

Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1 - qualidade da madeira para produção de celulose Kraft

Technological assessment of *Eucalyptus* wood clones:
part 1 - wood quality for kraft pulp production

¹Cláudio Roberto Ferreira; ¹Moacyr Fantini Junior; ²Jorge Luiz Colodette;
²José Lívio Gomide e ³Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho

Abstract

This study, which is divided in two parts, presents an evaluation of twelve *Eucalyptus* clones, ranging from seven to twelve years old, for bleached kraft pulp production. This first part discusses wood physical-chemical characteristics and its behavior during kraft-ITC pulping. The second part will deal with the performance of the kraft-ITC pulps in the oxygen delignification and O/O-A/D-(PO)-D bleaching, and the ranking of wood clones for printing and writing paper grades based on their bleached pulp strength properties. The results of this first phase indicate large variability of kraft-ITC pulp yield (50.2-55.5%) and wood physical-chemical characteristics among the twelve wood samples. No significant correlations were observed between pulp yield and any individual wood physical-chemical characteristic. The results suggest the need for a more wide investigation, using a larger sample universe, whereby all possible interactions between pulp yield and wood physical-chemical characteristics are taken into account.

Keywords: *Eucalyptus*, Clones, Wood physical-chemical characteristics, ITC pulping

Resumo

Este trabalho, dividido em duas partes, apresenta uma análise das características tecnológicas de doze clones de *Eucalyptus* com idades de sete a nove anos, para produção de celulose Kraft branqueada. Nesta primeira parte são discutidas as características físico-químicas das madeiras e seus comportamentos no cozimento Kraft isotérmico (ITC). Na segunda parte serão discutidos os comportamentos das polpas Kraft-ITC provenientes dos 12 clones frente à deslignificação com oxigênio e branqueamento ECF pela seqüência O-A/D-(PO)-D-D, além da avaliação e ordenamento dos clones para produção de papéis de imprimir e escrever com base nas propriedades físico-mecânicas das polpas. Os resultados desta primeira parte indicam grande variabilidade nas características físico-químicas e no rendimento gravimétrico (50,2-55,5%) da polpação kraft-ITC das doze madeiras avaliadas, não sendo possível identificar relações significativas entre o rendimento e qualquer uma das características físico-químicas, isoladamente. Os resultados sugerem a necessidade de um estudo mais amplo, com maior número de amostras, onde todas as interações possíveis entre rendimento e características físico-químicas sejam consideradas.

Palavras-chave: Clones, *Eucalyptus*, Qualidade da madeira, Análise físico-química, Polpação ITC

INTRODUÇÃO

Florestas de eucalipto plantadas no extremo sul da Bahia apresentam índices de produtividade dos mais elevados do Brasil, com média acima de 43 m³/ha.ano de IMA líquido (sem casca e sem topo) aos 7 anos de idade. Esta elevada produtividade é proporcionada pelo clima favorável, pela rigorosa seleção de sítios adequados ao cultivo do eucalipto e, principalmente, pelo programa de melhoramento genético adotado

pelos empresas do setor. A seleção dos clones baseia-se na produtividade florestal e inclui, também, características tecnológicas favoráveis ao processo de produção de celulose. Entretanto, a caracterização tecnológica com base apenas na densidade básica da madeira e no rendimento em celulose por cozimento Kraft convencional funciona bem para o ordenamento de clones, mas não é suficiente para avaliar o desempenho geral da madeira numa fábrica moderna de celulose Kraft branqueada.

¹Pesquisador da Veracel Celulose S.A. - Rod. BA - 275, Km 24 - Caixa Postal 21 - Eunápolis, BA - 45820-970 - E-mail: claudio.ferreira@veracel.com.br; moacyr.fantini@veracel.com.br

²Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal da UUFV - Universidade Federal de Viçosa - Campus Universitário - Viçosa, MG - 36570-000 - E-mail: colodett@ufv.br; jlgonide@ufv.br

³Professora do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri - Rua da Glória, 187 - Diamantina, MG - 39100-000 - E-mail: ana.marcia@ufv.br

No processo industrial há um grande número de variáveis que precisam ser constantemente monitoradas e controladas, destacando-se as características físico-químicas da madeira e da polpa produzida e, principalmente, das variáveis dos processos de cozimento Kraft modificados, de deslignificação com oxigênio e de branqueamento da celulose.

Este trabalho teve por objetivo caracterizar a madeira de doze clones de eucalipto provenientes do extremo sul da Bahia de forma mais abrangente, através de análises físico-químicas detalhadas das madeiras e de suas polpabilidades pelo processo de cozimento modificado Kraft-ITC.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo envolveu um universo de 12 clones de eucalipto da Veracel Celulose S.A., designados de A-L, sendo que os clones A, B, D, E, F, G e H são materiais genéticos híbridos *urograndis*, selecionados em plantios de sementes híbridas produzidas em pomar de sementes da Aracruz Celulose S.A e os demais são originários de talhões comerciais plantados como híbridos naturais de Rio Claro (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus* spp.). Os materiais apresentavam idade média de 7 anos, exceto no caso dos clones C, F e H que apresentavam idade de 9 anos. Para realização dos estudos, toras de 1m de comprimento, retiradas a cada 25% da altura comercial, (diâmetro mínimo de 8 cm), de duas árvores de cada clone foram transformadas em cavacos, utilizando-se um picador de disco Demuth com três facas. Os cavacos foram classificados em peneiras com malhas de 32x32 e 16x16mm e, após secos ao ar, foram armazenados em sacos de polietileno para uniformização e conservação do teor de umidade. As amostragens dos cavacos para realização das análises de densidade básica e de constituição química da madeira foram realizadas segundo a técnica de quarteamento.

Análise físico-química das madeiras

A densidade básica dos cavacos foi determinada pela relação entre o peso absolutamente seco e o volume saturado dos cavacos, utilizando-se o método da balança hidrostática, estabelecido na norma M14-70 da ABTCP (ABTCP, sd). A caracterização morfológica das fibras foi efetuada em amostra padrão de 100 fibras, utilizando-se vídeo microscópio computadorizado (analisador de imagens), após maceração das amostras em solução nítrica/acética. Para análise química da

madeira, amostras de cavacos foram transformadas em serragem, utilizando-se moinho Willey. A serragem da madeira, após classificação em peneiras de malhas 40 e 60 mesh, foi acondicionada em sala com umidade relativa e temperatura constante de 50% e 23 °C, respectivamente e, posteriormente, armazenada em frascos hermeticamente fechados. Os teores de extrativos em diclorometano (DCM) e álcool/tolueno foram medidos segundo métodos Tappi T204-os-76 e T264-om-82, respectivamente (TAPPI, 1992). Os teores de lignina insolúvel e solúvel foram medidos de acordo com Gomide e Demuner (1986) e Goldschmid (1971), respectivamente. O teor de pentosanas foi medido pelo método brometo/bromato conforme Browning (1967).

A relação siringila/guaiacila da lignina foi determinada por cromatografia líquida após oxidação da serragem da madeira com nitrobenzeno, conforme Lin e Dence (1992). Os teores de carboidratos da madeira e da polpa foram também determinados por cromatografia líquida, após hidrólise ácida da madeira, de acordo com o procedimento descrito por Kaar *et al.* (1991).

Os teores de grupos acetila da madeira foram determinados por cromatografia gasosa de acordo com metodologia adaptada de Solar *et al.* (1987). Os teores de sódio, potássio, cálcio, magnésio, manganês e cobre das madeiras e polpas foram medidos por espectrofotometria de absorção atômica, segundo método SCAN-CM 38:96, após digestão nitro-perclórica da madeira conforme método Paptac G30. O teor de cloreto da madeira foi medido por cromatografia de íons, após extração da madeira com ácido nítrico, e o de fósforo pelo método do cloreto estanhoso, conforme procedimento adaptado do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995). Os teores de ácidos hexenurônicos das polpas foram determinados de acordo com o método proposto por Vuorinen *et al.* (1996).

A glicose proveniente das glicomananas foi estimada a partir do teor de manose, utilizando-se relações glicose/manose relatadas na literatura especializada, que varia na faixa de 1:1 a 1:2, (SJÖSTRÖM, 1993). Para o cálculo do teor de celulose, foi utilizado o teor de glicose total, descontado do teor de glicose associado às glicomananas.

Cozimento kraft modificado isotérmico (ITC)

Amostras de cavacos (1000g a.s.) foram saturadas com água, utilizando-se uma autoclave acoplada a bomba de vácuo e aplicando-se vá-

cuo por 14 horas. Ao final deste tratamento, o teor de umidade dos cavacos era cerca de 50%, teor comum em cavacos industriais. Após saturação, os cavacos foram transferidos para o Sistema de Simulação de Digestor Contínuo (SSDC) do Laboratório de Celulose e Papel da UFV.

O sistema é dotado de um digestor MK de 7 litros, aquecido eletricamente por meio de controles eletrônicos, com manômetro, sensor de temperatura, trocador de calor e bomba de circulação. O digestor é conectado a um conjunto de vasos aquecidos e 3 pressurizados, possibilitando injeções parceladas de licores diferenciados. O sistema possibilita simular as diferentes zonas de um digestor ITC, constituídas por: zona de impregnação, zona de ajuste, zona de cozimento contracorrente e zona de cozimento isotérmico.

O licor branco utilizado para as simulações dos cozimentos foi preparado na concentração de 105g/L de álcali efetivo (AE, como NaOH) e sulfidez de 30%. Para as simulações dos cozimentos foram seguidos os princípios operacionais descritos na Tabela 1. A carga alcalina estabelecida para a Zona de Cozimento Contracorrente foi dividida em 3 injeções (início da etapa, aos 24 minutos e aos 48 minutos), sendo removido do digestor o mesmo volume de licor correspondente ao de cada injeção. Procedimento idêntico foi adotado para a Zona de Cozimento Isotérmico, onde as injeções e remoções de licores foram realizadas no início da etapa, aos 29 minutos e aos 58 minutos. Ao final da Zona de cozimento isotérmico, o licor negro foi completamente removido do interior do digestor, sendo injetada água para lavagem dos cavacos cozidos. A remoção dos cavacos ao final do cozimento foi realizada por sucção a vácuo. Foram realizados dois cozimentos para cada amostra, após o estabelecimento da carga de álcali necessária para obter número kappa $18 \pm 0,5$. Foram retiradas amostras de licores ao final das diferentes fases do cozimento, determinando-se o álcali efetivo residual, para estabelecimento do perfil de álcali durante o cozimento.

A metodologia utilizada para determinação do álcali residual foi a descrita por Grace *et al.* (1989). Para determinação do teor de sólidos no licor negro, as amostras das extrações das Zonas de Cozimento Contracorrente e Isotérmica foram misturadas, simulando o licor enviado para a evaporação. Completado o ciclo de cozimento, o digestor foi descarregado e a celulose lavada com água corrente até completa remoção do licor residual. A individualização das fibras

foi realizada em "hidrapulper" laboratorial de 20 litros e a celulose foi depurada em depurador laboratorial Voith dotado de placa perfurada com aberturas de 0,2mm. As polpas foram desaguadas em centrífuga a consistência de 32-35%. Foram seguidas normas Tappi para determinação do número kappa e da viscosidade das polpas celulósicas.

A determinação do coeficiente de flexibilidade foi obtida da relação entre o diâmetro de lume e a largura de fibra, e a fração parede pela relação entre a espessura da parede e a largura da fibra.

O modelo estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado: $Y_{ij} = m + c_i + e_{ij}$, em que Y_{ij} é o valor da característica mensurada no clone i ($i = 1, 2, \dots, 12$), na repetição j ($j = 1, 2$); m é a média geral do experimento; c_i é o efeito do clone i e e_{ij} é o erro associado à observação Y_{ij} . Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos clones comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se 5% de probabilidade.

Tabela 1. Condições operacionais para simulação do cozimento kraft ITC. (Operational conditions for ITC kraft cooking).

Etapas	Parâmetros	Valores
Vaporização	Pressão de vapor, atm	1,5
	Tempo, minutos	20
	temperatura, °C	≈100
Impregnação	Carga alcalina, %	57
	Licor/madeira	3,5:1
	Tempo, minutos	30
	Temperatura, °C	145
Ajuste	Carga alcalina, %	16
	Licor/madeira	4:1
	Tempo, minutos	40
	Temperatura, °C	145
Cozimento contracorrente	Carga alcalina, %	16
	Licor/madeira	4:1
	Tempo, minutos	72
	Temperatura, °C	160
Cozimento isotérmico	Carga alcalina, %	11
	Licor/madeira	4:1
	Tempo, minutos	88
	Temperatura, °C	160
Descarga	Tempo, minutos	10
	Temperatura, °C	de 160 para 80

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização físico-química das madeiras

A Tabela 2 apresenta os resultados médios das dimensões das fibras determinadas em vídeo microscópio computadorizado. É importante lembrar que as mensurações determinadas em microscópio foram realizadas em fibras inteiras. As fibras quebradas ou com defeitos em sua estrutu-

ra não foram consideradas para efeito de suas dimensões. Comumente este fato não é considerado na análise com Galai Cis-100 ou Kajaani, uma vez que nestes aparelhos todo o material fibroso pode ser mensurado, incluindo fibras inteiras e quebradas, o que acarreta diferenças do resultado do comprimento médio das fibras quando estas são determinadas em microscópio.

Polpas com característica de menores espessuras de paredes celulares e maior diâmetro de lume das fibras, apresentam maior potencial de colapso e menor potencial para drenagem em máquina de celulose e papel.

Houve diferença significativa entre os clones analisados para as características das fibras pelo teste de Tukey (5%), indicando potencial de melhoramento genético para estas características. Os clones com maior densidade básica (B e C) (Tabela 3) apresentaram maior espessura de parede das fibras. Os clones que apresentaram maior fração parede e menor coeficiente de flexibilidade têm maior potencial de resistência das fibras. Entretanto, se a fração parede aumentar demasiadamente, poderá ocorrer deficiência de ligações interfibras na formação do papel, diminuindo sua resistência mecânica. Nestes casos (clones B, C e L), estas fibras são mais apropriadas para confecção de papel "tissue". Os clones que apresentaram menor fração parede e maior coeficiente de flexibilidade poderão apresentar maior achatamento durante a formação do papel, o que é desejável para fabricação de papéis de imprimir e escrever. O clone L apresentou o valor máximo para espessura de parede. Entretanto, a fração parede deste clone apresentou-se em uma faixa intermediária, em razão do elevado diâmetro do lume de suas fibras.

Os resultados de densidade básica e constituição química dos clones analisados estão apresentados na Tabela 3, observando-se, também, que os clones apresentaram diferenças significativas, o que é evidenciado pelo teste de Tukey (5%) para densidade básica da madeira (449 a 552 kg/m³). O maior valor de densidade básica foi encontrado para o clone C e o valor mínimo para o clone K. A densidade básica média encontrada foi de 497,08 kg/m³.

O teor de pentosanas e extrativos em álcool tolueno também apresentou diferenças significativas entre os clones, variando de 13,3% (clone I) a 15,8% (clone B). O teor de extrativos solúveis em álcool/tolueno apresentou elevado coeficiente de variação experimental (12,75%). Os resultados mostram que quanto mais elevado o teor de extrativo em álcool/tolueno, mais elevado o teor de extrativo em diclorometano (DCM). Estes extrativos apresentam características prejudiciais à qualidade do papel, pois pro-

vocam formação de incrustações de equipamentos e de "pitch" no papel.

As análises estatísticas detectaram diferença significativa para os teores de lignina insolúvel e total.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados experimentais, bem como os valores mínimos, médios, máximos e coeficiente de variação da relação siringila/guaiacila e do rendimento de extração da lignina para os materiais analisados. Verifica-se que os tratamentos apresentaram variações significativas, o que é evidenciado pelo teste de Tukey 5%. Os rendimentos da extração de lignina foram suficientemente altos (> 40%) para garantir uma análise precisa e reprodutível. As estruturas de lignina siringila, por conterem mais grupos metoxílicos, são mais fáceis de serem degradadas pelos reagentes de cozimento, necessitando de menos álcali para se alcançar um mesmo número kappa final e, conseqüentemente, resultando em menor perda de rendimento no processo. O clone K foi o que apresentou a melhor relação siringila/guaiacila, dentre os clones analisados.

Na literatura especializada (BLAND *et al.*, 1950; CARVALHO, 2002; CHANG e SARKANEN, 1973; COLLINS *et al.*, 1990; CREIGHTON *et al.*, 1944; KAWAMURA e BLAND, 1967; MAHAJAN *et al.*, 1985; RODRIGUES *et al.*, 1998 e WALLIS *et al.*, 1996), encontram-se valores de relação lignina siringila/guaiacila variando de 0,51 até 5,2, dependendo da espécie de madeira de folhosas. O mínimo valor tem sido relatado para a madeira de *Acer macrophyllum* (CHANG e SARKANEN, 1973) enquanto que o máximo valor tem sido relatado para *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus diversicolor* (CARVALHO, 2002).

A análise química da madeira dos 12 clones de eucalipto, incluindo os seus teores de glicanas, xilanas, galactanas, mananas, arabinanas, grupos acetila e lignina total estão apresentados na Tabela 5. Embora os açúcares da madeira sejam medidos como monômeros no hidrolisado, esses açúcares são ligados uns aos outros formando polissacarídeos na madeira, assim como na polpa marrom ou branqueada. Por isso, todos os valores de açúcares relatados na Tabela 5 são expressos como açúcares anidros para refletir a presença deles como polissacarídeos na madeira ou polpa das quais se originam. Um fator de conversão de 0,90 (162/180) foi usado para converter as hexoses (glicose, galactose e manose) para as suas formas anidras (glicanas, galactanas e mananas), enquanto que um fator de 0,88 (132/150) foi usado para converter as pentoses (xilose e arabinose) para as suas formas anidras correspondentes (xilanas e arabinanas).

Tabela 2. Resultados médios das análises morfológicas da madeira em vídeo microscópio. (Wood fiber analysis of 12 eucalyptus wood clones by video microscopy).

Clone	Comprimento, (mm)	Diâmetro, (µm)	Lume, (µm)	Espessura, (µm)	Coef. de Flexib	Fração Parede
A	1,09a	20,92 bc	10,98 c	4,97 ef	0,52a	0,48a
B	0,99a	20,27 a	10,00 a	5,13 f	0,49a	0,51a
C	1,11a	21,62 fg	10,65 b	5,48 g	0,49a	0,51a
D	1,06a	21,45 ef	11,78 e	4,84 de	0,55a	0,45a
E	1,11a	21,22 de	11,46 d	4,88 def	0,54a	0,46a
F	1,05a	21,82 g	12,24 fg	4,79 cde	0,56a	0,44a
G	1,04a	21,25 de	12,02 ef	4,61 bcd	0,57a	0,43a
H	0,99a	21,16 cd	11,75 e	4,71 cde	0,56a	0,45a
I	1,07a	20,79 b	12,51 g	4,14 a	0,60a	0,40a
J	1,06a	20,02 a	11,23 cd	4,39 ab	0,56a	0,44a
K	1,05a	21,20cde	12,14 f	4,53 bc	0,57a	0,43a
L	1,18a	23,32 h	12,30 fg	5,51 g	0,53a	0,47a
Média	1,07	21,25	11,59	4,83	0,55a	0,46a
CV experimental (%)	6,63	0,33	0,61	1,46	12,97	15,51

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005).

Tabela 3. Densidade básica e constituição química das amostras de madeira de clones de eucalipto. (Basic density and chemical composition of 12 eucalyptus wood clones)

Clone	Densidade básica (Kg/m ³)	Pentosanas (%)	Solubilidade em Álcool/Tolueno (%)	Lignina (%)			Extrativos DCM (%)
				Insolúvel	Solúvel	Total	
A	490 abc	15,3 ab	3,74 cd	26,6 ab	3,4a	30,0a	0,62
B	534 cd	15,8 b	3,21 cd	25,7 a	3,4a	29,1a	0,36
C	552 d	14,7 ab	3,76 d	26,6 ab	3,1a	29,7a	0,34
D	519 bcd	15,5 b	2,85 bcd	25,7 a	3,4a	29,1a	0,34
E	487 abc	13,5 a	1,39 a	25,7 a	3,6a	29,3a	0,19
F	527 bcd	15,7 b	3,75 cd	27,3 b	3,3a	30,6a	0,30
G	471 ab	14,9 ab	2,37 abc	26,2 ab	3,6a	29,8a	0,24
H	480 abc	15,3 b	3,57 cd	26,7 ab	3,3a	30,0a	0,51
I	478 abc	13,3 a	1,42 ab	26,0 ab	3,0a	29,0a	0,28
J	488 abc	14,2 ab	1,62 ab	26,3 ab	3,2a	29,5a	0,24
K	449 a	14,5 ab	2,85 bcd	26,5 ab	3,5a	30,0a	0,25
L	490 abc	13,4 a	1,09 a	25,9 a	3,4a	29,3a	0,13
Média	497,08	14,70	2,66	26,29	3,36	29,65	0,33
CV experimental (%)	2,85	2,76	12,75	1,29	4,03	1,83	41,66

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005).

Tabela 4. Resultados experimentais e medidas de dispersão da relação siringila/guaiacila e rendimento de extração de 12 amostras de madeira de eucalipto. (Syringyl/guaiacyl ratio and lignin extraction yields of 12 eucalyptus wood clones)

Clone	S/G mol/mol	Rendimento %
A	2,37 bcd	46,80a
B	2,48 bcde	46,15a
C	2,03 a	44,71a
D	2,43 bcd	46,92a
E	2,51 bcde	42,74a
F	2,26 ab	43,73a
G	2,62 de	46,71a
H	2,48 bcde	46,94a
I	2,07 a	47,95a
J	2,34 bc	47,33a
K	2,71 e	44,98a
L	2,55 cde	47,86a
Média	2,40	46,07
CV experimental (%)	2,75	3,39

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005)

O conteúdo de grupos acetila dos 12 clones apresentou boa correlação com o conteúdo de xilanas. Em média, cada 10 unidades de xilose anidra apresentou 6,49 unidades de grupos acetila. Entretanto, existe uma variação considerável entre madeiras, sendo verificados valores mínimos de 5,66 (clone C) e máximo de 7,25 (clone L). Esses valores estão de acordo com os reportados por Stewart *et al.* (1973), que sugerem um nível de acetilação de 70% para xilanas de madeira de *Eucalyptus regnans*, e também com números típicos relatados para madeiras de fibra curta (SJÖSTRÖM, 1993). Em geral, quanto mais elevado for este valor, mais perda de rendimento ocorrerá no processo, pois o grupo acetila se perde com muita facilidade durante o cozimento.

Tabela 5. Composição química da madeira de 12 clones de eucalipto (valores expressos em % da madeira livre de extrativos). (Chemical composition (% of extractive free wood) of 12 eucalyptus wood clones)

Clone	Glicana	Xilana	Galactana	Manana	Arabinana	Acetila	Acetila/10 xiloses	Total Hemiceluloses ⁽¹⁾	Total Celulose
A	49,2 ab	12,3 def	1,4a	1,8a	0,7 b	2,4 bc	5,98ab	20,4 a	47,4 ab
B	48,5 a	12,7 f	1,2a	1,8a	0,5 ab	2,6 de	6,31 bc	20,6 c	46,7 a
C	49,9 bc	11,7 cde	0,9a	1,3a	0,3 a	2,2 a	5,66a	17,7 a	48,6 bcd
D	48,9 ab	12,4 ef	1,4a	1,8a	0,5 ab	2,6 de	6,41 bc	20,5 c	47,1 ab
E	51,3 d	11,1 ab	1,2a	1,6a	0,4 ab	2,3 b	6,41 cd	18,2 a	49,7 e
F	49,2 ab	12,5 ef	1,0a	1,2a	0,3 a	2,6 de	6,47 c	18,8 abc	48,0 abc
G	49,4 ab	11,9cdef	1,3a	1,8a	0,7 b	2,5 d	6,55 cd	20,0 bc	47,6 ab
H	48,5 a	12,2 f	1,2a	1,6a	0,6 b	2,4 b	5,95ab	19,6 abc	46,9 a
I	51,4 d	10,6 a	1,4a	1,7a	0,4 ab	2,4 bc	6,97 de	18,2 ab	49,7 d
J	51,0 cd	11,4 bc	1,0a	1,4a	0,4 ab	2,5 cd	6,71 cd	18,1 ab	49,6 d
K	50,2bcd	11,6 bcd	1,2a	1,9a	0,6 ab	2,7 e	7,21 e	19,9 bc	48,3 abcd
L	50,9 cd	10,7 a	1,4a	1,4a	0,6 b	2,5 cd	7,25 c	18,0 ab	49,5 cd
Média	49,8	11,7	1,2	1,6	0,5	2,5	6,5	19,2	48,3
CV experimental (%)	0,68	1,63	11,95	13,16	18,56	1,43	1,88	5,37	2,45

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005)

⁽¹⁾ Total de hemiceluloses não incluindo o valor de ácidos urônicos.

Os conteúdos totais de hemiceluloses presentes nas amostras de madeira apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey 5% e, foram calculados pela soma dos seguintes componentes: acetila, arabinose, galactose, manose e glicose das glicomananas. O teor de ácido 4-O-metil-glicourônico, que contabilizaria como hemiceluloses, não foi mensurado, mas se estima que para madeira de *Eucalyptus* sp. este valor esteja na faixa de 4-5%. Nesse estudo, assumiu-se uma relação glicose:manose de 1:1, tanto para madeira quanto para polpa, conforme metodologia. Deve ser mencionado que o teor de amido da madeira não foi levado em consideração na análise de carboidratos. Sendo constituído de monômeros de glicose, o amido pode afetar os resultados dos teores de glicanas. Estudos realizados com madeiras de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* indicam teores de amido na madeira da ordem de 0,3-0,4 e 1,0-1,4% de amido, respectivamente (WALLIS *et al.*, 1996).

O teor de celulose também apresentou diferenças significativas, entre os clones avaliados pelo teste de Tukey 5%. Em geral, os clones que apresentaram maior teor de celulose e menor teor de hemiceluloses, clone I, por exemplo, apresentou maior rendimento de polpa celulósica durante o cozimento. De fato, houve uma perda de 54,7% das hemiceluloses durante o cozimento, enquanto a perda de celulose foi de 15,3%.

Essa variação encontrada para o teor de celulose e de hemiceluloses é muito interessante do ponto de vista de seleção da madeira, já que é possível conduzir melhoramento de árvores visando alterar os seus componentes individuais.

Por exemplo, madeiras com altos teores de celulose são favoráveis ao rendimento do processo e à fabricação de polpa celulósica destinada à produção de papéis tipo tissue. Por outro lado, madeiras ricas em hemiceluloses são favoráveis à produção de polpa celulósica destinada à obtenção de papéis de imprimir e escrever.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados experimentais bem como os valores mínimos, médios, máximos e coeficiente de variação dos teores de Cu, Mn, Ca, Mg, Na, K, Cl e P das amostras de madeira de eucalipto. Verifica-se na Tabela 6 que existe variação significativa (Tukey 5%) nos teores de sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, manganês, cobre e fósforo dentre as amostras de madeira de eucalipto analisadas. Não se observou tendência alguma dos teores de inorgânicos em relação às características da madeira dos clones analisados, mesmo porque os teores de inorgânicos na madeira são muito influenciados pelas características do solo e, neste estudo, as madeiras foram amostradas em locais diferenciados. Entretanto, os teores mínimos e máximos de metais encontrados nesse estudo estão dentro da faixa considerada normal para outras madeiras de clima temperado, conforme pode ser visto nos trabalhos de Ulmgren (1997) e Ehtonen *et al.* (2000).

Resultados do cozimento Isotérmico (ITC) das madeiras

Os resultados gerais dos cozimentos ITC estão apresentados na Tabela 7. Os rendimentos de todos os clones estudados estão apresentados na Figura 1, para uma melhor visualização comparativa entre os clones.

Tabela 6. Resultados experimentais e medidas de dispersão do teor de inorgânicos da madeira de clones de eucalipto. (Inorganic contents of 12 eucalyptus wood clones)

Clone	Componentes inorgânicos, mg/kg de madeira seca							
	Cu	Mn	Ca	Mg	Na	K	Cl	P
A	0,93bcd	4,2cde	635bcd	66 ab	153 a	492 c	571 b	89 de
B	1,07cde	3,4 cd	649 cd	116 d	124 cd	492 c	417 a	96 e
C	2,60 g	10,9 g	622bcd	68 ab	144 de	377 a	782 d	53 a
D	1,11 de	6,2 f	576 b	149 e	87 ab	503 c	626 c	100de
E	1,29 e	2,7 bc	676 de	100 c	128 cd	491 c	428 a	87 e
F	1,31 e	5,4 ef	579 b	61 a	97 b	450 b	419 a	62 ab
G	0,74 ab	4,9def	712 e	97 c	130cde	632 e	456 a	85cde
H	2,13 f	3,2 bc	611 bc	70 ab	110 bc	398 a	642 c	57 ab
I	0,59 a	4,0cde	464 a	72 ab	110 bc	544 d	553 b	71 bc
J	0,64 ab	2,9 bc	605 bc	76 ab	73 a	502 c	569 b	56 ab
K	0,69 ab	1,7 ab	622bcd	80 b	95 ab	514 cd	558 c	87 de
L	0,80abc	6,5 a	625bcd	96 c	110 bc	390 a	550 b	80 cd
Média	1,16	4,18	614,67	87,46	113,46	482,21	555,88	77,08
CV experimental (%)	6,44	9,07	2,45	4,60	5,19	2,05	1,83	5,09

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005)

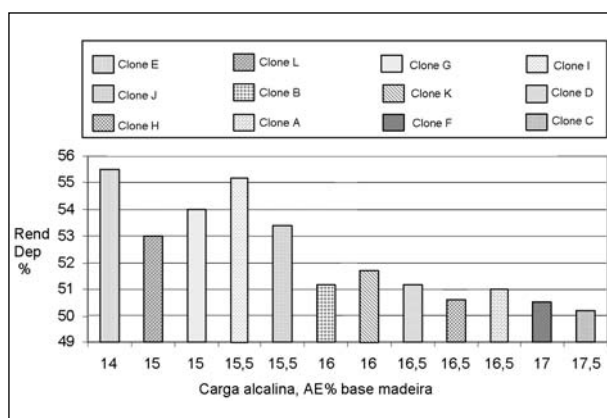
Tabela 7. Cozimentos kraft das madeiras de clones de eucalipto da Veracel Celulose S.A. (Pulping results of 12 eucalyptus wood clones)

Clone	AE, %	Numero Kappa	Pentosan, %	Rendimento Depurado ⁽¹⁾ , %	Rendimento total ⁽²⁾ , %	Viscosidade, cP	Extrativos DCM, %
A	16,5 e	18,0 ab	15,8 e	51,2 cd	48,8 a	82,8 cd	0,21 ab
B	16,0 d	17,9 ab	16,0 ef	51,2 a	49,6 abc	94,0 e	0,24 ab
C	17,5 g	18,1 ab	14,8 cd	50,2 b	49,7 bc	73,1 b	0,51 c
D	16,5 e	17,8 a	16,2 ef	50,6 bc	49,8 c	83,8 cd	0,44 c
E	14,0 a	18,1 ab	13,2 a	55,5 g	53,9 f	88,7 de	0,26 b
F	17,0 f	18,4 b	16,4 f	50,5 bc	48,6 ab	73,4 b	0,46 c
G	15,0 b	18,4 b	15,0 d	53,0 e	52,0 de	93,6 e	0,25 ab
H	16,5 e	17,9 ab	16,1 ef	51,0 bcd	48,5 a	84,4 cd	0,29 b
I	15,5 c	18,1 ab	13,8 b	55,2 g	54,8 g	78,8 bc	0,24 ab
J	15,5 c	17,7 a	14,9 d	53,4 ef	50,5 cd	87,4 de	0,20 ab
K	16,0 d	17,8 a	14,8 cd	51,7 d	50,7 cd	69,0 a	0,24 ab
L	15,0 b	17,9 a	14,3 bc	54,0 f	52,6 ef	85,6 cd	0,16 a
Média	15,9	18,0	15,1	49,3	50,7	82,5	0,3
CV experimental (%)	5,98	0,65	0,94	0,48	0,58	2,31	8,40

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005)

⁽¹⁾ Rendimento depurado dos cozimentos kraft modificados, realizado na Universidade Federal de Viçosa

⁽²⁾ Rendimento total obtido de cozimento convencional padrão no laboratório da Veracel Celulose S.A.

**Figura 1.** Rendimento do cozimento kraft ITC dos clones de *Eucalyptus* sp. (Pulp screened yield of 12 eucalyptus wood clones).

Os clones que necessitaram cargas de álcali efetivo (AE) superiores a 15,5% para obtenção de kappa 18 foram os que apresentaram os me-

nores rendimentos. Os melhores rendimentos, superiores a 55%, foram obtidos com os clones E e I. Esses elevados rendimentos tornam os clones E e I os de maiores potenciais tecnológicos, visto que tal parâmetro, isoladamente, é o fator mais significativo no desempenho econômico de uma fábrica de celulose kraft. Todos os clones analisados apresentaram rendimentos acima de 50% e, dos doze clones analisados, cinco proporcionaram rendimentos superiores a 52%, demonstrando a alta qualidade de madeira destes clones.

Não foram verificadas relações entre o rendimento depurado da polpação e os teores de lignina ou de celulose das madeiras, quando analisados isoladamente.

A alta qualidade dos clones refletiu também na viscosidade das polpas, tendo sido obtidas viscosidades variando de 69 a 94cP. De um modo geral, as viscosidades mais elevadas fo-

ram alcançadas com a aplicação das menores cargas de álcali.

O teor de pentosanas das polpas variou significativamente pelo teste de Tukey 5%. Essa variação foi de 13,2 a 16,4%, tendo os clones B, D, F e H apresentado os mais elevados teores, todos acima de 16%, o que poderá constituir-se numa vantagem tecnológica, dependendo do produto final a ser produzido.

Os teores de extrativos solúveis em diclorometano também variaram significativamente pelo teste de Tukey 5%, indicando, para as polpas de teores mais elevados, maior potencial para formação de pitch. Neste estudo, foi possível notar uma relação positiva entre o teor de extrativos em álcool/tolueno e em diclorometano, ou seja, madeiras com altos teores de extrativos em álcool/tolueno apresentaram, também, teores mais altos de extrativos em diclorometano.

Os resultados das análises de carboidratos nas polpas marrons com kappa 18 estão apresentados na Tabela 8. As análises das polpas marrons demonstraram diferenças significativas pelo teste de Tukey 5%. As polpas marrons apresentaram, em média, 48,0mmol de ácidos hexenurônicos (HexA's)/kg, ou 0,77%, com variação de 39,9 a 51,4mmol/kg (0,64-0,82%). Esta variação foi significativa (Tukey 5%), considerando-se que as condições gerais de cozimento foram mantidas constantes, exceto pelo álcali ativo (AA) que variou na faixa de 14-17,5%. Deve ser notado que as variações no conteúdo de HexA's não se correlacionaram com as cargas de álcali utilizadas no cozimento, o que indica que elas são devidas, provavelmente, a diferenças nos conteúdos de ácidos 4-O-metil-glicourônicos das madeiras.

De fato, o teor de ácidos hexenurônicos apresentou uma relação positiva com o teor de pentosanas na madeira, como pode ser notado na Tabela 8. Na literatura especializada (BUCHERT *et al.*, 1995; COLODETTE e COSTA, 2002; COSTA *et al.*, 2002; GOMIDE *et al.*, 2000; JIANG *et al.*, 2000; ZHI-HUA *et al.*, 2000) são reportados valores de HexA's na faixa de 0,5 a 70mmol/kg de polpa. Valor muito baixo é típico de polpas produzidas pelo processo soda e soda-AQ. Polpas de fibra curta, produzidas por processos kraft modificados, raramente apresentam valores menores que 30mmol/kg. Especificamente para polpa kraft de eucalipto, valores típicos são da ordem de 40-60mmol/kg de polpa (COLODETTE e COSTA, 2002; COLODETTE *et al.*, 2001; COSTA *et al.*, 2001; Gomide *et al.*, 2000).

Na Figura 2 está representado o perfil médio da concentração de AE nos licores residuais, podendo ser claramente observada a forte tendência de estabilização após a fase de impregnação. Este comportamento foi observado para os licores de todos os cozimentos dos doze clones.

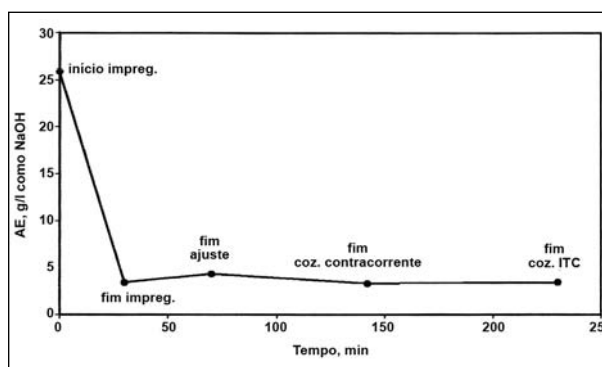


Figura 2. Perfil de álcali efetivo durante o cozimento kraft ITC. (Effective alkali profile during ITC Kraft cooking).

Tabela 8. Composição química percentual de polpa kraft marrom proveniente de 12 clones de eucalipto. (Chemical composition of Brown pulp derived from ITC cooking of 12 wood clones)

Clone	Glicana	Xilana	Galactana	Manana	Arabinana	HexA's Calc.	Lignina Calc.	Kappa Lido	HexA's Lido mmol/kg	Total Hemicel ⁽¹⁾	Total Celulose
A	78,7abcd	14,2 d	0,6a	0,9a	0,1a	0,9 c	2,1a	18,0a	51,4 a	17,6 de	77,8abcd
B	78,0 ab	14,4 d	0,5a	0,9a	0,1a	0,8 b	2,1a	17,9a	47,4 c	17,6 de	77,1 a
C	79,6 cde	13,3 c	0,4a	0,6a	0,0a	0,9 c	2,1a	18,1a	51,2gh	15,8 bc	79,0 cde
D	77,6 a	14,6 d	0,6a	0,9a	0,1a	0,9 c	2,0a	17,8a	50,2fg	18,0 e	76,7 a
E	80,0 e	12,0 a	0,5a	0,7a	0,1a	0,7a	2,3a	18,1a	39,9 a	14,7 a	79,3 e
F	77,8 ab	14,7 d	0,5a	0,6a	0,0a	0,9 c	2,2a	18,4a	49,3ef	17,3 cde	77,2 ab
G	79,0abcd	13,5 c	0,6a	0,9a	0,1a	0,9 c	2,2a	18,4a	48,8de	16,9bcde	78,1abcd
H	78,2 abc	14,5 d	0,5a	0,8a	0,1a	0,9 c	2,1a	17,9a	50,1fg	17,6 de	77,4 abc
I	80,2 de	12,4ab	0,6a	0,8a	0,1a	0,8 b	2,1a	18,1a	48,0cd	15,5 ab	79,4 de
J	79,6 cde	13,3 c	0,4a	0,7a	0,1a	0,9 c	2,0a	17,7a	49,5ef	16,1 bc	78,9bcde
K	79,3 bcd	13,3 c	0,5a	0,9a	0,1a	0,8 b	2,2a	17,8a	43,6 b	16,5 bcd	78,3abcd
L	79,8 de	12,9bc	0,6a	0,7a	0,1a	0,8 b	2,1a	17,9a	47,4 c	15,8 ab	79,1 cde
Média	79,1	13,6	0,5	0,8	0,1a	0,9	2,9	18,0	48,0	17,8	78,3
CV experimental (%)	0,46	1,11	12,60	14,24	38,49	0,77	2,35	1,80	0,60	1,79	0,53

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P > 0,005)

⁽¹⁾ Total de hemicelulose não incluindo o valor dos ácidos urônicos

Na Tabela 9 estão apresentados os teores de sólidos nos licores residuais, cujos valores apresentaram diferenças significativas pelo teste de Tukey 5%. Os cozimentos onde foram empregadas cargas alcalinas menores que 16% de AE apresentaram os menores teores de sólidos, uma vez que os maiores rendimentos foram obtidos para estas condições.

Tabela 9. Teores de sólidos dos licores residuais. (Solids content of spent liquor derived from ITC cooking of 12 wood clones)

Clone	AE%	Sólidos do licor residual, %		
		Totais	Orgânicos	Inorgânicos
A	16,5 e	17,7 h	41,8 d	58,2 a
B	16,0 d	11,7 e	41,2 c	58,8 b
C	17,5 g	12,7 g	41,1 c	59,0 b
D	16,5 e	12,2 f	41,2 c	58,9 b
E	14,0 a	10,4 a	40,1 ab	59,9 cd
F	17,0 f	11,8 e	41,8 d	58,2 a
G	15,0 b	10,6 a	39,9 ab	60,1 cd
H	16,5 e	11,8 e	41,0 c	59,0 b
I	15,5 c	11,0 b	40,2 ab	59,8 cd
J	15,5 c	11,3 cd	39,6 a	60,4 d
K	16,0 d	11,4 d	40,3 b	59,7 c
L	15,0 b	11,1 bc	40,1 ab	60,0 cd
Média	15,9	12,0	40,7	59,3
CV experimental (%)	5,98	15,64	1,84	1,26

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,005$)

CONCLUSÃO

- Em geral, os clones analisados apresentaram variações consideráveis com respeito às características físico-químicas da madeira, bem como no desempenho da polpação. Não foram verificadas relações entre rendimento da polpação e características físico-químicas das madeiras, quando analisadas isoladamente;
- A densidade básica da madeira foi influenciada positivamente pelos teores de pentosanas e extrativos em álcool/tolueno da madeira, mas não apresentou correlação com o teor de lignina;
- O rendimento da polpa marrom apresentou correlação positiva com o teor de celulose e negativa com o teor de lignina da madeira;
- Houve tendência de aumento do rendimento depurado no cozimento com a elevação da relação siringila/guaiacila da madeira;
- O teor de ácidos hexenurônicos na polpa marrom apresentou correlação positiva com o teor de pentosanas da madeira;
- Os resultados demonstraram a necessidade de considerar alguns importantes parâmetros no processo de seleção de clones para o fim especí-

fico de fabricar celulose branqueada de eucalipto, destacando-se a relação siringila/guaiacila da lignina e o teor de celulose da polpa marrom;

- Conclui-se que os clones E e I são os de maior potencial tecnológico para a fabricação de celulose Kraft branqueada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. Normas. São Paulo: ABTCP, s/d.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 19.ed. Washington: APHA, 1995. p.4-108 a 4-113.

BLAND, D.; HO, G.; COHEN, W. Aromatic aldehydes from the oxidation of some Australian woods and their chromatographic separation. **Australian Journal Scientific Research**, Melbourne, v.4, n.3, p.642-648, 1950.

BROWNING, B.L. **Methods of wood chemistry.** New York: Interscience Publishers, 1967. v.2, 518p.

BUCHERT, J.; TELEMAN, A.; HARJUNPAA, V.; TENKANEN, M.; VIKARI, L.; VUORINEN, T. Effect of cooking and bleaching on the structure of xylan in conventional pine kraft pulp. **Tappi Journal**, Atlanta, v.78, n.11, p125-130, 1995.

CARVALHO, A.G.M. **Relação siringila/guaiacila na lignina e suas implicações.** 2002. 40 p. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu) - Curso de Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CHANG, H.; SARKANEN, K.V. Species variation in lignin. **Tappi Journal**, Atlanta, v.56, p.132-134, 1973.

COLLINS, D.J.; PILOTTI, C.A.; WALLIS, A.F.A. Correlation of chemical composition and kraft pulping properties of some Papua New Guinea reforestation woods. **Appita Journal**, Melbourne, v.43, n.3, p.193-198, 1990.

COLODETTE, J.L.; COSTA, M.M. Efeito da composição química da polpa Kraft-O2 na sua branqueabilidade. **O Papel**, São Paulo, v.63, n.8, p.93-103, 2002.

- COLODETTE, J.L.; GOMIDE, J.L.; GLEYSYS, K.; KOGAN, J.; JAASKELAINEN, A.S.; ARGYROPOULOS, D. Yield and bleachability of hardwood and softwood kraft/polysulphide pulps. **Pulp and Paper Canada**, Montreal, v.102, n.9, p.269-272, 2001.
- COSTA, M.M.; COLODETTE, J.L.; MOUNTEER, A.H. Ácidos hexenurônicos: parte I - origem, quantificação, reatividade e comportamento durante a polpação Kraft. **O Papel**, São Paulo, v.62, n.5, p.75-85, 2001.
- COSTA, M.M.; FONSECA, M.J.O.; PIMENTA, D., COLODETTE, J.L. Processos de branqueamento com estágio de hidrólise ácida a quente (Ahot) para polpa kraft-O2 de *Eucalyptus* spp. **O Papel**, São Paulo, v.63, n.10, p.107-116, 2002.
- CREIGHTON, R.H.; GIBBS, R.; HIBBERT, H. Studies on lignin and related compounds: 75- alkaline nitrobenzene oxidation of plant materials and application to taxonomic classification. **Journal of American Chemical Society**, v.66, p.32-37, 1944.
- EHTONEN, P.; GOLAM, S.; HURME, M. Studies on the ecologically balanced ECF pulp mill. In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 2000, Halifax. **Poster Sessions**. p.205-208.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Ed.) **Lignins**. New York: Wiley-Interscience, 1971. p.241-266.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; GIRARD, R.; ARGYROPOULOS, D. Fatores que afetam a branqueabilidade de polpas kraft de *Eucalyptus*: 2- influência de parâmetros da polpação. **O papel**, São Paulo, v.61, n.12, p.61-70, 2000.
- GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v.47, n.8, p.36-38, 1986.
- GRACE, T.M. Kraft liquors. In: TAPPI. **Pulp and paper manufacture: alkaline pulping**. Atlanta: Tappi, 1989. v.5, p.15-22.
- JIANG, Z.; VAN LIEROP, B.V.; BERRY, R. Hexenuronic acid groups in pulping and bleaching chemistry. **Tappi Journal**, Atlanta, v.83, n.1, p.167-175, 2000.
- KAAR, W.E.; COOL, L.G.; MERRIMAN, M.M.; BRINK, D.L. The complete analysis of wood polysaccharides using HPLC. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, New York, v.11, n.4, p.447-463, 1991.
- KAWAMURA, I.; BLAND, D.E. Lignins of *Eucalyptus* wood from tropical and temperate zones. **Holzforchung**, Berlin, v.3, n.21, p.65-74, 1967.
- LIN, S.Y.; DENCE, C.W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 578p.
- MAHAJAN, S.; MADAN, R.N.; NAND, J. Studies on the chemistry of lignin of *Eucalyptus globulus*. Cel. and Paper Branch Forest Research Institute & Colleges, p. 17-20, 1985.
- RODRIGUES, J.; MEIER, D.; FAIX, O ; PEREIRA, H. Determination of tree to tree variation in syringyl/guaiacyl ratio of *Eucalyptus globulus* wood lignin analytical pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v.48, p.121-128, 1998.
- SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2.ed. New York: Academic Press, 1993. p.68
- SOLAR, R.; KACIK, F.; MELCER, I. Simple semi-micro method for the determination of O-Acetyl groups in wood and related materials. **Nordic Pulp and Paper Research Journal**, Estocolmo, v.4, p.139-141, 1987.
- STEWART, C.M., MELVIN, J.F.; DITCHBURNE, N.; THAM, S.H. The effect of season of growth on the chemical composition of cambial saps of *Eucalyptus regnans* trees. **Oecologia**, n.12, p.349-372, 1973.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Tappi test methods: 1992-1993**. Atlanta, 1992.
- ULMGREN, P.; RADESTRON, R. The build-up of phosphorus and the precipitator of calcium phosphate from green and white liquors. **Journal of Pulp and Paper Science**, Atlanta, v.23, n.2, p.52-58, 1997.
- VUORINEN, T.; TELEMAN, A.; FAGERSTROM, P.; BUCHERT, J.; TENKANEN, M. Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps. In: 1996 INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, Washington, 1996. **Proceedings**. Atlanta: TAPPI, 1996. v.1, p.43-51
- WALLIS, A.; WERNE, R.; WRIGHT, P. Chemical analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, Melbourne, v.49, p.427-432, 1996.
- ZHI-HUA, J.; VAN LIEROP, B.; NOLIN, A.; BERRY, R. A new insight into the bleachability of kraft pulps. In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 2000, Halifax. **Oral sessions**. p.163-168.

Recebido em 06/08/2004

Aceito para publicação em 16/03/2006