QUALIDADE DA CELULOSE KRAFT-ANTRAQUINONA DE *EUCALYPTUS DUNNII* PLANTADO EM CINCO ESPAÇAMENTOS EM RELAÇÃO AO *EUCALYPTUS GRANDIS* E *EUCALYPTUS SALIGNA*

Giovanni Willer Ferreira
Maria Cladis Mezzomo da Silva

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

Jorge Vieira Gonzaga
Celso Edmundo B. Foelkel
Teotônio Francisco de Assis
Edvins Ratnieks

Riocell S. A., Guaíba, Brasil

ABSTRACT

This work evaluated the effect of five tree plantation spacings for *Eucalyptus dunnii* species (3 m x 1 m; 3 m x 1.5 m; 3 m x 2 m; 3 m x 4 m and 3 m x 4 m). The aim was the production of a kraft-antraquinone pulp. *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* pulps obtained from commercially grown stands (at fixed 3 m x 2 m spacing) were also tasted, as a comparison. Wood samples were analysed for basic density and chemical characterization (dichloromethane extractives, pentosans, lignin, 8% alkali solubility and ash content). The chips were submitted to typical kraft-antraquinone pulping conditions to reach 17 ± 1.5 kappa number (active alkali was varied from 18.5 to 21%, 8% sulphidity, 0.05% antraquinone, 4:1 wood: liquor ratio, 60 minutes time to reach maximum temperature, 45 minutes time at maximum temperature). The unbleached pulps were chemically and physically characterized (yield, rejects, kappa number, viscosity, brightness, 5% alkali solubility). The unbeaten and 35ºSR beaten pulps (in a Jökro mill) were submitted to physical-mechanical testing (tensile strength, stretch, burst strength, tear strength, bulk, brightness, air resistance and Klemm capillary rise). The highest alkali consumption has occurred for the wood from the 3 m x 4 m tree spacing test, hence degrading the pulp. The woods from all tree spacing tests are viable for pulp production. The potential for cost reduction is overseen due to lower alkali and wood consuptions, compared to *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*. The *Eucalyptus dunnii* pulp is a viable choice for papermaking. Some the potential problems in the wood industrial utilization may arise due to the higher extractives and ash contents.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* se constitui na principal matéria-prima brasileira para a produção de celulose. Dentre as espécies silviculturalmente adotadas às nossas condições edafoclimáticas, destacam-se o *E. saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulensis*, entre outras, sendo que as principais produtoras de celulose são *E. saligna*, *E. grandis* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*.

No Rio Grande do Sul, a indústria de celulose Riocell S.A. tem usado, com sucesso, algumas destas espécies em seu processo fabril. Entretanto, a procura de novas espécies potenciais, motivada pela implementação de um programa de melhoramento florestal, levou a empresa a implantar vários povoamentos testes de *E. dunnii* em diversas fazendas de sua propriedade.

"Trabalho apresentado no 30º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo - SP - Brasil, de 03 a 07 de novembro de 1997".

Os motivos, que nos levaram ao estudo desta espécie, dizem respeito ao seu excelente desenvolvimento silvicultural e às boas características de sua madeira. RATNIEKS & SANSÍGOLO (1986) confirmaram o potencial da espécie, ao observarem que o *E. dunnii* vem sendo cultivado com sucesso em regiões do planalto e região serrana dos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Segundo esses autores, a espécie plantada em Monte Alegre (PR), altitude de 900 m, espaçamento de 3 m x 3 m, aos 7 anos de idade, apresentou um diâmetro à altura do peito médio de 26,0 cm e altura média de 32 m, superando o crescimento de muitas espécies, inclusive, procedências de *E. grandis* já adaptadas e melhoradas na região.

Com base nessas informações, a partir de povoamentos experimentais, decidiu-se estudar as reais potencialidades do *E. dunnii* e sua viabilidade para a produção de celulose, tendo como comparação o *E. saligna* e o *E. grandis*. Utilizando estas duas espécies como referência, determinou-se o potencial de utilização do *E. dunnii* para a indústria, assumindo-se, como parâmetros principais no estudo, as características físicas e químicas da madeira e, a quantidade e qualidade da polpa produzida.

O principal objetivo do presente trabalho foi estudar o comportamento do *E. dunnii* para produção de celulose, avaliando-se tanto a influência de diferentes espaçamentos (3 m x 1 m; 3 m x 1,5 m; 3 m x 2 m; 3 m x 3 m e 3 m x 4 m), como a qualidade da celulose produzida e sua processabilidade, comparados com *E. saligna* e *E. grandis*., plantados na mesma região em espaçamento 3 m x 2 m.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo SPELTZ & MONTEIRO (1982) o *E. dunnii*, em seu ambiente natural, encontra-se distribuído numa faixa latitudinal que varia de 29° a 30°S. A espécie ocupa áreas com altitudes que variam de 150 a 825 metros, e com precipitação entre 800 e 1.500 mm. Embora esta espécie se adapte melhor a solos úmidos de maior fertilidade, tem sido observado um bom desenvolvimento dela em solos derivados de rochas sedimentares, particularmente xistos bem drenados.

A introdução do *E. dunnii* no Brasil ocorreu em 1964, na região de Monte Alegre (PR) a 900 m de altitude, demonstrando uma "discreta resistência ao frio, suportando temperaturas mínimas de até -5°C". O *Eucalyptus dunnii,* em sua área de ocorrência natural, atinge alturas que variam de 30 a 40 metros, podendo chegar até 60 metros, com fustes compridos e retos, e um diâmetro máximo à altura do peito de 1,0 m. Em povoamentos artificiais apresenta comportamento semelhante ao do *Eucalyptus saligna* (SPELTZ & MONTEIRO, 1982).

Em estudo realizado com povoamentos jovens (4 anos) de *E. dunnii* e *E. saligna*, RATNIEKS & SANSÍGOLO (1986), avaliaram e concluíram que: deve-se evitar a utilização de madeiras jovens para o processamento industrial, pois nesta idade ela apresenta baixa densidade básica, provocando um alto consumo específico. A madeira jovem de *E. dunnii* apresentou altos teores de extrativos, teores superiores de hemiceluloses e elevados teores de cinzas. O *E. dunnii* se deslignificou com maior dificuldade, exigindo cargas alcalinas elevadas, resultando em valores de rendimento bruto e depurado e de alvura inferiores aos correspondentes ao *E. saligna*.

Durante o refino de polpas branqueadas e não-branqueadas de *E. dunnii*, as mesmas conduziram à formação de folhas de menor volume específico, apresentando maior resistência à tração, estouro e alongamento, e com menor porosidade e opacidade. Para *E. saligna*, a resistência ao rasgo foi elevada, devido aos altos índices de enfeltramento e comprimento médio das fibras (RATNIEKS & SANSÍGOLO, 1986).

O *E. dunnii* foi analisado como matéria-prima alternativa, em trabalho realizado por LIMA et al. (1993), citando que a celulose produzida por *E. dunnii*, aos 7 anos de idade, mostrou-se superior à polpa de *E. saligna* em número de fibras, resistência à tração e ao estouro.

RATNIEKS et al. (1987), estudando a influência do espaçamento de plantio sobre a qualidade da madeira e da polpa de *E. dunnii* aos sete anos de idade, proveniente de um experimento florestal originado da Klabin Agro-Florestal S.A., citam que os espaçamentos entre árvores afetou significativamente o desenvolvimento e a produtividade das florestas implantadas, não havendo reflexos sensíveis na produção e qualidade das celuloses kraft não-branqueadas e branqueada, concluindo no entanto que com relação aos resultados obtidos, a espécie apresentou-se excelente para a produção de polpa kraft.

BARRICHELO et al. (1976), estudando o aproveitamento industrial de madeira de *Eucalyptus* (*E. viminalis*, *E. dunnii*, *E. deanei* e *E. grandis*) adaptados a regiões susceptíveis a geada, para produção de celulose, obtiveram para *E. dunnii* os seguintes resultados: densidade básica 0,486 g/cm^3, teor de lignina 22,6%, teor de cinzas 0,5%, rendimento bruto 53,7%, teor de rejeitos 0,9% e número kappa 12,0. A polpa produzida pelo *E. dunnii* destaca-se por produzir celulose de excepcional resistência ao rasgo. A resistência à tração e ao arrebentamento são superiores àquelas obtidas, utilizando-se *E. grandis* e semelhantes às conseguidas com celulose do *E. deanei*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente estudo, foram realizadas 3 repetições de cada um dos tratamentos, com idade de 6 anos, sendo os tratamentos *E. dunnii* (espaçamentos 3 m x 1 m; 3 m x 1,5 m; 3 m x 2 m; 3 m x 3 m e 3 m x 4 m), *E. grandis* e *E. saligna* (ambos em espaçamento 3 m x 2 m).

Elegeram-se 15 árvores por tratamento, escolhidas dentro do talhão. Neste, em três parcelas de 20 m x 20 m mediu-se o diâmetro ao nível do DAP de todas as árvores, de onde construiu-se uma tabela de distribuição de freqüência, para escolha e abate das 15 árvores para os ensaios.

Após o abate, efetuaram-se medições de altura comercial e altura total. Retiraram-se, então, discos de aproximadamente 2,5 cm de espessura, em número de seis: da base, DAP, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, sendo este último com diâmetro mínimo de 6 cm (com casca). Os discos foram descascados manualmente, identificados e numerados conforme o tratamento, árvore, altura e posição na árvore. Após, sofreram secagem ao ar e transporte até o local das análises devidamente embalados.

Foram retiradas dos discos selecionados, duas cunhas opostas, fracionadas em cerne e alburno para obtenção da densidade básica, pelo método da balança hidrostática. O restante do disco selecionado, após descascamento, foi fracionado manualmente em cavacos de mesmo tamanho e espessura. Não se usaria o disco do DAP para produção de cavacos.

Destes cavacos, através de quarteamento foi separado uma fração para cada cozimento (três por espécie). De cada fração separou-se outra menor para produção de serragem em moinho tipo Willey. Esta foi classificada através de peneira vibratória, sendo utilizada a fração entre 40 e 60 mesh, destinando-se à realização das análises químicas da madeira. As determinações realizadas foram as seguintes: teor de lignina, teor de pentosanas, extrativos em diclorometano, teor de cinzas e solubilidade em $NaOH_{8\%}$.

A seguir realizou-se o cozimento kraft-antraquinona em digestor rotativo de 20 litros, onde a concentração de álcali ativo base madeira seca em estufa variou de 18,5 a 21%, tendo como objetivo fixar o número kappa na faixa de 17,0 ± 1,5, as demais condições permaneceram fixas (sulfidez 8%, carga de antraquinona base madeira 0,05%, relação licor/madeira 4:1, temperatura máxima: 170°C, tempo até a temperatura máxima: 60 minutos, tempo à temperatura máxima: 45 minutos).

Ao final de cada cozimento o digestor era despressurizado, sendo o material depositado sobre uma tela de 400 mesh. Análises em amostras de licor residual foram efetuadas. Após o cozimento, a polpa obtida era passada através de um refinador de discos, sendo a seguir lavada e um décimo do total era depurado para se analisar os rendimentos (bruto e depurado), bem como o teor de rejeitos.

Com a celulose marrom depurada foram realizados os seguintes testes: número kappa, viscosidade, alvura e solubilidade em $NaOH_{5\%}$.

Os testes físicos, mecânicos e óticos das polpas marrons foram realizados após o refino das polpas marrons em moinho Jökro, a 150 rpm, utilizando-se 16 gramas absolutamente seca por recipiente a uma consistência de 5% e pH 6,5. Também foi testado o nível zero (polpa sem refino). O grau de refino foi determinado como grau Schöpper-Riegler (°SR).

As folhas utilizadas para os ensaios físico-mecânicos e óticos foram obtidas em formador de folhas, com gramatura aproximada de 100 g/m². As folhas, assim confeccionadas, foram acondicionadas em ambiente climatizado nas condições de 50 ± 2% de umidade relativa e a uma temperatura de 23°C ± 2. Procederam-se os seguintes testes: resistência à tração, alongamento, resistência ao estouro, resistência ao rasgo, volume específico, alvura, resistência ao ar Gurley e ascensão capilar Klemm.

Todos os dados obtidos foram submetidos a testes estatísticos de comparação de médias por Análise de Variância e teste de Tukey com significância de 5% de probabilidade, através do programa SAEG, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros silviculturais analisados

Os resultados, correspondentes aos parâmetros silviculturais das espécies estudadas, encontram-se no Quadro 1. Analisando-se estes dados, pode-se observar que as alturas comerciais das árvores apresentaram grandes variações. Para *E. dunnii*, estas alturas variaram de 12,4 m em espaçamento 3 m x 1,5 m até 20,6 m em espaçamento 3 m x 3 m. As espécies *E. grandis* e *E. saligna*, espaçamentos 3 m x 2 m, apresentaram alturas médias de 18,7 m e 17.5 m respectivamente, superando as alturas médias de *E. dunnii* de espaçamentos inferiores ou iguais ao 3 m x 2 m.

A análise do diâmetro à altura do peito, mostra que o maior incremento em diâmetro foi para a espécie *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 4 m, com o maior valor médio, ou seja, 20,7 cm com casca. Este resultado é previsível, uma vez que maiores espaçamentos permitem que a estagnação do crescimento em diâmetro ocorra em idades mais elevadas, enquanto que menores espaçamentos provocam a estagnação do crescimento em diâmetro em idades mais jovens.

Os diâmetros médios das árvores, nos tratamentos testados, evidenciam a relação direta entre o espaçamento de plantio e o crescimento diamétrico.

QUADRO 1 - Avaliação silvicultural das espécies analisadas (média por árvore).

PARÂMETROS ANALISADOS	ESPÉCIES / ESPAÇAMENTO (valores médios)						
	E. dunnii 3m x 1m	*E. dunnii* 3mx1,5m	*E. dunnii* 3m x 2m	*E. dunnii* 3m x 3m	*E. dunnii* 3m x 4m	*E.grandis* 3m x 2m	*E. saligna* 3m x 2m
Altura com., m	14,7	12,4	16,9	20,6	20,2	18,7	17,5
DAP (cm)							
– com casca	14,1	12,9	15,5	19,6	20,7	18,1	17,1
– sem casca	12,6	11,4	14,9	17,7	18,1	16,7	15,9
Volume real comerciável (m^3)							
– com casca	0,156	0,134	0,241	0,355	0,395	0,319	0,267
– sem casca	0,127	0,110	0,196	0,301	0,326	0,277	0,235
Fator de forma							
– com casca	0,63	0,66	0,60	0,55	0,55	0,59	0,60
– sem casca	0,64	0,70	0,61	0,56	0,56	0,60	0,61

Com relação ao fator de forma, observa-se que, de modo geral, o aumento do espaçamento promove uma diminuição nos seus valores, conseqüência do aumento da conicidade das árvores. É provável que o aumento da conicidade das árvores, em espaçamentos mais largos, esteja ligado à existência de maior número de galhos e à maior espessura deles. Nesse caso, a distribuição de fotoassimilados, ao longo do tronco, torna-se diferenciada, em razão da competição exercida pelos galhos mais grossos da porção intermediária até o topo da árvore, afinando seu tronco nessa posição.

Os resultados obtidos, para incremento médio anual em volume, mostraram-se dispersos, com valores que variaram de 62,04 m^3/ha/ano em espaçamento 3 m x 1 m a 29,86 m^3/ha/ano em espaçamento 3 m x 1,5 m para *E. dunnii*. Os demais espaçamentos de *E. dunnii* estão entre os extremos observados. O *E. grandis* apresentou incremento de 63,48 m^3/ha/ano e o *E. saligna* 52,68 m^3/ha/ano. Os incrementos elevados foram conseguidos em razão da boa fertilidade da área de implantação dos povoamentos. Para o baixo incremento produzido por *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1,5 m, no momento, as causas são desconhecidas.

Analisando-se o Quadro 2, pode-se observar que os maiores valores obtidos na volumetria foram para *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1 m - 372,26 m^3/ha, *E. grandis* - 380,88 m^3/ha e *E. saligna* - 316,08 m^3/ha.

Os tratamentos que mais se destacaram na produção de celulose, com relação ao rendimento depurado obtido em laboratório, foram o *E. dunnii* espaçamentos 3 m x 1 m e 3 m x 3 m (15,31 e 12,44 tad/ha/ano, respectivamente) e *E. grandis* espaçamento 3 m x 2 m,

com 14,76 tad/ha/ano. O baixo valor encontrado para *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 1,5 m, está baseado no baixo incremento volumétrico encontrado para o tratamento. Os demais valores dos tratamentos estão entre 10,11 e 12,77 tad/ha/ano.

QUADRO 2 - Comparação entre volume de madeira produzida por hectare e produção de celulose em tonelada por hectare (tad/ha/ano).

Espécie / Espaçamento	Volume de madeira (m^3/ha)	Incremento médio anual (m^3/ha/ano)	Densidade Básica (g/cm^3)	Peso de matéria seca (t/ha)	Peso de matéria seca (t/ha/ano)	Rendimento depurado (%)	Produção de celulose (t/ha/ano)	Produção útil * (t/ha/ano)	tad** (tad/ha /ano)
E. dunnii 3 m x 1 m	372,26	62,04	0,476	177,2	29,53	51,83	15,31	15,08	16,76
E. dunnii 3 m x 1,5 m	179,17	29,86	0,473	84,75	14,12	50,27	7,10	6,99	7,77
E. dunnii 3 m x 2 m	253,21	42,20	0,475	120,27	20,05	50,40	10,11	9,96	11,07
E. dunnii 3 m x 3 m	283,08	47,18	0,498	140,97	23,50	52,93	12,44	12,25	13,61
E. dunnii 3 m x 4 m	239,06	39,84	0,486	116,18	19,36	51,83	10,03	9,88	10,98
E. grandis 3 m x 2 m	380,88	63,48	0,432	164,54	27,42	53,83	14,76	14,54	16,16
E. saligna 3 m x 2 m	316,08	52,68	0,445	140,66	23,44	51,93	12,17	11,99	13,32

* Foi considerada uma perda de 1,5% ao longo de todo o processo.

** Transformação de peso absolutamente seco (tas) para peso seco ao ar (tad, com 10% de umidade).

Todos os valores encontrados, com exceção do *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1,5 m, são superiores aos obtidos normalmente para a produção de celulose na Riocell (atualmente valores médios globais de 8,2 t/ha/ano).

4.2 Densidade básica das madeiras

Os valores médios de densidade básica das madeiras analisadas encontram-se na Figura 1.

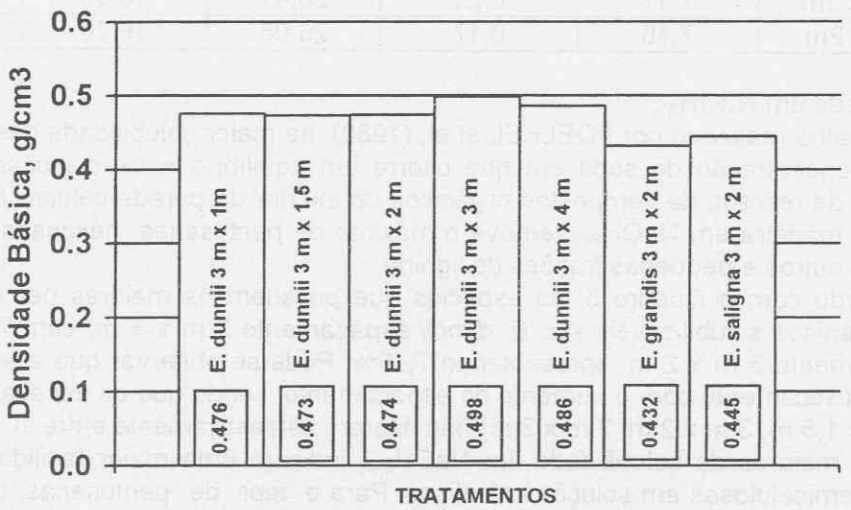

Figura 1 - Representação gráfica dos valores obtidos para a densidade básica das madeiras.

A densidade básica é um parâmetro muito importante na fabricação de celulose, podendo ser influenciada por diversos fatores, tais como: espessura da parede celular, quantidade de vasos, teor de extrativos, entre outros (FOELKEL et al., 1975).

Os valores de densidade básica, apresentados na Figura 1, mostram que a espécie *E. dunnii*, independente do espaçamento, produz uma madeira mais densa do que as espécies *E. grandis* e *E. saligna*. Os valores obtidos para *E. dunnii* são inferiores aos obtidos por MARADEI et al. (1988), enquanto que o *E. grandis* permaneceu próximo à faixa obtida pelo mesmo autor, que foi de 0,45 g/cm^3.

Dentro dos tratamentos de *E. dunnii*, os espaçamentos 3 m x 3 m e 3 m x 4 m, foram os que produziram a madeira de maior densidade, mostrando valores de 0,498 e 0,486 g/cm^3 respectivamente. O parâmetro densidade básica não é só uma variável de mais fácil avaliação, mas também se constitui numa das informações de qualidade da madeira mais relevantes na indústria de celulose, por apresentar relação direta com a produção de polpa no digestor.

As indústrias de celulose, principalmente aquelas que utilizam digestores contínuos, preocupadas em aumentar a sua capacidade diária de produção, mostram-se interessadas

em trabalhar com madeiras de maiores densidades básicas. Sob este aspecto o *E. dunnii*, com valores de densidade básica superiores às testemunhas *E. grandis* e *E. saligna*, apresenta-se como uma importante opção. Vale ressaltar, entretanto, que os maiores valores de densidade básica do *E. dunnii*, farão com que esta espécie apresente maior dificuldade de impregnação de álcali ativo por ocasião do cozimento industrial. Mesmo assim, a combinação das variáveis de cozimento no digestor, associada à avançada tecnologia de produção de celulose existente atualmente, justifica a utilização de madeira mais densa, principalmente se o objetivo é buscar o aumento do volume de produção na indústria.

4.3 Composição química das madeiras

Os resultados referentes à solubilidade e composição química da madeira, para as espécies e tratamentos estudados, encontram-se no Quadro 3.

QUADRO 3 - Análises químicas das madeiras.

Espécies/ Espaçamentos	PARÂMETROS ANALISADOS, valores em %				
	Solubilidade das madeiras		Teor de		
	$NaOH_{8\%}$	DCM	Lignina	Pentosanas	Cinzas
E. dunnii 3m x 1m	7,45	0,30	24,35	18,39	0,64
E. dunnii 3m x 1,5m	6,68	0,37	23,50	18,32	0,83
E. dunnii 3m x 2m	7,04	0,28	23,86	17,84	0,55
E. dunnii 3m x 3m	6,66	0,30	22,99	17,84	0,70
E. dunnii 3m x 4m	6,18	0,30	25,43	17,84	0,70
E. grandis 3m x 2m	7,17	0,24	26,41	16,50	0,33
E. saligna 3m x 2m	7,46	0,17	26,08	16,79	0,38

4.3.1 Solubilidade em $NaOH_{8\%}$

Em trabalho realizado por FOELKEL et al. (1980), há maior solubilidade das madeiras em $NaOH_{8\%}$, concentração de soda em que ocorre um equilíbrio entre o inchamento das fibras e o fluxo de retirada de compostos orgânicos do interior da parede celular. Portanto, a solubilidade da madeira em $NaOH_{8\%}$ remove o máximo de pentosanas, hexosanas, resinas, extrativos entre outros e pequenas frações de lignina.

De acordo com o Quadro 3, as espécies que possuem os maiores percentuais de compostos orgânicos solubilizáveis são *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1 m, com 7,45% e *E. saligna* espaçamento 3 m x 2 m, apresentando 7,46%. Pode-se observar que a solubilidade decresceu estatisticamente com o aumento do espaçamento, sendo que os espaçamentos de *E. dunnii* (3 m x 1,5 m, 3 m x 2 m, 3 m x 3 m) não diferem estatisticamente entre si.

Valores maiores de solubilidade em $NaOH_{8\%}$, indicam uma maior facilidade para a remoção das hemiceluloses em soluções alcalinas. Para o teor de pentosanas, os valores também decrescem de acordo com o aumento do espaçamento. Sabe-se que para a produção de celulose a partir de madeira é desejável a máxima preservação das hemiceluloses, pois sua presença aumenta o rendimento de processo, melhorando as características das folhas produzidas (FOELKEL et al., 1980).

4.3.2 Teor de extrativos em diclorometano

Os resultados obtidos para teores de extrativos em diclorometano na madeira mostram maiores valores para *E. dunnii* no espaçamento 3 m x 1,5 m (0,37%). Os menores resultados foram obtidos para *E. saligna* espaçamento 3 m x 2 m (0,17%), *E. grandis* espaçamento 3 m x 2 m (0,24%) e *E. dunnii* espaçamento 3 m x 2 m (0,28%), havendo, neste caso, uma similaridade com relação aos dados obtidos por LIMA et al. (1993), que encontraram valores para *E. dunnii* e *E. saligna*, aos 7 anos, na faixa dos 0,18% (Quadro 3).

Estes resultados apresentam semelhança com aqueles obtidos por RATNIEKS et al. (1987), mas são mais altos do que os valores encontrados por LIMA et al. (1993 - Quadro 6), para *E. dunnii* (0,18%) e para *E. saligna* (0,18%).

Os extrativos são importantes no estudo da madeira para a produção de celulose e papel, em razão, principalmente, de consumo de reagentes químicos, perda de rendimento,

inibição de reações, incrustação de materiais na polpa e nos equipamentos, corrosão, podendo também causar uma certa dificuldade no branqueamento (BACKHAUS, s.d.).

O maior teor de extrativos para as madeiras de *E. dunnii* podem significar um maior potencial para incrustações de resina, também conhecidas como "pitch", no processamento da celulose (BARRICHELO & BRITO, 1976).

4.3.3 Teor de lignina

Os resultados médios obtidos para teor de lignina na madeira mostram-se menores para *E. dunnii*, no espaçamento 3 m x 3 m, cujo valor foi de 22,99%. Valores semelhantes foram encontrados por RATNIEKS et al. (1987). As espécies *E. grandis* e *E. saligna*, ambos com espaçamento 3 m x 2 m, apresentaram madeira com maiores teores de lignina, quando comparadas com *E. dunnii*, independente do espaçamento desta espécie (Quadro 3).

A importância de conhecer-se o teor de lignina na madeira é devido à sua correlação com a facilidade de deslignificação. Ela ocorre na madeira em teores que variam de 15 a 35%, dependendo da espécie, e está distribuída na parede celular e na lamela média. Na parede celular, ela forma uma matriz com as hemiceluloses, embebendo as microfibrilas de celulose. Na lamela média, colabora para manter as fibras unidas e dar resistência e rigidez à madeira. É um produto do metabolismo da planta, sendo depositada pelo protoplasma na célula lenhosa jovem na parede celular (FOELKEL et al., 1975).

A sua remoção, por ocasião do cozimento, faz-se necessária, devido tratar-se de um composto indesejável para a produção de celulose. Porém, esta extração não é totalmente seletiva e, em decorrência disso, a qualidade obtida com a maior remoção é acompanhada por uma perda no rendimento em celulose.

Desta forma, as indústrias de celulose buscam usar madeiras com menores teores de lignina. Estas características, encontradas na madeira de *E. dunnii*, explicam o interesse de algumas indústrias de celulose em utilizar esta espécie como matéria-prima nos seus processos.

4.3.4 Teor de pentosanas

As pentosanas são substâncias da madeira que pertencem ao grupo das hemiceluloses, sendo extremamente benéfica a sua presença na polpa, pois contribuem para a formação de pontes de hidrogênio, maior facilidade de hidratação das fibras e, em conseqüência, proporciona menor consumo de energia de refino. Portanto, a existência de maior teor de pentosanas na madeira poderá ser indicador de produção de polpas com maior capacidade de hidratação e melhores respostas ao refino, com conseqüentes ganhos nas suas propriedades físico-mecânicas (BACKHAUS, s.d.).

Os resultados obtidos para teores de pentosanas na madeira demonstraram que o *E. dunnii* apresentou maiores valores que as espécies *E. grandis* e *E. saligna*. Entretanto, nos tratamentos usados para o *E. dunnii*, são observados maiores teores de pentosanas em menores espaçamentos (Quadro 3). RATNIEKS et al. (1987) analisando o comportamento de seis espaçamentos de *E. dunnii* chegaram às mesmas conclusões nas quais, em menores espaçamentos, ocorreu maior quantidade de pentosanas.

As análises estatísticas mostram diferenças significativas entre os valores obtidos para *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1 m, quando comparados com *E. grandis* e *E. saligna*. Os menores valores encontrados para *E. grandis* diferem, estatisticamente, do *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1,5 m. Os valores de pentosanas para *E. dunnii* são semelhantes àqueles encontrados por RATNIEKS & SANSÍGOLO (1986) em que esta espécie apresentou 19,31% e o *E. saligna* 14,47%.

4.3.5 Teor de cinzas

Os teores de cinzas (Quadro 3) encontrados mostram valores mais elevados para *E. dunnii* (variando de 0,55 a 0,83%) do que os obtidos por RATNIEKS & SANSÍGOLO (1986) e FOELKEL & SANI (1977). Já *E. grandis* e *E. saligna* (espaçamentos 3 m x 2 m), apresentaram menores valores de cinzas 0,33% e 0,38% respectivamente. Tais valores são confirmados por SPELTZ & MONTEIRO (1982), que encontraram, para *E. grandis*, teor de cinzas de 0,29% aos 5 anos de idade. MACHADO et al. (1987) observaram 0,23% de cinzas em *E. grandis* com 7 anos de idade. Já para *E. saligna*, OLIVEIRA (1990) obteve um valor médio de 0,22% de cinzas para árvores aos 8 anos de idade.

O teor de cinzas elevado pode ocasionar, no processo, um maior desgaste de tubulações, bombas e equipamentos. Uma depuração deve ser bem feita, caso contrário, as cinzas podem provocar incrustações no processo, contribuindo também para a reversão da alvura. Teores elevados de minerais podem, ainda, vir a se constituírem em problemas com a gradual redução de consumo de água nas fábricas de celulose por fechamento de circuito (FOELKEL & ASSIS, 1995).

O maior teor de cinzas na madeira de *E. dunnii* constitui-se, hoje, uma grande preocupação quanto à sua utilização como matéria-prima para celulose. Adequados estudos silviculturais ou mesmo no processo, deverão ser realizados no sentido de minimizar os problemas oriundos das cinzas que esta espécie pode ocasionar.

Uma boa alternativa para redução dos teores de cinzas seria a sua inclusão em programas de melhoramento genético. FOELKEL & ASSIS (1995) mostram a existência de variabilidade na quantidade de íons absorvidos pela madeira de clones de *E. saligna*, indicando a possibilidade de redução dos teores de cinzas mediante seleção clonal.

4.4 Cozimento kraft-antraquinona e características das polpas

Os resultados referentes às deslignificações das madeiras e características encontradas para as polpas produzidas são mostrados no Quadro 4.

4.4.1 Rendimentos e teor de rejeitos

Os resultados de rendimento em celulose evidenciam que o *E. grandis* se caracterizou por apresentar o maior valor de rendimento, ou seja, 53,87% e 53,83%, bruto e depurado, respectivamente (Quadro 4).

QUADRO 4 - Resultados referentes às deslignificações das madeiras e análise das polpas.

Espécies/ Espaçamentos	PARÂMETROS ANALISADOS						
	Rendimento celulose			Análise das polpas			
	Bruto (%)	Rejeitos (%)	Depurado (%)	Número kappa	Viscosid. (cm^3/g)	Alvura (% ISO)	Solubil. $NaOH_{5\%}$, %
E. dunnii 3m x 1m	52,00	0,17	51,83	18,4	1.101	42,80	11,47
E. dunnii 3m x1,5m	50,47	0,20	50,27	16,2	1.031	43,23	10,70
E. dunnii 3m x 2m	50,57	0,17	50,40	15,8	1.007	41,20	11,09
E. dunnii 3m x 3m	53,37	0,43	52,93	16,2	1.080	43,53	10,44
E. dunnii 3m x 4m	52,37	0,50	51,83	17,1	933	50,00	10,82
E. grandis 3m x 2m	53,87	0,03	53,83	15,8	955	43,87	8,83
E. saligna 3m x 2m	52,03	0,10	51,93	15,7	1.000	42,03	9,02

Não ocorreram diferenças significativas entre *E. dunnii* espaçamentos 3 m x 1 m, 3 m x 3 m e 3 m x 4 m e *E. saligna* espaçamento 3 m x 2 m que são valores intermediários aos extremos encontrados; a variação encontrada para o rendimento bruto foi de 53,4% a 50,6%. Já os menores rendimentos, em celulose, obtidos foram para *E. dunnii* espaçamento 3 m x 2 m (com um rendimento bruto de 50,57% e rendimento depurado de 50,4%) e em espaçamento 3 m x 1,5 m (com rendimento bruto de 50,47% e rendimento depurado de 50,27%).

É importante observar que embora o rendimento em celulose do *E. grandis* tenha sido superior aos demais tratamentos, ele apresenta diferença estatística apenas para os tratamentos *E. dunnii* em espaçamentos 3 m x 1,5 m e 3 m x 2 m (Quadro 4).

Os maiores teores de rejeitos, encontrados para *E. dunnii* nos espaçamentos 3 m x 4 m e 3 m x 3 m (0,5% e 0,43% respectivamente), podem estar associados às maiores quantidades de nós na madeira, os quais são provenientes dos maiores espaçamentos, pois nestes ocorre maior emissão de galhos. Em espaçamentos maiores, os galhos possuem um maior diâmetro, dificultando a boa desrama natural e acarretando a formação de maior volume de nós. No caso dos espaçamentos menores, por exemplo, *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1 m (0,17%), ocorre uma maior competição entre as árvores, reduzindo o número de galhos, facilitando, assim, uma boa desrama natural.

CAMARGO et al. (1987), estudando *E. grandis* aos 10 anos de idade, obtiveram valores para rendimento bruto ao redor de 54,3%, número aproximado ao encontrados neste estudo.

Em estudo realizado por LIMA et al. (1993), os autores observaram que o *E. dunnii* e *E. saligna*, aos 7 anos, mostraram resultados de rendimentos depurados na ordem de 49,0% e 48,2% respectivamente, enquanto os teores de rejeitos foram iguais a 0,2% para ambas as espécies.

4.4.2 Número kappa

O número kappa é aplicado na determinação do grau de dificuldade no branqueamento ou grau de deslignificação da polpa. Pode ser usado para todos os tipos e graus de polpas semiquímicas ou químicas, semi-branqueadas ou não-branqueadas, obtidas com rendimento abaixo de 70% (BACKHAUS, s.d.).

Os baixos valores de número kappa encontrados para *E. grandis* espaçamento 3 m x 2 m e *E. saligna* espaçamento 3 m x 2 m (15,8 e 15,7, respectivamente) devem estar relacionados à maior carga alcalina utilizada para o cozimento de sua madeira, o que causou uma degradação mais intensa dos carboidratos.

O número kappa encontrado para *E. dunnii* espaçamento 3 m x 1 m (18,4) é decorrente do menor teor de álcali ativo utilizado no cozimento de sua madeira, o que propiciou um cozimento mais brando.

Entretanto, todos esses valores são próximos e caracterizam polpas destinadas ao branqueamento.

4.4.3 Viscosidade intrínseca

A viscosidade intrínseca das polpas celulósicas é um excelente índice de controle subsequente da qualidade, pois, associada ao peso molecular, indica o grau de degradação das cadeias de carboidratos e, por extensão, relaciona-se à resistência da polpa (BACKHAUS, s.d.).

Os maiores valores encontrados para viscosidade, foram em polpas de *E. dunnii* (espaçamentos 3 m x 1 m e 3 m x 3 m - 1.101 e 1.080 cm^3/g respectivamente), sendo que estes não diferiram estatisticamente para os espaçamentos 3 m x 1,5 m e 3 m x 2 m e para *E. saligna*, espaçamento 3 m x 2 m. Os menores resultados encontrados foram para *E. grandis*, espaçamento 3 m x 2 m, apresentando 955 cm^3/g e *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 4 m com um valor de 933 cm^3/g (Quadro 4). Esta baixa viscosidade, certamente está relacionada aos mais altos valores de álcali ativo utilizados 21% e 20,5%, respectivamente, para a deslignificação das madeiras correspondentes, o que deverá ter causado maior degradação das cadeias de carboidratos. Comparando-se os valores obtidos com RATNIEKS et al. (1987) pode-se observar que também houve uma diminuição da viscosidade com o aumento dos espaçamentos.

4.4.4 Alvura

Os resultados referentes à alvura da polpa marrom mostraram não haver diferenças estatísticas para as espécies e tratamentos estudados, exceção feita ao *E. dunnii*, nos espaçamentos 3 m x 2 m e 3 m x 4 m (Quadro 4).

Os menores valores obtidos foram o *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 4 m, com alvura de 40% e *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 2 m com alvura de 41,2%.

A alvura está intimamente ligada ao número kappa, o qual apresenta relação direta com o teor de lignina residual na polpa (FOELKEL et al, 1975).

Os valores de alvura, encontrados neste estudo, mostram similaridades com aqueles encontrados por LIMA et al. (1993), os quais observaram alvuras para *E. dunnii* e *E. saligna* da ordem de 40,8% e 40,2% respectivamente.

GONZAGA (1983), quando do estudo de 13 espécies de *Eucalyptus*, encontrou resultados de alvura para *E. grandis* e *E. saligna* na ordem de 39,4% ISO e 36,9% ISO, valores estes também inferiores aos observados no Quadro 4.

4.4.5 Solubilidade em $NaOH_{5\%}$

Os resultados apresentados para solubilidade das polpas em $NaOH_{5\%}$ mostraram que *E. dunnii*, nos espaçamentos 3 m x 1 m, 3 m x 2 m, 3 m x 4 m e 3 m x 1,5 m, apresentaram os maiores valores, enquanto os menores foram verificados nas polpas obtidas de *E. grandis*, espaçamento 3 m x 2 m, e *E. saligna*, espaçamento 3 m x 2 m, as quais apresentaram, respectivamente, 9,02% e 8,33% (Quadro 4).

Como era esperado, as polpas cuja madeira apresentou maiores teores de pentosanas, também apresentaram maiores valores de solubilidade em $NaOH_{5\%}$ (*E. dunnii*, espaçamentos 3 m x 1 m, 3 m x 1,5 m e 3 m x 2 m).

Comportamento similar ocorreu com as espécies *E. grandis* e *E. saligna*, cujas polpas apresentaram os menores valores de solubilidade. A maior solubilidade da polpa em $NaOH_{5\%}$ apresentada por espécie *E. dunnii*, certamente se constituirá em mais uma vantagem desta espécie para produção de celulose, uma vez que esta característica poderá conduzir a melhores refinos e conseqüentemente melhores propriedades de resistência.

4.5 Licores residuais

As análises rotineiras dos licores cáusticos empregados no processo kraft de deslignificação de celulose são simples e baseiam-se, normalmente, nas determinações de NaOH, Na_2S e Na_2CO_3. Esses são os principais componentes dos licores branco e verde, e com base nas suas concentrações, é possível estabelecer o controle de várias operações fabris (RIOCELL, [19--]).

O pH do licor preto ao final do cozimento está na faixa de 12 a 13, visto que uma quantidade de álcali permanece como resíduo, evitando reprecipitação da lignina sobre as fibras, o que as tornaria mais hidrófobas (Quadro 5).

Observa-se no Quadro 5 que ocorreu menor consumo de álcali ativo no cozimento de *E. dunnii* na maior parte dos espaçamentos. Este fato se deve à menor quantidade de lignina nas madeiras, o que facilitou sua deslignificação no processo de polpação.

5 - Análise dos licores residuais de cozimento.

Espécies / Espaçamentos	A.A. Aplicado (%)	ANÁLISES DO LICOR RESIDUAL					
		pH	Álcali Efetivo (g/l)	Álcali ativo (g/l)	Álcali total (g/l)	A. Ativo, base madeira	
						Consumido (%)	Residual (%)
E. dunnii 3m x 1m	18,5	12,9	12,6	17,0	33,1	6,7	11,8
E. dunnii 3m x1,5m	19,0	12,7	15,3	19,1	35,9	6,6	11,4
E. dunnii 3m x 2m	18,5	12,9	12,3	17,2	33,9	6,7	11,6
E. dunnii 3m x 3m	18,5	12,9	14,0	17,5	33,4	7,2	11,3
E. dunnii 3m x 4m	20,5	12,8	17,9	23,0	38,3	9,0	11,5
E. grandis 3m x 2m	21,0	12,8	20,2	24,1	43,8	9,5	10,5
E. saligna 3m x 2m	20,0	12,8	19,3	24,8	44,1	10,0	11,0

Este comportamento sugere, conseqüentemente, uma redução de químicos no branqueamento e também uma melhor preservação dos carboidratos.

Já o *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 4 m, *E. grandis* e *E. saligna*, espaçamentos 3 m x 2 m, apresentaram teores de lignina sutilmente elevados, exigindo maior carga de álcali ativo aplicado. Esta quantidade de álcali foi bem mais drástica para o *E. dunnii*, espaçamento 3 m x 4 m, quando comparado com os demais espaçamentos estudados, refletindo também em uma perda de viscosidade. Observa-se que o álcali ativo residual base madeira é muito similar entre os diversos tratamentos, variando significativamente o álcali consumido.

4.6 Resultados referentes ao refino das polpas marrons

Os resultados médios das propriedades físico-mecânicas e óticas nos graus de refino pré-estabelecidos estão apresentados no Quadro 6.

A seguir, serão feitas as análises necessárias para o melhor entendimento das propriedades físico-mecânicas e óticas da polpa marrom.

4.6.1 Valores de °SR para polpas não-refinadas

O Quadro 6 demonstra que os graus de drenabilidade das polpas de *E. dunnii* não diferem entre si para os espaçamentos testados no nível não-refinado e são semelhantes aos resultados com *E. grandis* e *E. saligna*.

Normalmente um grau de drenabilidade mais elevado pode ser indício de polpa que possui fibras com paredes mais delgadas, portanto mais colapsáveis para o *E. dunnii*, comparado às testemunhas com comprovada aceitação industrial. Embora, neste trabalho

não tenham sido testados a espessura de parede ou mesmo o grau de colapsamento de fibras, procurar-se-á mostrar de formas indiretas esta evidência.

O teor de hemiceluloses de uma polpa é um indicador das diferenças químicas que se originam em uma árvore, e é afetado pelo processo de polpação utilizado. Muitas correlações têm sido feitas entre os constituintes químicos de uma polpa (por exemplo - hemiceluloses) com as propriedades físicas do papel. Freqüentemente, relata-se que polpas que desenvolvem resistências durante o refino são aquelas com maior teor de hemiceluloses. Para uma dada espécie, a maior remoção de hemiceluloses durante o processo de polpação caracteriza um maior número de fibras por unidade de peso da polpa, e vice-versa. Neste sentido, o alto conteúdo de hemiceluloses favorece a ligação entre fibras, enquanto o menor conteúdo de hemicelulose favorece propriedades não dependentes de ligação, tais como opacidade e resistência ao rasgo (RATNIEKS, 1993).

QUADRO 6 - Resultados dos testes físicos-mecânicos e óticos das polpas marrons.

Espécie Analisada / Espaçamento	Número de Revoluções	°SR	Resist. à Tração N.m/g	Alonga-mento %	Resist. ao Estouro kPa/g	Resist. ao Rasgo mN.m²/g	Volume Específico cm³/g	Resistência ao Ar s/100 cm³	Alvura % ISO	Asc. Cap. Klemm mm/10 min
E. dunnii 3X1	0	17	42,5	1,43	1,63	7,33	1,90	1,50	41,43	104
E.dunnii 3X1	3900	35	113,6	3,90	6,50	14,23	1,55	13,23	35,80	45
E.dunnii 3X1,5	0	17	40,0	1,43	1,37	6,50	2,05	1,20	43,97	105
E.dunnii 3X1,5	4466	35	108,4	3,73	6,76	14,37	1,50	13,50	36,67	47
E. dunnii 3X2	0	17	36,7	1,10	1,23	6,40	2,17	0,90	39,73	105
E. dunnii 3X2	4833	35	98,0	3,63	6,35	14,77	1,40	13,27	34,77	48
E. dunnii 3X3	0	17	37,80	1,30	1,23	5,07	2,23	0,80	42,43	105
E. dunnii 3X3	5067	35	96,03	3,80	6,50	15,17	1,50	13,10	34,57	42
E. dunnii 3X4	0	16,5	25,50	1,00	0,60	3,60	2,58	0,47	41,40	105
E. dunnii 3X4	6200	35	90,77	3,46	5,70	14,80	1,47	12,17	33,30	40
E. grandis 3X2	0	15	27,43	1,00	0,80	3,93	2,51	0,77	44,87	101
E. grandis 3X2	4133	35	84,37	3,37	5,60	13,10	1,33	13,20	37,97	40
E. saligna 3X2	0	15	26,70	1,03	0,87	4,53	2,17	0,70	42,07	123
E. saligna 3X2	4267	35	81,67	3,47	5,20	12,67	1,20	12,50	34,07	50

A importância das hemiceluloses, no desenvolvimento de propriedades de resistência, é bem conhecido e correlaciona-se com fibrilação. Os finos porventura gerados pela ação de refino são um fator importante no desenvolvimento de resistência à tração, e esta ação esta ligada à hemicelulose (RATNIEKS, 1993).

Celuloses com maior teor de hemiceluloses de cadeias mais amorfas são mais sujeitas ao inchamento pela água e isso igualmente favorece o refino e oportuniza graus °SR mais elevados para a condição de polpa não refinada.

Pode-se observar que o *E. dunnii*, em espaçamento 3 m x 4 m, apresenta densidade básica da madeira elevada (Figura 1), mas não necessariamente sua polpa se comporta como se fosse oriunda de tal densidade. Devido a um alto consumo de álcali ativo para a deslignificação, talvez requisitado pela mais alta densidade e teor de lignina, a qualidade da polpa foi afetada na viscosidade, alvura e teor de rejeitos.

4.6.2 Número de revoluções utilizadas para refino das polpas marrons

O Quadro 6 apresenta valores médios referentes ao número de revoluções, para o processo de refino dos 7 tratamentos utilizados neste trabalho.

O aumento da energia de refino com o aumento do espaçamento pode ser atribuído a alguns fatores classicamente aceitos, tais como: variações morfológicas das fibras e da composição química ou físico-química. (RATNIEKS, 1993).

Existe relação linear e direta entre o aumento do espaçamento e o aumento do consumo energético para o refino (RATNIEKS, 1993). A energia de refino necessária para obter 35°SR com polpas de *E. dunnii* foi influenciada pelos espaçamentos testados. Polpas de *E. grandis* e *E. saligna*, no espaçamento 3 m x 2 m, mostram consumos energéticos semelhantes entre si, mas inferiores aos mostrados para *E. dunnii* no mesmo espaçamento, indicando, assim, algum efeito oriundo das propriedades intrínsecas de cada espécie.

Este trabalho não pretende explorar todas as variáveis citadas acima, mas algumas considerações podem ser feitas. O *E. dunnii* tem elevado teor de cinzas, especialmente pelos seus altos teores de cálcio e magnésio. Tais elementos presentes nas fibras dificultam o refino, conforme RATNIEKS et al. (1992). Neste trabalho não houve correlação do teor de cinzas, de cálcio e de magnésio com o espaçamento. Ele foi confirmado por RATNIEKS et al. (1987). No entanto, nota-se um decréscimo nos teores de pentosanas nas madeiras com o aumento do espaçamento, como observado no Quadro 6 e confirmado por RATNIEKS et al. (1987). Esse comportamento químico correlaciona-se com o aumento no número de revoluções para se obter grau Schöpper Riegler constante.

4.6.3 Resistência à tração

O Quadro 6 mostra a resistência à tração de polpas não-refinadas e refinadas até 35°SR. Para ambas as situações existe um procedimento bastante peculiar para *E. dunnii*.

Como afirmado anteriormente pelo decréscimo do teor de pentosanas e elevação da energia de refino (Quadro 6), com o maior espaçamento no *E. dunnii*, observa-se forte influência nestas variáveis (energia de refino, resistência à tração, etc.).

Comparando *E. grandis* e *E. saligna*, nota-se que, mesmo com os menores teores de pentosanas nas suas madeiras e polpas, estas apresentam boas resistências à tração, mas inferiores a *E. dunnii*. O fato peculiar, demonstrado por *E. dunnii*, é que, comparativamente com as espécies testemunhas, suas resistências físico-mecânicas são mais elevadas, mesmo nos espaçamentos que geraram menores teores de pentosanas. Tal consideração reforça a hipótese de que as fibras de *E. dunnii* promovem melhor ligação entre fibras.

4.6.4 Alongamento

No Quadro 6 estão apresentados os resultados para o alongamento e os valores médios encontrados para a polpa não-refinada e para a polpa refinada a 35°SR.

Esta propriedade não apresentou grandes variações, tanto para *E. dunnii* como para as testemunhas. Cabe salientar que, em termos de precisão de medida, o alongamento pode ser lido com aproximação de valores absolutos de 0,5 unidades (escala centesimal).

4.6.5 Resistência ao estouro

Os valores médios obtidos da resistência ao estouro da polpa marrom não-refinada e refinada a 35°SR, encontram-se no Quadro 6.

A resistência ao estouro também mostra sutil decréscimo com o incremento do espaçamento de *E. dunnii*. Estes valores são superiores aos das testemunhas, tornando assim válidas todas as afirmações feitas quando da discussão acerca de resistência à tração. Em comparação com valores obtidos por RATNIEKS et al. (1987) ao nível refinado de 35°SR, os valores mostraram-se menores.

4.6.6 Resistência ao rasgo

O Quadro 6 apresenta os valores encontrados para a resistência ao rasgo das celuloses não-refinadas e refinadas a 35°SR, expressa pelo índice de rasgo.

Da mesma forma como foi discutido para a resistência à tração e ao estouro, as polpas de *E. dunnii* possuem decréscimo de resistência ao rasgo no nível não-refinado, com o aumento do espaçamento. No entanto, as polpas desenvolvem muito bem a resistência ao rasgo no nível refinado em todos os espaçamentos testados. Seus valores absolutos são realmente expressivos.

A uniformidade de valores de resistência ao rasgo ao nível refinado em todos os espaçamentos provavelmente está associada ao grau de colapsamento e resistência individual das fibras de *E. dunnii*.

É provável que o comprimento de fibras de *E. dunnii* seja maior que *E. saligna* ou *E. grandis*, como pode ser observado em trabalho publicado por FOELKEL & SANI (1977) no qual foi verificado um maior comprimento de fibras para *E. dunnii* (1,12 mm) comparado com *E. grandis* (1,03 mm). Já em trabalho publicado por BARRICHELO & BRITO (1976), foram encontrados os seguintes valores médios para o comprimento de fibras em árvores com idade de 5 anos: *E. saligna* - 0,96 mm, *E. grandis* 1,03 mm e *E. dunnii* 1,12 mm. GONZAGA (1983) encontrou para *E. saligna* e *E. grandis* valores iguais de 0,96 mm.

4.6.7 Volume específico

Os dados médios relativos à análise efetuada para volume específico da polpa não-refinada e polpa refinada a 35°SR está apresentado no Quadro 6.

Os valores de volume específico com os espaçamentos testados para *E. dunnii* confirmam, ao nível não-refinado, as considerações feitas para os resultados dos cozimentos kraft-antraquinona e para as demais propriedades físico-mecânicas. O aumento do espaçamento coincide com a elevação do álcali necessário ao cozimento e o conseqüente impacto sobre o teor de pentosanas e diminuição das propriedades físico-mecânicas. A diminuição das propriedades de resistência da polpa, é função da diminuição da intensidade de colapsamento e ligações entre fibras, conseqüentemente implica no aumento do volume específico das folhas de celulose (RATNIEKS, 1993).

Os volumes específicos obtidos para as testemunhas mostram valores normais para *E. saligna* e *E. dunnii* no mesmo espaçamento.

Os valores médios de 1,5 cm^3/g para o *E. dunnii* mostram-se similares aos obtidos por RATNIEKS et al. (1987), que se encontram apresentados no Quadro 6.

4.6.8 Resistência ao ar Gurley

Para a resistência ao ar das polpas refinadas de *E. dunnii*, notou-se que elas mostram maior fechamento que a folha sem refino, conforme demonstrado no Quadro 6. O comportamento para esta propriedade é compatível com o afirmado para a resistência à tração, inclusive, quanto à influência do espaçamento. Há um decréscimo da resistência ao ar, com o aumento do espaçamento, diretamente atribuída ao teor de pentosanas. Da mesma forma como para a resistência ao rasgo, a propriedade de resistência ao ar cresce rapidamente para o nível refinado a 35°SR, mostrando tendência de uniformidade de valores. Estes, com exceção para o espaçamento 3 m x 3 m, são superiores aos resultados obtidos por RATNIEKS et al. (1987).

Os valores absolutos de resistência ao ar de *E. grandis* e *E. saligna* são inferiores no mesmo espaçamento de *E. dunnii* (valores não-refinados).

4.6.9 Ascensão capilar Klemm

Os valores médios encontrados para a ascensão capilar Klemm das polpas, em mm/10 min, da polpa não-refinada e polpa refinada a 35°SR, estão apresentados no Quadro 6. Os dados para polpas refinadas mostraram-se inferiores aos obtidos por RATNIEKS et al. (1987).

A ascensão capilar de *E. dunnii* ao nível não-refinado não mostra diferenças quanto ao espaçamento. Já para 35°SR, há uma tendência suave de decréscimo com o aumento do espaçamento, sendo a diferença detectada da ordem de 10% entre o maior e o menor valor.

As testemunhas apresentam-se dentro de valores conhecidos para o gênero, com valores mais elevados para *E. saligna*.

4.6.10 Alvura

No Quadro 6, estão apresentados os valores médios encontrados para a alvura da polpa.

Os valores de alvura obtidos para *E. dunnii*, *E. grandis* e *E. saligna* mostram, de forma inicial, uma tendência aleatória em relação aos espaçamentos testados ou entre si.

Uma análise derivada dos valores obtidos mostra que estes estão associados com o álcali residual dos cozimentos kraft. A menor quantidade de álcali residual determina menores valores de alvura e vice-versa, dentro de certos limites. O menor álcali no final do cozimento poderá determinar um escurecimento da lignina, com possível reprecipitação, o que pode explicar dificuldades posteriores de branqueamento (RATNIEKS, 1993).

Neste caso, a influência do espaçamento não pode ser discutida. A variação de álcali ao final de cada repetição não pode ser facilmente controlada, determinando variações normais na metodologia laboratorial empregada.

5 CONCLUSÕES

Considerando a procedência de sementes e condições edafo-climáticas do local do experimento, os resultados desse trabalho indicam que o *Eucalyptus dunnii* é uma boa opção

para produção de celulose kraft-antraquinona, fato este evidenciado nas análises tecnológicas realizadas em laboratório.

Para os cinco espaçamentos de *Eucalyptus dunnii*, os materiais amostrados mostraram excelente comportamento em cozimento kraft-antraquinona. As madeiras apresentaram maior densidade básica, menores teores de lignina e maiores teores de pentosanas em relação a *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, consideradas como referência, permitindo assim, menor consumo de madeira e reagentes durante o cozimento.

No conjunto, estas peculiaridades podem proporcionar redução nos custos e aumento de produção de celulose, mas podem apresentar problemas no processo e em futuro fechamento do circuito fabril, devido a mais elevados teores de extrativos em diclorometano e cinzas, encontrados na madeira.

Os resultados obtidos para solubilidade em soda, tanto em madeira quanto na celulose, para os menores espaçamentos, associados aos elevados teores de pentosanas, possibilitaram um menor consumo de energia para refino das polpas.

Analisando o aspecto das resistências mecânicas e óticas das polpas não-branqueadas, pode-se afirmar que, tanto para a polpa não--refinada, quanto para a polpa refinada a 35°SR, os valores obtidos apresentaram-se melhores para os menores espaçamentos testados. Por outro lado, volume específico aparente e propriedades correlatas eram melhores para os maiores espaçamentos.

Considerando o potencial da espécie e as variações do incremento médio anual da madeira produzida em cada espaçamento (mínimo de 29,86 m3/ha/ano e máximo de 63,48 m3/ha/ano), bem como o efeito do espaçamento sobre as propriedades da celulose e sua produção, pode-se perfeitamente selecionar condições para imediata aplicação prática dos conhecimentos revelados por esse estudo.

Mediante resultados obtidos pode-se afirmar que a celulose de *Eucalyptus dunnii* é de qualidade compatível com as exigências do mercado consumidor de celulose produzida pelo processo kraft e assemelhados (kraft-antraquinona, por exemplo).

Como conclusão final, a espécie é perfeitamente apta para produção de celulose, porém cuidado e atenção devem ser colocados na avaliação dos impactos que os maiores teores de cinzas e extrativos venham a causar. Os espaçamentos intermediários mostraram maior potencial (3 m x 1,5 m; 3 m x 2 m e 3 m x 3 m). Entretanto, foi surpreendentemente boa a performance, tanto em produção de madeira como para a produção de celuloses para usos específicos, do espaçamento 3 m x 1 m.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACKHAUS, R.C. **Relatório de estágio:** departamento de pesquisa e desenvolvimento. Guaíba: Riocell, [19--]. 37 p.

BARRICHELO, L.E.G., BRITO, J.O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel.** Brasília: PNUD/FAO/IBDF/BRA., 1976. 145 p. (Série Divulgação, 13).

BARRICHELO, L.E.G., FOELKEL, C.E.B., LEITE, N.B., et al. **Aproveitamento industrial para a produção de celulose de madeiras de eucaliptos adaptados à regiões susceptíveis à geada**. Piracicaba: IPEF, 1976. 13 p.

CAMARGO, F.R.A. de, BARRICHELO, L.E.G., AMARAL, W.A.N. do. Caracterização tecnológica da madeira de povoamentos de *E. grandis* Hill ex Maiden. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CELULOSE E PAPEL, 20., 1987, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 1987. 502 p., p. 1-15.

FOELKEL, C.B., BARRICHELO, L.E.G. **Tecnologia de celulose e papel**. Piracicaba: ESALQ/USP, ESALQ, 1975. 207p.

FOELKEL, C.E.B., BARRICHELO, L.E.G., MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *E. saligna*, *E. paniculata, E. citriodora, E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. In: SEMINÁRIO DE INTEGRAÇÃO: FLORESTA-INDÚSTRIA, 1975, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Instituto de Pesquisas Florestais: Grupo Suzano Feffer, Departamento de Silvicultura ESALQ/USP, 1975. 180 p. p. 69-110.

FOELKEL, C.E.B., MARENGO, J.V., MENDONÇA, C.A.A., et al. Acerca da solubilidade em álcalis de materiais celulósicos. I. Madeiras do eucalipto e da acácia-negra e polpas

comerciais de fibras curtas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 13., 1980, São Paulo: **Anais...** São Paulo, ABCP, 1980. 298 p. p. 43-53.

FOELKEL, C.E.B., SANI, A. **Presente, passado e perspectivas futuras na utilização do eucalipto pela indústria de celulose no Brasil**. Monte Alegre: Celulose Nipo-Brasileira, 1977. 55 p.

FOELKEL, C.E.B., ASSIS, T.F. de New pulping technology and *E.* wood: the role of soil fertility, plant nutrition and wood ion content. In: CRC FOR TEMPERATE HARDWOOD FORESTRY, 1995, Hobart. **Anais...** Hobart: CRC, 1995. 487 p. p. 10-14.

GONZAGA, J.V. **Qualidade da madeira e da celulose kraft de treze espécies de *E.*.** Viçosa: UFV. 1983. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, 1983.

LIMA, A.F., OLIVEIRA, G., FRANCO, L.C., et al. **Avaliação do *E. dunnii* como matéria-prima alternativa para a RIOCELL**. Guaíba: Riocell, 1993. 13 p. (Relatório Técnico, 596).

MACHADO, F.J.J., GOMIDE, J.L., CAMPOS, W.O., et al. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus torelliana* e *Eucalyptus grandis* para produção de polpa kraft. **O Papel**, São Paulo, v. 48, n. 8, p. 56-60, ago. 1987.

MARADEI, D., REPETTI, R., ZILLI, N. *E. dunnii*, un nuevo recurso forestal para la industria. **ATIPCA**, Buenos Aires, v. 27, n. 4, p. 43-53, ago. 1988.

OLIVEIRA, E., VITAL, B.R., GOMIDE, J.L., et al. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira de *E. grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. Viçosa: SIF, 1990. 23 p. (Boletim Técnico, 18)

RATNIEKS, E. **Alterações no refino e no teor de hemicelulose da polpa**. Guaíba: Riocell, 14 p. 1993. (Relatório Técnico, 630)

RATNIEKS, E., ASSIS, T.F., LIMA, A.F. **Análise tecnológica de madeiras potenciais para celulose na Riocell**. Guaíba: Riocell, 14 p. 1992. (Relatório Técnico, 519)

RATNIEKS, E., BUSNARDO, C.A., FOELKEL, C.E.B.,et al.. **Influência do espaçamento entre árvores sobre a qualidade da madeira e polpa de *E. dunni*.** Guaíba: Riocell, 1987. 115 p. (Relatório Técnico, 132)

RATNIEKS, E., SANSÍGOLO, C.A. **Estudo comparativo das qualidades de madeira e polpa de árvores jovens de *E. saligna* e *E. grandis*.** Guaíba: Riocell, 66 p. 1986. (Relatório Técnico, 43)

RIOCELL. **Análise dos licores kraft e soda**. Guaíba: [19--], 12 p.

SANTOS, R.David. **Relatório de visita técnica**. Guaíba: Riocell, 1996. 5 p.

SPELTZ, R.M., MONTEIRO, R.F.R. *E. dunnii* perspectivas de sua introdução no segundo planalto paranaense. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CELULOSE E PAPEL - SEMANA DO PAPEL, 15., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1982. 435 p. 5-19.

WEHR, R.T. **Variações nas características da madeira de *E. grandis* Hill Ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos kraft.** Piracicaba: ESALQ, 1991. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1991.