vs = volume verde de madeira serrada destopada, em m³;

$Vtora$ = volume da tora, em m³.

3.4 Condução e avaliação da secagem

As tábuas destinadas ao método SSR e as ripas produzidas pelo método convencional foram empilhadas e passaram por um período de secagem ao ar até atingirem a umidade de equilíbrio, algo em torno de 15%. Ao final da secagem e após a ressera das tábuas (método SSR) foram retiradas aleatoriamente 3 ripas de cada tora, de onde se obteve uma amostra de aproximadamente 40cm de comprimento. Dessa amostra foram retirados duas peças para avaliação do gradiente de umidade (distribuição) e do teor de umidade final em estufa (Figura 5)

Figura 5 - Retirada de amostras para determinação do teor de umidade final e do gradiente de umidade das ripas.

Após a secagem uma nova avaliação dos defeitos foi conduzida conforme as Equações 2 e 3 , e se determinou o número de peças rejeitadas em cada defeito e método. Para tanto, as peças rejeitadas neste trabalho foram aquelas que apresentaram o defeito acima do máximo permitido para a madeira de segunda classe, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Resumo das especificações das classes de qualidade, para alguns defeitos, para a madeira de eucalipto, segundo proposta conjunta ABPM/IPT.

Defeito	Classe			
	Extra	1 ^a	2 ^a	3 ^a
Arqueamento (mm/m)	5	5	10	sim ¹
Encurvamento (mm/m)	5	10	10	sim ¹
Rachaduras (mm/m)	não	50	200	sim ¹

(1) desde que não impeça a utilização da peça.

As classes apresentadas por esta Tabela 5, constituem a Proposta Conjunta ABPM/IPT para a classificação da madeira serrada de eucalipto apresentada por Zenid (1996) A porcentagem de peças rejeitadas (*PR*) por tipo de defeito em cada processamento, será calculada conforme eq. (5).

$$PR(\%) = \frac{n_{prd}}{N_{tp}} \times 100 \quad (5)$$

onde:

n_{prd} = número de peças rejeitadas no respectivo defeito;

N_{tp} = número total de peças.

3.5 Análise estatística

Foram feitas análises de variância para se detectar diferenças entre as posições e as espécies, para os defeitos ocorridos nas tábuas logo após o desdobro e nas ripas após a resserra imediata (método convencional) permitindo identificar qual posição ou espécie é mais problemática no processamento mecânico. Para a comparação entre os métodos, foram feitas também análises de variância para todos os defeitos ocorridos, entre posições e espécies, permitindo avaliar qual posição e espécie respondeu melhor aos métodos (Tabela 6).

Tabela 6. Análise estatística utilizada no trabalho.

Peça	Variável		
	Posição	Espécie	Método
Tábuas	X (dentro) ¹	X (entre) ²	--
Ripas verdes	X (dentro)	X (entre)	--
Ripas secas	--	--	X (entre/dentro)

(1) dentro de espécie; (2) entre espécie.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento em madeira serrada

As Tabelas 7 e 8 apresentam as médias de algumas características das toras, das tábuas produzidas e do rendimento, bem como o resultado da análise de variância desses dados em relação à posição da tora. Para o *E. cloeziana* observa-se que houve diferença significativa para o diâmetro, sendo este maior na 1ª tora, resultando assim em maior rendimento em madeira serrada nesta posição. Todas as outras características, conicidade das toras e comprimento, e largura das tábuas, não diferiram estatisticamente, embora a 1ª tora tenha apresentado maiores valores. O maior diâmetro foi suficiente para se produzir maior rendimento na 1ª tora, uma vez que esta característica resulta em um maior número de tábuas e conseqüente aumento do rendimento.

Steele (1984), em sua revisão, aponta essa tendência de aumento do rendimento em madeira serrada em função do aumento do diâmetro. De fato, existe uma relação positiva entre diâmetro e rendimento em madeira serrada, como bem encontrou Wade (1992). O autor explicou que com o aumento do diâmetro, o volume de madeira perdida como costaneira e no canteamento, é menor porcentualmente em relação ao volume da tora.

Tabela 7. Análise de variância das características das toras e das tábuas produzidas de *E. cloeziana*.

Característica	1ª Tora	2ª Tora	G.L. ¹	Fcalc.
Diâmetro (cm)	28	25,1	11	6,23**
Conicidade (cm/m)	0,96	0,66	11	2,75 ^{ns}
Comprimento (m)	2,88	2,78	11	2,06 ^{ns}
Largura (cm)	15,3	13,7	11	1,51 ^{ns}
Rendimento (%)	54,6	48,7	11	7,05**

(1) graus de liberdade; ** significativo ao nível de 5%, ns: não significativo.

Tabela 8. Análise de variância das características das toras e das tábuas produzidas de *E. grandis*.

Característica	1ª Tora	2ª Tora	G.L. ¹	Fcalc.
Diâmetro (cm)	32,2	28,4	11	2,76 ^{ns}
Conicidade (cm/m)	1,10	0,48	11	5,78**
Comprimento (m)	2,94	2,89	11	0,19 ^{ns}
Largura (cm)	17,3	14,5	11	18,89***
Rendimento	51,2	52,5	11	0,11 ^{ns}

(1) graus de liberdade; ***/** significativo ao nível de 1 e 5%, respectivamente; ns: não significativo.

Para o *E. grandis* não foi detectada diferença significativa no rendimento em madeira serrada, entre as posições. Todavia, foi detectada diferença para a conicidade das toras e largura das tábuas, com a 1ª tora apresentando-se mais cônica e produzindo tábuas mais largas. Sabidamente, a largura das tábuas apresenta uma relação positiva e a conicidade, uma relação inversa com o rendimento (Steele, 1984; Wade, 1992), o que não foi observado nesse trabalho para o *E. grandis*. Este fato sugere, então, que outras variáveis devem ter influenciado o rendimento e talvez uma dessas variáveis seja o diâmetro, que não apresentou diferença significativa entre as posições, ou

ainda, os defeitos ocasionados pela liberação das tensões de crescimento, tais como rachaduras.

Como será visto mais a frente, no *E. grandis*, a rachadura total, cuja medida foi superior a 40% do comprimento da tábua, foi mais freqüente nas tábuas oriundas da 2ª tora. Nessas tábuas, o comprimento da rachadura foi medido, mas estas não foram destopadas, sendo resserradas, e produzindo-se duas tábuas de comprimentos iguais e com metade da largura da original. Este fato explica a diferença detectada na largura das tábuas entre as posições. Tais considerações também podem ser feitas para o *E. cloeziana*, cuja 1ª tora apresentou maior rendimento e menor freqüência de rachadura total.

Na Tabela 9 é apresentada a análise de variância, entre as espécies, das características das toras e tábuas, independente da posição (1ª + 2ª toras). Nota-se que somente foi detectada diferença significativa para o diâmetro, mas isso não se refletiu em maior rendimento de madeira serrada para o *E. grandis*.

Tabela 9. Análise de variância das características das toras e das tábuas produzidas para ambas espécies.

Variável	<i>E.cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	G.L. ¹	Fcalc.
Diâmetro (cm)	26,6	30,3	23	7,02**
Conicidade (cm/m)	0,80	0,79	23	0,00 ^{ns}
Comprimento (m)	2,83	2,91	23	2,03 ^{ns}
Largura (cm)	14,5	15,9	23	2,80 ^{ns}
Rendimento (%)	51,6	51,8	23	0,00 ^{ns}

(1) graus de liberdade; ** significativo ao nível de 5%; ns: não significativo;

Assim, ambas espécies apresentaram rendimentos aproximadamente iguais e por volta de 52%, superior ao encontrado por Jara et al. (1997). Estes autores utilizaram serra alternativa de quadro cheio no desdobro de *E. grandis* e encontraram rendimento em madeira serrada variando

entre 44,8 e 49,8%, conforme o tratamento térmico utilizado. O resultado do rendimento em madeira serrada mostrou-se também um pouco superior ao encontrado por Bianchet⁴ citado por Acosta (1995). Em um estudo comparativo entre distintos métodos de desdobro, o autor encontrou um rendimento em madeira serrada de 48% para *E. grandis* desdobrado em serra alternativa.

Entretanto, estudos desenvolvidos na África do Sul tem apontado rendimentos maiores. Deste modo, Priest et al. (1982) desdobrando *E. grandis* de 24 anos, de diâmetro variando de 38 a 51cm, encontraram rendimento por volta de 59%. Em outro estudo, Priest et al. (1983) com a mesma espécie, desdobrando toras de 15 a 39cm em serra alternativa, obtiveram rendimento em madeira serrada na ordem de 56,4%.

4.2 Comportamento na serra e na resserra

4.2.1 Frequência dos defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes

Em ambas espécies estudadas, as consequências da liberação das tensões de crescimento se fizeram presentes, principalmente na forma de encurvamento e rachadura em tábuas recém-serradas, bem como nos empenamentos ocorridos na resserra das tábuas úmidas (método convencional). A Figura 6 ilustra a frequência dos defeitos observados nas tábuas recém-serradas de ambas espécies.

⁴ BIANCHET, J. Rendimiento en aserraderos para *E. grandis* y *E. saligna*, *P. elliotti* y *P. taeda* en la zona de Concordia. *Carf Inf Ftal INTA* j. 1, 1983.

Figura 6 - Frequência dos defeitos em tábuas recém-serradas, em relação à posição, para ambas espécies.

Observa-se que, para ambas espécies, o encurvamento foi o defeito mais freqüente, sendo ligeiramente mais freqüente na 2ª tora. Para a rachadura, o comportamento foi inverso, isto é, mais freqüente na 1ª tora, mas somente em *E. cloeziana*. O defeito rachadura total, referente às tábuas que apresentaram a extensão da rachadura maior que 40% do seu comprimento, foi mais freqüente na 1ª tora, para *E. cloeziana*, e na 2ª tora, para *E. grandis*. A ocorrência deste defeito denota altos níveis de tensão de crescimento, capazes de promoverem rachaduras de grande extensão, principalmente nas tábuas mais próximas à região da medula. Entre as espécies, observa-se que somente a freqüência da rachadura foi maior em *E. grandis*, com todos os outros defeitos ligeiramente mais freqüentes em *E. cloeziana*.

Figura 7 - Frequência dos defeitos em ripas verdes, em relação à posição, para ambas espécies.

A Figura 7 apresenta a frequência dos defeitos em ripas verdes, em relação à posição, para ambas as espécies. Observa-se que no *E. cloeziana*, existe uma tendência dos defeitos serem mais frequentes na 1ª tora, enquanto que, no *E. grandis*, essa tendência foi observada na 2ª tora, à exceção do arqueamento. Essa tendência, para ambas espécies, já havia sido detectada, como mostrado na Figura 6. Assim, observa-se para *E. cloeziana*, que a 1ª tora produziu maior frequência de defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes, enquanto que para o *E. grandis*, essa tendência foi observada para a 2ª tora.

4.2.2 Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes

Em seguida foi feita uma avaliação da intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes, em relação à posição. Observa-se na Figura 8, que as tábuas recém-serradas de *E. cloeziana* apresentaram o mesmo

comportamento em relação à frequência (Figura 6). Assim, o encurvamento foi mais intenso e freqüente em tábuas oriundas da 2ª tora, enquanto a rachadura foi mais freqüente e intensa naquelas oriundas da 1ª tora.

Figura 8 - Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes, em relação à posição, para *E. cloeziana*.

Para as ripas verdes observa-se que o encurvamento foi mais intenso e freqüente na 1ª tora. O arqueamento foi mais freqüente na 1ª tora e mais intenso na 2ª tora. No entanto, não houve diferença significativa na intensidade dos defeitos tanto das tábuas quanto das ripas verdes (Apêndice - Tabela 15).

Como esses defeitos são manifestações diretas das tensões de crescimento, pode-se afirmar que quanto maior for sua intensidade, maiores são os níveis de tensão de crescimento. Isso sugere, então, que os níveis de tensão de crescimento estão distribuídos igualmente ao longo do fuste de *E. cloeziana*.

Os resultados apresentados para o *E. cloeziana* são distintos daqueles apresentados para o *E. grandis*, ilustrados na Figura 9. No entanto, como ocorrido no *E. cloeziana*, nota-se para o *E. grandis* que a tendência da 1ª tora em produzir menor frequência de defeitos em ripas verdes é mantida quando se avalia a sua intensidade.

Figura 9 - Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes, em relação à posição, para *E. grandis*.

Deste modo, no *E. grandis*, observa-se que as tábuas recém-serradas e as ripas verdes, oriundas da 1ª tora, apresentaram menor intensidade dos defeitos avaliados, bem como maior frequência (Figura 9). Entretanto, somente nas tábuas recém-serradas foi detectada diferença significativa ao nível de 10% (Apêndice - Tabela 16) para a intensidade do encurvamento e do arqueamento. Deste modo, a 1ª tora no *E. grandis* apresentou níveis menores de tensão de crescimento em comparação à 2ª tora.

A Tabela 10 apresenta a síntese do comportamento dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes, em relação à posição, para ambas espécies. Observa-se que, para *E. cloeziana*, existe a tendência da 1ª tora apresentar maior frequência e intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes, embora não tenha havido diferença significativa.

Tabela 10. Síntese do comportamento dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas verdes em relação à posição para ambas espécies.

Peça	Defeito	<i>E. cloeziana</i>		<i>E. grandis</i>	
		Freq. ¹	Intens. ²	Freq.	Intens.
Tábuas	Encurv. ³	2ª tora	2ª tora ^{ns}	2ª tora	2ª tora ^{sig.}
	Rach. ⁴	1ª tora	1ª tora ^{ns}	2ª tora	2ª tora ^{sig.}
Ripas	Encurv.	1ª tora	1ª tora ^{ns}	2ª tora	2ª tora ^{ns}
verdes	Arqueam. ⁵	1ª tora	2ª tora ^{ns}	1ª tora	2ª tora ^{ns}

(1) frequência; (2) intensidade; (3) encurvamento; (4) rachadura; (5) arqueamento; ns: não significativo; sig.: significativo ao nível de 10%

Isto sugere que a 1ª tora, em *E. cloeziana*, possua maiores níveis de tensões de crescimento. De fato, Chafe (1985) encontrou diminuição dos níveis de tensão de crescimento no sentido base - topo em *E. nitens*, o que significa menores intensidades de rachaduras e empenamentos nas posições superiores da árvore.

Para *E. grandis*, nota-se que a tendência é da 2ª tora apresentar maior frequência e intensidade dos defeitos, sugerindo que esta apresenta maiores níveis de tensão de crescimento. Resultado semelhante foi encontrado por Yao (1979). O autor detectou um aumento dos níveis de tensão de crescimento no sentido base - topo para três espécies: "shagbark hickory", "water-oak" e "white-ash". Resultados semelhantes foram também encontrados por Chafe (1981) em *E. regnans*. Deste modo, toras obtidas da parte superior

das árvores seriam mais problemáticas no desdobro, em comparação às toras mais próximas da base.

Outra explicação, para essa tendência observada em *E. grandis*, seria o maior diâmetro da 1ª tora. Contudo, a análise de variância demonstrou não haver diferença significativa para o diâmetro, mas detectou diferença para conicidade, com a 1ª tora apresentando-se mais cônica (Tabela 8). Vignote et al. (1996) sugerem a influência desta característica sobre os níveis de tensão de crescimento. Assim, os autores concluíram que quanto mais cônicos são os fustes de *E. globulus*, maior é a probabilidade de possuírem menores níveis de tensão de crescimento, e sendo assim produzirem tábuas com menor intensidade de rachadura e empenamentos.

Os empenamentos ocorridos nas ripas verdes produzidas pelo método convencional são oriundos da liberação das tensões de crescimento que ainda estão presentes nas tábuas úmidas. De fato, segundo Marshal (1973) e Haslett (1988) não se deve utilizar serras múltiplas canteadeiras para a resserra de tábuas úmidas, já nas dimensões finais, por causa da liberação das tensões de crescimento que ainda ocorrem nessas tábuas, promovendo assim os empenamentos nas peças produzidas.

A Figura 10 apresenta a comparação da intensidade dos defeitos, em tábuas recém-serradas e nas ripas verdes, entre as espécies estudadas, considerando-se a tora como um todo (1ª + 2ª toras), independente da posição.

Figura 10 - Intensidade dos defeitos em tábuas recém-serradas e em ripas

A intensidade do encurvamento em tábuas diferiu estatisticamente entre as espécies, com *E. grandis* apresentando menor intensidade, o mesmo não ocorrendo com as rachaduras (Apêndice - Tabela 17). No caso das ripas verdes foi detectada diferença significativa, na intensidade em ambos empenamentos avaliados, e novamente o *E. grandis* apresentou menor intensidade.

Isto sugere que o *E. grandis* apresente menores níveis de tensão de crescimento que *E. cloeziana*, uma vez que esses defeitos são manifestações diretas dessas tensões, e sua medição é uma forma de avaliação indireta do seu nível (Kubler, 1987). Sendo assim, segundo os resultados apresentados, o *E. grandis* é menos problemático no desdobro que o *E. cloeziana*.

Uma possível explicação para esse fato, é que as tensões de crescimento são direta ou indiretamente controladas geneticamente (Zobel & Jett, 1995). Deste modo, a menor intensidade de encurvamento e rachaduras,

observada em *E. grandis*, pode ser uma característica intrínseca da espécie e/ou da procedência, uma vez que os níveis de tensão de crescimento variam entre e dentro de espécies (Chafe, 1979). Schacht & Garcia (1997) estudando *E. urophylla* encontraram diferenças significativas entre e dentro clones, para as rachaduras de topo em toras.

Outra explicação para esse fato pode ser o maior diâmetro, apresentado por *E. grandis*, em comparação ao *E. cloeziana*. Teoricamente, árvores de grande e de pequeno diâmetro apresentam a mesma tensão de tração na periferia da árvore, mas o que as diferencia é a inclinação da curva de tensão (Figura 1), que é mais pronunciada nas árvores de pequeno diâmetro. Deste modo, árvores de menor diâmetro são mais susceptíveis aos empenamentos e rachaduras ocorridos pela liberação das tensões de crescimento. Wilkins & Kitahara (1991) detectaram essa tendência em *E. grandis*. Os autores afirmaram que o aumento do diâmetro das árvores oriundas de plantios manejados, reduziu os níveis de tensões de crescimento, e que isto pode reduzir a rachadura das tábuas durante o desdobro. Entretanto, Chafe (1995) encontrou um comportamento inverso em *E. nitens* e *E. regnans*, ou seja, foi detectado um aumento dos níveis de tensão de crescimento, com o aumento do diâmetro.

Alguns autores sugerem, também, que a diferença de idade e de locais de plantio, como as observadas nesse trabalho, possam influenciar os níveis de tensão de crescimento. Deste modo, Gerard et al. (1995) encontraram em *E. globulus* uma diminuição dos níveis de tensão de crescimento em função da idade da árvore e do sítio.

Árvores mais velhas tendem a apresentar menores níveis de tensão de crescimento, que podem ser menores de acordo com o local de plantio. Isto pode ser explicado pelo fato, de que árvores mais velhas apresentam maior diâmetro e tem maior probabilidade de apresentarem cerne quebradiço. Com o passar dos anos, aumenta a tensão de compressão no centro da tora, promovendo assim a ruptura das fibras, que no conjunto, dá

origem ao cerne quebradiço. Essas rupturas aliviam as tensões de crescimento, mas são visíveis apenas microscopicamente, e não foram analisadas no presente trabalho.

As espécies estudadas são oriundas de locais de plantio distintos e este fato pode ter influenciado também nos níveis de tensão de crescimento. Nos plantios em locais com solo fértil, as árvores têm a tendência de competirem mais entre si, ocasionando aumento nos níveis de tensão de crescimento. Quando o local apresenta solo de baixa qualidade as árvores competem menos e crescem lentamente e segundo Jacobs⁵ (1954), citado por Kubler (1987), têm mais tempo para ajustar as tensões internas, seja pela formação do cerne quebradiço ou pelo próprio relaxamento das tensões.

Nikolova⁶, citado por Kubler (1987), encontrou menor intensidade de empenamento em *Populus* em sítios de baixa qualidade, enquanto que para *Fagus* foram detectados altos níveis de tensão de crescimento. Malan & Verry (1996) estudando rachaduras de topo em toras de *E. grandis* e de seus híbridos, detectaram diferença significativa entre clones e sítios, e em alguns clones foi detectada a interação, o que demonstra que os níveis de tensão de crescimento são controlados geneticamente, bem como são influenciados pelo meio ambiente

Foi detectada também que a posição radial de retirada das tábuas influenciou a intensidade dos seus defeitos. Durante o desdobro foi notado que as tábuas mais próximas à medula apresentavam maior intensidade de rachadura e menor de encurvamento. Deste modo, à medida que seguia no sentido da casca, a intensidade da rachadura diminuía e a do encurvamento aumentava. Para constatar este comportamento foi feita uma análise de

⁵ JACOBS, M.R. Silvicultural problems in the mixed eucalypt forest of the east cost of Australia. **Empire Forestry Review**, v. 33, n. 1, p. 30-37. 1954.

⁶ NIKOLOVA, T. Axial biological stress in wood of *Populus* 'Vernirubens'. **Durvoobrabotvashcha i Mebelna Promishlenost**, v. 19, n. 7, p. 207-209, 1976. (em búlgaro).

regressão, levando-se em consideração a árvore como um todo, independente da posição; as respectivas equações são apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Curvas de regressão para a intensidade do encurvamento e da rachadura em tábuas recém-serradas segundo a posição radial de onde foram retiradas (* significativo ao nível de 5%).

Observa-se que as equações calculadas foram significantes e apresentaram alto coeficiente de correlação (R^2). Para o *E. cloeziana* a melhor equação foi a linear e para o *E. grandis* a logarítmica. Assim, a posição da qual as tábuas foram retiradas explica em grande parte a variação dos defeitos analisados. Resultado semelhante foi encontrado por Priest et al. (1981). Os autores estudaram a variação no sentido medula - casca de defeitos em tábuas

de *E. grandis* e notaram a tendência de diminuição da intensidade das rachaduras nesse sentido, sendo mais pronunciada em indivíduos mais maduros. Para o encurvamento, os autores detectaram aumento da sua intensidade no sentido medula - casca, mais pronunciado para as tábuas secas, que para as tábuas recém-serradas (verdes).

As tábuas mais próximas à medula e as diametraais apresentaram maior intensidade de rachadura, e isso ocorre porque a tensão de crescimento longitudinal não está mais balanceada pelas tensões das tábuas laterais que foram cortadas. Assim, as tensões em sentidos opostos, ocorrentes na periferia destas tábuas, provocam o seu rachamento, na região da medula (Panshin & De Zeeuw, 1970). Essas tensões, em sentidos opostos, promovem o tracionamento no sentido perpendicular às fibras da medula, ocasionando a sua ruptura. Como se sabe, a resistência à tração perpendicular às fibras, apresenta o menor nível de resistência dentre as propriedades mecânicas da madeira.

Pode-se perceber também que existe uma região localizada entre os $2/3$ do raio e a casca, onde as curvas das equações de regressão se encontram. Nesta região, nem a rachadura é mínima, nem o encurvamento é máximo, o que permite afirmar que é a porção da árvore menos problemática, em relação às consequências das tensões de crescimento. Como anteriormente afirmado por Boyd (1950), citado por Chafe (1979), e também visualizado na Figura 1, as tensões de compressão e tração são zero na região próxima ao primeiro $1/3$ do raio (sentido casca - medula). Assim, até essa posição, somente a tensão de tração está ocorrendo e a partir dela a tensão de compressão começa a aparecer. Pode-se estimar então, que porções da árvore sujeitas a somente um tipo de tensão seriam menos problemáticas, no tocante à rachadura e ao encurvamento.

De fato, Montagna et al. (1991) utilizaram um método que consistiu em cortes simultâneos das costaneiras a $1/3$ do raio, retirando a parte tracionada da tora. O bloco resultante ficou somente sob a ação da tensão de compressão e produziu tábuas com menor índice de rachadura em comparação

às tábuas retiradas de toras inteiras, sujeitas à tensão de compressão e de tração.

4.3 Comparação entre os métodos

Após um período aproximado de 4 meses de secagem, pode-se observar que *E. grandis* apresentou um TU final inferior em 1% em comparação a *E. cloeziana*. O gradiente de umidade, que é a diferença entre o TU externa e o TU interna, ficou abaixo de 10%, refletindo numa boa distribuição de umidade nas ripas.

Tabela 11. Teor de umidade final e distribuição de umidade das ripas.

Característica	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>
Teor de umidade final (%)	14,4	13,4
Teor de umidade externa (%)	13,2	12,6
Teor de umidade interna (%)	14,1	13,3
Gradiente de umidade (%)	6,0	5,4

Pode-se observar que *E. grandis* apresentou um TU final inferior em 1% em comparação a *E. cloeziana*. O gradiente de umidade, que foi a diferença entre o TU externa e o TU interno, ficou abaixo de 10%, refletindo numa boa distribuição de umidade nas ripas.

4.3.1 Frequência dos defeitos em ripas secas

Na Figura 12 é apresentada a frequência dos empenamentos em ripas secas conforme o método, tendo como base a tora como um todo, isto é, a análise conjunta da 1ª e 2ª toras. Observa-se que as ripas produzidas pelo método convencional apresentaram frequência média acima de 75% para o encurvamento e o arqueamento, número muito superior ao apresentado pelo

método SSR. A consequência mais drástica desse fato é a alta frequência de peças com duplo empenamento (arqueamento + encurvamento), prejudicando bastante a qualidade do material produzindo e talvez até impedindo a sua utilização, por exemplo, na confecção dos painéis.

Figura 12 - Frequência dos defeitos em ripas secas, para ambas espécies, conforme o método.

Claramente observa-se que o método SSR reduziu a frequência de todos os empenamentos nas ripas secas, para ambas espécies. A redução da frequência do encurvamento, em torno de 5%, e do arqueamento em torno de 50%, refletiu-se na redução drástica da frequência das ripas com duplo empenamento, superior a 67%. Essa redução é extremamente benéfica, uma vez que isso significa uma menor quantidade de peças com defeito, o que é fundamental tendo em vista a procura por qualidade nas peças. As ripas com duplo empenamento são bastante problemáticas do ponto de vista da sua

utilização na fabricação do PCL, uma vez que é muito difícil o realinhamento das ripas nos dois eixos de empenamento.

As tensões de crescimento, presentes nas árvores, são parcialmente liberadas quando essas são cortadas. Quando as toras são desdobradas em tábuas, ocorre novamente liberação dessas tensões, mas também de modo parcial. Assim, as tábuas produzidas ainda possuem tensões e quando essas são resserradas, ocorrem empenamentos das peças produzidas.

Do ponto de vista de utilização dessas peças para a fabricação de PCL, o pior defeito é o arqueamento, que é justamente o empenamento lateral. O SSR reduziu bastante a frequência desse defeito, aumentando a quantidade de peças disponíveis para fabricação de PCL. Estes dados não deixam dúvida sobre a eficiência do SSR na redução da frequência dos empenamentos, e assim, só por este fato, este método já seria recomendado para a resserra da madeira de eucalipto de ambas espécies estudadas.

Na comparação entre as espécies, nota-se, pela análise da Figura 12, que o *E. grandis* apresentou menor frequência de ripas com defeitos, em ambos os métodos. Esses resultados são similares àqueles encontrados para a frequência de defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes, já comentados no item 4.2.1. Deste modo, ficou claro, que o *E. grandis* comportou-se melhor que o *E. cloeziana*, no tocante à frequência dos defeitos em tábuas recém-serradas, ripas verdes e ripas secas.

Nas Figuras 13 e 14 é apresentada a frequência dos defeitos, em ripas secas produzidas por ambos métodos, em relação à posição, para *E. cloeziana* e *E. grandis*, respectivamente.

Figura 13 - Frequência dos defeitos, em ripas secas de *E. cloeziana*, conforme o método e a posição.

Pode-se observar que, para o *E. cloeziana* (Figura 13), a 1ª tora apresentou a maior frequência dos defeitos em ripas produzidas pelo método convencional, enquanto que para o método SSR esse comportamento foi observado para a 2ª tora. Comparando-se esses resultados, com aqueles apresentados nas Figuras 6 e 7, nota-se que a tendência da 1ª tora em apresentar maior frequência de defeitos em tábuas recém-serradas e ripas verdes é mantida para as ripas secas processadas pelo método convencional. Para o *E. grandis*, nota-se, na Figura 14, que em ambos métodos utilizados, os defeitos foram mais frequentes na 2ª tora.

Figura 14 - Frequência dos defeitos, em ripas secas de *E. grandis*, conforme o método e a posição.

4.3.2 Intensidade dos defeitos em ripas secas

Nas Figuras 15 e 16 é apresentada a intensidade dos defeitos em ripas secas, conforme o método e a posição, para ambas espécies.

Na Figura 15, observa-se para o *E. cloeziana*, que o método SSR foi bastante efetivo na redução da intensidade do arqueamento, em ambas posições, chegando a 67,7% na 2ª tora a 72,1% na 1ª tora (Apêndice - Tabela 18). Entretanto, para o encurvamento, observa-se que o método SSR produziu ripas com maior intensidade, em ambas posições, mas não estatisticamente significante.

Figura 15 - Intensidade dos defeitos, em ripas secas de *E. cloeziana*, em relação ao método e à posição.

Figura 16 - Intensidade dos defeitos, em ripas secas de *E. grandis*, em relação ao método e à posição.

Resultados semelhantes foram encontrados por Maeglin & Boone (1988). Os autores observaram uma redução média de 60% na intensidade do arqueamento em caibros de “yellow-poplar” produzidos pelo método SSR utilizando secagem convencional. Entretanto, o método aumentou a intensidade do encurvamento em ambas posições, embora não comprovado estatisticamente, e assim não foi efetivo na redução da intensidade desse defeito.

Para *E. grandis*, cujos resultados são apresentados na Figura 16, foi observada a redução pronunciada, estatisticamente significativa, na intensidade do arqueamento de 65,2% na 2ª tora e de 69,4% para a 1ª tora (Apêndice - Tabela 19). Entretanto, novamente o método SSR produziu ripas com maior intensidade de encurvamento, e agora com diferença significativa na 1ª tora. Resultado semelhante é apresentado por Layton et al. (1986). Os autores observaram que o método SSR aumentou estatisticamente a intensidade do encurvamento em caibros de “red alder”.

Observa-se, para ambas espécies, que o método SSR foi extremamente efetivo na redução da intensidade do arqueamento. Entretanto, não apresentou efeito para a intensidade do encurvamento em *E. cloeziana* ou aumentou a sua intensidade, como na 1ª tora em *E. grandis*.

A redução da intensidade do arqueamento, identificada para o método SSR, em ambas espécies e posições, é também observada quando se faz a análise como um todo para árvore (1ª + 2ª tora), independente da posição (Figura 17).

Figura 17 - Intensidade dos defeitos em ripas secas, conforme o método, para ambas espécies.

Deste modo, para *E. cloeziana*, observa-se que o método SSR promoveu a redução, estatisticamente significativa, da intensidade do arqueamento em 69,6% (Apêndice - Tabela 18). Entretanto, ocasionou aumento da intensidade do encurvamento, em 10%, embora não tenha havido diferença significativa. Para o *E. grandis*, o método SSR reduziu, de maneira estatisticamente significativa, a intensidade do arqueamento por volta de 67%, mas aumentou, também estatisticamente significativa, a intensidade do encurvamento (Apêndice - Tabela 19).

Deste modo, o método SSR diminuiu a intensidade do arqueamento das ripas, quando se faz a análise conjunta (1ª + 2ª tora), para ambas espécies. Para o encurvamento, o método SSR aumentou a sua intensidade, embora significativamente apenas para *E. grandis*. O *E. grandis* não respondeu muito bem ao método SSR no tocante ao encurvamento, sendo sua intensidade 64% maior que a do método convencional.

Alguns autores têm observado que o SSR é menos efetivo para a redução da intensidade do encurvamento, que para o arqueamento. Para o encurvamento, o método pode até mesmo aumentar a sua intensidade, como observado por Erickson et al. (1986) para “paper-birch” e por Beauregard et al. (1992) para “aspen”. Os autores concluíram que o método SSR reduziu, estatisticamente, o arqueamento, mas não apresentou diferença significativa para a intensidade do encurvamento. Maeglin & Boone (1985) também observaram que o efeito do método SSR, na intensidade do encurvamento, não ficou muito claro para três espécies de folhosas norte-americanas, ora reduzindo a intensidade, ora aumentando.

Ficou comprovado então, a eficiência do método SSR na redução da intensidade do arqueamento em comparação ao método convencional e resultados semelhantes são apresentados por vários outros autores. Para o encurvamento foi identificado que o SSR pode aumentar ou não a sua intensidade. Segundo Maeglin & Boone (1983a), os precursores desse método, o SSR foi desenvolvido para reduzir ou minimizar o arqueamento, enquanto que o encurvamento e o torcimento são afetados pela uniformidade do desdobro e pelo correto empilhamento da madeira.

Como dito anteriormente, do ponto de vista de fabricação do PCL, a incidência do arqueamento é pior do que do encurvamento. O encurvamento pode ser minorado com a redução do comprimento da peça. Entretanto, o arqueamento não se conserta tão facilmente, sendo necessárias operações de desgaste das peças. Outro aspecto relevante, é que o arqueamento ocorre no eixo onde são aplicados o adesivo e a pressão para a colagem do PCL. Assim, em ripas com maior intensidade desse defeito, como aquelas produzidas pelo método convencional, seria necessária uma pressão maior para aproximá-las e vencer a flecha do defeito. As peças com duplo empenamento, muito mais frequentes no método convencional que no SSR, são bastante problemáticas para a fabricação do PCL, uma vez que seria inviável o seu alinhamento nos dois eixos do empenamento, para a fabricação dos painéis.

Deste modo, tendo em vista os aspectos mais relevantes a serem considerados na fabricação do PCL, tais como intensidade e frequência do arqueamento e do duplo empenamento nas ripas, pode-se afirmar que o método SSR foi mais eficiente que o método convencional.

Foi feita também uma análise de variância para se verificar a influência da posição sobre a intensidade dos defeitos em ripas processadas por ambos métodos. As Tabelas 12 e 13 apresentam os resultados dessa análise.

Tabela 12. Análise de variância para a intensidade dos defeitos em ripas secas de *E. cloeziana*, entre posições, para os métodos.

Método	Defeito	1ª Tora	2ª Tora	G.L. ¹	Fcalc.
Convencional	Encurvamento	3,33	3,43	5	0,027 ^{ns}
	Arqueamento	4,27	4,96	5	0,566 ^{ns}
SSR	Encurvamento	3,38	4,13	5	0,448 ^{ns}
	Arqueamento	1,19	1,60	5	0,457 ^{ns}

(1) graus de liberdade; ns: não significativo;

Tabela 13. Análise de variância para a intensidade dos defeitos em ripas secas de *E. grandis*, entre posições, para os métodos.

Método	Defeito	1ª Tora	2ª Tora	G.L. ¹	Fcalc.
Convencional	Encurvamento	1,36	2,67	5	3,18 ^{ns}
	Arqueamento	2,55	3,71	5	2,03 ^{ns}
SSR	Encurvamento	3,24	3,38	5	0,11 ^{ns}
	Arqueamento	0,78	1,29	5	1,21 ^{ns}

(1) graus de liberdade; ns: não significativo;

Nota-se que, para ambas espécies, não foi detectada diferença significativa, entre as posições, para a intensidade dos defeitos em ripas processadas por ambos métodos. Deste modo, ripas produzidas pelo método convencional apresentaram intensidade, estatisticamente igual, à dos defeitos em ambas posições, em ambas espécies. Tal afirmação também pode ser feita

para as ripas produzidas pelo método SSR. Contudo, nota-se uma tendência das ripas, oriundas da 2ª tora, de apresentarem maior intensidade de defeitos em ambos métodos, tanto em *E. cloeziana*, quanto em *E. grandis*. Isto leva a supor que tal posição, para ambas espécies, é mais problemática para a produção de ripas por ambos métodos.

Os resultados apresentados para a intensidade dos defeitos, em relação à posição, são similares àqueles encontrados para a frequência, ilustrados nas Figuras 13 e 14. Assim, ripas oriundas da 2ª tora, produzidas por ambos métodos, têm uma tendência de apresentarem maior frequência e intensidade dos defeitos, em comparação às oriundas da 1ª tora, para ambas espécies. A única exceção foram as ripas processadas pelo método convencional em *E. cloeziana*, que apresentaram maior frequência dos defeitos na 1ª tora.

Na Tabela 14 é apresentada a síntese do comportamento das toras, em relação à frequência e à intensidade dos defeitos em ripas secas de ambas espécies.

Tabela 14. Síntese do comportamento, da frequência e da intensidade dos defeitos em ripas secas para ambas espécies.

Método	Defeito	<i>E. cloeziana</i>		<i>E. grandis</i>	
		Freq. ¹	Intens. ²	Freq.	Intens.
Conv. ³	Encurv. ⁴	1ª tora	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}
	Arqueam. ⁵	1ª tora	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}
	Enc.+Arq. ⁶	1ª tora	--	2ª tora ^{ns}	--
SSR	Encurv.	2ª tora	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}
	Arqueam.	2ª tora	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}	2ª tora ^{ns}
	Enc.+ Arq.	2ª tora	--	2ª tora ^{ns}	--

(1) frequência; (2) intensidade; (3) convencional; (4) encurvamento; (5) arqueamento; (6) encurvamento + arqueamento; ns: não significativo.

Na Figura 18 é apresentada a intensidade dos defeitos em ripas secas, em relação ao método, para as espécies. Pode-se observar que existe a tendência de *E. grandis* apresentar menores intensidades de defeitos em ambos métodos testados. Entretanto, a análise estatística (Apêndice - Tabela 20) demonstrou que houve diferença significativa somente para o método convencional, com o *E. grandis* produzindo ripas com menor intensidade de encurvamento e arqueamento que o *E. cloeziana*.

Figura 18 - Intensidade dos defeitos em ripas, para ambas espécies, conforme o método testado.

Para o método SSR, tal comportamento não foi identificado e ambas espécies produziram ripas com intensidade estatisticamente igual dos defeitos. Deste modo, pode-se supor que o método SSR foi mais efetivo, na redução da intensidade dos defeitos, para o *E. cloeziana* que para o *E. grandis*. Isso pode ser explicado pelo fato de que, pelo método convencional, o *E. cloeziana* produziu ripas com maior intensidade dos defeitos, que o *E. grandis*,

mas quando foram produzidas pelo método SSR, ambas espécies produziram ripas com intensidade, estatisticamente igual dos defeitos.

Na Figura 19 é apresentada a intensidade do encurvamento das tábuas, antes e após secagem, usadas no método SSR, bem como das ripas produzidas por esse método. Observa-se que no processo de secagem foi reduzida a intensidade do encurvamento em torno de 39,3% para *E. cloeziana*, e em torno de 35,7% para o *E. grandis*. Essa redução foi ocasionada pela tensão imposta às tábuas pelo peso da pilha de secagem bem como pela adoção das corretas técnicas de empilhamento.

Figura 19 - Intensidade do encurvamento em tábuas, antes e após secagem, usadas no método SSR e em ripas secas após resserra.

Entretanto, quando as tábuas secas foram resserradas ocorreu a liberação desta tensão e também da tensão de secagem, ocasionando o empenamento. Assim, a resserra das tábuas secas, como ocorrido no SSR,

aumentou a intensidade do encurvamento nas ripas, em torno de 11,8% para o *E. cloeziana* e em 18,2% para o *E. grandis*.

A redução na intensidade do encurvamento nas tábuas utilizadas no método SSR durante o processo de secagem foi relativamente grande, mas não superior à redução ocorrida na intensidade do encurvamento das ripas obtidas pelo método convencional, como pode ser observado na Figura 20.

Figura 20 - Intensidade do encurvamento nas tábuas usadas no método convencional e nas ripas após reserra e secagem.

Observa-se que a reserra das tábuas verdes, feita no método convencional, aumentou a intensidade do encurvamento das ripas em 16% para o *E. cloeziana*, e em 11% para o *E. grandis*. Entretanto, no processo de secagem, as ripas verdes foram endireitadas, originando ripas secas com 50% a menos da intensidade do encurvamento. Foi essa redução que possibilitou, ao método convencional, produzir ripas com menor intensidade de encurvamento em relação do método SSR.

Por outro lado, a secagem foi prejudicial, para a intensidade do arqueamento em ripas produzidas pelo método convencional aumentando a sua intensidade, em ambas espécies e posições das toras, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 - Intensidade do arqueamento, antes e após secagem, em ripas produzidas pelo método convencional.

Este agravamento da intensidade do arqueamento, ocorrido na secagem das ripas produzidas pelo método convencional, foi o responsável pela diminuição da qualidade das peças fazendo com que esse fosse o principal motivo para rejeitá-las, como será visto mais a frente. De fato, Marshal (1973) afirma que na secagem de peças estreitas o empilhamento limita o encurvamento, mas tem pouca influência sobre o arqueamento, sendo este, normalmente um grande problema. Resultados semelhantes são apresentados por Koch (1986): o autor encontrou que a intensidade do arqueamento em

caibros de “yellow-poplar” aumentou após secagem, bem como aumentou a porcentagem de peças rejeitadas.

Do ponto de vista mecânico, peças mais largas são mais difíceis de corrigir em relação ao encurvamento, mas são muito mais resistentes ao arqueamento, enquanto peças mais estreitas são mais facilmente endireitadas no encurvamento e mais susceptíveis ao arqueamento.

Isso pode ser explicado em função do momento de inércia, que é definido como: $(b \times h^3)/12$, onde b é a largura e h é altura da peça, em relação ao sentido de aplicação da tensão. Na Figura 22, vê-se que o peso da pilha impõe uma tensão, no sentido da espessura.

Figura 22 - Influência da largura das peças na resistência aos empenamentos.

Nesse sentido, peças estreitas são menos resistentes, em função de que apresentam menor inércia em relação às peças largas. O mesmo raciocínio pode ser feito em relação ao arqueamento. As tensões de secagem agem no sentido da largura das peças e deste modo, peças mais largas

apresentam uma resistência muito maior ao arqueamento, por apresentarem inércia maior que em peças estreitas. De fato, foi o que ocorreu com as ripas recém-serradas pelo método convencional, durante o processo de secagem. Essas peças, mais estreitas que as tábuas do método SSR, endireitaram-se mais quanto ao encurvamento, mas sofreram mais com o arqueamento, enquanto as tábuas no SSR endireitaram menos no encurvamento, mas sofreram menos com o arqueamento.

Os rejeitos não foram muito freqüentes em ambos métodos. Entretanto, o método SSR reduziu a freqüência de 7,6% para 2,91% para o *E. cloeziana*, o que equivale à redução de 62%. Para o *E. grandis* o método SSR reduziu a freqüência de 1,3% para 0,8%, significando uma redução de 38% (Figura 23).

Figura 23 - Porcentagem de rejeitos, para ambas espécies, conforme o método.

Outra grande vantagem do método SSR, em relação ao método convencional, foi o de reduzir grandemente o rejeito, em função da redução da frequência e da intensidade dos empenamentos, anteriormente comentada.

Maeglin & Boone (1985) utilizando este método em “willow” (*Salix nigra*), “red-maple” (*Acer rubrum*) e “basswood” (*Tilia americana*), conseguiram reduzir os rejeitos entre 50 e 100%, dependendo da espécie. Resultados semelhantes são apresentados por Erickson et al. (1986) em caibros de “paper-birch” e por Maeglin & Boone (1988) em “yellow-poplar”. No método convencional o principal motivo para se rejeitar as ripas foi o arqueamento, enquanto o encurvamento foi principal motivo para se rejeitar no método SSR. Este resultado já era esperado, haja vista que o método SSR foi efetivo na redução da intensidade do arqueamento, enquanto o convencional produziu peças com menor intensidade de encurvamento.

A redução da porcentagem de peças rejeitadas, promovida pelo método SSR, significa que um volume maior de peças estão disponíveis para a fabricação do PCL, em comparação ao método convencional.

4.3.3 Classificação das ripas secas

O método SSR reduziu bastante a intensidade do arqueamento o que possibilitou uma melhor classificação das peças como pode ser observado na Figura 24. Observa-se claramente a superioridade deste método, principalmente por ter produzido quase a totalidade de peças classificadas como Extra/1ª e por não ter produzido ripas rejeitadas por este defeito (3ª classe).

Quando se faz tal análise para o encurvamento, observa-se na Figura 25, que o método SSR produziu uma porcentagem menor de ripas classificadas como Extra, o que era de se esperar, tendo em vista que a intensidade desse defeito foi maior no SSR.

Figura 24 - Classificação das ripas secas pelo arqueamento.

Figura 25 - Classificação das ripas secas pelo encurvamento.

A porcentagem de peças rejeitadas pelo encurvamento (3ª classe) também foi maior para o método SSR. Resultados semelhantes são apresentados por Huber et al. (1984). Os autores utilizaram o método SSR para a produção de componentes de portas e assim, tiveram reduzida a intensidade dos empenamentos (arqueamento, encurvamento e torcimento). Era esperado então que a redução dos empenamentos levasse a uma melhor classificação das peças, mas isso não ocorreu, e o método convencional apresentou uma porcentagem maior de peças com melhor classificação.

Duas explicações podem ser apontadas para justificar a menor frequência dos defeitos e a intensidade do arqueamento das ripas produzidas pelo método SSR. A primeira é dada por Marshal (1973) e por Maeglin & Boone (1983a), que afirmam que as tensões de secagem ocorrentes nas largas tábuas, usadas no método SSR, contrapõem às tensões de crescimento. Deste modo, durante a ressaia das tábuas secas, as peças produzidas apresentam menores distorções. Fica a dúvida, de que forma isso ocorre, uma vez que as tensões de secagem ocorrem perpendicularmente às fibras e as tensões de crescimento ocorrem paralelamente às mesmas.

McMillen (1955) estudando “red oak” (*Quercus rubra*), acompanhou o desenvolvimento das tensões através da espessura das tábuas, durante o processo de secagem. Assim, o autor identificou que nos primeiros estágios da secagem, as camadas mais externas das tábuas estão sob tensão de tração e as internas, sob compressão; e a medida que a tábua vai secando ocorre diminuição da tensão de tração e aumento da tensão de compressão, até que no final da secagem as camadas externas estão sob tensão de compressão e as internas sob tensão de tração. A Figura 26 ilustra este estado de tensão ocorrente no estágio final da secagem, onde as setas congruentes representam a tensão de compressão, e as opostas a tensão de tração.

Figura 26 - Distribuição teórica de tensões de secagem em tábuas e em ripas após ressa.

Na ressa das tábuas secas ocorre a liberação das tensões de secagem e assim, a parte que está sob compressão tende a alongar-se enquanto a parte sob tração tende a encurtar. Entretanto, a maior parte as tensões são de tração em comparação à compressão (McMillen, 1955; Cech, 1964), e o encurtamento contrapõe a tendência da ripa empenar, diminuindo assim a intensidade do arqueamento.

Fenômeno similar ocorre na árvore em pé, onde a zona periférica está sob tração e a zona interna, próxima à medula, está sob compressão. Assim, quando a árvore é cortada, a zona tracionada tende a encolher-se e a comprimida a alongar-se, causando o aumento da superfície de corte, e a conseqüente rachadura no topo da tora.

As tensões de secagem são a causa de vários defeitos de secagem, tais como: encurvamento, torcimento, arqueamento, rachaduras e colapso (Vermaas, 1998). Entretanto, para o caso em questão, as tensões de

secagem liberadas na operação de resserra parecem ter diminuído a intensidade do arqueamento, em ripas produzidas pelo método SSR, agindo assim de modo benéfico.

Tendo em vista as suposições levantadas até o momento, nota-se que a tensão imposta pela pilha foi mais benéfica para o método convencional, principalmente para a intensidade do encurvamento. O método SSR beneficiou-se mais das tensões de secagem, principalmente na redução da intensidade do arqueamento. Assim, uma possível redução da intensidade do arqueamento, em ripas produzidas pelo método SSR, poderia, supostamente, ser proporcionada pelo aumento das tensões de secagem. Isso pode ser conseguido, por exemplo, com a utilização de temperaturas altas no início do processo de secagem convencional. Entretanto, esse aspecto, para a madeira de eucalipto, é extremamente limitante, tendo em vista a sua alta susceptibilidade ao colapso.

Para o encurvamento, o aumento da tensão imposta pela pilha de secagem seria uma opção para a redução de sua intensidade. Isso poderia ser feito, por exemplo, com a adoção de restrição da carga através da utilização de cabos de aço estendidos. Entretanto, quanto maior a tensão imposta, maior pode ser a tensão liberada, pela operação de resserra, promovendo assim o aumento da intensidade do encurvamento.

Simpson (1982) aplicando esta metodologia, e objetivando diminuir os empenamentos em “oak” e “hickory”, não conseguiu diminuir a intensidade do encurvamento, mas teve resultados positivos para o arqueamento e o torcimento.

Outra opção seria empilhar a madeira com a flecha do encurvamento voltada para cima, o que poderia reduzir a intensidade do encurvamento. Entretanto, seria necessário um bom controle das peças, através da marcação da face que apresentasse o defeito, o que poderia reduzir a produtividade da serraria ou aumentar os custos de produção.

A segunda explicação é dada por Haslett (1988) sugere que as tensões de crescimento são relaxadas quase que totalmente no período de secagem. Entretanto, o autor não define se tal relaxamento é em função das tensões de secagem ou em função do período de secagem. Alguns autores sugerem que as tensões de crescimento podem ser relaxadas ou diminuídas durante a estocagem de toras, que assim apresentariam menor intensidade de rachaduras e empenamentos (Chafe, 1979; Malan, 1979; Haslett, 1988). Entretanto, não se sabe, se tal relaxamento ocorre nas tábuas quando essas são estocadas ao ar, como ocorrido nesse trabalho.

A teoria da contraposição proporcionada pelas tensões de secagem, como apresentado anteriormente, é uma das quatro que envolvem o desenvolvimento deste método, como exposto por Maeglin & Boone (1983a). Outra teoria apresentada por estes autores, baseia-se no efeito da temperatura de secagem sobre o relaxamento das tensões de crescimento nas tábuas. Em temperaturas acima de 100°C (secagem à alta temperatura) ocorre a plastificação da lignina, ajudando no relaxamento das tensões. No entanto, como dito anteriormente, temperaturas altas são bastante limitantes para a madeira de eucalipto. Essa teoria, então, não se aplica no processamento dessa espécie, mas talvez a utilização da secagem convencional ao invés da secagem ao ar, utilizada nesse trabalho, pudesse diminuir os encurvamentos, possibilitando a melhor classificação das peças, principalmente no tocante ao encurvamento.

Muitos autores têm detectado que a temperatura e a utilização de diferentes métodos de secagem podem influenciar na intensidade do empenamento de peças processadas pelo método SSR, entre eles Maeglin & Boone (1983a), Huber et al. (1984), Erickson et al. (1986 - Tabela 2) e Layton et al. (1986 - Tabela 3).

5 CONCLUSÕES

Em função dos resultados apresentados, as seguintes conclusões e recomendações podem ser apontadas:

- ambas espécies estudadas apresentaram rendimento em madeira serrada próximos entre si e similares àqueles encontrados por outros autores;
- o *E. cloeziana* apresentou maior rendimento em madeira serrada na 1ª tora; entretanto, para *E. grandis* não foi detectada diferença entre as posições;
- durante o desdobro e a resserra das tábuas verdes em ambas espécies, ficaram evidentes as consequências da liberação das tensões de crescimento, o que foi demonstrado pela grande frequência de defeitos em tábuas e ripas recém-serradas;
- para as tábuas recém-serradas foi detectada diferença significativa, entre as posições, para a intensidade do encurvamento e das rachaduras em *E. grandis*, o mesmo não ocorrendo em *E. cloeziana*;
- para os defeitos em ripas recém-serradas verdes não foi detectada diferença significativa entre as posições em ambas espécies;
- entre as espécies estudadas, o *E. grandis* apresentou menor frequência e intensidade dos defeitos em tábuas e ripas verdes, à exceção da frequência das rachaduras nas tábuas;

- para *E. grandis* foi detectada tendência da 2ª tora de produzir tábuas e ripas verdes com maior intensidade e frequência dos defeitos avaliados; para *E. cloeziana*, essa tendência foi identificada para 1ª tora;
- foi detectada uma tendência de aumento da intensidade do encurvamento e diminuição da rachadura no sentido medula - casca em ambas espécies estudadas, comprovada por equações de regressão estatisticamente significantes;
- o método SSR promoveu redução pronunciada, em ambas espécies, da frequência do arqueamento e do empenamento duplo (arqueamento + encurvamento) em comparação ao método convencional; a redução também ocorreu para o encurvamento, mas de forma menos pronunciada;
- o método SSR foi também bastante efetivo na redução da intensidade do arqueamento em ambas espécies e posições; para o encurvamento, o SSR não apresentou efeito ou aumentou a sua intensidade, como em *E. grandis*;
- em ambos métodos e espécies estudadas, foi detectada uma tendência das ripas oriundas da 2ª tora apresentarem maior frequência e intensidade de defeitos;
- o método SSR reduziu a porcentagem de peças rejeitadas em ambas espécies ;
- as ripas secas, produzidas pelo método SSR foram, mais frequentes nas classes superiores (Extra e 1ª), quando classificadas pelo arqueamento, em comparação ao método convencional; entretanto, na classificação pelo encurvamento, o método convencional apresentou maior frequência de ripas secas classificadas na classe superior (Extra);
- recomenda-se a utilização do método SSR para a produção de madeira serrada de ambas espécies estudadas;

- sugere-se que novos estudos sejam feitos, estudando-se outras espécies de eucalipto, em combinação com outros métodos de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, M.S. Experiencia argentina en el uso de la madera de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., 1995, São Paulo, **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p.74-91.
- BEAUREGARD, R.; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y.; SAMSOM, M. Evaluation warp from three sawing processes including saw-dry-rip to produce aspen structural lumber. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42 n. 6 p. 61-64, 1992.
- BERENGUT, G. Ensaio de desdobro de *Eucalyptus saligna* Smith. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 8, p. 81-98. 1973.
- BOLAND, D.J. (Coord.). **Forest trees of Australia**. Sidney: CSIRO, 1994, 687p.
- BOOTLE, K.R. **Wood in Australia: types, properties and uses**. Sidney: McGraw-Hill, 1983, 443p.
- CAMPBELL, G.S. The seasoning of regrowth eucalypts. **Australian Forest Industries Journal**, Sydney, v. 41, n. 11, p. 31-33, 1975.
- CAMPBELL, G.S.; HARTLEY, J. Drying and dried wood. In: HILLIS, W.E. & BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978. pp. 328-335.
- CECH, M.Y. **Development of drying stresses during high-temperature kiln-drying**. Forest Products Research Branch Contribution No p -62, 12p, 1964.
- CHAFE, S.C. Growth stress in tress. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 9, p. 203-23, 1979.

- CHAFE, S.C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 11, p. 79-82, 1981.
- CHAFE, S.C. Variation in longitudinal growth stress with height in trees of *Eucalyptus nitens* Maiden. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 15, p. 51-5, 1985.
- CHAFE, S.C. Peripheral growth stress and tree diameter in Eucalyptus. **Journal of Institute of Wood Science**, v. 13, n. 5, p. 523-525, 1995.
- COSTA, E. M. A madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, IV., Curitiba, 1996, **Anais**, Curitiba: ABPM, 1996. p. 75-89.
- DEL MENEZZI, C.H.S.; SOUZA, M. R.; GONÇALEZ, J.C. Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada de mistura de *Eucalyptus urophylla* T.S. Blake e *Pinus oocarpa* Schiede. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 3, pp. 371-379. 1996.
- ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., Belo Horizonte, 1998, **Anais**. Viçosa: SIF/UFV, 1998, 271p.
- ERICKSON, R.W.; PETERSEN, H.D.; LARSON, T.D.; MAEGLIN, R. **Production studs from paper-birch by Saw-Dry-Rip**. Washington: USDA, 1986, 8p. (USDA - Forest Service, Research Paper - Forest Products Laboratory, 480)
- FERRAND, J.Ch. Growth stresses and silviculture of eucalypts. **Australian Forest Research**, Canberra, v. 13, p. 75-81, 1982.
- FERRAND, J.Ch. Les contraintes de croissance et leurs conséquences en matière de sylviculture et de sciage. **Revue Forestière Française**, Nancy, v. 35, n. 5, p. 327-346, 1983.
- GAOTTO, M.R.; WATAI, L.T.; JANKOWSKY, I .P. 1993. Avaliação experimental do compensado de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., Curitiba, 1993, **Anais**. Curitiba: SBS/SBEF, 1993, p. 595-599.
- GARCIA, J.N. Estados de tensão em árvores e de deformação em peças de madeira serrada. São Paulo, 1992. 243p. Tese (Doutor - Engenharia) - Universidade de São Paulo.
- GARCIA, J.N. Técnicas de desdobro de eucalipto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., São Paulo, 1995, **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 59-67.

- GÉRARD, J.; BAILLÈRES, H.; FOURNIER, M.; THIBAUT, B. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 245, p. 101-111, 1995.
- GONÇALVES, R.; HERNÁNDEZ, R.; NÉRI, A.C. Esfuerzos de corte ortogonal 90-0 en tres especies de madera de eucalipto del Estado de São Paulo, Brasil. (compact disc) In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 1., Valdivia, 1998. **El manejo sustentable de los recursos forestales, Desafio del Siglo XXI**: trabajos. Viena: IUFRO/CONAF, 1998.
- JARA, E.R.P.; MIRANDA, M.J. de A.C.; HUMPHREYS, R.D. 1997. Influência do tratamento térmico na redução das tensões internas de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis*. In CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, Salvador, 1997, **Anais**. Salvador: Embrapa/IPEF, 1997, p. 276 - 281.
- HASLETT, A.A. **A guide to handling and grade-sawing plantation-grown eucalypts**. Rotorua: FRI, 1988, 72p. (FRI Bulletin, 142)
- HASLETT, A.A. **Properties and utilisation of exotic speciality timbers grown in New Zealand**. Part VI: Eastern blue gums and stringy barks: *Eucalyptus botryoides*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus globoidea*, *Eucalyptus muellerana* e *Eucalyptus pilularis*. Rotorua: FRI, 1990a. 21p. (FRI Bulletin, 119).
- HASLETT, A.A. **Properties and utilisation of exotic speciality timbers grown in New Zealand**. Part V: Ash eucalypts and *Eucalyptus nitens*: *Eucalyptus regnans*, *Eucalyptus delegalensis*, *Eucalyptus fastigata*, *Eucalyptus obliqua*, *Eucalyptus sieberi*, *Eucalyptus fraxinoides* e *Eucalyptus nitens*. Rotorua: FRI, 1990b. 20p. (FRI Bulletin, 119).
- HUBER, H.; MAEGLIN, R.R.; BOZAAN, D. Commercial evaluation of SDR (Saw-dry-rip) - using aspen for door parts. **Forest Products Journal**, Madison, v. 34, n. 11/12, p. 35-39, 1984.
- IWAKIRI, S.; LATORRACA, J.V.F.; SILVA, D.A.; GABARDO, J.L.; KLITZE, R.J.; FOFANO JR., A.; FABROWSKI, F.; INTERANMENSE, M.T. Produção de chapa de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista Setor Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, pp. 33-41. 1996.
- KAUMAN, W.G.; GERARD, J.; JIQING, H.; HUAIJUN, W. Processing of Eucalypts. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 74, n. 2, p. 147-154. 1995.
- KOCH, C.B. The relationship between crook of green and seasoned yellow-poplar 2 by 4's. **Forest Products Journal**, Madison, v. 36, n. 7/8, p. 45-48, 1986.

- KUBLER, H. Growth stress in trees and related wood properties. **Forestry Abstract**, Farnham, v. 48, n. 3, p. 131-189, 1987.
- KUBLER, H. Silvicultural control of mechanical stresses in trees. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 18, p. 1215-1225, 1988.
- LAMPRECH, H. **Silvicultura nos Trópicos**. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.
- LAYTON, T.F.; SMITH, W.R.; Maeglin, R.R. An evaluation of the saw, dry and rip process to convert red alder into studs. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 20, p. 185-200. 1986.
- LISBÔA, C.D.J. Estudo das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex-Maiden. Curitiba, 1993. 275p. Tese (Doutor - Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná.
- MAEGLIN, R.R.; BOONE, R.S. Manufacture of quality yellow-poplar studs using the saw-dry-rip (S-D-R) concept. **Forest Products Journal**, Madison, v. 33, n. 3, p. 10-18, 1983a.
- MAEGLIN, R.R.; BOONE, R.S. **An evaluation of saw-dry-rip (SDR) for manufacture of studs from small ponderosa pine logs**. Washington: USDA, 1983b, 7p. (USDA - Forest Service, Research Paper - Forest Products Laboratory, 435).
- MAEGLIN, R.R.; BOONE, R.S. **Evaluation of mixed hardwood studs manufactured by the Saw-Dry-Rip (SDR) process**. Washington: USDA, 1985, 10p. (USDA - Forest Service, Research Note - Forest Products Laboratory, 249).
- MAEGLIN, R.R.; BOONE, R.S. **Saw-Dry-Rip improves quality of random-length yellow-poplar 2 by 4's**. Washington: USDA, 1988, 15p. (USDA - Forest Service, Research Paper - Forest Products Laboratory, 490).
- MALAN, F.S. The control of end splitting in sawlogs: a short literature review. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 109, p. 14-18, 1979.
- 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.
- MALAN, F.S.; VERRYIN, S.D. Effect of genotype-by-environment interaction on the wood properties and qualities of four-year-old *Eucalyptus grandis* and *E. grandis* hybrids. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 176, p. 47-53, 1996.
- MARSHAL, P.E. The production and drying of wide flitches for scantling. **Australian Forest Industries Journal**, Sydney, v. 38, n. 12, p. 27-31, 1973.

- McMILLEN, J.M. Drying stresses in red oak. **Forest Products Journal**, Madison, v. 5, n. 1, p. 71-76, 1955.
- MIRANDA, M.J.A.C.; NAHUZ, M.A.R. Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith no rendimento em madeira serrada verde. In: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, Salvador, 1997, **Anais**. Colombo: Embrapa/IPEF, 1997, p.204 - 208. 1997.
- MONTAGNA, R.G.; PONCE, R.H.; FERNANDES, P.S.; RIBAS, C. Desdobro de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando diminuir o efeito das tensões de crescimento. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 181-190, 1991.
- MOURA, V.P.G.; MELO, J.T.; SILVA, M.A. Comportamento de procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. aos nove e meio anos de idade, em Planaltina, DF, área de cerrado. **IPEF**, Piracicaba, n. 46, p. 52-62, 1993.
- NICHOLSON, J.E. Growth stress differences in eucalypts. **Forest Science**, Bethesda, v.19, n. 3, p. 169-174. 1973.
- PAGE, M.W. Production of sawn wood from small eucalypts logs. In: HILLIS, W.E., BROWN, A.G. **Eucalyptus for wood production**. Melbourne: CSIRO, 1978. p. 322-327.
- PANDEY, C.N.; GAUR, B.K.; KANNOJI, H.C. et al. A new approach to seasoning of *Eucalyptus* hybrid (*Eucalyptus tereticornis*). **Indian Forester**, Dehra, v. 110, n. 3, p. 117-121, 1984.
- PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1970. 705p.
- 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.; KNUFFEL, W.; MALAN, F.; VAN RENSBURG, M.. **The sawmilling and timber properties of 12 and 24 year old plantation grown *E. grandis***. Pretoria: CSIR/National Timber Research Institute, 1981. 36p. (CSIR Special Report, Hout/222).
- PRIEST, D.T.; KNUFFEL, W.; MALAN, F. **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. **The machining properties of *Eucalyptus grandis***. Pretoria: CSIR/National Timber Research Institute, 1982. 9p. (CSIR Special Report, Hout/277).

- 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: CONFERÊNCIA IUFRO SOBRE SILVICULTURA E MELHORAMENTO DE EUCALIPTOS, Salvador, 1997, **Anais**. Colombo: Embrapa/IPEF, p.401 - 404. 1997.
- SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., São Paulo, 1995, **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995, 132p.
- SHARMA, S.N.; PANDEY, C.N.; KANNOJI, H.C. Sawing and seasoning technique for *Eucalyptus tereticornis*. **Journal of Timber Development of India**, Dehra, v. 34, n. 4, p. 5-12, 1988.
- SIMPSON, W. Warp reduction in kiln-drying hardwood dimension. **Forest Products Journal**, Madison, v. 32, n. 5, p. 29-32, 1982.
- SKOLMEN, R.G. **Lumber potencial of 12-year-old saligna eucalyptus trees in Hawai.** Berkeley: USDA/Forest Service, 1984, 7p. (Research Note, PSW-288).
- STEELE, P.H. **Factors determining lumber recovery in sawmilling.** Berkeley: USDA/Forest Service, 1984, 8p. (General Technical Report, FPL-39).
- TUSET, R.; DURAN, F. **Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilizacion.** Montivideo: Hemisferio Sur, 1986. 688p.
- VAN WYK, J.L. Hardwood sawmilling can have bright future in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 107, p. 47-53, 1978.
- VERMAAS, H.F. Drying eucalypts for quality: material characteristics, pre-drying treatments, drying methods, schedules and optimization of drying quality. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1., São Paulo, 1995, **Anais**. Piracicaba: IPEF/IPT, 1995. p. 119-132.
- VERMAAS, H.F. Interaction of wood, water and stress during dryng: a review. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n. 181, p. 25-32, 1998.
- VIGNOTE, S.; MOLINERO, I.; GERARD, J.; DIEZ, M.R. Estudio de las tensiones de crecimiento del *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relacion com las características de estacion y morfologicas del próprio arbol. **Invest. Agr. Sist. Recur. For.**, v. 5, n. 1, p.153-165, 1996.
- WALKER, J.C.F. Sawmilling. IN: WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practices.** London: Chapman & Hall, 1993. p. 196-246.

- WADE, M.W.; BULLARD, S.H.; STEELE, P.H.; ARAMAN, P.A. Estimating hardwood sawmill conversion efficiency based on sawing machine and log characteristics. **Forest Products Journal**, Madison, v. 42, n.11/12, p. 21-26, 1992.
- WILKINS, A.P. Nature and origin of growth stress in trees. **Australian Forestry**, Canberra, v. 49, n. 1, p. 56-62, 1986.
- WILKINS, A.P.; KITAHARA, R. Relationship between growth strain and rate on growth in 22 year-old *Eucalyptus grandis*. **Australian Forestry**, Canberra, v. 54, n. 1/2, p. 95-98, 1991.
- YAO, J. Relationships between height and growth stresses within and among white ash, water oak, shagbark hickory. **Wood Science**, Madison, v. 11, n. 4, p. 246-251, 1979.
- ZENID, G.J. Classificação de madeira serrada de eucalipto. Proposta ABPM/IPT. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, IV., Curitiba, 1996, **Anais**. Curitiba: ABPM, 1996. p. 91-96.
- ZOBEL, B.J. & JETT, J.B. Grain, Fibril Patterns, and Internal Defects. In: ZOBEL, B.J. & JETT, J.B. **Genetics of wood production**. Springer-Verlag: New York, 1995, pp. 149-165.

APÊNDICE

Tabela 15. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m), em tábuas e em ripas verdes, em relação à posição da tora para *E. cloeziana*.

Peça	Defeito	1ª Tora	2ª Tora	G.L. ¹	Fcalc.
Tábuas	Encurvamento	5,46	5,84	11	0,14 ^{ns}
	Rachadura	222,12	153,78	11	2,00 ^{ns}
Ripas verdes	Encurvamento	7,55	6,10	5	0,79 ^{ns}
	Arqueamento	3,98	4,33	5	0,52 ^{ns}

(1) graus de liberdade; ns: não significativo;

Tabela 16. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m), em tábuas e em ripas verdes, em relação à posição da tora para *E. grandis*.

Peça	Defeito	1ª Tora	2ª Tora	G.L. ¹	Fcalc.
Tábuas	Encurvamento	3,65	4,43	11	4,53 ^{sig}
	Rachadura	157,33	220,94	11	4,63 ^{sig}
Ripas verdes	Encurvamento	3,82	5,02	5	1,52 ^{ns}
	Arqueamento	2,50	3,37	5	2,19 ^{ns}

(1) graus de liberdade; ns: não significativo; sig: significativo ao nível de 10%.

Tabela 17. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em tábuas e em ripas verdes, para ambas espécies.

Peça	Defeito	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	G.L. ¹	Fcalc.
Tábuas	Encurvamento	5,65	4,04	23	9,13**
	Rachadura	187,95	189,14	23	0,00 ^{ns}
Ripas verdes	Encurvamento	6,83	4,42	11	6,41*
	Arqueamento	4,16	2,94	11	10,34*

(1) graus de liberdade; **/* significativo, respectivamente, ao nível de 1% e 5% de probabilidade; ns: não significativo;

Tabela 18. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em ripas secas, em relação à posição da tora e ao método, para *E. cloeziana*.

Defeito	Posição	Convencional	SSR	G.L. ¹	Fcalc.
Encurvamento	1ª Tora	3,33	3,38	5	0,07 ^{ns}
	2ª Tora	3,43	4,13	5	0,38 ^{ns}
	Total ²	3,40	3,80	11	0,39 ^{ns}
Arqueamento	1ª Tora	4,27	1,19	5	588,65**
	2ª Tora	4,96	1,60	5	9,32*
	Total	4,60	1,40	11	37,17**

(1) graus de liberdade; (2) para a tora como um todo, independente da posição;

**/* significativo, respectivamente, ao nível de 1% e 5% de probabilidade; ns: não significativo;

Tabela 19. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em ripas secas, em relação à posição da tora e ao método, para *E. grandis*.

Defeito	Posição	Convencional	SSR	G.L. ¹	Fcalc.
Encurvamento	1ª Tora	1,36	3,24	5	37,21**
	2ª Tora	2,67	3,28	5	0,82 ^{ns}
	Total ²	2,01	3,30	11	4,81*
Arqueamento	1ª Tora	2,55	0,78	5	31,00**
	2ª Tora	3,71	1,29	5	7,49*
	Total	3,10	1,03	11	7,87**

(1) graus de liberdade; (2) para a tora como um todo, independente da posição;

**/* significativo, respectivamente, ao nível de 1% e 5% de probabilidade; ns: não significativo;

Tabela 20. Análise de variância da intensidade dos defeitos (mm/m) em ripas secas, em relação à espécie, para os métodos testados.

Método	Defeito	<i>E. cloeziana</i>	<i>E. grandis</i>	G.L. ¹	Fcalc.
Convencional	Encurvamento	3,40	2,01	11	6,87*
	Arqueamento	4,60	3,10	11	5,57*
SSR	Encurvamento	3,80	3,30	11	0,263 ^{ns}
	Arqueamento	1,40	1,03	11	0,94 ^{ns}

(1) graus de liberdade; * significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns: não significativo;