

artigo técnico

# estudos sobre a influência da espessura dos cavacos de eucalipto sobre a qualidade da celulose kraft correspondente

JOSÉ ORLANDO M. ANDRADE  
CESLAVAS ZVINAKEVICIUS  
CELSE EDMUNDO B. FOELKEL

Celulose Nipo-Brasileira — Cenibra S/A.

## APRESENTAÇÃO

A espessura dos cavacos foi um dos temas abordados durante a mesa-redonda sobre "Influência das Características da Madeira nas propriedades da Celulose" realizada em junho deste ano no Centro Técnico em Celulose e Papel — IPT. Naquela oportunidade Celso E. B. Foelkel apresentou as conclusões dos estudos efetuados no

Centro de Pesquisas da Cenibra, Belo Oriente-MG. Uma das conclusões citada e contida nestes estudos determina: "...embora se reconhecendo a superioridade dos cavacos com espessura 4 a 6 mm para cozimentos tradicionais, seria possível se trabalhar com segurança de se produzir polpa de boa qualidade, com cavacos de espessura variando de 2 a 8 mm".

## 1. INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, o comprimento dos cavacos de madeira para produção de celulose foi considerado como a sua dimensão mais importante. Nos últimos anos, porém, foram publicados inúmeros trabalhos relacionados ao assunto. A maioria constatou então que, ao invés do comprimento, a espessura era a dimensão de maior importância, quando o processo de deslignificação era o kraft. A explicação para esse fato novo era simples: como a difusão do licor kraft

para o interior do cavaco ocorre em todas as direções e a espessura é a dimensão menor (4 a 5 vezes menor que o comprimento e a largura), logicamente que a maior parte dos agentes de deslignificação será transportada na direção cuja distância seja menor, visto que as diferenças de velocidade nestas direções são pequenas. Portanto, a espessura, juntamente com a temperatura de cozimento, será uma das principais causas da heterogeneidade na polpa produzida. Esse fato é bastante significativo, principalmente nos dias de

hoje, quando os digestores contínuos ganham aceitação cada vez maior. Atualmente, a homogeneidade dos cavacos é considerada a maior importância, dado principalmente ao alto custo da madeira, já que essa homogeneidade afeta o teor de rejeitos e também a facilidade operacional.

É também da máxima importância a verificação da influência da espessura dos cavacos nas propriedades físico-mecânicas da celulose, considerando-se que, no momento atual brasileiro, a qualidade da celulose é fundamental

para se garantirem novos mercados.

O presente estudo visa obter o máximo de informações possíveis sobre a densidade, consumo de álcali e condições de cozimento de cavacos industriais classificados em várias espessuras, bem como sobre as características das celuloses resultantes.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A preocupação em se estudar a influência da espessura dos cavacos na produção de celulose é recente, apesar de BACKMAN, em 1946, já ter apresentado um bom trabalho sobre o assunto. Até a época dos estudos de BACKMAN, e mesmo certo tempo depois, a espessura era uma dimensão negligenciada, sendo que apenas o comprimento e, às vezes, a largura eram levados em consideração. Em sua pesquisa, BACKMAN, produziu cavacos manuais em forma paralelepípedica de alburno e cerne de madeira de *Pinus*, variando a espessura dos mesmos. Foram produzidas celuloses sulfito e kraft destes cavacos e os resultados mostraram os seguintes pontos principais: a) o consumo de álcali para o processo kraft aumentava com a espessura; b) o rendimento em celulose diminuía com o aumento da espessura; c) o teor de rejeitos aumentava com a espessura; d) todas as propriedades físico-mecânicas variavam com a espessura, com um ótimo entre 3 e 5 mm. Apesar de todas estas evidências, o próprio BACKMAN não se aventurou a negar a importância do comprimento e deu pouca ênfase ao efeito da espessura do cavaco.

Com o estabelecimento da teoria da difusão em oposição à teoria da interface em movimento na descrição do macromecanismo físico da deslignificação kraft, (HARTLER & ONISKO, 1962), com o aumento drástico no custo da madeira e com o acirramento na disputa da celulose pelo mercado internacional, a importância da espessura dos cavacos tomou nova dimensão.

Em seu trabalho publicado em 1962, HARTLER & ONISKO concluíram, contrariamente a BACKMAN, afirmando que, desde

que as viscosidades das polpas obtidas de cavacos de espessuras diferentes sejam constantes, as propriedades físico-mecânicas das celuloses não devem variar.

STONIS, 1971, concluiu que a espessura máxima de 4 mm pode ser usada para cozimentos kraft tradicionais de eucalipto, enquanto que a de 2 mm deve ser mantida para os cozimentos kraft modernos, em digestores contínuos.

O autor mostrou ainda que os maiores rendimentos eram obtidos para os cavacos com 2 mm de espessura e que a deslignificação no sentido transversal era duas vezes mais rápida que no longitudinal.

WORSTER, McCANDLESS & BARTELS, 1977, mostraram que a espessura de cavacos de *Pinus* era diretamente proporcional ao rendimento, teor de rejeitos, teor de feixes e número kappa de polpa resultante e inversamente proporcional à velocidade de deslignificação do cozimento. Constataram ainda que a relação mantida entre a espessura e o número kappa era linear e positiva.

Conforme se pode observar, existem ainda muitas contradições acerca do assunto. Desta forma os autores deste trabalho procuraram investigar a influência da espessura dos cavacos de madeira de eucalipto sobre a qualidade de celuloses obtidas a um grau de deslignificação similar.

## 3. MATERIAL

Os cavacos que serviram para a realização desta pesquisa foram coletados diretamente da linha de picagem da Celulose Nipo-Brasileira S.A. Constituíram-se portanto de cavacos recém-picados de provável madeira de híbridos de *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus saligna*.

## 4. METODOLOGIA E RESULTADOS

### 4.1 Preparo do material

Os cavacos industriais foram recolhidos após peneiramento e levados para classificação em classificador de fendas tipo TMI 73-47, onde foram separadas as

seguintes frações quanto à espessura: < 2 mm; 2 a 4 mm; 4 a 6 mm; 6 a 8 mm e > 8 mm.

Os cavacos foram pesados antes e após classificação, determinando-se a composição percentual de cada fração de espessura no conjunto.

Os resultados médios foram os seguintes:

< 2 mm . . . . .	8,1%
2 — 4 mm . . . . .	23,2%
4 — 6 mm . . . . .	26,1%
6 — 8 mm . . . . .	28,3%
> 8 mm . . . . .	14,3%

### 4.2 Densidade aparente dos cavacos

Determinou-se a densidade aparente de cada das frações de cavacos pelo método JIS e expressou-se o resultado em kg de cavacos a.s./m<sup>3</sup> de cavacos.

Os resultados estão apresentados no quadro 1.

### 4.3 Densidade básica dos cavacos

Da mesma forma, determinou-se a densidade básica de cada uma das frações de cavacos, pelo método do máximo teor de umidade. Os resultados constam do quadro 1.

### 4.4 Condições de cozimento

O processo utilizado foi o kraft. Estabeleceu-se como objetivo a obtenção de celuloses não-branqueadas com número kappa no intervalo  $23,5 \pm 2,5$ . Foram mantidas constantes as seguintes condições de cozimento:

Alcali ativo: 14% Na<sub>2</sub>O  
Sulfidez: 25%  
Relação licor/madeira: 4,5/1

O tempo de cozimento e a temperatura máxima foram variados conforme o tipo de cavacos, a fim de se garantir celuloses dentro da faixa de número kappa prefixada.

Os tratamentos estudados foram os seguintes:

- T<sub>1</sub>: cavacos com espessura menor que 2 mm
- T<sub>2</sub>: cavacos com espessura entre 2 e 4 mm
- T<sub>3</sub>: cavacos com espessura entre 4 e 6 mm
- T<sub>4</sub>: cavacos com espessura entre 6 e 8 mm
- T<sub>5</sub>: cavacos com espessura maior que 8 mm

T<sub>6</sub>: cavacos não classificados, englobando todas as espessuras relacionadas anteriormente.

Os cozimentos foram realizados em duplicata em minidigestor Regmed, com carga de 400 g de cavacos a.s. por cozimento.

Os resultados para os cozimentos e para as análises do licor negro residual constam do quadro 1.

#### 4.5 Processamento da Celulose não-branqueada após cozimento

Após cada cozimento a polpa era lavada, depurada e em seguida determinava-se rendimento bruto, rendimento depurado, teor de rejeitos, número kappa, viscosidade e alvura.

Os resultados para estes testes estão apresentados igualmente no quadro 1 a seguir.

#### 4.6 Ensaios físico-mecânicos das celulosas

As celulosas foram refinadas em moinho PFI e suas propriedades físico-mecânicas avaliadas e calculadas conforme método TAPPI T 220 m. A refinação foi realizada a quatro tempos de refino, inclusive o tempo de zero minuto. Os resultados foram interpolados e apresentados a 500, 350 e 200 cc de "freeness" canadense. Os resultados constam do quadro 2.

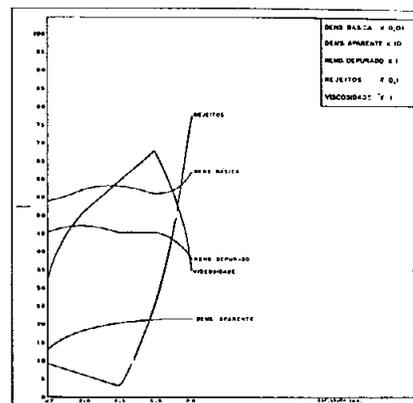


Figura 1

#### 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com a finalidade de facilitar a visualização da variação dos resultados em função da espessura dos cavacos foram elaboradas as figuras I e II.

#### 5.1 Densidade básica e aparente dos cavacos

A densidade se mostrou diretamente proporcional à espessura, numa relação não-linear. Isso se deve ao fato das partes mais densas e duras da madeira serem mais resistentes à picagem, produzindo cavacos mais espes-

QUADRO 1: Propriedades da madeira, licor negro residual e da celulose não branqueada

Dimensões	Cavacos					Licor negro		Celulose não branqueada					
	Densidade básica g/cm <sup>3</sup>	Densidade aparente kg/m <sup>3</sup>	Temperatura máxima cozimento °C	Tempo até temperatura máxima min.	Tempo na temperatura máxima min.	Alcali res. como Na <sub>2</sub> O g/l	Sólidos %	Rendimento bruto %	Rendimento depurado %	Rejeitos %	Nº kappa	Alvura °GE	Viscosidade cps
< 2	0,54	130	175	158	0	7,8	13,6	46,0	45,1	0,9	25,5	25,8	35,5
2 - 4	0,57	180	170	170	45	2,2	13,2	47,7	47,1	0,6	21,2	27,5	50,7
4 - 6	0,58	200	170	248	75	1,9	10,4	45,8	45,5	0,3	22,5	22,2	59,2
6 - 8	0,56	201	170	248	75	1,9	10,4	47,7	45,3	2,4	23,4	23,0	67,7
> 8	0,62	214	170	170	120	1,2	12,5	46,1	38,4	7,7	23,4	20,3	34,5
Todas espessuras	-	190	170	170	60	1,9	12,5	47,9	45,8	2,1	22,9	23,0	41,5

QUADRO 2: Propriedades físico-mecânicas das celulosas não branqueadas

Propriedade	Rotações do PFI 10 <sup>3</sup>			Auto-ruptura km			Fator estouro			Fator rasgo			Dobras duplas			Peso específico aparente g/cm <sup>3</sup>			Elongação %		
	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200
Grau de refino CSF	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200	500	350	200
T <sub>1</sub> < 2 mm	4,4	11,9	20,0	7,0	8,5	9,6	34	48	60	94	109	119	29	85	290	0,55	0,60	0,62	2,3	3,4	4,1
T <sub>2</sub> 2 - 4 mm	3,9	10,3	20,0	7,2	8,7	9,9	37	55	76	95	108	114	30	110	540	0,56	0,63	0,68	2,5	3,3	4,2
T <sub>3</sub> 4 - 6 mm	3,7	12,1	22,1	7,7	9,4	10,2	44	62	74	95	113	117	53	216	508	0,53	0,68	0,69	3,2	3,9	4,7
T <sub>4</sub> 6 - 8 mm	3,8	11,1	21,8	7,3	8,8	9,8	38	57	73	99	116	113	33	133	550	0,61	0,65	0,68	2,9	3,4	4,0
T <sub>5</sub> > 8 mm	4,5	12,0	20,9	6,3	8,3	9,3	32	50	61	85	103	105	18	100	446	0,58	0,63	0,69	2,9	3,3	4,1
T <sub>6</sub> Todas espessuras	4,0	11,2	20,3	7,2	9,0	10,6	42	58	68	100	113	114	48	130	298	0,60	0,67	0,70	3,4	4,2	4,6

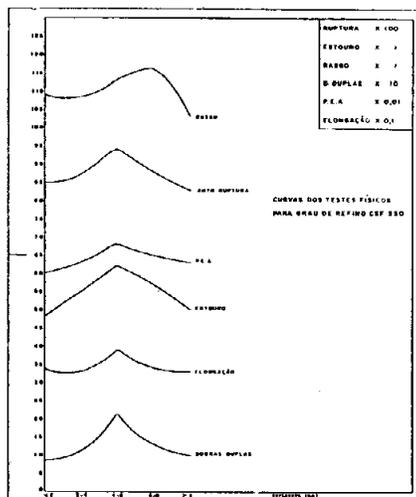


Figura II

sos. No caso da densidade aparente, colaborou também para o aumento com a espessura o melhor ajustamento entre cavacos grandes, deixando menos espaços vazios que cavacos pequenos.

## 5.2 Condições de cozimento

Para se alcançar o mesmo grau de deslignificação a uma dada temperatura usando cavacos de espessura diferente para cada cozimento, faz-se necessário aumentar o tempo de cozimento para os cavacos mais espessos. Isso se deve ao maior tempo que toma o licor de cozimento para alcançar a parte mais interna do cavaco mais espesso. Por outro lado, a parte externa do cavaco fica mais tempo em contato com o licor e sofre maior degradação e consome mais álcali desnecessariamente. Pode-se observar nos resultados do quadro 1 que o consumo de álcali aumentou com a espessura dos cavacos, havendo um residual bem maior para os cavacos de espessura menor que 2 mm. O cozimento destes cavacos teve que ser bastante curto para evitar degradação e se atingir a faixa de número kappa desejada.

Como o tempo de cozimento se relaciona com o gasto em energia para manter o material a alta temperatura, nota-se que maior a espessura do cavaco, maior o consumo de energia e também menor a produção diária por unidade de volume de digestor.

Os cavacos com espessura entre 2 e 4 mm produziram celulose dentro do requerido em baixo tempo, consumindo desta forma

menor energia que os cavacos de espessura maior que esta.

## 5.3 Rendimentos e rejeitos

O teor de rejeitos foi baixo a espessuras entre menor que 2 mm a 4 a 6 mm, aumentando sobremaneira a espessuras maior que 6 mm. O valor mínimo ocorreu no tratamento correspondente a 4 a 6 mm.

Já o rendimento depurado aumentou ligeiramente para os cavacos com espessura entre 2 e 4 mm, depois estabilizou-se até espessura 6 — 8 mm para cair a espessuras maior que 8 mm, devido ao alto teor de rejeitos que a massa continha.

No caso do tratamento T<sub>6</sub>, onde os cavacos não foram classificados, o teor de rejeitos alto pode ser aplicado pela contribuição dos cavacos espessos. Teoricamente pode-se esperar uma contribuição de 52% dos cavacos com espessura maior que 8 mm nestes rejeitos e de 34% para os cavacos de 6 a 8 mm. Desta forma, os cavacos com espessura maior que 6 mm devem contribuir com 86% do total dos rejeitos da celulose do tratamento T<sub>6</sub>.

## 5.4 Viscosidade

A viscosidade aumentou com o aumento da espessura do tratamento T<sub>1</sub> até T<sub>4</sub>, mostrando uma queda abrupta para o tratamento T<sub>5</sub>. Isso posto pode-se concluir que os cavacos muito finos são supercozidos devido à maior exposição das paredes da fibra ao álcali mais concentrado. Por outro lado, os cavacos muito espessos precisam tempo muito longo de cozimento, o que ocasiona maior degradação das cadeias celulósicas de suas fibras.

## 5.5 Ensaio físico-mecânicos

Como se pode verificar na figura II, a celulose proveniente dos cavacos com espessura 4 a 6 mm apresenta, com exceção da resistência ao rasgo, um máximo para todas as outras resistências mecânicas. A resistência ao rasgo deve ter sido máxima para a celulose obtida de cavacos com 6 a 8 mm devido à maior sensibilidade deste teste à viscosidade,

que nesta faixa apresentou-se mais elevada.

## 5.6 Comparações entre os cozimentos do tratamento T<sub>6</sub> contendo cavacos de todas as espessuras e os cozimentos dos tratamentos individuais

Conforme enunciado anteriormente foram realizados cozimentos de cavacos com espessuras preestabelecidas (tratamentos T<sub>1</sub> a T<sub>5</sub>) e cozimentos de cavacos não classificados (tratamento T<sub>6</sub>) contendo todos as espessuras que compunham os tratamentos T<sub>1</sub> a T<sub>5</sub>.

Procurou-se comparar os resultados práticos obtidos dos ensaios com os cavacos não classificados com as médias ponderais teóricas dos resultados obtidos para os testes de cada uma das classes de espessura. Para o estabelecimento das médias ponderais utilizou-se das proporções que cada espessura representava no total, conforme apresentado no item 4.1.

Os valores ditos práticos e os considerados teóricos estão apresentados no quadro 3.

Analisando-se os dados apresentados no quadro 3 pode-se verificar que é possível se predizer os valores práticos com boa aproximação, a partir dos dados experimentais individuais e das proporções de cada um dos tipos de cavacos que estiverem presentes no cozimento.

## 6. CONCLUSÕES

Levando-se em consideração os fatores dominantes na produção de celulose, ou seja, consumo de energia e álcali, rendimento, teor de rejeitos e qualidade, pode-se concluir que o intervalo de espessura de cavacos entre 4 e 6 mm é o mais indicado para obtenção de celulose kraft de eucalipto. Naturalmente, o projeto e construção de um picador nos moldes atuais, para tão estreita faixa de espessura, seria praticamente inviável. Entretanto, os resultados obtidos para cavacos de espessura 2 a 4 mm e de espessura 6 a 8 mm foram também satisfatórios. Desta forma, embora se reconhecendo a superioridade

dos cavacos com espessura 4 a 6 mm para cozimentos tradicionais, seria possível se trabalhar com segurança de se produzir polpa de boa qualidade, com cavacos de espessura variando de 2 a 8 mm.

Os cavacos com espessura muito reduzida, menor que 2 mm, são contra-indicados, por conduzirem a celulose com menor viscosidade, menores resistências e por consumirem álcali em reações de degradação, enquanto se dá o cozimento dos cavacos mais espessos. Esse consumo de álcali às vezes é muito grande e o pH do licor de cozimento cai abaixo de 12, passando a ocorrer reprecipitação de lignina. Com isso o número kappa se eleva e as propriedades físico-mecânicas são prejudicadas.

Para cavacos com espessura maior que 8 mm o problema que se enfrenta é o maior tempo de cozimento necessário, com reflexos negativos no rendimento, viscosidade e qualidade da celulose.

Como conclusão final, pode-se admitir como mais recomendável se trabalhar com cavacos cuja maior concentração para espessura se encontrem na faixa 4 a 6 mm, sendo porém admissível cavacos com espessura entre 2 e 8 mm. A proporção de cavacos com espessuras próximas a estes extremos deve porém ser a mínima possível.

## 7. LITERATURA

BACKMAN, A. — The influence of the thickness of chips upon pulp yield and pulp quality in pulping with parallelepiped shaped chips. *Paperi Ja Puu* 28 (13): 200, 1946

QUADRO 3: Comparação entre os valores práticos e teóricos do cozimento de cavacos não classificados quanto a espessura

Propriedade	Valor teórico (média ponderal)	Valor prático (Valor experimental)
Densidade aparente dos cavacos, kg/m <sup>3</sup>	192	190
Tempo até temperatura máxima, min.	190	170
Tempo à temperatura máxima, min.	68	60
Alcali residual, g/l	2,3	1,9
% Sólidos licor negro	11,6	12,5
Número kappa	22,8	22,9
Teor de rejeitos, %	2,1	2,1
Rendimento bruto, %	46,7	47,9
Alvura, %GE	23,7	23,0
Viscosidade, cps	54,2	41,9
Resistência da celulose a 350 ml de freeness		
- Rotações PFI, 10 <sup>3</sup>	11,4	11,2
- Auto-ruptura, km	8,8	9,0
- Fator estouro	56	58
- Fator rasgo	111	113
- Dobras duplas	141	130
- Peso específico aparente, g/cm <sup>3</sup>	0,65	0,67
- Elongação, %	3,5	4,2

HARTLER, N. — Some studies on the quality of chips for pulp production. *Svensk Papperstidning* 18 (66): 696-700, 1973

HARTLER, N. & ONISKO, W. — The interdependence of chip thickness, cooking temperature and screenings in kraft cooking of pine. *Svensk Papperstidning* 22 (65): 905-910, 1962

HATTON, J. V. — Quantitative evaluation of pulpwood chip quality. *Tappi* 60 (4): 77-100

STONIS, A. — Considerações sobre cozimento de eucalipto pelo processo sulfato em relação ao tamanho de cavacos. *O Papel* — Julho: 29-35, 1971

WORSTER, H. E.; McCANDLESS, D. L. & BARTELS, M. E. — Some effects of chip size on pulping of southern pine for liner-board. *Tappi* 60 (2): 101-103, 1977



# O PAPEL



único órgão oficial de divulgação de noticiário da  
**abcp - associação técnica brasileira de celulose e papel**

De Utilidade Pública, pelo Decreto Nº 11091 de 12/1/78

OUTUBRO/1978

## índice

<b>MENSAGEM: Formação</b> .....	pág.	3
<b>PONTO DE VISTA: Normalização</b> .....	pág.	3
<b>REPORTAGEM:</b>		
Em discussão as influências na qualidade da madeira .....	pág.	31
<b>TRABALHOS TÉCNICOS:</b>		
Poluição em indústrias de celulose .....	pág.	33
Feltros úmidos: problemas, causas e soluções .....	pág.	42
Estudos sobre a influência da espessura dos cavacos de eucalipto sobre a qualidade da celulose kraft correspondente .....	pág.	55
Colagem e corrosão na indústria papelreira .....	pág.	60
<b>NOTICIÁRIO ABCP:</b>		
A Divisão de Ensino em mais um curso, agora em Santa Catarina; aumenta o acervo de nossa biblioteca; eleições na ABCP .....	pág.	71
<b>NOTICIÁRIO NACIONAL:</b>		
A visita do ministro do Planejamento à Aracruz e o primeiro cozimento realizado na mesma; a entrega de manuais pelo governador do Estado; a instalação de duas fábricas no País, para fabricação de caldeiras e fabricação de celulose com fibras de sisal .....	pág.	81
<b>NOTICIÁRIO INTERNACIONAL:</b>		
A queda da produção industrial da Suécia; a exportação de digestores da Kamyrr; em funcionamento o plano de recuperação da França; crescimento da produção do papel de imprensa .....	pág.	84