



CASCA DESMEDULADA DE EUCALIPTO: UMA NOVA OPÇÃO COMO FONTE DE FIBRAS PARA A INDÚSTRIA DE CELULOSE KRAFT

CELSO E. B. FOELKEL
CESLAVAS ZVINAKEVICIUS
LUCIANO R. O. SIQUEIRA
JORGE KATO
JOSÉ O. M. ANDRADE
Cenibra S.A.

RESUMO

Neste trabalho procurou-se analisar as condições de viabilidade para o uso industrial da casca do eucalipto, em misturas com cavacos de madeira, para a produção de celulose kraft de alta alvura e resistências. Uma nova proposição para o uso da casca é apresentada, qual seja, o descascamento das toras no próprio pátio de madeira da fábrica, seguido por um desmedulamento e envio apenas das fibras da casca e cavacos de madeira para digestor, numa proporção em peso de no máximo 10% de casca desmedulada no material a ser deslignificado.

SUMMARY

In this paper, the feasibility of using eucalypt bark blended with wood chips was studied for kraft pulping. The authors proposed a new technology in utilizing bark for pulping. This includes: debarking at mill site, depithing of the bark and blending of depithed bark with chips for pulping. The maxi-

mum content of depithed bark on total O.D. weight should be 10% to assure pulp quality similar to that obtained from debarked chips.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com o encarecimento das operações de exploração florestal e com a crescente escassez de fibras para produção de celulose, ênfase especial tem sido dada ao uso de resíduos florestais pela indústria de celulose. Destes resíduos destacam-se casca, serragem, ponteiros, galhos, folhas e raízes. Resíduos lenhosos de outras indústrias de transformação da madeira são também cogitados a serem transformados em celulose e papel. Entre todos os resíduos fibrosos de origem florestal, a casca da árvore é aquele que tem maior potencial para ser imediatamente consumido pela indústria. Existem mesmo muitas indústrias que já se valem da casca como fonte auxiliar de matéria-prima fibrosa. Isso é perfeitamente lógico numa situação como a atual, onde a demanda por fibras está crescendo e a disponibilidade diminuindo. A tendência é se passar para uma mais com-

pleta utilização da árvore, como atesta o movimento, já em desenvolvimento, de utilização integral da árvore (whole-tree utilization concept).

Até há poucos anos atrás a indústria de celulose era extremamente exigente quanto à matéria-prima: a madeira deveria ser aquela encontrada em toras do tronco, não tortuosas, livres de cascas, nós, etc., isentas de pragas e doenças, etc. Evidentemente, todos estes fatores quando controlados permitem melhor operação industrial e fornecem melhor qualidade de celulose. O inconveniente era que não se destinava um uso racional para o material desclassificado, o qual era simplesmente perdido. Hoje, com os problemas de falta de madeira que a humanidade vem enfrentando, o homem lamenta o material desperdiçado no passado pelo uso irracional das matas. A indústria de celulose é uma das indústrias de conversão da madeira que está tentando encontrar novas opções dentro do que existe nas florestas. O objetivo é se racionalizar o uso das fibras formadas pelas árvores. Fibras que hoje

quase não estão sendo consumidas são as das cascas das árvores. E elas existem em quantidades que variam de 30 a 50% nas cascas, dependendo da espécie florestal. A forma de se utilizar proveitosamente estas fibras sem causar problemas extras à qualidade da celulose é que ainda precisa ser encontrada. Os principais problemas que têm aparecido pelo uso da casca da árvore, juntamente com os cavacos da madeira, são os seguintes:

a) Problemas operacionais em:

- classificação dos cavacos;
- alimentação e fluxo em digestores contínuos;

- depuração da celulose pelo aumento do teor de feixes e rejeitos;
- entupimento de filtros lavadores pelo material fino não fibroso da casca;

- aumento no teor de sólidos do licor negro;

- evaporação do licor negro fraco por problemas de incrustação de matéria orgânica e sílica;
- maior formação de espumas.

b) O rendimento em celulose, expresso em peso de celulose obtido por peso de matéria-prima fibrosa, diminui. Como consequência, a produção diária de uma fábrica já instalada diminui.

c) A densidade da casca, sendo mais baixa que a da madeira, faz com que a casca ocupe relativamente um espaço maior do que seria ocupado somente por madeira. Como resultado o rendimento em peso de celulose por carga de digestor diminui.

d) A casca consome maior quantidade de reagentes químicos, havendo portanto, um desperdício na eficiência dos mesmos.

e) A presença de casca junto à madeira provoca o aparecimento de um grande número de pintas e sujeiras na celulose. Para a eliminação das mesmas é necessário um eficiente sistema de depuração centrífuga.

f) Os extrativos e a cortiça da casca dificultam o branqueamento da celulose, havendo maior necessidade de reagentes químicos.

g) As resistências físico-mecânicas da celulose diminuem pela presença da casca no cozimento.

Apesar de todas estas desvantagens o uso da casca vem paulatinamente sendo incrementado. Isso porque as vantagens alcançadas pelo seu uso são maiores; quais sejam:

a) colocação à disposição da indústria de uma nova e volumosa fonte de fibras a custo desprezível em relação aos processos de exploração florestal convencionais;

b) diminuição nas operações flo-

restais pela não necessidade de uma das mais onerosas atividades no campo que é o descascamento. O descascamento das toras no Brasil é quase que exclusivamente manual, com o baixo rendimento de 2 a 5 estéreos/homem/dia de madeira descascada.

A forma como a indústria de celulose tem procurado utilizar a casca da madeira é a clássica: toras de madeira com casca são picadas e transformadas em cavacos que alimentam os digestores. Como alternativas que algumas indústrias utilizam tem-se a mistura em proporções pré-estabelecidas de cavacos de madeiras com e sem casca.

O presente estudo consiste em mais uma contribuição ao intrincado problema que é o de se obter celulose mais barata e de mesma qualidade, pelo uso da madeira com casca. Os objetivos deste estudo foram agrupados em dois:

a) propor uma nova forma no manuseio e tratamento da casca para se garantir melhor qualidade de celulose e menores ou quase nulos problemas operacionais;

b) Verificar a influência da presença da casca nas qualidades da celulose.

O processo escolhido para a deslignificação da madeira com casca foi o kraft pela sua alta importância econômica e pela sua característica de não apresentar limitações quanto ao material fibroso vegetal.

A espécie de madeira utilizada foi o *Eucalyptus urophylla* (anteriormente *E. alba*), - uma das principais espécies usadas pela indústria de celulose no Brasil.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A casca é a parte das árvores mais facilmente removida. Em razão disso, ela sempre foi muito usada para inúmeros fins. Na antiguidade os homens a usavam na construção de suas casas, vestes e alimentação. Foram as cascas de *Hibiscus* e de *Edgeworthia papyrifera* as primeiras matérias-primas para a fabricação do papel. Observe-se pois, que a casca das árvores têm colaborado no desenvolvimento cultural da nossa civilização. Com a sofisticação da tecnologia e dos produtos finais, a casca foi deixada de lado como matéria-prima para a maioria dos processos industriais de transformação de produtos florestais. O excedente e disponibilidade de casca é atualmente um dos mais complexos problemas da indústria florestal. Em nosso país, onde o descascamento é manual e realizado no campo, o problema é sério, pois envolve um alto custo de mão-de-obra. Do ponto de vista

ecológico, este descascamento no campo é benéfico, pois uma grande parte de matéria orgânica ali permanece e é reincorporada ao solo, mantendo ou melhorando sua fertilidade. Quando o descascamento é feito mecanicamente na própria fábrica, os problemas para se dispor da casca são maiores. A tendência atual é se promover o descascamento no pátio de madeira pelo uso principalmente de tambores descascadores. A quantidade de casca que se acumula é tamanha que precisaria ser continuamente removida da unidade industrial. A remoção é usualmente acompanhada por queima. A casca assim removida, em grande parte das situações, é utilizada como combustível em caldeiras secundárias. O custo de investimento destas caldeiras e os custos de manutenção e operação são muitas vezes suficientemente altos para tornar a prática não econômica (KRIER & RIVER, 1968). Estes custos podem-se tornar mais elevados ainda, dependendo da instalação de equipamentos de combate à poluição do ar.

A pesquisa para utilizações da casca de árvores é considerável nos últimos 30 anos. A maior parte das proposições são para uso da casca como combustível, adubo orgânico, aglomerados, chapas de fibras, etc.

Hoje, o respeito à Natureza e ao Meio Ambiente e a carência de fibras, têm motivado a uma maior utilização da casca. Entretanto, a casca é bastante complexa e muito mais variável do que a madeira com relação às suas propriedades.

CHOW, s/d., aponta como principais características da casca como material estrutural: a) alta anisotropia; b) baixa resistência; c) alta variabilidade dimensional; d) grande tendência a sofrer amolecimento térmico; e) alto e variável teor de umidade; f) baixa densidade básica porém, menos variável que a densidade da madeira.

HARKIN, 1971, define a casca como sendo a parte externa do tronco e dos galhos da árvore. Ela é constituída de todo o material externo ao câmbio e na maioria das árvores pode ser dividida em duas regiões: uma casca interna ou floema, fisiologicamente ativa, e uma casca externa ou córtex, inerte, cujas principais funções são proteção do câmbio e evitar a desidratação da árvore.

Quimicamente a casca é constituída dos mesmos componentes fundamentais da madeira, apenas em quantidades diferentes. A casca é rica em cinzas, extrativos e lignina (WENZL, 1970; FOELKEL & COLABORADORES, 1976).

Quantidade e qualidade de extrativos são maiores na casca. Entretanto, é possível a migração de extrativos da casca para a madeira através dos raios medulares.

A produção de celulose a partir de madeira com casca tem sido motivo de muitos estudos. O sucesso ou não do cozimento de madeira com casca depende do tipo de casca, do processo de deslignificação e do produto final desejado. Cascas com elevados teores de extrativos não podem estar presentes em cozimentos pelo processo sulfítico ácido. Pastas semi-químicas isentas de impurezas também exigem madeiras descascadas (CASEY, 1960). Entretanto, quando o processo empregado é o kraft, tem-se observado inúmeros trabalhos relatando a possibilidade do uso da casca, inclusive sua economicidade no processo (HAMILTON, 1950; BROWN, 1956; MARTIN & BROWN, 1956; SAMUELS & GLENNIE, 1958; HORN & AUCHTER, 1972; AUCHTER, 1973; AUCHTER & HORN, 1973; WAWER, 1975 e EINSPAHR & HARDER, 1976).

AUCHTER, em 1973, resume como os principais problemas que advêm do emprego de madeira com casca na produção de celulose, os decorrentes do aumento do teor de rejeitos e as dificuldades encontradas no branqueamento. Em condições normais de produção de celuloses químicas, as cascas dão rendimentos de 20 a 25% e o consumo de reagentes químicos é consideravelmente maior que o da madeira.

EINSPAHR & HARDER, 1976, estudando as soluções alternativas para o uso de madeira com casca para produção de celulose, consideraram importantes as seguintes informações sobre a casca de cada espécie: morfologia das cascas interna e externa; densidade básica; extrativos; teor de fibras; aderência da casca na madeira; resistência da casca; comportamento de flotação na água; valor combustível e teor de cinzas. Os autores estudaram cascas de diversas espécies de folhosas norte-americanas e concluíram serem bastante grandes as diferenças entre a morfologia, química e propriedades mecânicas destas cascas.

Algumas experiências industriais usando cavacos de madeiras com casca têm sido apresentadas na literatura (WAWER, 1975). Outras, infelizmente, permanecem arquivadas dentro de muitas fábricas de celulose.

A primeira idéia que se teve para utilizar casca na indústria de celulose foi picar a madeira com casca

e encaminhá-la ao digestor. A idéia não é nova nem original. Ela se constituiu na primeira tentativa de resolver os problemas oriundos de se ter que dispor da casca de uma forma não poluente. Isso porque, nos países desenvolvidos, onde a idéia germinou, as toras são descascadas mecanicamente no pátio da fábrica. O presente trabalho propõe uma nova maneira de se tratar a casca conduzindo à produção de celulose kraft de qualidade.

Sobre a utilização de madeira com casca de espécies de *Eucalyptus* nada foi encontrado na literatura disponível aos autores. Entretanto, sabe-se que no Brasil, algumas fábricas que utilizam o eucalipto realizaram cozimentos kraft industriais com madeira com casca e os problemas que ocorreram foram os esperados, somente que em menor intensidade. Talvez isso se deva ao fato de as cascas de árvores jovens de eucalipto possuírem aparência morfológica e composição química aproximadamente similares às da madeira (THUNELARSEN & LUHR, 1972).

Sobre a casca do eucalipto, FOELKEL & COLABORADORES, 1976, concluíram que a mesma apresentava, em relação à madeira, menor densidade básica, fibras mais longas e mais largas, índice de Runkel e fração parede menores e coeficiente de flexibilidade e índice de enfieltamento maiores. Os extrativos e cinzas eram consideravelmente mais abundantes na casca e o teor de lignina era maior. O teor de pentosanas era ligeiramente maior na casca.

de cavacos de madeira sem casca de *Eucalyptus urophylla* de 7 anos e de casca da mesma espécie.

3.2 - Métodos e resultados

3.2.1 - Preparação da casca

A casca retirada de árvores do *E. urophylla* foi tratada de duas maneiras: uma parte foi transformada em cavacos e a outra parte foi desmedulada. Por desmedulamento entendeu-se a remoção da maior parte do material fino não fibroso, aqui denominado de medula. A operação seria similar, por exemplo, àquela utilizada para se desmedular bagaço de cana e babaçu. Como resultado obteve-se um material constituído principalmente de fibras. As fibras da casca do eucalipto não correspondem às fibras libriformes da madeira. Fibras da casca são principalmente esclereídios, e elementos crivosos de floema e fibras liberianas. O desmedulamento foi realizado de acordo com a seguinte metodologia: desagregação das cascas e úmido, peneiramento com água, secagem do material retido na peneira de 80 malhas e peneiramento a seco com peneira de 10 malhas. O rendimento médio no desmedulamento foi de 50%. Os 50% restantes eram representados por 40% de medula e 10% de solúveis em água.

3.2.2 - Análises químicas

Foram analisadas as composições químicas da madeira isenta de casca, da casca desmedulada e da casca integral.

Os métodos utilizados e resultados encontrados estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1: Composição química da madeira, da casca desmedulada e da casca integral de *Eucalyptus urophylla* (%)

Análise	Método	Material		
		Madeira	casca desmedulada	casca Integral
Solubilidade em:				
- água quente	TAPPI T 1	6,10	4,25	9,02
- NaOH 1%	TAPPI T 4	13,00	29,63	27,83
- álcool/benzeno	TAPPI T 6	1,71	2,05	2,21
Teor de:				
- pentosanas	TAPPI T 19	14,37	14,13	11,77
- holocelulose	Dióxido de cloro	85,43	51,77	48,67
- lignina	TAPPI T 13	27,81	32,07	25,73
- cinzas	TAPPI T 15	0,18	5,21	9,98

TAPPI = Technical Association of the Pulp and Paper Industry

3. METODOLOGIA E RESULTADOS

3.1 - Material

O material utilizado consistiu

3.2.3 - Análises anatômicas

Fibras e vasos da madeira e elementos fibrosos da casca tiveram suas dimensões determinadas. A

metodologia utilizada foi: maceração, microprojecção e mensuração. Os resultados estão apresentados no quadro 2.

As condições adotadas nos cozimentos foram mantidas para todos os onze cozimentos. Estas condições foram as seguintes:

Quadro 2: Dimensões das fibras de madeira e casca

Dimensão	Material		
	fibras da madeira	fibras da casca	vasos da madeira
Comprimento, mm	0,92	1,01	0,38
Largura, μ	16,0	16,5	160
Diâmetro do lúmen, μ	11,7	11,7	-
Espessura da parede, μ	2,3	2,4	-

3.2.4 - Densidade básica

Determinaram-se as densidades básicas médias da madeira e da casca. Os resultados estão apresentados no quadro 3.

Material	Densidade básica (g/cm ³)
Madeira	0,632
Casca integral	0,542

3.2.5 - Produção de celulose

O processo utilizado na deslignificação foi o kraft. Foram realizados onze cozimentos, um para cada dos seguintes tratamentos:

T1 = 100% de madeira de *E. urophylla*.

T2 = 5% de casca desmedulada + 95% de madeira de *E. urophylla*.

T3 = 10% de casca desmedulada + 90% de madeira.

T4 = 20% de casca desmedulada + 80% de madeira.

T5 = 5% de casca integral + 95% de madeira.

T6 = 10% de casca integral + 90% de madeira.

T7 = 20% de casca integral + 80% de madeira.

T8 = 40% de casca integral + 60% de madeira.

T9 = 50% de casca integral + 50% de madeira.

T10 = 100% de casca desmedulada.

T11 = 100% de casca integral.

As proporções aqui apresentadas são com base em peso dos materiais.

Importante é salientar que a casca ocorre no eucalipto em proporções volumétricas de 10 a 30%. Como a densidade da casca é menor do que a da madeira a proporção em peso é da ordem de 5 a 20%. Admitindo-se como 50% o rendimento no desmedulamento, a proporção em peso de casca desmedulada corresponderia à metade dos valores apresentados para a casca integral.

- Alkali ativo = 14% de Na₂O ativo sobre madeira a.s.

- Sulfidez = 25%.

- Atividade = 100%.

- Relação licor/madeira = 6:1.

- Temperatura máxima = 170°C.

- Tempo até 170°C = 90 minutos.

- Tempo a 170°C = 60 minutos.

A relação licor/madeira foi alta em relação ao usual pela grande capacidade de hidratação que a casca possui. O uso de relações licor/madeira inferiores a 4:1 não permite toda a impregnação dos cavacos, pois a casca absorve a maior parte do licor. Esta rápida hidratação e absorção de uma solução alcalina causa grande inchamento da casca com aumento considerável de volume.

Os resultados dos cozimentos estão apresentados no quadro 4.

3.2.6 - Branqueamento das celuloses

Todas as celuloses foram branqueadas de acordo com a sequência CE1HD1E2D2 seguida por lavagem com SO₂. O objetivo era se trazer todas as celuloses a alvura

Quadro 4: Resultados dos cozimentos

TRATAMENTO	Madeira 100%	% CASCA DESMEDULADA				% CASCA INTEGRAL					
		5	10	20	100	5	10	20	40	50	100
Rendimento bruto, %	50,4	48,5	46,5	42,3	36,1	46,1	45,5	43,1	41,8	36,4	34,1
Rendimento depurado, %	48,5	47,2	44,7	39,1	36,0	44,4	42,1	39,0	24,6	19,2	32,4
Teor de rejeitos, %	1,9	1,1	1,8	3,2	0,1	1,7	3,4	4,1	17,2	17,2	1,7
Número kappa	17,6	17,4	17,7	20,4	27,4	18,1	18,3	21,5	32,9	47,2	67,4
Viscosidade CED, cps	39,6	40,7	37,2	20,4	18,3	39,3	39,6	39,8	27,6	20,2	17,2
Alvura, %GE	29,6	29,4	29,4	25,1	14,5	28,8	27,4	25,3	19,6	17,0	10,4
Licor negro											
- Teor de sólidos, %	11,6	11,5	11,5	7,8	12,2	11,6	12,0	12,0	10,9	10,9	12,1
- Alkali ativo residual, g/t	2,42	11,4	11,4	11,6	4,6	7,8	11,4	11,4	8,0	8,0	3,1

igual ou superior a 92%GE e a viscosidade igual ou acima de 13 cps em solução de cuprietenodiamina 0,5 M em cobre (método TAPPI T 230). Estes foram os padrões inicialmente considerados na classificação da qualidade das celuloses, já que a celulose costuma ser comercializada com base em alvura e viscosidade. O parâmetro analisado a seguir foi o número de cor posterior igual ou menor que 0,5 para ser classificado. Posterior-

mente, compararam-se as resistências físico-mecânicas e demais propriedades óticas da celulose.

As condições adotadas no branqueamento e os resultados obtidos no mesmo estão apresentados nos quadros 5 a 15.

As condições de cloro ativo nos estágios da cloração ácida e tratamento com hipoclorito foram feitas com base nas fórmulas desenvolvidas por FOELKEL & COLABORADORES na Cenibra - Celulose Nipo-Brasileira S.A. a saber: % Cl₂ na cloração = 1,02 + 0,108 (Nº Kappa C N B)
% Cl₂ na hipocloração = 0,25 x (Nº Kappa após CE1)
onde C N B = celulose não-branqueada lavada e depurada.

A adição de soda cáustica na primeira extração alcalina também foi feita com base na fórmula desenvolvida pelos mesmos autores: % NaOH = 1,60 + 0,036 (Nº Kappa C N B)

Resumidamente, os resultados para cozimentos e branqueamentos estão reunidos no quadro 16. Com base na alvura, viscosidade e número de cor posterior, as celuloses foram aprovadas ou reprovadas quanto às potencialidades das mesmas para fins comerciais de exportação. Outra triagem quanto a qualidade será posteriormente realizada com base nas propriedades físico-mecânicas e óticas.

3.2.7 - Propriedades físico-mecânicas e óticas das celuloses

Tanto as celuloses branqueadas como não-branqueadas foram avaliadas quanto às propriedades físico-mecânicas e óticas desenvolvidas com o refino. Para tal foram adotadas as seguintes metodologias:

Refino da massa:
TAPPI T 248
Moinho PFI
Consistência = 10%
Abertura: 0,2 mm
Carga: 3,4 Kg/cm

Grau de refino:
Canadian Standart
Freeness
TAPPI T 227

Quadro 5: Branqueamento da celulose do tratamento T₁ (100% de madeira de eucalipto)

Estágio	Celulose não-branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	2,91	-	1,04	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	98,7	-	84,2	80,2	-	89,7	-
% NaOH base celulose	-	-	2,23	0,23	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	76,4	-	-	76,0	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	2,2	11,3	10,8	3,7	11,0	5,6	-
Número kappa	17,6	-	4,2	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	29,6	43,5	44,2	80,8	89,5	88,3	89,5	93,0
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	88,5
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,48
Viscosidade, cps	39,6	37,5	33,4	16,6	14,5	14,9	14,4	14,8

Quadro 6: Branqueamento da celulose do tratamento T₂ (5% de casca desmedulada)

Estágio	Celulose não-branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	2,89	-	0,82	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	95,8	-	98,5	87,8	-	80,8	-
% NaOH base celulose	-	-	2,23	0,20	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	68,6	-	-	44,3	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	2,0	12,4	12,2	3,3	11,4	4,2	-
Número kappa	17,4	-	3,3	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	29,4	45,0	46,0	75,0	90,3	88,1	92,0	92,7
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	88,6
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,45
Viscosidade, cps	40,7	34,1	29,1	19,6	16,7	13,9	15,0	13,8

Quadro 7: Branqueamento da celulose do tratamento T₃ (10% de casca desmedulada)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	2,93	-	0,92	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	98,9	-	80,3	93,3	-	88,5	-
% NaOH base celulose	-	-	2,24	0,20	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	68,5	-	-	51,4	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	2,1	12,5	7,4	3,2	11,5	4,3	-
Número kappa	17,7	-	3,7	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	29,4	43,0	44,3	79,9	89,9	87,1	92,5	93,2
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	88,8
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,46
Viscosidade, cps	37,2	26,3	30,0	14,5	14,7	11,5	12,8	13,0

Quadro 8: Branqueamento da celulose do tratamento T₄ (20% de casca desmedulada)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	3,22	-	1,10	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	99,7	-	92,5	92,5	-	85,2	-
% NaOH base celulose	-	-	2,33	0,20	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	69,7	-	-	36,6	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	1,6	12,3	10,4	3,7	11,1	4,4	-
Número kappa	20,4	-	4,4	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	25,1	31,1	47,4	81,0	89,6	88,0	89,8	93,6
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	88,9
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,47
Viscosidade, cps	20,4	31,6	30,2	14,1	13,0	12,2	13,5	13,7

Quadro 9: Branqueamento da celulose do tratamento T₅ (5% de casca integral).

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
‡ Cl ₂ ativo base celulose	-	2,96	-	0,80	1,58	-	0,53	-
‡ Cl ₂ ativo consumido	-	95,2	-	91,2	81,1	-	82,1	-
‡ NaOH base celulose	-	-	2,33	0,20	-	0,5	-	-
‡ NaOH consumido	-	-	62,3	-	-	40,0	-	-
‡ Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, ‡	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	1,7	12,1	10,7	3,9	11,6	4,4	-
Número kappa	18,1	-	3,2	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	28,8	40,5	-	80,0	87,6	87,3	91,5	93,3
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	88,5
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,50
Viscosidade, cps	39,3	35,6	22,6	15,7	14,1	14,0	11,7	13,6

Quadro 10: Branqueamento da celulose do tratamento T₆ (10% de casca integral)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
‡ Cl ₂ ativo base celulose	-	3,00	-	0,93	1,58	-	0,53	-
‡ Cl ₂ ativo consumido	-	98,7	-	96,2	89,6	-	82,1	-
‡ NaOH base celulose	-	-	2,26	0,2	-	0,5	-	-
‡ NaOH consumido	-	-	67,6	-	-	42,7	-	-
‡ Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, ‡	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	2,0	12,1	10,3	3,9	11,5	4,5	-
Número kappa	18,3	-	3,7	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	27,4	46,9	47,8	79,9	89,0	84,1	90,9	93,0
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	89,2
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,39
Viscosidade, cps	39,6	29,3	22,0	13,3	12,4	13,2	11,5	11,7

Quadro 11: Branqueamento da celulose do tratamento T₇ (20% de casca integral)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
‡ Cl ₂ ativo base celulose	-	3,34	-	1,20	1,58	-	0,53	-
‡ Cl ₂ ativo consumido	-	99,7	-	95,6	92,7	-	82,1	-
‡ NaOH base celulose	-	-	2,37	0,2	-	0,5	-	-
‡ NaOH consumido	-	-	76,4	-	-	45,3	-	-
‡ Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, ‡	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	1,8	11,6	10,1	4,0	11,8	4,6	-
Número kappa	21,5	-	4,8	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	25,3	35,7	-	79,3	87,3	85,5	90,0	92,7
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	88,9
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,41
Viscosidade, cps	39,8	41,5	39,7	15,4	14,9	13,2	13,0	12,4

Quadro 12: Branqueamento da celulose do tratamento T₈ (40% de casca integral)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
‡ Cl ₂ ativo base celulose	-	4,57	-	2,22	1,58	-	0,53	-
‡ Cl ₂ ativo consumido	-	99,8	-	88,8	93,1	-	80,0	-
‡ NaOH base celulose	-	-	2,78	0,46	-	0,5	-	-
‡ NaOH consumido	-	-	68,4	-	-	97,0	-	-
‡ Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, ‡	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	1,7	12,2	10,4	4,1	11,5	4,6	-
Número kappa	32,9	-	8,9	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	19,6	42,1	35,9	82,7	88,8	88,0	88,2	91,2
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	86,6
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,61
Viscosidade, cps	27,6	35,2	33,3	7,8	6,2	7,0	7,4	7,0

Quadro 13: Branqueamento da celulose do tratamento T₉ (50% de casca integral)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	6,10	-	2,40	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	99,8	-	84,8	92,7	-	82,1	-
% NaOH base celulose	-	-	3,30	0,4	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	82,3	-	-	45,3	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	1,9	12,0	10,9	3,8	11,5	4,4	-
Número kappa	47,2	-	9,6	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	17,0	27,2	34,2	79,0	85,3	-	90,1	90,7
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	84,8
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,88
Viscosidade, cps	20,2	10,7	24,6	6,3	7,4	-	6,8	6,0

Quadro 14: Branqueamento da celulose do tratamento T₁₀ (100% de casca desmedulada)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	3,96	-	1,95	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	99,8	-	96,6	81,4	-	93,3	-
% NaOH base celulose	-	-	2,59	0,34	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	41,1	-	-	45,0	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	6,3	12,8	10,5	5,7	11,6	4,3	-
Número kappa	27,4	-	7,8	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	14,3	-	-	67,1	65,2	79,8	80,7	88,1
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	85,0
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,52
Viscosidade, cps	18,3	16,0	21,0	6,4	7,1	6,1	6,0	6,0

Quadro 15: Branqueamento da celulose do tratamento T₁₁ (100% de casca integral)

Estágio	Celulose não branqueada	C	E ₁	H	D ₁	E ₂	D ₂	SO ₂
% Cl ₂ ativo base celulose	-	8,26	-	8,30	1,58	-	0,53	-
% Cl ₂ ativo consumido	-	99,8	-	98,5	89,2	-	93,3	-
% NaOH base celulose	-	-	4,03	1,13	-	0,5	-	-
% NaOH consumido	-	-	67,9	-	-	38,8	-	-
% Na ₂ SO ₃ base celulose	-	-	-	-	-	-	-	0,5
Temperatura, °C	-	amb.	60	40	70	60	70	amb.
Tempo, minutos	-	30	90	120	210	90	210	30
Consistência, %	-	3,5	12	12	12	12	12	5
pH final	-	5,6	12,7	10,1	5,4	11,6	3,9	-
Número kappa	67,4	-	33,2	-	-	-	-	-
Alvura, °GE	10,4	-	-	63,3	79,7	75,8	85,8	88,9
Alvura após reversão, °GE	-	-	-	-	-	-	-	84,7
Número de cor posterior	-	-	-	-	-	-	-	0,69
Viscosidade, cps	17,2	16,3	15,0	4,5	4,3	4,1	4,1	4,1

Quadro 16: Características das celuloses branqueadas e não branqueadas

Tratamento	Celulose não branqueada			Celulose branqueada					Classificação
	Número kappa	Alvura (°GE)	Viscosidade (cps)	Alvura (°GE)	Viscosidade (cps)	Número de cor posterior	Cloro total aplicado (kg/t)	Soda total aplicado (kg/t)	
100% madeira	17,6	29,6	39,6	93,0	14,8	0,48	60,6	29,6	Aprovada
5% casca desmedulada	17,4	29,4	40,7	92,7	13,8	0,45	58,2	29,3	Aprovada
10% casca desmedulada	17,7	29,4	37,2	93,2	13,0	0,46	59,6	29,4	Aprovada
20% casca desmedulada	20,4	25,1	20,4	93,6	13,7	0,47	64,3	30,3	Aprovada
5% casca integral	18,1	28,8	39,3	93,3	13,6	0,50	58,7	30,3	Aprovada
10% casca integral	18,3	27,4	39,6	93,0	11,7	0,39	60,4	29,6	Reprovada
20% casca integral	21,5	25,3	39,8	92,7	12,4	0,41	66,5	30,7	Reprovada
40% casca integral	32,9	19,6	27,6	91,2	7,0	0,61	89,0	37,4	Reprovada
50% casca integral	47,2	17,0	20,2	90,7	6,0	0,88	106,1	42,0	Reprovada
100% casca desmedulada	27,4	14,3	18,3	88,1	6,0	0,52	80,2	34,3	Reprovada
100% casca integral	67,4	10,4	17,2	88,9	4,1	0,69	186,7	56,6	Reprovada

Quadro 17: Comparação entre as propriedades das celulosas não branqueadas a 350 ml de freeness

Tratamento Propriedade	100% madeira	% Casca desmedulada				% Casca integral					
		5%	10%	20%	100%	5%	10%	20%	40%	50%	100%
Número de rotações do PFI, 10 ³	11	11	9,5	10	0,6	10	10	10	2	0,6	0,1
Peso específico aparente g/cm ³	0,628	0,638	0,648	0,680	0,514	0,616	0,691	0,690	0,515	0,556	0,580
Auto-ruptura, km	8,5	8,4	8,6	6,8	3,5	8,1	8,0	6,5	5,7	6,1	1,8
Fator de estouro	67	63	71	66	17	63	57	65	41	35	4
Fator de rasgo	123	123	128	120	37	128	116	125	103	88	26
Dobras duplas	425	192	345	195	6	200	310	330	138	105	1
Elongação, %	3,0	3,9	4,0	3,3	2,6	3,3	4,4	3,4	1,9	2,9	1,1

Quadro 18: Comparação entre as propriedades das celulosas não branqueadas a 200 ml de freeness

Tratamento Propriedade	100 madeira	% Casca desmedulada				% Casca integral					
		5%	10%	20%	100%	5%	10%	20%	40%	50%	100%
Número de rotações do PFI, 10 ³	22	22	21	18	1,5	20	16	14	6	4	0,8
Peso específico aparente g/cm ³	0,688	0,677	0,670	0,680	0,529	0,674	0,727	0,690	0,517	0,613	0,580
Auto-ruptura, km	9,2	9,6	9,3	8,5	3,9	9,6	9,4	7,8	7,2	6,9	1,8
Fator de estouro	80	71	75	83	20	80	78	80	54	44	5
Fator de rasgo	137	124	130	128	41	130	116	129	115	94	35
Dobras duplas	1220	1168	870	1040	6	695	870	880	667	230	1
Elongação, %	4,4	5,1	4,4	4,0	3,0	4,3	5,3	3,3	2,4	3,4	1,0

Formação de folhas:
TAPPI T 205
Gramatura = 60 g/m²

Acondicionamento das folhas:
Umidade relativa = 65%
Temperatura = 20°C

Ensaio físico:
TAPPI T 220

Ensaio ótico:
Espectrofotômetro Diano
Alvura = filtro azul
Coef. dispersão da luz = filtro verde

As propriedades das celulosas foram analisadas e comparadas aos graus de refino de 350 ml e 200 ml de freeness.

Inicialmente, na comparação entre as propriedades das celulosas não branqueadas, agruparam-se os resultados nos quadros 17 e 18.

A seguir foram comparadas as propriedades físico-mecânicas e óticas das celulosas branqueadas. Os resultados a 350 ml e 200 ml de freeness estão apresentados nos quadros 19 e 20, respectivamente.

Quadro 19: Comparação entre as propriedades das celulosas branqueadas a 350 ml de freeness

Tratamento Propriedade	100% madeira	% Casca desmedulada				% Casca integral						Grau de refino inicial > 350 ml CSF
		5%	10%	20%	100%	5%	10%	20%	40%	50%	100%	
Número de rotações do PFI, 10 ³	10	7,5	6,5	5,8	0,6	8,5	7,0	7,5	2,5	0,35		
Peso específico aparente, g/cm ³	0,630	0,670	0,725	0,685	0,579	0,620	0,630	0,685	0,630	0,626		
Auto ruptura, km	7,3	7,1	7,0	5,8	3,7	6,1	6,3	6,4	5,9	6,1		
Fator de estouro	50	51	51	46	18	54	43	53	39	32		
Fator de rasgo	114	127	105	95	42	123	124	105	70	74		
Dobras duplas	90	230	175	75	4	125	45	56	49	41		
Elongação, %	3,5	3,0	2,3	1,9	3,6	3,3	2,7	2,9	2,6	3,1		
Coeficiente de dispersão de luz, cm ² /g	360	345	335	370	509	350	340	380	377	393		

Quadro 20: Comparação entre as propriedades das celuloses branqueadas a 200 ml de freeness

Propriedade	Tratamento 100% madeira	% Casca desmedulada				% Casca integral					
		5%	10%	20%	100%	5%	10%	20%	40%	50%	100%
Número de rotações do PFI, 10 ³	18	17	15,5	11,2	1,6	16	16	13,5	5,5	2,0	0,1
Peso específico aparente, g/cm ³	0,620	0,680	0,733	0,708	0,638	0,670	0,700	0,810	0,669	0,640	0,676
Auto-ruptura, km	8,3	7,6	7,5	6,9	4,8	7,2	7,1	7,3	5,9	6,4	2,9
Fator de estouro	57	60	62	57	24	58	56	65	46	45	11
Fator de rasgo	117	122	107	118	45	128	115	128	66	73	20
Dobras duplas	300	350	450	210	7	430	200	74	147	180	1
Elongação, %	4,2	3,0	3,1	2,5	3,1	3,4	4,0	2,9	2,3	2,9	1,5
Coefficiente de dispersão da luz, cm ² /g	320	322	295	335	455	320	320	250	370	335	424

Para fins de nova classificação das celuloses branqueadas em tipos que atendam as exigências do mercado internacional, foram estabelecidas as seguintes exigências mínimas para as propriedades físico-mecânicas e óticas a 350 ml de freeness:

Auto-ruptura = 7,0 km

Fator de estouro = 50

Fator de rasgo = 100

Dobras duplas = 60

Elongação = 3,0%

Coefficiente de dispersão da luz = 330

A análise do quadro 19 possibilitou classificar como padrão de alta qualidade apenas as seguintes celuloses; tratamentos T1 (100% de madeira), T2 (5% de casca desmedulada) e T3 (10% de casca desmedulada). Trata-se de uma seleção rigorosa, porém necessária para se garantir qualidade no produto final.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme frisado anteriormente, este trabalho se propôs a estudar a casca do eucalipto como fonte de fibras para a indústria de celulose kraft e buscar uma tecnologia que permitisse esta utilização sem os problemas encontrados atualmente pelas indústrias que usam madeira com casca.

Frente ao que se tem feito até o momento em se utilizar a casca para celulose, a inovação deste trabalho consiste em se tratar a casca antes da deslignificação e dosá-la na alimentação do digestor junto aos cavacos. Com base nos resultados deste experimento, que serão a seguir discutidos, os autores esperam ter trazido uma parcela de colaboração para que os problemas na utilização de madeira com casca sejam contornados e a prática possa se consagrar, trazendo consi-

derável economia no processo e para os mananciais de fibras.

A casca do eucalipto deve apresentar entre 35 a 40% de seu peso na forma de fibras. Estas fibras quando estudadas quanto às suas dimensões mostraram-se ligeiramente mais longas que as fibras da madeira, confirmando resultados anteriores de FOELKEL & COLABORADORES, 1976. No caso específico, as fibras da casca de *E. urophylla* eram aproximadamente 10% mais longas que as fibras libreformes da madeira. Entretanto, este maior comprimento não foi acompanhado por um aumento nas resistências das celuloses, pois as celuloses de casca isoladamente eram bem mais fracas que as celuloses de madeira. Como as outras dimensões das fibras de casca eram similares às de madeira, explicou-se esta baixa resistência das celuloses de casca pela menor resistência das fibras individuais da casca. Isso é perfeitamente esperado, pois as fibras da casca não possuem na árvore funções de sustentação como as fibras do xilema. Como a maior parte constitui-se de fibras liberianas de floema com funções de condução de seiva elaborada, estas células da casca não se especializaram para suportar esforços mecânicos.

Para a análise química dos materiais compararam-se as cascas integral e desmedulada com a madeira. Como o desmedulamento foi processado a úmido, evidentemente parte dos extrativos em água foram removidos na operação. Assim, os valores para extrativos da casca desmedulada são menores do que aqueles realmente encontrados nas fibras da casca.

Comparativamente à madeira, a casca integral mostrou significati-

vamente maiores teores de cinzas e de extrativos e menores teores de holocelulose e pentosanas. A casca desmedulada possuiu menores teores de cinzas e de extrativos em água quente, mas maiores teores de pentosanas, holocelulose e lignina que a casca integral.

Frente aos baixos teores de holocelulose e altos teores de cinzas e extrativos em NaOH 1% observados para as cascas no quadro 1, pode-se inferir um baixo rendimento em celulose na deslignificação kraft destes materiais.

A densidade básica da casca do *E. urophylla* foi aproximadamente igual à metade da densidade da madeira. Isso significa que a casca integral ocupa o dobro do volume que igual peso de madeira ocupa no interior do digestor.

Na produção da celulose kraft procurou-se dosar com os cavacos quantidades crescentes de casca integral e de casca desmedulada. O objetivo era se determinar quais os teores máximos de casca que poderiam acompanhar os cavacos se trazer prejuízos à qualidade das celuloses.

Em toras de eucaliptos comerciais provenientes de povoamentos homogêneos, os teores máximos de casca que podem ocorrer estão por volta de 20% em peso. Os teores médios são da ordem de 10%. Assim, os tratamentos estudados atendem com folga às condições da prática. Os tratamentos T2 e T6 representariam as condições usuais para as fábricas no Brasil que utilizam o eucalipto como matéria-prima fibrosa para produção de celulose kraft. O tratamento T6 (10% de casca integral + 90% de madeira) seria o correspondente às fábricas que utilizassem cavacos obtidos de madeira não descascada.

O tratamento T2 (5% de casca desmedulada + 95% de madeira) responderia às condições de uma fábrica que utilizasse a tecnologia proposta por este trabalho: os 10% de casca integral seriam desmedulados e dosados na base de 5% em peso sobre os cavacos, visto que o rendimento do desmedulamento seria de 50%.

Após a produção de celulose, valendo-se das mesmas condições para todos os tratamentos, observou-se que houve uma considerável vantagem nos resultados para os tratamentos com casca desmedulada. Para a adição de 5 e 10% de casca desmedulada e integral praticamente não houve influência no grau de deslignificação e na viscosidade das celuloses não-branqueadas. As diferenças foram sentidas no rendimento em celulose. Dosagens crescentes de quaisquer das cascas junto à madeira provocavam diminuição dos rendimentos brutos e depurados e aumentavam os teores de rejeitos. A queda em rendimento era muito maior para a casca integral. A razão deve ser a perda do material não fibroso (medula), quer por degradação com desperdício de reagentes químicos, quer pela passagem através das telas na lavagem e depuração.

Observe-se que o uso de dosagens muito altas de casca provoca tamanha diminuição no rendimento que a utilização da casca junto aos cavacos seria anti-econômica. É possível mesmo ocorrerem perdas ao invés de ganhos em fibras. Isso porque para se produzir celuloses similares às de madeira devem-se, em alguns casos, usar condições mais severas para se atingir graus de deslignificação iguais ao da celulose de madeira. No caso de casca integral isso tornou-se patente já que os teores de rejeitos foram sempre elevados.

Curioso foi a facilidade de se produzir celulose apenas da casca. Os teores de rejeitos foram baixos nos cozimentos de apenas casca ou integral ou desmedulada. Porém, quando a casca era misturada aos cavacos, os teores de rejeitos aumentavam com o aumento da adição de casca, principalmente para a casca integral. A razão deve ter sido o maior consumo de álcali e a maior absorção de licor pela casca, deixando menos licor e consequentemente álcali, disponível aos cavacos.

Teores de casca desmedulada acima de 10% e de casca integral acima de 5% já se mostravam desaconselháveis com relação a rendimentos em celulose.

As alvuras das celuloses não branqueadas de misturas de cavacos e casca desmedulada foram sempre maiores que as de misturas com casca integral.

Os branqueamentos das celuloses tiveram que ser diferenciados quanto às cargas de reagentes químicos, a fim de se obterem as alvuras almejadas. Nos quadros 5 a 15 é possível se acompanhar o desenvolver dos branqueamentos das onze celuloses. No quadro 16 as celuloses foram tabuladas para um estudo comparativo. Foram estabelecidas condições mínimas de qualidade de celulose de branqueada como alvura de 92° GE, viscosidade de 13 cps e número de cor posterior de 0,5.

Nesta triagem foram aprovadas as celuloses obtidas de madeira integral e de madeira com 5, 10 e 20% de casca desmedulada e 5% de casca integral.

Contrariamente ao que se poderia supor, as celuloses dos tratamentos T2, T3 e T5, ou seja, dos tratamentos com 5 e 10% de casca desmedulada e com 5% de casca integral, consumiram menos cloro total que a celulose de madeira para se obter o padrão pré-estabelecido.

A branqueabilidade das celuloses de madeira com casca só é realmente prejudicada e se torna anti-econômica para altos teores de casca integral (teores acima de 20% de casca integral). As celuloses obtidas apenas de casca consumiram altos teores de cloro e soda e apresentaram baixa qualidade, com alvuras entre 88 a 89° GE e viscosidades entre 4 e 6. A celulose de casca integral foi neste aspecto o pior tratamento de todos os ensaiados.

A próxima seleção das celuloses foi feita com relação às propriedades físico-mecânicas. Nas celuloses não branqueadas e efeito da adição de casca não foi muito apreciável. Com pequenas adições de casca algumas propriedades como resistências ao estouro e rasgo mantiveram-se em mesmo nível que as da celulose de madeira pura. As resistências à tração e ao dobramento foram negativamente influenciadas pelo aumento da quantidade de casca. A alongação melhorou ligeiramente para baixos teores de casca. Os tratamentos com casca desmedulada foram sempre melhores. A qualidade da celulose não branqueada ficava sensivelmente prejudicada para teores de casca integral acima de 20%.

As celuloses de casca desmedulada e de casca integral apresentaram baixas resistências, embora a

primeira fosse bem melhor que a segunda.

Para as celuloses branqueadas os efeitos negativos da edição de casca aparecerem com mais evidência. A propriedade mais afetada foi a resistência à tração que foi muito prejudicada nos tratamentos que continham casca integral.

Após estabelecerem-se rígidos padrões mínimos de qualidade foram aprovados apenas os tratamentos: T1=100% de madeira; T2 - adição de 5% de casca desmedulada; T3 = adição de 10% de casca desmedulada. Isso posto, permite-se concluir que a deslignificação madeira com casca é perfeitamente viável, porém com reflexos negativos na qualidade da polpa. No caso de produção de celuloses padrão exportação, estas influências negativas podem prejudicar a aceitação de um produto novo. Que é possível se produzir celulose alva de madeira com casca não restam dúvidas, conforme provou este experimento. As resistências da celulose branqueada de madeira com casca são boas até 20% de casca. Entretanto, a propriedade desclassificante para estas celuloses foi a resistência à tração. Desde que o mercado consumidor seja tolerante para estas resistências a tração próximas a 6 km a 350 ml de freeness, é possível se produzir celulose branqueada com 5 a 10% de casca integral misturada aos cavacos. Porém, esta é uma alternativa que não seria muito indicada, principalmente em períodos de excesso de oferta de celulose de fibra curta no mercado internacional.

As misturas de 5 a 10% de casca desmedulada aos cavacos conduziram as celuloses que preencheram todas as rígidas e exigentes especificações para um produto de qualidade similar ao obtido de apenas madeira.

Quanto às qualidades das celuloses branqueadas de cascas desmedulada e integral, observou-se baixas resistências e altas velocidades de refino e coeficientes de dispersão da luz. A celulose de casca desmedulada mostrou-se superior à de casca integral. Entretanto, sua qualidade não permitiria ainda sua comercialização como celulose kraft branqueada devido suas baixas resistências.

5. PROPOSIÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA NA UTILIZAÇÃO DA CASCA PARA CELULOSE.

Com base nos resultados obtidos neste experimento, demonstrando a validade da operação de desmedulamento da casca, para, em mistura com os cavacos, se obter celulose

kraft branqueada de eucalipto de boa qualidade, os autores deste trabalho propõem uma nova tecnologia na utilização e manuseio da casca para produção de celulose.

Esta tecnologia envolveria:

a) recebimento da madeira na forma de toras com casca;

b) descascamento das toras no pátio da fábrica pelo uso de quaisquer dos métodos tradicionais de se descascar toras: descascadores cilíndricos a seco ou a úmido, descascador Câmbio, descascadores de correntes, de rotores, etc.

c) desmedulamento da casca por quaisquer dos métodos tradicionais de se desmedular bagaço de cana, por exemplo: desmedulamento a seco com moinhos de martelo seguido de peneiramento ou sopragem; desmedulamento a úmido; desmedulamento com água, etc.; ou pela associação de dois ou mais dos sistemas anteriores;

d) transformação das toras em cavacos, com classificação posterior;

e) dosagem da casca desmedulada sobre os cavacos no sistema de alimentação do digestor.

f) cozimento kraft normal.

O método se aplica tanto a sistemas contínuos como descontínuos de produção de celulose.

No caso do eucalipto, como dificilmente o teor de casca desmedulada excederá 10% base madeira, toda a casca que entra na fábrica pode ser desmedulada e continuamente dosada ao sistema de alimentação do digestor. Até este nível de adição de casca a qualidade da celulose branqueada não é prejudicada.

Esta metodologia aqui apresentada para o aproveitamento da casca apresenta inúmeras vantagens, a saber:

a) o descascamento é realizado na fábrica, mecanicamente, com todas as vantagens deste processamento sobre o descascamento manual no campo;

b) da casca, apenas as fibras são aproveitadas;

c) a medula, que corresponde a 40% do peso da casca, constitui-se num subproduto cuja utilização para chapas, adubo, álcool, ou combustível merece ser estudada;

d) a qualidade da celulose branqueada do eucalipto não é alterada pelo uso da casca desmedulada;

e) para uma indústria que produza 1.000 toneladas/dia de celulose apenas de madeira, há a possibilidade de se aumentar a produção em 7.000 toneladas/ano, pelo uso da casca desmedulada, sem necessidade de novos investimentos em terras ou gastos em madeira. A

economia em madeira com esta prática seria de 40.000 estéreos/ano. Embora o rendimento em celulose base material a.s. seja inferior ao da madeira pura, a casca desmedulada coloca uma quantidade adicional de fibras à disposição da fábrica. Esta poderá aumentar sua produção em aproximadamente 2% usando esta nova fonte de fibras.

f) a operação de uma indústria que utilize casca desmedulada como fonte adicional de fibras deverá ser sensivelmente melhor que aquela que usa madeira com casca integral. Quase todos os problemas operacionais citados na introdução deste trabalho para o uso de madeira com casca deverão diminuir ou desaparecer pelo uso da casca desmedulada. Isso porque a medula, impureza causadora da maioria destes problemas, é quase que totalmente separada;

g) esta metodologia não se aplica apenas ao eucalipto, mas a todas as madeiras.

Evidentemente, a tecnologia aqui proposta mostra alguns inconvenientes:

a) os investimentos são maiores, pois a unidade industrial requer sistemas mecanizados de descascamento e desmedulamento. Entretanto, tanto descascamento como desmedulamento já são sistemas consagrados na indústria de celulose. O descascamento de eucalipto e de outras espécies vem sofrendo rápida expansão. Em futuro próximo, o descascamento mecânico deverá necessariamente substituir o manual. O desmedulamento é prática consagrada para outras matérias-primas como o bagaço de cana e o babaçu. Observou-se que, para o caso do desmedulamento da casca do eucalipto em laboratório, esta operação foi simples e muito fácil de ser realizada.

Os investimentos adicionais para esta prática serão com certeza pagos pela qualidade e maior quantidade de celuloses, e pelas economias em madeira e terras para reflorestamento e pela diminuição dos problemas operacionais, neste caso quando comparada com o uso de madeira com casca integral.

b) Aumento da carga poluidora do efluente do preparo de madeira, devido a solubilização de aproximadamente 10% do material da casca. Entretanto, este não é um problema tão sério, já que a maioria dos grandes projetos possuem eficientes sistemas de tratamentos de efluentes líquidos, que reteriam este material.

c) Manuseio da medula. Este manuseio será função do uso que se poderá dar à medula. Maiores estudos são necessários neste campo para a proposição de usos alternativos para a medula da casca.

Estas desvantagens são fáceis de serem contornadas e não se constituirão em problemas para a adoção da técnica. Resta aguardar que a prática industrial venha um dia confirmar o que hoje está aqui apresentado.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam externar seus agradecimentos aos Dr. Aldo Sani e Dr. Dr. Wolodymyr Galat, da Celulose Nipo-Brasileira S.A. - CENIBRA, pela colaboração e incentivo na execução desta pesquisa. Agradecemos ainda ao Dr. Leonel Koleski das Indústrias Klabin do Paraná de Celulose S.A. pelo fornecimento da casca de eucalipto, recolhida diretamente da linha de descascamento mecânico daquela indústria.

7. BIBLIOGRAFIA

1. AUCHTER, R.J. - 1973 - *Effect of bark content on pulp properties*. Madison, Wis. F.P.L., F.S., U.S.D.A., 15 p.
2. AUCHTER, R.J. & HORN, R.A. - 1973 - Economics of kraft pulping of unbarked wood. *Paper Trade Journal* 25 (6): 38 - 9.
3. BROWN, K.J. - 1956 - Effect of bark in the sulphate pulping of a northern oak mixture. *Tappi* 39: 443-8.
4. CASEY, J.P. - 1960 - *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology Vol. I*. Interscience Publishers, Inc. N.Y. - 580 p.
5. CHOW, S. - s/d - *Some physical properties of bark in relation to utilization*. Environment Canada, 22 p.
6. EINSPAHR, D.W. & HARDER, M. - 1976 - Hardwood bark properties - Important to the manufacture of fiber products. *Forest Products Journal* 26 (6): 28 - 31.
7. FOELKEL, C.E.B.; ZVINA-KEVICIUS, C. & ANDRADE, J.O.M. - 1976 - Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. *O Papel* 37 (12): 113 - 124.
8. HAMILTON, A.D. - 1950 - Manufacture of wrapper from bark. *Pulp & Paper Magazine of Canada* 51 (3): 205 - 10.
9. HARKIN, J.M. & ROWE, J.M. - 1971 - *Bark and its possible uses*. Madison, Wis., F.P.L. - U.S.D.A.F.S. (Res. Note F.P.L. - 091); 56 p.
10. HORN, R.A. & AUCHTER, R.J. - 1972 - Kraft pulping of pulpwood chips containing bark. *Paper Trade Journal* 6 (11): 55 - 56.

11. KRIER, J.P. & RIVER, B.H.
- 1968 - **Bark residues: a model study for quantitative determination** University of Montana Bulletin n° 35, 18 p.

12. MARTINS, J.S. & BROWN, K.J. - 1952 - Effect of bark on yield and quality of sulphate pulp from southern pine. **Tappi** 35 (1): 7 - 10.

13. SAMUELS, R.M. & GLEN-
NIE, D.W. - 1958 - Bark tolerance of Douglas-fir chips in kraft pulp manufacture. **Tappi** 41 (5): 250 - 255.

14. THUNE-LARSEN, E. & LUHR, F. - 1972 - A comparasion between utilizing woold from industrial countries (Scandinavia

and plantation forests (eucalyptus). **FAO/ NOR/ TF 83: 80 - 93.**

15. WAWER, A. - 1975 - Bark in hardwood chips - effect on mill operations. **Pulp and Paper Canada** 76 (7): 51 - 54.

16. WENZL, H.F.J. - 1970 - **The Chemical Tecnology of Wood.** Academic Press, N.Y.