

QUALIDADE DA SECAGEM DE MADEIRA SERRADA DE *Eucalyptus dunnii*

QUALITY OF SAWN TIMBER DRYING OF *Eucalyptus dunnii*

Elias Taylor Durgante Severo¹

RESUMO

No presente estudo, foi avaliado o comportamento de secagem da madeira de *Eucalyptus dunnii* em estufa piloto convencional, utilizando-se três programas de secagem. Cada programa de secagem teve uma vaporização inicial (pré-vaporização) de 3 horas após uma hora de aquecimento inicial e uma vaporização intermediária de 5 horas para recuperação do colapso, quando a madeira se encontrava a 17% de umidade. Os resultados mostram que, entre os programas de secagem utilizados, somente o programa considerado o mais suave apresentou um bom resultado em termos de qualidade de madeira seca. Entre os defeitos encontrados estão 37,5% de colapso, 35% de encaçamento e 10% de rachaduras. Embora, desse total, somente 15% do colapso e encaçamento foram classificados como defeitos fortes.

Palavras-chave: *Eucalyptus dunnii*, pré-vaporização, secagem convencional.

ABSTRACT

In the present study, the behaviour of *Eucalyptus dunnii* wood drying in a conventional pilot kiln was evaluated, using three drying schedules. Each drying schedule had an initial vaporization (presteaming) of 3 hours after one hour of initial warming and an intermediate vaporization of 5 hours for the collapse recovery when the wood was at 17% of humidity. The results show that among the used drying schedule only the schedule regarded as the mildest presented a good result in terms of dry wood quality. Among the discovered defects, there were 37,5% of collapse, 35% of cupping and 10% of split. However, though from this total only 15% of the collapse and cupping were regarded as strong defects.

Key words: *Eucalyptus dunnii*, presteaming, conventional drying.

INTRODUÇÃO

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

1. Engenheiro Florestal, Dr. Professor do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Fazenda Experimental Lageado, Caixa Postal 237, CEP 18603-970, Botucatu (SP).

Quando a madeira, na condição verde, é submetida à secagem, ela contrai, com maior intensidade na direção perpendicular, a grã. Pela secagem da madeira até o teor de umidade de equilíbrio com o meio ambiente nós, efetivamente a “pré contraímos”, com o objetivo de assegurar que qualquer subsequente movimento da madeira, em trabalho no seu uso final, seja pequena ou negligenciável e acomodada dentro da forma do produto final.

O abastecimento de toras de eucalipto, advindas de plantações do hemisfério Sul, está aumentando, e o comportamento de secagem, dessa espécie, está conseqüentemente se tornando cada vez mais importante.

Uma meta comum nas pesquisas sobre secagem da madeira de eucalipto é reduzir os longos tempos de secagem e, conseqüentemente, os custos envolvidos nesse processo (CAMPBELL & HARTLY, 1978). Outras características típicas dessa espécie são: colapso, fendas superficiais, alta contração, alto gradiente de umidade e tensões de secagem.

A maior parte dos eucaliptos possui densidade básica entre 500 – 800 kg/m³ e são relativamente impermeáveis e difíceis de secar. Em teores de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF), essa espécie mostra um aumento na tendência para apresentar fendas e colapso com o aumento da temperatura.

Segundo BRENNAN *et al.* (1966), a secagem de eucaliptos, em sua fase inicial, deve ser realizada, utilizando-se baixa temperatura, alta umidade relativa e baixa velocidade do ar, enquanto que, na segunda fase da secagem, temperaturas mais elevadas são aceitas sem maiores problemas (CHRISTENSEN, 1985).

Segundo VERMAAS (1995), é prática tradicional, em países como Austrália e África do Sul, a secagem ao ar livre da madeira de eucalipto de verde até PSF, sendo posteriormente seca em estufa convencional até o teor de umidade final. Porém, tendo em vista o aumento do custo da madeira, o uso de pré-secadores tem substituído técnicas que envolvam longos períodos de secagem e a falta de controle de qualidade (SIMPSON, 1983; 1984). Os pré-secadores são muitas vezes utilizados para secar madeira de verde até, aproximadamente, 25% de umidade, antes de proceder à secagem em estufa até um teor de umidade final mais baixo. A temperatura e umidade relativa do ar são controladas, sendo que a temperatura varia de 25°C-40°C e umidade relativa é mantida entre 60-90% (SIMPSON, 1991).

No caso da secagem da madeira de eucaliptos, desde o seu estado verde até o teor de umidade final em estufa convencional, vários autores recomendam iniciar a secagem com temperaturas inferiores a 45°C e, posteriormente, mantê-la até que toda a água capilar seja removida da madeira (KAUMAN, 1964; BLUHN & KAUMAN, 1965; CAMPBELL & HARTLEY, 1978; HARTLEY & GOUCH, 1990). Na fase final da secagem, ou seja, abaixo do PSF, em torno de 25% de umidade, até a madeira atingir o teor de umidade final de 10-12% de umidade, a secagem dessa espécie não é mais problemática e a temperatura pode ser aumentada consideravelmente nessa fase (CHRISTENSEN, 1984). De acordo com CHRISTENSEN (1985), a secagem final da madeira de eucaliptos, com espessura de 25-50 mm, pode ser completada com temperaturas de até 110°C sem maiores problemas para qualidade da madeira.

Estudos, conduzidos por TOMASELLI (1992) e citado por ROZAS (1993), mostram que a

utilização de um sistema combinado de pré-secagem ao ar livre e secagem convencional, para madeira de eucalipto de 25 mm de espessura destinado a caixotaria, leva cerca de 2 meses para atingir o PSF e, posteriormente, varia de cinco a dez dias em estufa para alcançar o teor de umidade final desejado.

Segundo ROZAS & TOMASELLI (1993), a madeira de *Eucalyptus viminalis* apresenta um tempo de secagem de, aproximadamente, 21 dias para secar de 50% até 9% de umidade final, o que corresponde a uma taxa de secagem de, aproximadamente, 2%/dia.

Da mesma forma, estudos conduzidos por ROZAS (1993), com madeira de *Eucalyptus grandis*, com 30 mm de espessura, mostram que, para secar essa espécie de 97,6% até 7,6% de umidade final, leva aproximadamente 26 dias o que corresponde a uma velocidade de secagem de aproximadamente 3,5%/dia.

NEUMAN (1989) comenta que é possível secar madeira de *Eucalyptus globulos* com 30 mm de espessura por meio de um sistema misto de pré-secagem e secagem à alta temperatura. Nesse caso, o tempo de secagem é de aproximadamente 35 dias para secar desde 70% até 21% a uma temperatura inicial de 22,5°C e final de 35°C. Já para secar de 21% até 10%, com uma temperatura de 110°C, o tempo de secagem seria de 20 horas.

Um grande número de pré-tratamentos tem sido empregado para reduzir o tempo e aumentar a taxa de secagem da madeira, por exemplo, pré-vaporização, pré-congelamento, pré-compressão e vários tratamentos químicos. No entanto, a pré-vaporização é especialmente atrativa por ser uma técnica que pode ser adotada como método comercial, em virtude da pouca ou nenhuma mudança necessária em termos de equipamentos ou na operação básica em uma indústria.

A vaporização à pressão atmosférica, antes da secagem (pré-vaporização), tem demonstrado melhorar a permeabilidade da madeira.

ELLWOOD & ERICKSON (1962) constataram que a vaporização da madeira verde causa uma imediata perda de umidade durante o período de aquecimento pela elevação da temperatura; posteriormente, quando atinge a temperatura, ocorre uma expansão das bolhas de água dentro da madeira e, durante o período de resfriamento, mais umidade é perdida por evaporação.

ELLWOOD & ECKLUND (1961) obtiveram um aumento na permeabilidade longitudinal de um fator 20 na secagem de Black oak – *Quercus spp* após a vaporização a 100°C durante 4 horas.

MACKAY (1971) reportou o efeito da vaporização na madeira de *Eucalyptus regnaus* e *Ceratopetalum apetalum*. Os resultados mostram um aumento no coeficiente de difusão tanto no estado constante como não-constante, além de favorecer a recuperação do colapso após a secagem.

CAMPBELL (1961) reportou a redução no tempo de secagem em estufa em alguns *Eucalyptus spp* com 2,5 cm de espessura em cerca de 28% para secar de verde até 20% e reduções de 35% para secar de verde até 15% de umidade. ALEXIOU *et al.* (1990) reportam que o emprego de vaporização a 100°C, durante 3 horas após 1 hora de aquecimento inicial na madeira de *Eucalyptus pilulares* Sm., proporcionou uma redução na taxa de secagem que variou de 7-16%. Comenta o autor ainda que houve uma redução de cerca de 53% nas rachaduras superficiais.

CHAFE (1990) comenta que a vaporização na madeira de *Eucalyptus regnans* F. Muell, durante 30 minutos, produz uma pequena mas, significativa, redução na variação dimensional da madeira, maior contração volumétrica e uma melhor recuperação do colapso.

Por outro lado, a vaporização da madeira, a 100°C e 100% de umidade relativa (vapor saturado), é utilizada também para recuperação do colapso ao término da secagem. Esse tratamento pode durar de 4-8 horas, dependendo de sua intensidade, e desde que a madeira não tenha sofrido ruptura de suas paredes celulares (HILDEBRAND, 1970; PRATT, 1986).

Segundo KOLLMANN & CÔTÉ (1968); SIMPSON (1991); WALKER *et al.* (1993), o teor de umidade mais recomendado, para realização da vaporização, é quando a madeira encontra-se com um teor de umidade de 15% em relação ao peso seco. Segundo MACKAY (1972), que trabalhou com madeira de *Eucalyptus delegatensis* colapsada, secada a teores de umidade de 5, 12 e 18% com amônia, o teor de umidade de 12% foi o mais adequado para recuperação do colapso. Já para CECH & PFAFF (1977), o tratamento de vaporização é mais eficiente, quando realizado em teor de umidade de 20%. Enquanto que para BLUHM & KAUMAN (1965), a recuperação do colapso deve ser realizada, quando a madeira estiver com 17% de umidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e preparo das tábuas

Para realização do presente estudo utilizaram-se tábuas das procedências Urbenville e Dorriço de *Eucalyptus dunnii* com 16 anos de idade. Essas tábuas obtidas por meio de cortes tangenciais foram inicialmente aplainadas em ambas as faces, destopadas e bitoladas na espessura de 24 mm, largura variável e comprimento mínimo de 2 metros. Esse procedimento teve como objetivo eliminar qualquer imperfeição das tábuas que pudesse dificultar a análise dos defeitos provenientes, exclusivamente, do processo de secagem. Posteriormente, elas foram agrupadas em lotes de, aproximadamente, 50 tábuas e embaladas em lona plástica até sua utilização.

Determinação do teor de umidade inicial

Antes da secagem da madeira, determinou-se o teor de umidade inicial da carga de madeira. Para isso foram retiradas duas subamostras de 2,5 cm de largura das extremidades de cada tábua. Essas subamostras foram então imediatamente pesadas em balança de precisão de 0,01g e submetidas à secagem em estufa elétrica a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante. Pela equação 1, obtiveram-se o teor de umidade inicial de cada subamostra, teor de umidade médio da tábua e teor de umidade da carga de madeira. O teor de umidade inicial da carga é necessário para o cálculo do teor de umidade corrente da carga de madeira durante o processo de secagem.

$$Tui = \frac{Pi - Po}{po} \times 100 \quad (1)$$

Onde: Tui = teor de umidade inicial da madeira, %;

Pi = peso inicial da madeira, g;

Po = peso seco da madeira em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

Empilhamento da madeira

As tábuas foram empilhadas no sentido longitudinal ao fluxo de ar da estufa sobre o carrinho transportador e espaçadas por separadores especiais de 2,5 cm x 2,5 x 70 cm, largura, espessura e comprimento respectivamente os quais permitiram a livre passagem do ar através da pilha.

Sobre a carga de madeira, colocou-se uma pilha falsa composta por tábuas secas denominadas “boneco”, com a finalidade de completar a carga até o teto da estufa e obter-se assim um fluxo de ar uniforme através da pilha de, aproximadamente, 2 m/s.

Programas de Secagem

Elaboraram-se três programas de secagem, levando-se em consideração as dificuldades naturais da secagem da madeira do gênero *Eucalyptus* tais como: predisposição ao colapso e rachaduras durante a fase de retirada da água livre presente na madeira. Para isso, o primeiro programa foi elaborado, utilizando as informações fornecidas pela literatura em que vários autores recomendam iniciar o processo de secagem com temperaturas, nunca, superiores a 40°C , assim como não ultrapassar a temperatura de 45°C até que toda água livre tenha sido evaporada da madeira (KAUMAN, 1964; BLUHN & KAUMAN, 1965; CAMPBELL & HARTEY, 1978; HARTEY & GOUGH, 1990).

Já nos demais programas, visou-se a avaliar as reais potencialidades em termos de secagem do *Eucalyptus dunnii*. Para isso, no segundo programa, optou-se por iniciar a secagem com uma temperatura de 45°C e, então, elevá-la de forma gradual para 50°C ainda um pouco antes do Ponto de Saturação das Fibras. Da mesma forma, no terceiro programa elevou-se a temperatura inicial de secagem para 50°C .

Tendo em vista que se utilizaram três programas de temperaturas com teor de umidade inicial crescente, optou-se também por aplicar potenciais médios de secagem da mesma forma crescentes: 2,5; 3,5 e 4,5 respectivamente.

Nos três programas realizaram-se uma vaporização inicial de 3 horas conforme recomendação de CAMPBELL (1961); KININMONTH (1971); ALEXIOU *et al.* (1990) e uma vaporização intermediária de 5 horas quando a madeira encontrava-se com aproximadamente 17% de umidade (BLUHM & KAUMAN, 1965; ROZAS, 1993). Essas vaporizações foram realizadas em vapor saturado próximo a 100°C e tiveram o objetivo de acelerar a secagem da madeira e a recuperação do colapso respectivamente (CHAFE, 1990; ALEXIOU *et al.*, 1990; ROZAS & TOMASELLI, 1993; ROZAS, 1993). Os programas de secagem empregados encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3.

TABELA 1: Programa de secagem 1.

Umidade da madeira (%)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)	Umidade de equilíbrio (%)	Tempo (h)	Potencial de secagem
	Bulbo seco	Bulbo úmido				
Vaporização inicial	100	100	100		3	
Verde – 50	40	37,5	85	17		2,9
50-40	43	40	84	16,2		2,8
40-30	45	41	79	14,2		2,5
30-22	50	45	74	12,6		2,1
22-17	55	44	51	7,7		2,5
Recuperação do colapso	100	100	100		5	
Início – 15	55	44	51	7,7		2,1
15-12	60	47	47	6,9		1,7

TABELA 2: Programa de secagem 2.

Teor de Umidade (%)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)	Umidade de equilíbrio (%)	Tempo (h)	Potencial de secagem
	Bulbo seco	Bulbo úmido				
Vaporização inicial	100	100	100		3	
Verde – 50	45	41	79	14,2		3,5
50-40	45	40	73	12,8		3,5
40-30	50	42	51	8,8		3,6
30-22	55	42	44	7,0		3,7
22-17	60	43	36	5,5		3,5
Recuperação do colapso	100	100	100		5	
Início – 15	60	43	36	5,5		2,9
15-12	70	48	3,1	4,5		2,6

Monitoramento do teor de umidade

O controle do teor de umidade da carga de madeira foi feito por intermédio de um sistema de balança (gravimétrico) dotado de uma célula de carga tipo tração com capacidade de 500 kgf colocada sobre a estrutura do secador de madeira. Para assegurar um perfeito funcionamento do sistema, houve necessidade de aferir-se inicialmente a célula de carga e, posteriormente, de se tarar a balança. Após essa operação e empilhamento da madeira no carrinho transportador, a célula de carga forneceu o peso inicial e peso corrente da carga. Esses pesos, associados ao teor de umidade inicial, possibilitaram que o software residente no microcomputador, com base na equação (2), monitorasse o teor de umidade da madeira, bem como realizasse as alterações no programa de secagem conforme as faixas de umidade programadas.

TABELA 3: Programa de secagem 3.

Teor de Umidade (%)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)	Umidade de equilíbrio (%)	Tempo (h)	Potencial de secagem
	Bulbo seco	Bulbo úmido				
Vaporização inicial	100	100	100		3	
Verde – 50	50	44	70	11,5		4,3
50-40	55	47	62	9,6		4,7
40-30	60	48	50	7,3		4,8
30-22	65	47	37	5,3		4,9
22-17	70	46	27	4,1		4,8
Recuperação do colapso	100	100	100		5	
Início – 15	70	46	27	4,1		4,8
15-12	80	52	25	3,4		3,5

$$T_{uc} = \frac{Pa(T_{ui} + 100)}{Pu} - 100 \quad (2)$$

Onde: T_{uc} = teor de umidade corrente da carga, %;

T_{ui} = teor de umidade inicial da carga, %;

P_a = peso atual da carga de madeira, g;

P_u = peso inicial da carga de madeira, g.

Equipamento de secagem e sistema de gerenciador

A secagem da madeira foi realizada em uma estufa piloto com dimensões úteis de 0,8 m x 1,0 m x 4,0 m, largura, altura e comprimento, respectivamente e com capacidade para, aproximadamente, 1m³ de madeira serrada. A estufa possui um sistema de aquecimento através de serpentinas elétricas, um sistema de umidificação através de uma caldeira elétrica e um sistema de circulação de ar com capacidade de produzir um fluxo de ar de, aproximadamente, 1m/seg.

A estufa possui ainda um sistema de gerenciamento do processo de secagem composto por um microcomputador, um software específico, unidade de controle e aquisição de dados. O software, como elemento dinâmico do sistema, permite uma configuração pelo usuário que consiste na colocação do programa de secagem desejado com suas respectivas temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido nos intervalos de umidade requeridos, bem como o teor de umidade inicial da carga de madeira e a umidade final desejada. Após essa configuração, o software tem como função comandar o hardware, realizar as leituras dos sensores, o processamento e o registro dos dados, o acionamento do sistema de aquecimento, ventilação e umidificação da estufa com base nas informações coletadas e configuração, previamente, estabelecida.

Avaliação da secagem

A avaliação da secagem foi feita com base no tempo de secagem e qualidade da madeira ao término de cada secagem, mediante a análise dos defeitos encontrados nas tábuas. Os defeitos foram classificados em leves e fortes, tomando-se como base a norma de classificação de madeira serrada de folhosa (IBDF, 1983) e classificação proposta por MENDES & SEVERO (1984). Os defeitos avaliados foram:

a) Empenamentos

O encurvamento e arqueamento foram medidos e quantificados porcentualmente em relação ao comprimento da peça pela equação (3).

$$I_{ea} = \frac{x}{L_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde: I_{ea} = Intensidade do encurvamento ou arqueamento, %;

x = flecha na curvatura da peça, mm;

L_1 = comprimento da tábua, mm.

Da mesma forma, o encanoamento foi medido e quantificado em termos de diferença entre espessura nominal (e) e a espessura aplainada (ea) sendo considerado defeito leve quando essa diferença for até 4 mm e considerado como defeito forte, quando essa diferença for maior que 4mm.

b) Rachaduras

As rachaduras de topo foram avaliadas e quantificadas, considerando-se o somatório dos comprimentos individuais da peça pela equação (4):

$$R = \frac{(l_2 + l_3 + \dots + l_n)}{L_1} \times 100 \quad (4)$$

Onde: R = índice representativo das rachaduras, %;

$l_2 + l_3 + \dots + l_n$ = comprimento individual das rachaduras, mm;

L_1 = comprimento total da peça, mm.

c) Colapso

A determinação do colapso foi feita por meio da remoção de alguns milímetros da superfície da tábua com uma plaina, levando-se em consideração os seguintes critérios:

- Madeira livre de colapso:

Após a remoção de 1 – 1,5 mm da superfície das tábuas, não apresentarem ondulações na superfície.

- Madeira com colapso leve:

Após a remoção de 2,5 mm da superfície das tábuas, não apresentarem ondulações na superfície.

- Madeira com colapso médio:

Após a remoção de 3,5 mm da superfície das tábuas, não apresentarem ondulações na superfície.

- Madeira com colapso forte:

Tábuas que apresentarem ondulações na superfície depois de removido 3,5 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantificação e a avaliação dos defeitos, como mencionado anteriormente, foram realizadas após o término da secagem. Para isso, mediu-se o comprimento das rachaduras nos dois extremos da tábua, flecha dos empenamentos e encanoamentos e colapso. Esses defeitos foram posteriormente enquadrados conforme metodologia anteriormente descrita. Os tempos de secagem obtidos em cada programa de secagem, bem como a avaliação dos defeitos são mostrados na Tabela 4 e 5 respectivamente.

TABELA 4: Tempos de secagem obtidos nos programas de secagem.

Programa de secagem	Tui (%)	Tuf (%)	Tempo (horas)
1	80,2	12	180
2	76,1	12	120
3	75,2	12	75

Em que: Tui = teor de umidade inicial; Tuf = teor de umidade final.

O programa 1, no qual se manteve a temperatura inicial de secagem abaixo de 45°C até a madeira atingir o ponto de saturação das fibras, foi o programa que apresentou o maior tempo de secagem, cerca de 180 horas para secar a madeira desde 80,2% até 12% de umidade final o que corresponde a uma taxa de secagem de 9%/dia (Tabela 4). Entretanto, esse programa foi o que apresentou o menor índice de defeitos (Tabela 5). Esses defeitos são representados principalmente por 37,5% de colapso, 35% de encanoamento e 10% de rachaduras. Resultado semelhante foi obtido por ROZAS (1993) com madeira de *Eucalyptus grandis* com espessura de 30 mm. Nesse estudo, o autor obteve cerca de 42% de colapso, 50% de encanoamento e 5,6% de rachaduras.

O programa 2 apresentou um tempo de secagem de 120 horas, para secar a madeira desde 76,1% até 12% de umidade o que corresponde a uma taxa de secagem de 12,8%/dia (Tabela 4). Nesse programa os defeitos aumentaram para 87,5% de colapso, 85% de encanoamento e 68% de rachaduras.

Já o programa 3 apresentou um tempo de secagem de apenas 75 horas, para secar a madeira desde 75,2 % até 12% de umidade o que corresponde a uma a uma taxa de secagem de 20,2%/dia

(Tabela 4). Nesse caso os defeitos de secagem aumentaram para 87,5% de colapso, 85% de encanoamento e 68% de rachaduras.

TABELA 5: Classificação dos defeitos para madeira submetida à secagem nos programas 1, 2, e 3.

Tipos de defeito	Classificação dos defeitos	Programa de secagem 1		Programa de secagem 2		Programa de secagem 3	
		N. de peças c/ defeito	% de defeitos	N. de peças c/ defeito	% de defeitos	N. de peças c/ defeito	% de defeitos
Rachaduras de topo	Rachas leve $\Sigma r = \leq 10\% Lr$	1	2,5	4	10	4	10
	Rachas fortes $\Sigma r = > 10\% Lr$	3	7,5	7	18	23	58,0
Encanoamento	Encanoamento leve $ea \geq e - 4 \text{ mm}$	8	20	14	35	17	42,5
	Encanoamento forte $ea < e - 4 \text{ mm}$	6	15,0	12	30	17	42,5
Encurvamento	Encurvamento leve $x \leq 5\text{mm/m}$	3	7,5	5	12,5	8	20
	Encurvamento forte $x > 5\text{mm/m}$	1	2,5	2	5	4	10
Arqueamento	Arqueamento leve $x \leq 5\text{mm/m}$	0	0	0	0	5	12,5
	Arqueamento forte $x > 5\text{mm/m}$	0	0	2	5	3	7,5
Colapso	Leve	5	12,5	7	17,5	1	2,5
	Médio	4	10,0	3	7,5	9	22,5
	Forte	6	15,0	17	42,5	25	62,5
	Total	15	37,5	26	67,5	35	87,5

Em que: Σr = somatório do comprimento das rachaduras; Lr = comprimento total das tábuas; ea = espessura aplainada das tábuas; e = espessura nominal das tábuas; x = comprimento da flecha para o encurvamento e arqueamento; número de peças avaliadas em cada programa = 40.

Como era esperado, a porcentagem de defeitos aumentou de acordo com o grau de severidade imposto aos programas de secagem. Entretanto, em termos de importância, os defeitos permaneceram na mesma ordem: colapso, encanoamento, rachaduras e empenamentos.

O colapso, como o principal defeito observado nos três programas de secagem, é atribuído principalmente ao emprego de temperaturas elevadas no início da secagem (KAUMAN, 1964; SANTINI & TOMASELLI, 1980; SIMPSON, 1991).

Uma melhor visualização, do comportamento do colapso nos três programas de secagem, pode ser observado na Figura 1.

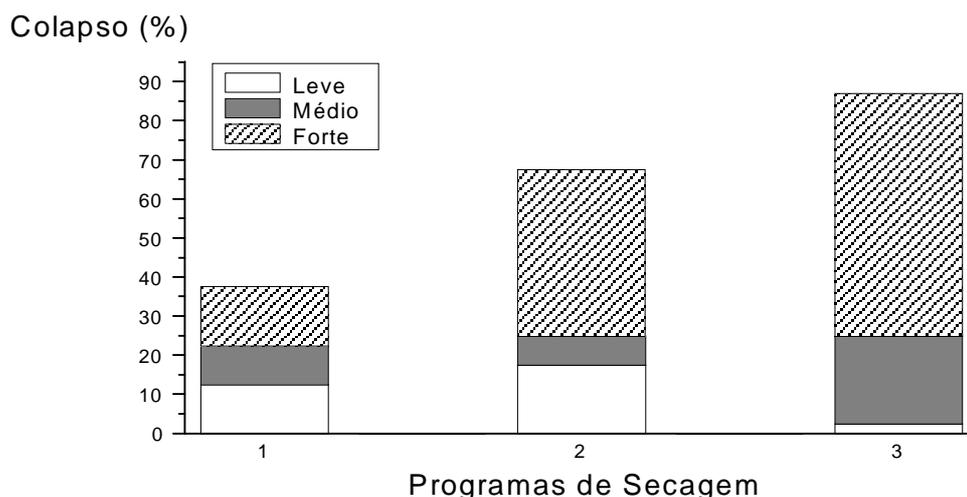


FIGURA 1: Porcentagem de colapso obtido nos três programas de secagem.

Nesta figura, pode-se realmente constatar que o colapso está diretamente relacionado com a temperatura inicial de secagem. O programa 1, considerado o mais suave, foi o que apresentou o menor índice desse defeito. Entretanto, em tal programa não se esperava um índice de colapso dessa magnitude, uma vez que se utilizou temperatura inicial de secagem abaixo de 45°C até que a madeira atingisse o ponto de saturação das fibras, conforme recomendação de vários autores (KAUMAN, 1965; BLUHM & KAUMAN, 1965; STOHR & MACKAY, 1983). Portanto, entre outros fatores como a própria espécie, a vaporização inicial deve ter contribuído para aumentar a incidência do colapso conforme mostrado por (KAUMAN, 1961; LIANG, 1981; HASLETT & KININMONTH, 1986). A vaporização, segundo CHAFE (1990), propicia alterações nos componentes da parede celular ou mesmo sua degradação o que facilita a incidência do colapso durante a secagem da madeira.

O segundo defeito mais pronunciado foi o encanoamento o qual é atribuído a diferentes intensidades de contração no sentido tangencial e radial da madeira (anisotropia). O comportamento desse defeito pode ser observado na Figura 2.

Esse defeito, no programa 1, não pode ser considerado elevado uma vez que do total de 35%, somente 15% foi classificado como defeito forte. Resultados obtidos por ROZAS (1993), para secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* em condições de secagem semelhantes, mostram que a intensidade desses defeitos varia de 42-50%. Da mesma forma, STOHR & MACKAY (1983) obtiveram uma incidência de, aproximadamente, 50% de encanoamento para *Eucalyptus grandis*. Entre os fatores, que contribuíram para o baixo índice desse defeito, está a baixa temperatura inicial de secagem (40°C) empregada no programa 1. Segundo TOMASELLI (1978), outro fator que também deve ter contribuído para o baixo índice de empenamento está relacionado com a

vaporização inicial. Segundo esse autor, a vaporização inicial, quando realizada a temperaturas próximas a 100°C, e por períodos dependentes das espécies e espessura do material, minimiza esse defeito durante a secagem, pois tal fase é importante para que ocorra na madeira o processo de plasticização.

Reduções no nível do encanoamento, em virtude da vaporização inicial, foram observadas por ROZAS (1993) para madeira de *Eucalyptus grandis* seca em estufa piloto, utilizando um programa de secagem semelhante ao utilizado no presente estudo. De forma semelhante, CAMPBELL (1961) observou redução no encanoamento com a vaporização inicial para madeira de *Eucalyptus regnans*.

Entretanto, nos programas 2 e 3 houve um acréscimo acentuado do encanoamento, principalmente no que se refere a defeitos fortes (Figura 2). Esse aumento pode ser atribuído a elevação da temperatura de secagem que, conseqüentemente, provoca aumento na contração e colapso da madeira (CAMPBELL, 1961; CHAFE, 1990).

O terceiro defeito, em importância encontrado nas tábuas, após a secagem da madeira, foi as rachaduras (Figura 2). Esse defeito, no programa 1, constitui-se de, apenas, 10% dos quais somente 7,5% foram classificados como fortes e, portanto, superando as expectativas iniciais desse estudo pois é sabido que o defeito se constitui, sem dúvida, no maior problema de degradação dessa espécie (VERMAAS, 1987).

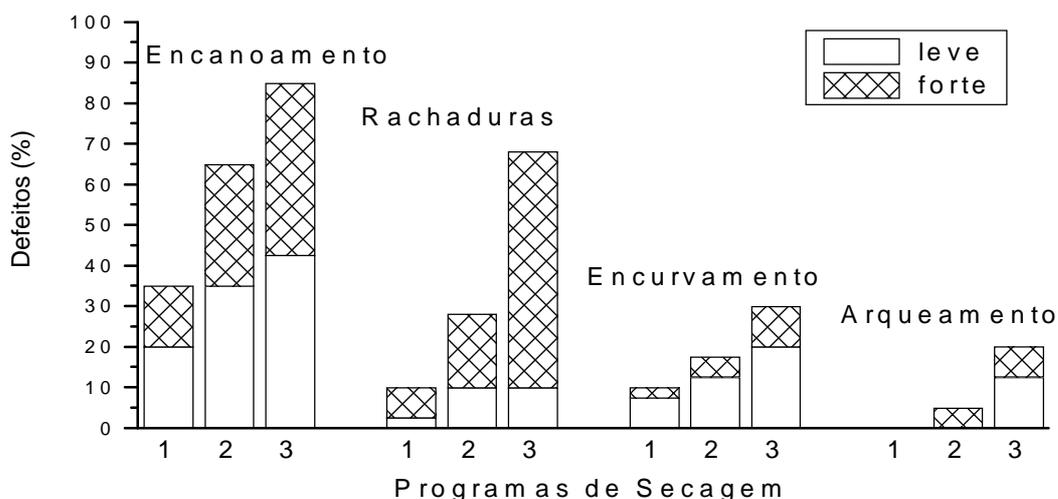


FIGURA 2: Porcentagem de encanoamento, rachaduras, encurvamento e arqueamento obtidos com o emprego dos programas de secagem 1, 2 e 3.

Entre os fatores, que contribuíram para a baixa porcentagem das rachaduras no programa de secagem 1, estão:

- A baixa temperatura inicial e alta umidade relativa aplicada durante a fase inicial da secagem

sugerida por (KAUMAN, 1961; BLUHM & KAUMAN, 1965; CAMPBELL & HARTLEY, 1978; BRENNAN *et al.*, 1983). Estudos conduzidos por NEUMANN & SAAVEDRA (1992) mostram que, para eliminar por completo as rachaduras durante o processo de secagem com madeira de *Eucalyptus globulus*, foi necessário iniciar a secagem com temperaturas de bulbo seco abaixo de 30°C e ainda umidificar a carga de madeira 4 vezes ao dia.

b) O processo de vaporização inicial recomendado por CAMPBELL (1961). Segundo esse autor, a madeira de *Eucalyptus obliqua*, com espessura de 25 mm e 50 mm, após sofrer uma vaporização inicial de 3 horas, apresentou consideravelmente menos rachaduras que a madeira não-vaporizada dessa espécie. Segundo SIMPSON (1983), tal procedimento, além de liberar as tensões de crescimento remanescentes na madeira as quais são responsáveis por parte das rachaduras, contribui ainda para redução do gradiente de umidade que é outro fator responsável pelas rachaduras da madeira (ALEXIOU & MARCHANT, 1990; SIMPSON, 1976).

c) Outro fator que contribuiu ainda para minimizar o surgimento das rachaduras está relacionado com o aplainamento das tábuas. O aplainamento das tábuas elimina a marca dos dentes da serra os quais facilitam o surgimento das rachaduras (CUPPETT & CRAFT, 1972; CECH & PFAFF, 1977). RICE (1986) obteve reduções consideráveis nas rachaduras após o aplainamento das tábuas da madeira de *oak*, enquanto RIETZ & JENSON (1968) obtiveram reduções nas rachaduras da madeira de *Beech*.

Entretanto, no programa 2, as rachaduras fortes, praticamente, duplicaram em relação ao programa 1, enquanto que no programa 3 elas, praticamente, triplicaram em relação ao programa 2 (Figura 2).

Esse comportamento evidencia que, apesar da vaporização inicial e aplainamento das tábuas, o principal fator para o controle das rachaduras, nessa espécie, está relacionado com as condições iniciais de secagem (temperatura e umidade relativa).

Os demais defeitos, tais como encurvamento e arqueamento, não se constituíram em maiores problemas, mesmo nos programas 2 e 3, pois os defeitos fortes não ultrapassaram 10% do total (Figura 2).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nos três programas de secagem, e dentro das limitações do estudo, pode-se concluir que a madeira de *Eucalyptus dunnii* apresenta sérias dificuldades de secagem, semelhante às demais espécies desse gênero, e, portanto, para sua secagem adequada, não devem ser empregadas temperaturas superiores a 45°C (programa de secagem 1) até que a madeira atinja o ponto de saturação das fibras, além, é claro, de realizar a vaporização inicial e a vaporização intermediária, quando a madeira se encontra a 17% de umidade para recuperação do colapso.

O aplainamento das tábuas também parece ter contribuído para redução das rachaduras, embora sua utilização irá depender do uso final da madeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXION, P.N.; WILKINS, A. P.; HARTLEY, J. Effect of presteaming on drying rate. Wood anatomy and shrinkage of regrowth *Eucalyptus pilularis* Sm. **Wood Sci. Technology**, New York, v.24, p103-110, 1990.
- BLUHM, E.; KAUMAN, W.G. El colapso en la madera y su reacondicionamento. **Informe Técnico**, Santiago, Chile, n.22, p.1-23, 1965.
- BRENNAN, L. J.; FRICKE, K. W.; KAUMAN, W. G. *et al.* Pre-drying in Australia. **The Australian Timber J.**, p.360-369, Dec. 1966. Congress Issue.
- CAMPBELL, G. S. The value of preateaming for drying some collapse-suceptible *Eucalypts*. **For. Prod. J.** , v.11, n.8, p.334-337, 1961.
- CAMPBELL, G.S.; HARTLEY, J. **Drying and dried wood**. In: Hillis, W.E. and Brown, A.G. *Eucalypts for Wood Production: Australia: CSIRO, 1978. cap. 16.*
- CECH, M. Y.; PFAFF, F. **Kiln operators manual of Eastern Canada**. Ontario: Eastern For. Prod. Lab, 1977. 189 p.
- CHAFE, S. C. Effect of brief presteaming on shrinkage, collapse and other wood-water relationships in *Eucalyptus regnans* F. Muell. **Wood Sci. Technol.**, New York, v.24, p.311-326, 1990.
- CHRISTENSEN, F.J. High temperature drying of hardwoods increases kiln throughput. **For. Products Newsletters**, n. 2, Out., 1985. New Series.
- _____. Recent research on the hight temperature drying of sawn *Eucalyptus delegatensis* below fibre saturation point. In: For. Prod. Res. Conf., 21., 1984, Clayton, **Proc ...** Clayton, 1984.
- CUPPETT, D. G.; GRAFT. Kiln-drying of pre-surfaced 4/4 appalachion OAK. **For. Prod. J.**, v.22, n.6, p.36-41, 1972.
- ELLWOOD, E. L.; ECKLUND, B. A. Treatments to improve wood permeability as an approach to the drying problems. Proc. Western Dry Kiln Clubs, 13., 1961, Medford, Oreg. **Annual Meeting ...** Medford, 1961.
- ELLWOOD, R.W.; ERICKSON. Effect of presteaming on seasoning stain and drying rate of redwood. **For. Prod. J.**, Madison, v.12, n.7, p.328-32, 1962.
- HARTLEY, J.; GOUGH, D.K. Future sawnood drying in Australia. FDC, v. 181, n. 94, p.179-190, 1990.
- HASLETT, A.N.; KININMOMTH, J.A. Pretreatments to hasten the drying of *Nothofagus fusca*. **New Zealand J. For. Sci.**, v.16, n.2, p.237-246, 1986.
- HILDEBRAND, R. **Kiln drying of saw timber**. Germany, R.H.: Maschinenbau Gmbh, 1970. 202p.

- KAUMAN, W. G. **Cell colapso in wood**. South Melbourne: CSIRO, Division of Forest Products, 1964. 63p. (Reprint n.566).
- _____. Effect of thermal degradation on shrinkage and collapse of wood from 3 Australian species. **For. Prod. J.**, v.11, p.445-452, 1961.
- KININMONTH, J.A. Effect of steaming on the fine structure of *Nothofagus fusca*. **New Zealand J. For. Sci.**, v.1, p.129-139, 1971.
- KOLLMANN, F.F.P.; COTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology solid wood**. New York: Springer, 1968. v.1.
- LIANG, S.Z. The variability of swelling and shrinkage of vermillion wood and the technique of high-temperature drying. **J. Nanjing Technol. Col. For. Prod.** v.1, p. 1-15, 1981.
- MACKAY, J.F.G. Influence of steaming on water vapor diffusion in hardwoods, **Wood Sci.**, v.3, p.156-160, 1971.
- _____. Recovery of collapse in *E. delegatensis* by use of anhydrous Ammonia and steam. **Wood and Fiber**, Lawrence, Kans., v.4, n.3, p.126-129, 1972.
- MENDES, A . M.; SEVERO, E. T. D. **Estudo comparativo entre três técnicas de secagem natural conduzido na região de Manaus com madeira de *Hura Creptans***. Manuais: CNPQ/PPF/INPA, 1984. (Boletim informativo, 4).
- NEUMAN, R. Kiln drying young *Eucalyptus globulus* boards from green. In: WOOD DRYING SIMPOSIUM, 1989, Seattle. IUFRO, 1989. p. 107-115.
- NEUMAN, R. J.; SAAVEDRA, A. Check formation during the drying of *Eucalyptus globulus*. **Holz als roh-und werkstoff**, v.50, p.106-110, 1992.
- PRATT, G.H. **Timber drying manual**. London: Department of the Environment, 1986. 122p.
- RICE, W. W. Pre-surfacing lumber before drying. Proc. F.P.R.S. Drying lumber of quality and profit, Charlotte, N.C., p.15-17, Oct. 1986.
- RIETZ, R. C.; JENSON, J. A. Producing check-free beech for turnings. **For. Prod. J.**, v.18, n.11, p.42-44, 1968.
- ROZAS, E. M. **Contribuição ao desenvolvimento tecnologico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na deração de produtos com maior valor agregado**. Curitiba: UFPR, 1993.133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1993.
- ROZAS, E., M.; TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência Florestal**, v. 3, n.1, Santa Maria: CEPEF, p.147-159, 1993.
- SANTINI, E. J.; TOMASELLI, I. Colapso na madeira de algumas experiências brasileiras. **Série Técnica**, Curitiba, n.3, p. 1-21, 1980.
- SIMPSON, W. T. Dry kiln operator's manual. **Agric. Handb.**, Madison, n.188, p.1-274, 1991.

- ____. Drying wood: a review. Part II. *Drying Technol.*, v. 2, n. 3, p.353-368, 1983/4.
- ____. Effect of presteaming on moisture gradient of Northern Red Oak during drying. *Wood Sci.*, Madison, v.8, p.156-159, 1976.
- STÖHR, H.P.; MACKAY, D. **Drying schedule evaluation of 25 mm *Eucalyptus grandis***. Pretoria: *National*. Timber Research Institute, 1983. 34p. (Hout/320).
- TOMASELLI, I. Secagem a alta temperatura um processo aplicável as condições brasileiras. In: SEMINÁRIO DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS TROPICAIS DE POVOAMENTOS NATURAIS E ARTIFICIAIS NA INDUSTRIA MADEIREIRA MODERNA, 1978, Curitiba. **Seminário ...** Curitiba: FUPEF, 1978. p. 62-70.
- 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, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF, IPT, 1995, p.119-132.
- ____. Case for the low temperature kiln drying of *eucalyptus grandis*. *South African For. J.*, Pretoria, n. 140, p. 72-77, 1987.
- WALKER, J. C. F. The drying of timber. In: WALKER, J.C.F. *et al.* **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. p.247-284.