

Estudo das Potencialidades do *Bambusa vulgaris* para Produção de Papéis tipo Kraft

JOSÉ LÍVIO GOMIDE
JORGE LUIZ COLODETTE
RUBENS CHAVES DE OLIVEIRA
Depto. de Engenharia Florestal – UFV

Summary

The basic anatomical features and the fiber dimension characteristics of *Bambusa vulgaris* were investigated. The potential of *B. vulgaris* for kraft pulp production was analyzed using *Pinus elliottii* wood as a reference. Kraft pulps of these two species were prepared to obtain high strength handsheets. Mathematical models for the pulp properties were established and the two pulps were compared. The bamboo pulps were more susceptible to beating, had lower yields, lower densities, higher tensile and burst strength and higher tear resistance at lower beating time and lower tear resistance at longer beating time than the reference *Pinus* pulps. The results obtained showed that *B. vulgaris* has a high potential for production of kraft papers with strength properties comparable to those of *P. elliottii*.

Resumo

Foi realizado um estudo básico das características anatômicas do *Bambusa vulgaris* e uma análise comparativa das características dimensionais das fibras do *Bambusa vulgaris* e do *Pinus elliottii*. Foram produzidas polpas kraft dessas duas espécies, visando a produção de papéis kraft de altas resistências. As propriedades físico-mecânicas das polpas foram analisadas comparativamente, após o estabelecimento de modelos matemáticos. A polpa de *B. vulgaris* apresentou maior facilidade de refino, menores rendimentos, menores densidades, maiores resistências à tração e ao arrebentamento e resistências ao rasgo maiores em baixos tempos de refino e menores em tempos mais altos de refino. Os resultados obtidos indicam grande potencialidade do *B. vulgaris* para a produção de papéis kraft de altas resistências, comparáveis às de papéis de *P. elliottii*.

1. INTRODUÇÃO

A indústria nacional de celulose e papel, graças ao desenvolvimento de tecnologia própria, é fundamentada, principalmente, na utilização de madeiras de eucalipto. O desenvolvimento de "know how" nacional nas áreas de polpação e de produção de papel com madeiras de eucalipto permitiu que o Brasil se transformasse num dos maiores exportadores mundiais de celulose de fibra curta. O País, entretanto, ainda apresenta déficit na produção de celulose de fibra longa e quantidades substanciais

dessa celulose são anualmente importadas para suprir as necessidades do mercado interno. As coníferas exóticas introduzidas no Brasil, principalmente os *Pinus*, constituem importante fonte de fibra longa para produção de celulose, mas essas espécies apresentam crescimento relativamente lento e são silviculturalmente desaconselhadas para reflorestamento em várias regiões do território nacional. Existem previsões (2) que demonstram que em 1988 deverá ocorrer um déficit de 8.716.000 metros estéreos de madeiras de conífera no Brasil.

O bambu, planta de crescimento extremamente rápido, parece apresentar potencial técnico e econômico para vir a constituir-se em importante fonte de matéria-prima para produção de celulose de fibra longa no Brasil. Estudos químicos e anatômicos do *Bambusa vulgaris*, espécie que representa as maiores áreas de plantios de bambu no Brasil, sugerem essa potencialidade técnica (3), apesar dessa gramínea apresentar algumas desvantagens, como altos teores de extrativos e de elementos minerais, principalmente de sílica.

O bambu é a matéria-prima tradicional na Índia para produção de celulose e papel, correspondendo a mais de 70% da produção indiana de papel. No Brasil, após os necessários estudos tecnológicos, o bambu poderá vir a constituir uma alternativa viável de importante fonte de matéria-prima de fibra longa para produção de celulose e papel.

O objetivo deste estudo foi analisar as potencialidades do *Bambusa vulgaris* para a produção de papel kraft de alta resistência, comparando-o com o *Pinus elliottii*, espécie utilizada no Brasil para a produção desses papéis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados o *Bambusa vulgaris* var. *vulgaris*, com idade de 5,5 anos, obtido de plantação industrial localizada no município de Santo Amaro, na Bahia, e o *Pinus elliottii*, obtido de plantação experimental, com 16 anos de idade, localizada em Viçosa, MG. Os cavacos de bambu foram amostrados ao acaso no pátio de estocagem de uma indústria de papel e duas árvores de *P. elliottii* foram transformadas em cavacos por meio de picador laboratorial. Os cavacos, após secados ao ar, foram armazenados em sacos de polietileno, para uniformização e conservação do teor de umidade. Um dos cavacos do bambu foi utilizado para cortes anatômicos transversais e longitudinais, com espessura de cerca de 20 μ que, após tratamento com safranina, foram montados com bálsamo do Canadá em lâminas de microscópio e fotografados com auxílio de microscópio ótico, com aumentos de cerca de 80X e 800X. Alguns cavacos das duas espécies, coletados ao acaso, foram transformados em pequenos palitos que foram tratados a quente com solução nitro-acética (5 partes de ácido acético e 1 parte de ácido nítrico) para separação das fibras. As fibras, após coloração com safranina, foram medidas com auxílio de microscópio

ótico (largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede) ou utilizando a técnica de projeção (comprimento). Foram medidas 150 fibras de cada espécie.

Os cozimentos foram realizados em autoclave rotativa, com capacidade de 20 litros, aquecida eletricamente, com quatro compartimentos individuais, com capacidade de 2 litros cada um, possibilitando a realização de 4 cozimentos simultâneos. O processo de polpação utilizado foi o kraft, sendo todos os cozimentos realizados com uma repetição. As condições empregadas nos cozimentos foram as seguintes: a) cavacos = 300 g a.s.; b) álcali ativo, como Na_2O : B. vulgaris = 13%, P. elliotii = 14,5%; c) sulfidez = 25%; d) temperatura máxima = 170°C; e) tempo até temperatura = 100 min; f) tempo à temperatura, B. vulgaris = 50 min, P. elliotii = 90 min; g) relação licor/madeira = 4/1 e licor/bambu = 4,8/1. O álcali ativo para o P. elliotii foi estabelecido como 14,5% para se obter um número kappa de cerca de 45 e o do B. vulgaris foi selecionado como 13%, segundo resultados de GOMIDE *et alii* (4) em estudos de otimização de álcali ativo e temperatura para polpação kraft de bambu. Depois do cozimento, os cavacos foram desfibrados em moinho de discos Bauer, e a polpa foi depurada num classificador laboratorial Voith, dotado de tela com fendas de 0,2 mm de abertura. As análises das polpas foram realizadas segundo as normas da ABCP. A confecção de folhas para testes de resistência foi realizada em formador Köthen-Rapid. Os refinamentos das polpas, para desenvolvimento de resistências, foram realizados em moinho centrifugal Jockro, em consistências de 6%.

A interpretação estatística dos resultados das propriedades físico-mecânicas das duas espécies foi feita com auxílio de análises de regressão e a melhor equação para cada propriedade foi escolhida com base nos seguintes critérios: significância dos coeficientes individuais de regressão ($\alpha < 0,01$), redução do quadrado médio do erro, valor do coeficiente de determinação (R^2) e a análise dos resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Anatômicas do Bambusa vulgaris

Na Figura 1 são mostradas as seções transversal e longitudinal do B. vulgaris, com aumento de cerca de 80X, abrangendo toda a seção transversal do colmo. Na Figura 2 é mostrada a seção transversal, com aumento de cerca de 800X, mostrando mais detalhadamente a estrutura anatômica das fibras.

Basicamente, o bambu é constituído por células parenquimatosas, vasos e fibras. As fibras e os vasos são dispostos em forma de aglomerados de feixes fibrovasculares dispersos num tecido de células parenquimatosas.

Analisando-se o Quadro 1, verifica-se que as fibras do B. vulgaris são longas e estreitas, com lúmen fino e parede relativamente espessa. A variabilidade das dimensões transversais das fibras do B. vulgaris é bastante alta, principalmente o diâmetro do lúmen, como pode ser observado tanto na Figura 1 como no Quadro 1. Comparando-se as fibras do P. elliotii com as do bambu, verifica-se que as dessa madeira apresentam todas as suas dimensões superiores às do B. vulgaris. Apesar de suas dimensões serem inferiores, as fibras do B. vulgaris apresentam características dimensionais que deverão resultar em papéis com resistências comparáveis ou pouco inferiores às do P. elliotii. Por causa do alto teor de células parenquimatosas, o que pode ser observado na Figura 1, o B. vulgaris deverá apresentar um rendimento em celulose inferior ao do P. elliotii.

3.2. Designificação e Rendimentos das Polpas Celulósicas

No Quadro 2 são apresentados os números kappa e os rendimentos (total, depurado e rejeitos) obtidos pelos cozimentos kraft do B. vulgaris e do P. elliotii. Para se obter polpa celulósica de B. vulgaris com altas resistências, foi realizada uma forte designificação (número kappa = 23,4), obtendo-se um teor de lignina residual cerca da metade do estabelecido para o P. elliotii (número kappa = 46,4). O B. vulgaris apresentou rendimentos total e depurado bem inferiores (37,0% e 36,5%, respectivamente) ao do P. elliotii (50,2% e 50,1%) e um maior teor de rejeitos. Esses rendimentos inferiores do B. vulgaris podem ser explicados pelos altos teores de células parenquimatosas e de extrativos nessa gramínea (3). Os baixos rendimentos em celulose do bambu constituem uma desvantagem que, entretanto, poderá, possivelmente, ser amplamente compensada pela maior produção por hectare/ano dessa espécie.

3.3. Propriedades Físico-Mecânicas das Polpas Celulósicas

Na análise dos resultados das propriedades físico-mecânicas, deve ser considerado que para o B. vulgaris foram utilizadas condições de cozimento que permitissem a obtenção de altas resistências, condições essas estabelecidas experimentalmente por GOMIDE *et alii* (4). Para o P. elliotii foram utilizadas condições de cozimento que permitissem obter um número kappa de cerca de 45, valor utilizado pelas indústrias nacionais, não tendo sido tentado experimentalmente uma maximização das resistências dessa polpa.

As propriedades físico-mecânicas das polpas de B. vulgaris e de P. elliotii foram analisadas estatisticamente e os modelos matemáticos que melhor descreveram cada propriedade estudada, em função do tempo de refino, estão apresentadas no Quadro 3. Essas equações matemáticas foram utilizadas na obtenção de dados para o estabelecimento de gráficos onde foram relacionados os desenvolvimentos das propriedades físico-mecânicas em função do tempo de refino (Figuras 3 a 8).

O B. vulgaris demonstrou maior facilidade de refino que o P. elliotii (Figura 3), indicando que para a obtenção de um mesmo grau de refino o bambu requer menor energia que o Pinus.

A polpa de P. elliotii apresentou, em termos gerais, maiores densidades, para um mesmo tempo de refino, que a de B. vulgaris, o que favorece a formação de papéis mais compactos de P. elliotii.

Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar que o B. vulgaris apresentou maiores resistências à tração e ao arrebentamento que o P. elliotii, para um mesmo tempo de refino, e que as diferenças entre as duas espécies foram maiores em tempos mais longos de refino. O comprimento máximo de auto-ruptura atingido pelo bambu foi de 9,25 km, enquanto o do Pinus foi de 7,38 km, ambos obtidos com 75 minutos de refino. Os índices máximos de resistência ao arrebentamento do bambu e do Pinus foram de 72,30 e 54,40, respectivamente.

Para um mesmo tempo de refino, as fibras do bambu apresentaram um maior alongamento percentual que as do Pinus, conforme demonstrado na Figura 7.

A intensidade de refino apresentou uma forte influência negativa sobre a resistência ao rasgo da polpa de bambu, como demonstrado na Figura 8. Em baixos graus de refino, a polpa de bambu apresentou maiores resistências ao rasgo que a de P. elliotii, mas em tempos de refino superiores a 33 minutos (33^oSR para o bambu e 17^oSR para o Pinus) a polpa de P. elliotii foi superior.

QUADRO 1 - Dimensões das fibras do *Bambusa vulgaris* e do *Pinus eliottii*

Dimensões	<i>B. vulgaris</i>	<i>P. eliottii</i>
Comprimento, mm		
mínimo	1,20	1,36
máximo	5,78	5,28
médio	2,75	3,34
coeficiente de variação	27,10	21,14
Largura, μ		
mínima	9,01	21,43
máxima	28,83	89,28
média	17,23	46,75
coeficiente de variação	30,33	25,69
Lúmen, μ		
mínimo	0,90	5,36
máximo	25,23	75,00
médio	6,85	31,08
coeficiente de variação	88,77	43,28
Espessura de parede, μ		
mínima	1,80	2,60
máxima	12,65	16,90
média	5,19	7,83
coeficiente de variação	34,57	39,70

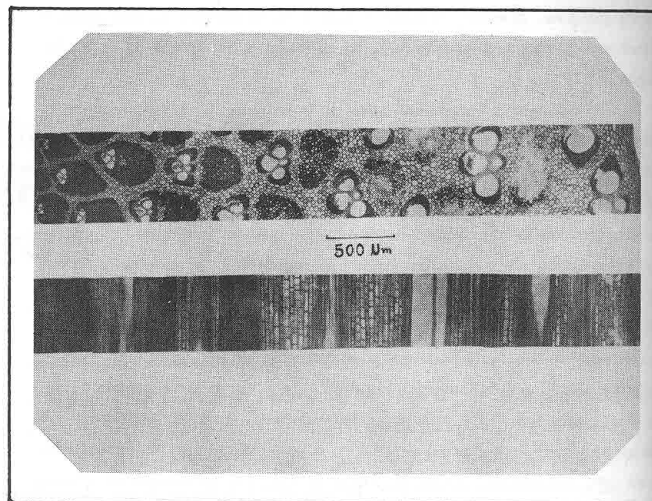


FIGURA 1 - Secções transversal e longitudinal do *B. vulgaris* (80X).

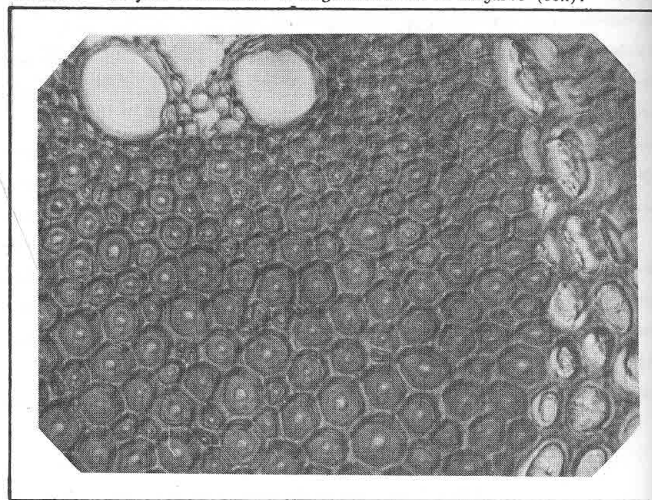


FIGURA 2 - Secção transversal do *B. vulgaris* (800X).

QUADRO 2 - Números kappa e rendimentos das polpas celulósicas kraft de *Bambusa vulgaris* e de *Pinus eliottii*

Propriedades	<i>B. vulgaris</i>	<i>P. eliottii</i>
Número kappa	23,4	46,4
Rendimentos		
Total	37,0%	50,2%
Depurado	36,5%	50,1%
Rejeitos	0,5%	0,1%

QUADRO 3 - Modelos matemáticos das propriedades estudadas

	Equações	R^2	S_{xy}
<i>B. vulgaris</i>	Schopper Riegler = $9,8 + 0,723 T$	95,3	6,316
	Auto-ruptura = $4,512 + 0,114 T - 0,000678 T^2$	98,7	0,242
	Alongamento = $1,177 + 0,107 T - 0,00138 T^2 + 0,00000624 T^3$	98,7	0,168
	Arrebatamento = $19,486 + 1,332 T - 0,00837 T^2$	97,8	3,526
	Rasgo = $319,7 - 1,932 T$	93,8	19,650
	Densidade = $0,388 + 0,00371 T - 0,0000158 T^2$	96,2	0,018
<i>P. eliottii</i>	Schopper Riegler = $13,85 + 0,0000651 T^3$	100,0	0,629
	Auto-ruptura = $3090,5 + 164,94 T - 2,05 T^2 + 0,00818 T^3$	90,0	0,572
	Alongamento = $0,967 + 0,0733 T - 0,000824 T^2 + 0,0000000277 T^4$	88,3	0,264
	Arrebatamento = $11,38 + 1,67 T - 0,0241 T^2 + 0,000117 T^3$	98,2	2,180
	Rasgo = $267,4 - 0,0115 T^2$	80,5	21,630
	Densidade = $0,375 + 0,008 T - 0,000112 T^2 + 0,000000544 T^3$	100,0	0,000

T = Tempo de refino. min.

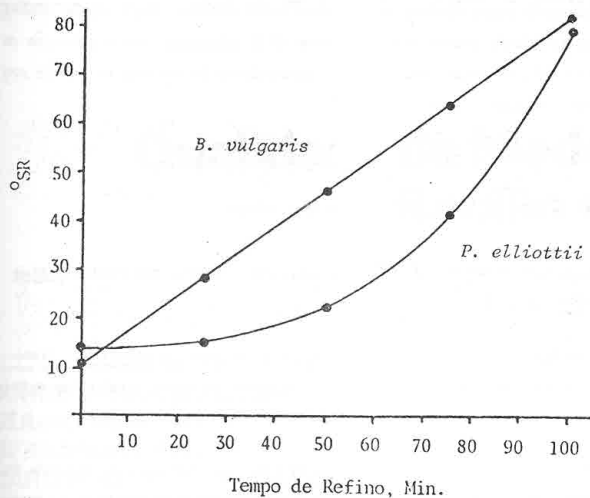


FIGURA 3 - Relação entre o grau de refino (SR) e o tempo de moagem das polpas de *B. vulgaris* e *P. elliotii*.

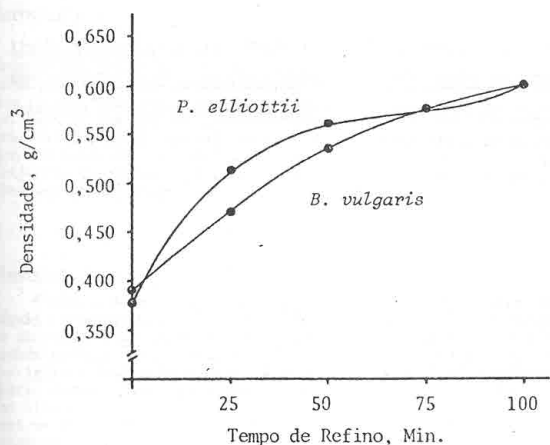


FIGURA 4 - Influência do tempo de refino sobre as densidades das polpas de *B. vulgaris* e de *P. elliotii*.

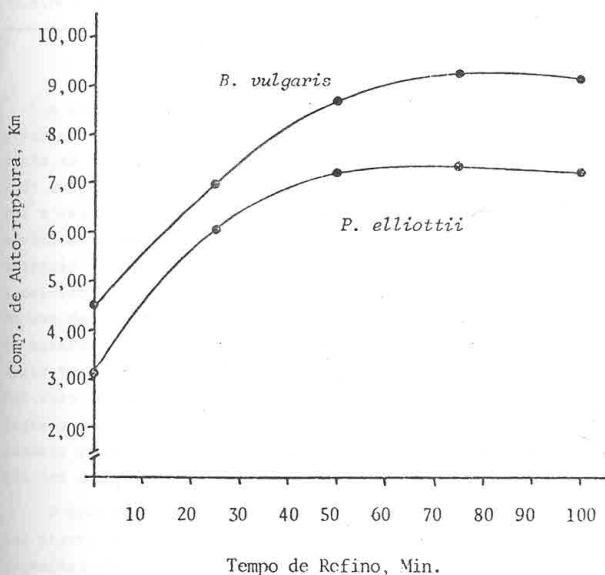


FIGURA 5 - Desenvolvimento da resistência à auto-ruptura das polpas de *B. vulgaris* e *P. elliotii*, em função do tempo de refino.

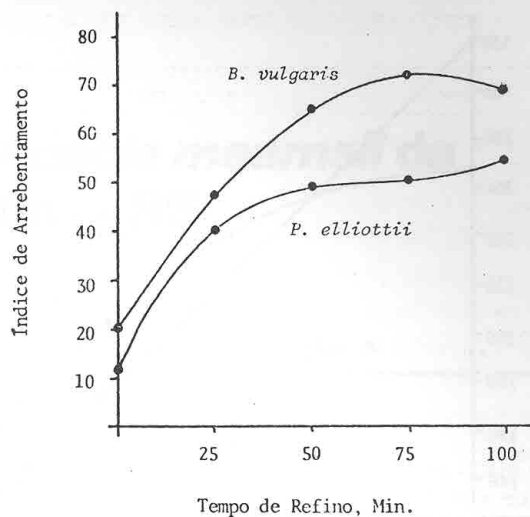


FIGURA 6 - Desenvolvimento da resistência ao arrebentamento das polpas de *B. vulgaris* e *P. elliotii*, em função do tempo de refino.

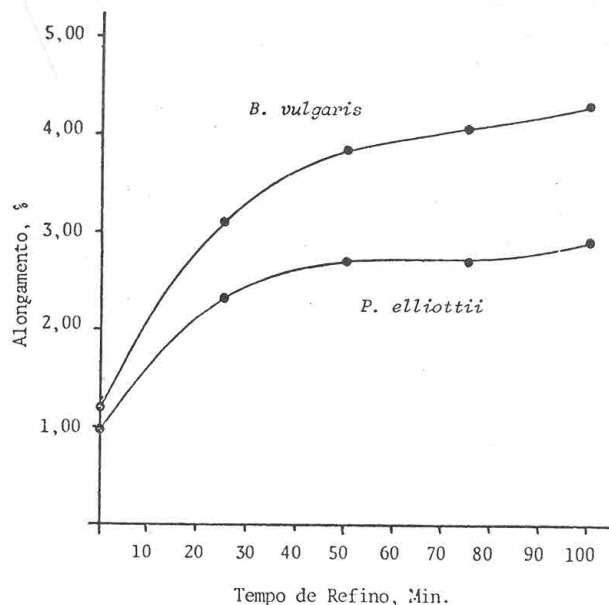


FIGURA 7 - Relação entre o alongamento percentual das folhas de celulose do *B. vulgaris* e do *P. elliotii*, em função do tempo de refino.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que para se obter papéis de *B. vulgaris* com resistências superiores às do de *P. elliotii*, deve-se utilizar refinos suaves para a polpa do bambu, de modo a preservar a resistência ao rasgo. Nessas condições não será possível um desenvolvimento máximo das resistências à tração e ao arrebentamento, mas, para um mesmo tempo de refino, ter-se-á uma superioridade nessas resistências, favorável ao bambu.

Algumas restrições poderão ser aplicadas aos resultados superiores obtidos pelo *B. vulgaris*, considerando-se as condições de otimização de álcali ativo e de temperatura utilizados na produção da polpa de *B. vulgaris* e a não utilização do mesmo critério para o *P. elliotii*. Mesmo

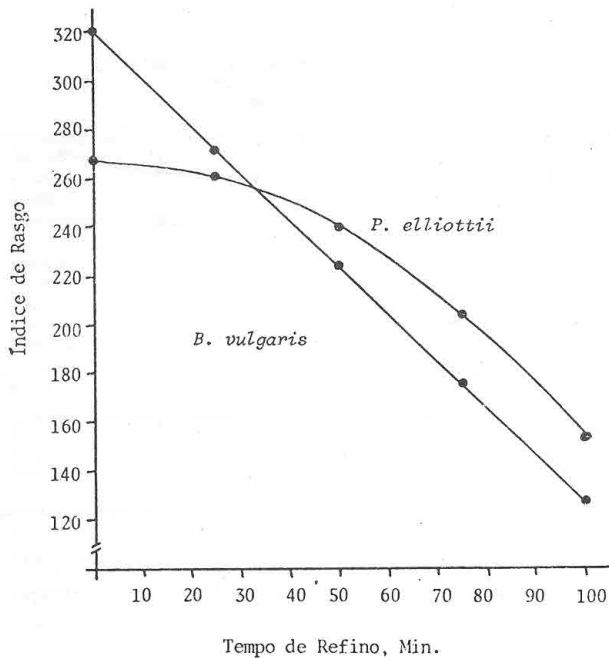


FIGURA 8 - Influência do tempo de refino sobre as resistências ao rasgo das polpas de *B. vulgaris* e de *P. eliottii*.

considerando essas restrições, os resultados obtidos neste estudo experimental indicam a grande potencialidade do *B. vulgaris* para a produção de papéis kraft de altas resistências, comparáveis às obtidas em papéis produzidos com madeiras de *P. eliottii*.

5. LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. São Paulo. Normas ABCP. s.d.
- CHERKASSKY, H.H. Panorama geral do setor de papel e celulose. Trabalho apresentado no "III Simpósio Regional de Papel e Celulose do Rio de Janeiro". Agosto 27 e 28. 1981.
- GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. & COLODETTE, J.L. Influência da idade do Bambusa vulgaris nas características químicas e anatômicas, visando à produção de polpa celulósica. In: XIV CONGRESSO ANUAL DA ABCP. São Paulo, 1981. Livro Técnico, vol. 1, São Paulo, ABCP, 1981. p. 5-17.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L. & OLIVEIRA, R.C. Influência do álcali ativo e da temperatura na polpação kraft de Bambusa vulgaris para produção de papéis de altas resistências. Viçosa, Univ. Federal, 1982. 15 p. (Datilografado).