



PROGRAMA PARA USO CONJUNTO DE RESÍDUOS FIBROSOS
NA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT

por

Ceslavas Zvinakevicius, Cenibra
Celso Edmundo B. Foelkel, Riocell
Jorge Kato, Cenibra
João Medeiros Sobrinho, Cenibra

Introdução

A partir dos anos 70, uma crescente atenção passou a ser dada pela indústria de celulose aos resíduos de madeira contendo fibras aproveitáveis. Essa preocupação de detectar perdas de fibras na forma de resíduos, quer florestais ou internos ao processo, ocorreu principalmente nos países industrializados do hemisfério norte. A razão era simples: com recursos florestais limitados; com o uso cada vez maior da madeira para outros fins, acarretando seu encarecimento, e com o consumo crescente da celulose e papel, a alternativa era a busca de fibras baratas. Uma das maneiras para a solução do problema era consumir o que se estava perdendo como resíduo (nós, serragem, costaneiras, galhos, etc). A preocupação foi tamanha, quanto à possível falta de fibras em futuro próximo, que sofisticados equipamentos de exploração florestal foram desenvolvidos para permitir o aproveitamento da árvore integral, inclusive raízes, folhas, ramos finos, casca, etc.

Na mesma época em que isso ocorria no hemisfério norte, o Brasil estava acelerando, a passos largos, seu desenvolvimento industrial no setor de produção de celulose kraft de eucalipto, graças ao PNPC. Grandes unidades industriais se instalaram em

nosso país, consumindo uma matéria-prima de rápido crescimento como é o eucalipto. Naquela época, o ufanismo, quanto aos recursos ilimitados de produção de madeira de eucalipto, praticamente impediu o desenvolvimento das pesquisas brasileiras a respeito do uso de resíduos fibrosos. Havia, isso sim, uma preocupação da recém-instalada indústria de celulose para exportação, em produzir uma celulose kraft de qualidade compatível com os anseios do consumidor europeu, altamente exigente quanto a esses aspectos.

Com a chegada dos anos 80, chegou junto a retração na economia, com a diminuição dos lucros, com o encarecimento da madeira, com a preocupação quanto ao futuro. Aumentar a produtividade e reduzir consumos específicos passaram a ser metas prioritárias dentro das empresas. A melhor utilização das fibras desperdiçadas até o momento voltou a ser considerada.

Para a década dos 80, uma outra questão está preocupando o segmento exportador da indústria brasileira de celulose. É a possibilidade de redução progressiva das disponibilidades de polpa para exportação, frente ao aumento do consumo interno a níveis maiores do que o aumento na capacidade de produção. Frente aos altos investimentos necessários para a construção de fábricas modernas, com capacidades acima de 750 toneladas/dia de polpa, existem pouquíssimos grupos econômicos brasileiros capazes de arcarem com esses custos. Uma alternativa que está sendo bem apreciada é a simplificação do processo de produção, com construção de fábricas modulares de pequena a média capacidade, baseadas em recursos regionais. Espera-se com isso, aumentar o interesse de investidores brasileiros para ampliarem suas aplicações no setor.

O presente estudo tem por finalidade cooperar na busca de soluções para aumentar a produção brasileira de celulose, sem que isso exija altos investimentos. Seu intuito principal é mostrar a viabilidade técnica de se construir uma fábrica de celulose kraft, utilizando tão somente os resíduos fibrosos de uma fábrica de grande porte, que usa o eucalipto como matéria-prima.

Metodologia e Resultados

O trabalho experimental foi dividido em três fases: na primeira, procurou-se detectar e quantificar todos os principais resíduos fibrosos capazes de serem utilizados; na segunda, esses resíduos foram avaliados individualmente para produção de polpa kraft; na terceira, os resíduos foram misturados na proporção em que ocorriam e, a seguir, transformados em celulose, a qual foi avaliada quanto ao seu potencial para consumo.

1.^a Fase: Estudos de prospecção de resíduos fibrosos

A pesquisa nessa fase envolveu uma avaliação quantitativa dos principais resíduos fibrosos que são gerados na fabricação de celulose kraft de eucalipto. A partir dessa avaliação, escolheram-se os resíduos que poderiam compor na pesquisa global. Os resíduos, cujas quantidades, qualidades, ou recuperação não justificassem o uso, foram excluídos do escopo da pesquisa. Estão nesse caso, por exemplo, as folhas e raízes das árvores e a serragem resultante do corte e seccionamento das árvores.

Os resíduos detectados como de importância foram os seguintes:

a) Casca

Em estudos anteriores, FOELKEL *et alii* (1977) mostraram a possibilidade de se separar as fibras da casca do eucalipto, permitindo o seu melhor uso para a fabricação de celulose kraft. O resíduo da separação constituía-se em um pó de fina granulometria que podia ser queimado em mistura com o óleo, gerando calorías adicionais. Essa operação de separação das fibras foi denominada pelos autores de desmedulamento. O rendimento médio alcançado era de 50%. Na avaliação realizada acerca da proporção da casca, FOELKEL *et alii* (1977) e BUSNARDO *et alii* (1978), relatam que, em média, a casca representa cerca de 10% em relação ao peso de madeira útil.

Resolveu-se, que para essa pesquisa, a casca merecia ser desmedulada, pois, com isso, apenas as fibras seriam utilizadas para produção de polpa e a medula poderia gerar energia.

Dessa forma, como o rendimento do desmedulamento é de 50%, a proporção de casca desmedulada, base peso a.s. de madeira útil, é de 5%. Por madeira útil define-se a madeira com diâmetro mínimo sem casca de 7 cm.

b) Serragem

A serragem é produzida na operação de transformação das toras da madeira em cavacos. É normalmente separada, pois ocasiona problemas operacionais em digestores contínuos, além de consumir maior quantidade de álcali por possuir muito pó de madeira, com alta superfície específica para reação.

Detectou-se que a serragem é produzida na razão média de 1,5% base peso a.s. de madeira útil que ingressa nos picadores.

Entretanto, essa serragem seria melhor aproveitada se beneficiada, ou seja, se classificada, separando-se o pó da serragem mais grosseira. Decidiu-se, que a melhor classificação seria obtida, utilizando-se uma peneira de 20 malhas por polegada. O rendimento dessa operação mostrou ser aproximadamente 50%, o que significa que 50% do total da serragem pode ser aproveitada para produção de celulose. Os 50% restantes, serragem fina, podem ser encaminhados à queima junto à medula da casca, gerando quantidade adicional de energia.

c) Toras finas (diâmetro de 3 a 7 cm)

A quantidade de toras finas, provenientes de árvores dominadas e de ponteiros descascáveis, depende muito da qualidade do povoamento florestal. Em levantamentos realizados, alcançou-se um valor médio de ocorrência de toras finas equivalente a 15% em peso a.s., base madeira útil ingressante na fábrica.

d) Gallhos e ponteiros com casca

Definiu-se como ponteiros com casca, a região da árvore cujo diâmetro com casca era inferior a 4 cm, o que tornava inviável o descascamento. Para a determinação de sua quantidade, aba

teram-se algumas árvores, separou-se a madeira útil dos galhos e ponteiros com casca e se determinou a relação porcentual em peso a.s. entre ambas as frações. Como valor médio, encontrou-se que galhos e ponteiros com casca representam 25% em relação ao peso a.s. da madeira útil da árvore.

e) Nós e feixes mal cozidos (rejeitos)

Os rejeitos do cozimento (nós e feixes) normalmente são reconduzidos ao digestor. Essa operação, além de alguns inconvenientes operacionais em digestores contínuos (prisão de coluna, entupimentos de peneiras, etc), causa diminuição de produção útil, pois os rejeitos, que já passaram no digestor, voltam a ocupar volume no mesmo pelo seu reciclo, impedindo que maior quantidade de novos cavacos ingresse ao digestor. Por essa razão, decidiu-se que os rejeitos deveriam ser separados e comporem no programa de resíduos ora em desenvolvimento.

A quantidade de rejeitos base madeira a.s. é variável, porém pode-se considerar que um valor médio de 2% é razoável.

f) Madeira podre

Essa madeira, geralmente oriunda de estocagem por longo tempo, causa graves problemas em digestores contínuos porque resulta em cavacos friáveis, que se quebram durante o movimento, aumentando o teor de serragem. Em fábricas modernas, que usam digestores contínuos, é desejável a separação dessa madeira.

Os resultados da avaliação quantitativa indicou uma proporção média de 1% em peso, desse tipo de madeira, base madeira útil a.s.

g) Madeira com cancro

O cancro do eucalipto é uma doença causada por um fungo (*Diaporthe cubensis*) e que ocorre com alta incidência nas regiões de clima semi-tropical e tropical. Há uma variação de sensibilidade/resistência conforme a espécie/procedência de eucalipto.

Infelizmente, as duas espécies mais comerciais plantadas no Brasil, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, são altamente susceptíveis. A literatura mostra avaliações de como o cancro afeta as qualidades da madeira e da celulose kraft (FOELKEL, ZVINA KEVICIUS & ANDRADE, 1976 e 1981).

A parte mais afetada pela doença é a base da árvore. Nessa região forma-se uma ferida que deforma a madeira e a torna menos apropriada à produção de celulose, pois o teor de extrativos e lignina aumenta e a resistência da celulose diminuiu.

Em povoamentos com razoável taxa de infestação, a proporção da madeira com sinais da doença, é de cerca de 10% do peso a.s. da madeira útil.

h) Madeira queimada

Embora não indicada, a prática de se atear fogo à floresta antes de se explorá-la é usual, principalmente no caso da madeira adquirida de terceiros. O fogo objetiva eliminar o sub-bosque para dar melhores condições para a penetração da equipe de corte. Ele porém, além das considerações de cunho ecológico, é indesejável, pois chamusca e contamina a madeira com carvão. Sabese muito bem, que para polpas de alta alvura, para exportação, a limpeza é imperiosa. Daí a madeira que apresenta sinais de carbonização/contaminação é descartada, pois o carvão resiste ao cozimento, ao branqueamento e à depuração.

Admitiu-se que a proporção de toras queimadas ocorre na ordem de 0,2% base peso a.s. de madeira útil.

2.^a Fase: Avaliação qualitativa individual dos resíduos fibrosos como matéria-prima para celulose kraft

A grande vantagem do processo kraft, que é a sua pouca sensibilidade ao tipo de matéria-prima fibrosa, foi explorada ao máximo nessa pesquisa. Foram avaliados materiais com características as mais distintas, como casca desmedulada, serragem, madeira podre, madeira com cancro, madeira fina, etc.

Os resultados para os cozimentos kraft de cada tipo de ma-

terial estão apresentados no Quadro 1. Os resultados para branqueamentos individuais estão no Quadro 2. As avaliações das características físico-mecânicas das polpas não-branqueadas estão mostradas no Quadro 3.

Quadro 1: Avaliação qualitativa individual dos resíduos: Cozimentos kraft

Condições/resultados	RESÍDUOS									
	Casca desmedulada	Serragem grossa	Toras finas	Galhos e ponteiros com casca	Nós mal cozidos	Madeira podre	Madeira com cancro	Madeira queimada		
<u>Condições</u>										
- Alkali ativo, % Na ₂ O	16	14	14	16	15	14	17	17		17
- Sulfidez, %	22	25	25	22	18	25	25	18		18
- Temperatura máxima, °C	170	170	170	170	170	170	170	170		170
- Tempo até Tm, min.	92	60	180	93	90	95	90	90		90
- Tempo a Tm, min.	45	45	30	45	45	45	60	45		45
- Relação licor/matéria seca fibrosa	4,5	6,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5		4,5
<u>Resultados</u>										
- Rendimento bruto, %	46,5	45,3	49,5	45,0	61,1	48,5	46,8	53,8		53,8
- Rendimento depurado, %	46,2	42,9	48,3	43,9	60,9	47,7	46,5	50,7		50,7
- Teor de rejeitos, %	0,3	2,4	1,2	1,1	0,2	0,8	0,3	3,1		3,1
- Número kappa	19,4	35,6	19,4	24,9	13,7	21,5	18,9	18,3		18,3
- Viscosidade, cP	10,0	38,6	50,4	24,7	15,1	24,0	32,7	28,5		28,5
- Alvura, °GE	20,5	15,4	32,0	-	-	-	30,0	-		-
- pH licor preto	12,9	-	-	12,0	13,2	11,9	-	11,6		11,6

Quadro 2: Avaliação qualitativa individual dos resíduos: Branqueamentos das celuloses kraft pela seqüência CEHDED/SO₂

Condições/resultados	RESÍDUOS						
	Casca desmedulada	Serragem grossa	Toras finas	Galhos e ponteiros com casca	Nós mal cozidos	Madeira podre com cancro	Madeira queimada
‡ Cl₂ ativo aplicado							
- C	3,11	-	-	3,72	-	3,54	4,00
- H	0,83	-	-	0,78	-	0,99	1,00
- D ₁	1,58	-	-	1,58	-	1,58	0,60
- D ₂	0,53	-	-	0,53	-	0,53	0,20
- Total	6,05	-	-	6,61	-	6,44	5,80
‡ Cl₂ ativo consumido							
- C	3,00	-	-	3,72	-	3,32	-
- H	0,80	-	-	0,73	-	0,96	-
- D ₁	1,54	-	-	1,54	-	1,43	-
- D ₂	0,53	-	-	0,38	-	0,46	-
- Total	5,87	-	-	6,37	-	6,17	-
‡ NaOH aplicada E							
- E ₁	1,96	-	-	2,14	-	2,03	2,32
- E ₂	0,50	-	-	0,50	-	0,50	0,50
- Total	2,46	-	-	2,64	-	2,53	2,82
‡ Na₂SO₃ aplicado	0,5	-	-	0,5	-	0,5	0,5
Alvura final, °GE	86,6	-	-	90,0	-	90,9	90,7
Viscosidade final, cP	6,9	-	-	11,5	-	12,5	19,2
Nº de cor posterior	0,55	-	-	0,50	-	0,34	1,02
Nº kappa após CE	3,6	-	-	3,4	-	4,4	2,1

Quadro 3: Avaliação qualitativa individual dos resíduos: Propriedades físico-mecânicas das polpas não-branqueadas a 35° SR

Propriedades	RESÍDUOS									
	Casca desmedulada	Serragem grossa	Toras finas	Galhos e ponteiros com casca	Nós mal cozidos	Madeira podre	Madeira com cancro	Madeira queimada		
Número de revoluções do PFI, x 10 ³	4,2	4,3	10,0	1,0	7,0	2,2	7,9	7,2		
Auto-ruptura, km	3,2	7,5	8,2	8,2	8,8	4,2	6,2	7,9		
Elongação, %	3,0	3,2	2,4	3,4	2,0	2,5	2,5	2,8		
Fator de estouro	19,5	40,0	53,0	57,5	63,0	20,0	33,0	50,0		
Fator de rasgo	52	75	108	80	98	45	110	116		
Dobras duplas, MIT	4	70	121	91	200	3	31	46		
Porosidade, seg/100 cm ³	1,8	-	-	13,9	-	-	-	-		
Densidade, g/cm ³	0,47	0,60	0,62	0,59	0,61	0,50	0,49	0,55		

Embora algumas das avaliações individuais não tenham sido completas, é possível se verificar a heterogeneidade de comportamento entre os diferentes tipos de resíduos. Alguns são facilmente convertidos em celulose, como é o caso dos nós mal cozidos, outros têm comportamento normal, como é o caso da madeira queimada e das toras finas, enquanto outros já mostram maiores dificuldades para a deslignificação, como é o caso da serragem grossa, da casca desmedulada, dos galhos e ponteiros com casca, da madeira podre e da madeira com cancro.

Para os branqueamentos das polpas dos resíduos individuais, notou-se que em todos os casos ocorria uma maior dificuldade que a apresentada por celuloses de madeiras normais, o que era lógico de se esperar.

Grandes variações foram encontradas nas propriedades físico-mecânicas das polpas. Algumas polpas mostravam facilidade de refino (madeira podre, galhos e ponteiros com casca, casca desmedulada e serragem grossa), enquanto outras eram mais lentas para responder a ele (toras finas, madeira queimada, madeira com cancro e nós mal cozidos). Quanto à resistência das polpas, as obtidas de madeira queimada, toras finas, galhos e ponteiros com casca e nós mal cozidos, podiam ser consideradas como de razoável para boa. As polpas de casca desmedulada, serragem grossa e madeira podre mostravam propriedades físico-mecânicas inferiores. A madeira com cancro originava celulose de qualidade intermediária.

3.^a Fase: Sugestão de um modelo para utilização conjunta dos resíduos fibrosos

Nas fases anteriores, foi possível verificar a existência de apreciável quantidade de resíduos fibrosos na fabricação de celulose kraft de eucalipto. Foi possível também concluir-se da viabilidade da conversão desses resíduos a celulose, embora os resíduos tivessem comportamentos diferentes nos seus processamentos. A qualidade das celuloses obtidas a partir de cada tipo de resíduo era distinta, o que demonstra a necessidade de cuidados especiais no controle de qualidade e do processo, caso o intuito seja o de produzir polpa kraft de mistura de resíduos.

Considerando que grandes unidades de produção de celulose kraft de eucalipto estão implantadas ou tendem a se implantar na região centro-leste do país, as disponibilidades de resíduos como aqui mostradas são perfeitamente viáveis.

Na atual situação brasileira, de carência de recursos e insumos, o desperdício não pode ser sequer considerado. Existem duas alternativas para uso dessa quantidade enorme de resíduos: a) queima e geração de energia; b) produção de celulose de qualidade inferior à de exportação, porém perfeitamente adequada, como se verá, para uso em inúmeros produtos, dentro do próprio país. Embora a tendência atual seja a de se queimar resíduos, frente à crise energética que se instalou em todo o mundo, a alternativa de se misturar os resíduos e se produzir polpa, é a nosso ver, uma alternativa mais racional. Isso porque, com investimentos adicionais não muito grandes, as fábricas já instaladas ou a instalar, poderão aumentar produção, sem compra de novas áreas para plantio.

Na terceira fase dessa pesquisa, optou-se por conhecer a qualidade e a quantidade da celulose kraft branqueada que resultaria do processamento da mistura de todos os resíduos fibrosos analisados nas duas fases anteriores.

Para obter as quantidades a misturar de cada resíduo, em função de sua ocorrência, construiu-se o Gráfico 1. As porcentagens referidas nesse gráfico são sempre relativas à quantidade, em peso a.s., da madeira utilizada na fábrica. Para a obtenção da porcentagem geral de serragem, teve-se que considerar a formação de serragem na operação de picagem das toras finas (2,6%), galhos e ponteiros com casca (4,8%), madeira podre (5%), madeira com cancro (3%) e madeira queimada (1,5%).

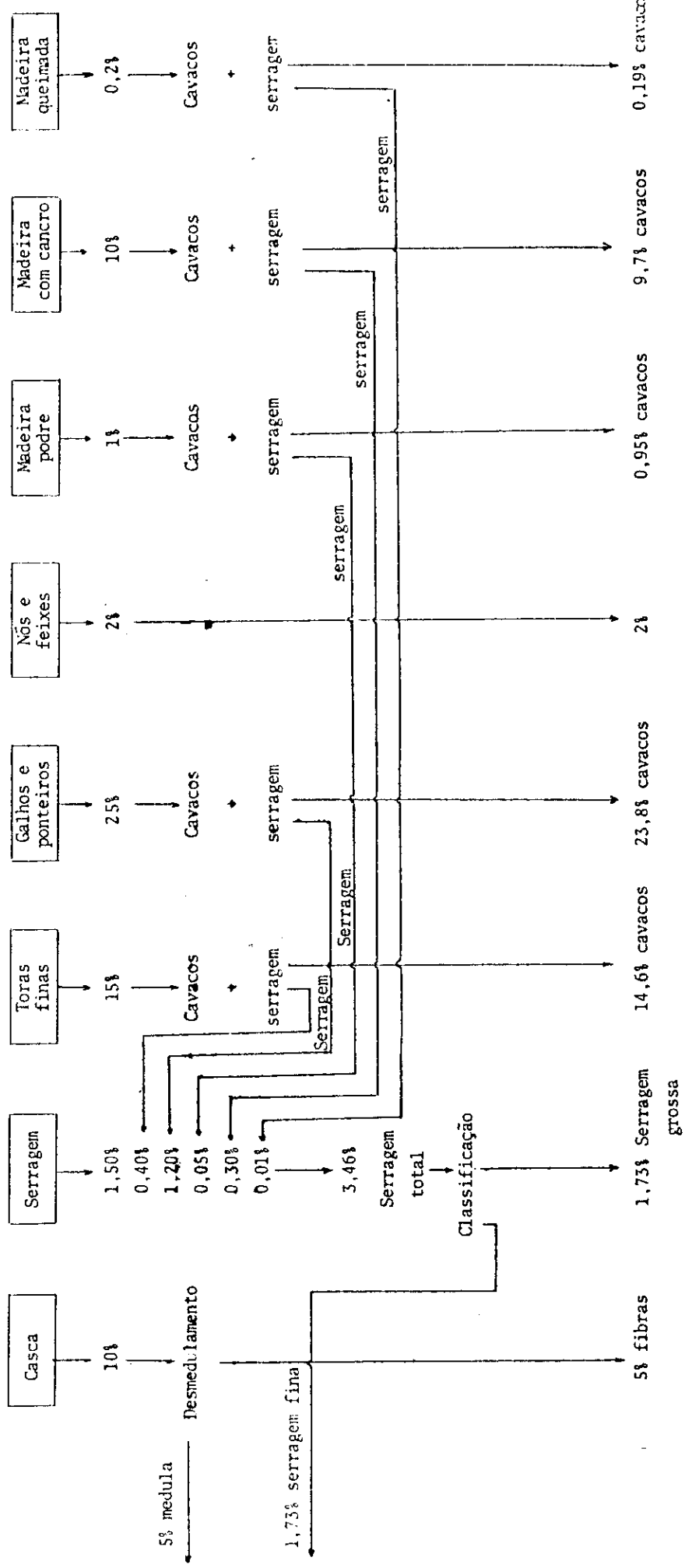


Gráfico 1: Proporção de resíduos fibrosos base peso a.s. de madeira normal utilizada

Considerando-se uma fábrica de celulose kraft branqueada de eucalipto com produção diária de 1000 toneladas a.d./dia e com um rendimento em produção de celulose de 48%, chega-se facilmente ao consumo de madeira/dia, o que deverá ser de aproximadamente 1875 toneladas a.s..

Baseando-se nas proporções dos diversos resíduos fibrosos, conforme mostrado no Gráfico 1, tem-se:

<i>Tipo de resíduo</i>	<i>Peso a.s./dia</i>	<i>Proporção relativa ao peso total de resíduo</i>
Casca desmedulada	93,8 t	8,7 %
Serragem grossa	32,4 t	3,0 %
Toras finas (cavacos)	264,4 t	24,6 %
Galhos e ponteiros com casca (cavacos)	446,2 t	41,4 %
Nós e feixes	37,5 t	3,5 %
Madeira podre (cavacos)	17,8 t	1,6 %
Madeira com cancro (cavacos)	181,9 t	16,9 %
Madeira queimada (cavacos)	3,6 t	0,3 %
<i>Total</i>	<u>1077,6 t</u>	<u>100,0 %</u>

Observe-se a notável quantidade de resíduos fibrosos, hoje não consumidos ou consumidos apenas em parte, pela indústria de celulose kraft de eucalipto. Ressalte-se que, além desses 1077,6 t a.s. de rejeitos, ainda há um crédito adicional de 32,4 t de serragem fina e 93,8 t de medula de casca.

Para se avaliar a quantidade de energia que se colocaria à disposição da indústria apenas com a queima da serragem fina e medula da casca, determinaram-se os poderes caloríficos da serragem do eucalipto, da medula da casca, e da mistura da medula e serragem fina na proporção de 5:1,73. Os resultados constam a seguir:

<u>Material</u>	<u>Poder calorífico (kcal/kg seco)</u>
Medula da casca	4750
Serragem fina	4200
Mistura medula casca/serragem fina	4320

Pode-se então considerar que essa fábrica, que produz 1000 t.a.d. de polpa branqueada/dia, obteria, apenas com a queima da serragem fina e medula da casca, cerca de $5,45 \times 10^6$ kcal/dia, caso todo o material estivesse seco.

Além disso, há a se considerar a polpa kraft possível de ser produzida a partir das 1077,6 t.a.s. de resíduos fibrosos para cada 1000 t.a.d. de polpa kraft branqueada padrão de alta qualidade, que a unidade fabril esteja produzindo.

Decidiu-se, então, testar a qualidade da celulose kraft, misturando os resíduos base peso a.s. na proporção relativa em que eles provaram ocorrer.

Foram realizados dois cozimentos kraft da mistura de resíduos. Os resultados estão no Quadro 4. A seguir, as polpas lavadas e depuradas foram branqueadas de acordo com duas seqüências: CEH_1H_2 e $CE_1HD_1E_2D_2$. Os resultados estão apresentados respectivamente nos Quadros 5 e 6. Tanto as polpas não-branqueadas como as branqueadas foram refinadas em moinho PFI e suas propriedades físico-mecânicas analisadas. Os resultados são apresentados no Quadro 7.

Quadro 4: Avaliação da mistura de resíduos como fonte de fibras para celulose kraft: Cozimentos

Condições/resultados	Cozimento		
	1	2	Média
<u>Condições</u>			
- Alkali ativo, % Na ₂ O	16	16	16
- Sulfidez, %	24,3	24,3	24,3
- Temperatura máxima, °C	170	170	170
- Tempo até T _m , min.	92	91	91,5
- Tempo a T _m , min.	45	45	45
- Relação licor/matéria seca fibrosa	4,5	4,5	4,5
<u>Resultados</u>			
- Rendimento bruto, %	46,4	46,7	46,55
- Rendimento depurado, %	45,7	45,9	45,80
- Teor de rejeitos, %	0,7	0,8	0,75
- Número kappa	21,6	21,8	21,7
- Viscosidade, cP	21,6	18,2	19,9
- Alvura, °GE	27,0	26,0	26,5
- pH licor preto	12,4	12,5	12,45

Quadro 5: Avaliação da mistura de resíduos como fonte de fibras para celulose kraft: Branqueamentos pela seqüência CEH_1H_2

Condições/resultados	Branqueamento CEH_1H_2		
	1	2	Média
% Cl_2 ativo aplicado			
- C	3,35	3,38	3,36
- H_1	2,00	2,00	2,00
- H_2	1,00	1,00	1,00
- Total	6,35	6,38	6,36
% Cl_2 ativo consumido			
- C	3,35	3,34	3,34
- H_1	1,24	1,23	1,23
- H_2	0,33	0,34	0,34
- Total	4,92	4,91	4,91
% NaOH aplicada E	2,03	2,04	2,04
% Na_2SO_3 aplicado	0,5	0,5	0,5
Alvura final, °GE	86,4	87,3	86,8
Viscosidade final, cP	7,5	7,5	7,5
Nº de cor posterior	2,43	2,48	2,46
Nº kappa após CE	3,4	3,6	3,5

Quadro 6: Avaliação da mistura de resíduos como fonte de fibras para celulose kraft: Branqueamentos pela seqüência $CE_1HD_1E_2D_2$

Condições/resultados	Branqueamento $CE_1HD_1E_2D_2$		
	1	2	Média
% Cl_2 ativo aplicado			
- C	3,35	3,38	3,37
- H	0,83	0,87	0,85
- D_1	1,58	1,58	1,58
- D_2	0,53	0,53	0,53
- Total	6,29	6,36	6,33
% Cl_2 ativo consumido			
- C	3,31	3,38	3,35
- H	0,78	0,85	0,82
- D_1	1,41	1,53	1,47
- D_2	0,47	0,45	0,46
- Total	5,97	6,21	6,10
% NaOH aplicada E			
- E_1	2,03	2,04	2,04
- E_2	0,50	0,50	0,50
- Total	2,53	2,54	2,54
% Na_2SO_3 aplicado			
	0,5	0,5	0,5
Alvura final, °GE	89,3	89,5	89,4
Viscosidade final, cP	13,2	14,5	13,8
Nº de cor posterior	1,29	1,01	1,15
Nº kappa após CE	3,6	3,8	3,7

Quadro 7: Avaliação da mistura de resíduos como fonte de fibras para celulose kraft: Propriedades físico-mecânicas das polpas a 35° SR

Propriedades	Polpas não-branqueadas				Polpas branqueadas				
	Cozimento		CEH ₁ H ₂		CEH ₁ H ₂		CE ₁ HD ₁ E ₂ D ₂		
	1	2	Média	1	2	Média	1	2	Média
Nº de revoluções do PFI, x 10 ³	3,0	3,6	3,3	2,3	2,2	2,2	6,0	5,4	5,7
Auto-ruptura, km	6,5	6,3	6,3	5,6	5,8	5,7	6,0	6,0	6,0
Elongação, %	2,9	2,7	2,8	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1
Fator de estouro	50	48	49	42	44	43	50	46	48
Fator de rasgo	100	102	101	97	101	94	96	102	99
Dobras duplas, MIT	50	40	45	20	52	26	40	40	40
Porosidade, s/100 cm ³	10,3	12,3	11,3	8,6	8,0	8,3	12,0	16,0	14,0
Densidade, g/cm ³	0,58	0,57	0,58	0,57	0,58	0,58	0,60	0,60	0,60
Coefficiente de dispersão da luz, cm ² /g	-	-	-	460	440	450	430	430	430

Os resultados da avaliação da mistura de resíduos fibrosos como matéria-prima para fabricação de celulose kraft foram plenamente satisfatórios. Houve uma surpreendente homogeneidade nos dados das repetições, indicando que a repetibilidade do processamento em condições idênticas, oferece a possibilidade de se obter polpas homogêneas em qualidade.

Os resultados do Quadro 4 mostram que os resíduos fibrosos sofreram boa deslignificação, resultando em polpas com números kappa aceitáveis, razoável viscosidade e reduzido teor de rejeitos. Relativamente à madeira normal, que usualmente requer 14% de Na_2O ativo para cozimento, foi necessária a aplicação de uma carga alcalina ligeiramente maior, ou seja, de 16% base matéria-fibrosa seca.

Os branqueamentos CEH_1H_2 deram origem a polpas com alvuras e viscosidades aceitáveis pelo mercado consumidor brasileiro, para inúmeras finalidades. É mesmo possível a redução de carga total de cloro ativo, pois, conforme os dados do Quadro 5, houve um residual elevado de cloro ativo nos estágios de hipocloração. Com isso, é certo uma ligeira melhoria na viscosidade dessas polpas. Ligeiramente alta foi a reversão da alvura, expressa por um número de cor posterior médio de 2,46. Essa reversão é, entretanto, muito mais função da seqüência de branqueamento adotada (CEH_1H_2) do que da matéria-prima fibrosa empregada.

Excelentes resultados foram alcançados pela seqüência $CE_1HD_1E_2D_2$. Alvura média de 89,4 °GE, viscosidade média de 13,8cP e número de cor posterior médio de 1,15, embora não se comparem aos resultados encontrados para polpa de eucalipto padrão exportação, são ótimos padrões para consumo no mercado interno, não sendo na verdade, necessários índices de qualidade melhores do que os aqui alcançados.

Dentre as propriedades físico-mecânicas e óticas, as celulosas de resíduos fibrosos mostraram como principais características a rápida velocidade de refino e o elevado coeficiente de dispersão da luz, o que se traduz em vantagens para o consumidor. As resistências das polpas branqueadas foram razoáveis, não havendo nenhum parâmetro limitante.

Frente ao exposto, é perfeitamente lícito se afirmar, que

existe amplo potencial para o uso conjunto de resíduos fibrosos do eucalipto para produção de celulose kraft de aceitável qualidade.

Admitindo-se um rendimento médio no cozimento da mistura de resíduos igual a 45,8% (Quadro 4) e que os rejeitos desse cozimento (0,75%) sejam reciclados, dando igualmente 45,8% de rendimento, pode-se facilmente calcular a quantidade de polpa obtida. Para a fábrica que está servindo de exemplo, que produz 1000 t. a.d./dia de polpa kraft de eucalipto, padrão exportação, pode-se obter um "quantum" extra de cerca de 550 t.a.d./dia somente a partir dos seus resíduos fibrosos, se recuperados. Isso significa que uma nova fábrica, de capacidade igual à metade da fábrica referência pode ser construída, sem que nenhuma área de terra seja adquirida para plantio. A nova fábrica, que deve necessariamente possuir digestores descontínuos para cozimento, pode ser simples, compacta, e deve funcionar apenas com os resíduos fibrosos da madeira da fábrica referência. Adicionalmente, será disponível o equivalente a cerca de 6,73% do peso da madeira utilizada na fábrica referência na forma de um combustível orgânico pulverizado (serragem fina e medula da casca).

Conclusões

Baseando-se nos dados levantados ao longo da execução dessa pesquisa, é possível concluir que a produção de celulose kraft, a partir da mistura de resíduos fibrosos da madeira, é perfeitamente viável tecnicamente. Essa alternativa, pouco explorada, coloca à disposição de fábricas de celulose já instaladas ou para instalar, a possibilidade de executarem projetos de expansão de capacidade em cerca de 50% da nominal, apenas baseados na utilização de resíduos fibrosos. Fábricas modulares de processamento simples e compacto poderiam ser instaladas anexas a fábricas tradicionais de celulose, produzindo uma polpa kraft branqueada de eucalipto perfeitamente apta para consumo interno para inúmeras finalidades.

Bibliografia

BUSNARDO, C.A.; FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; KAJIYA, S. & ALVES, E.E. - Estudo comparativo da qualidade da madeira de algumas espécies de eucaliptos tropicais. In: Trabalhos Técnicos ABCP, XI Congresso Anual, São Paulo, p. 191-197, 1978

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C. & ANDRADE, J.O.M. - Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* afetados por cancro. In: Trabalhos Técnicos ABCP, IX Congresso Anual ABCP, São Paulo, p. 255-266, 1976

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C. & ANDRADE, J.O.M. - O cancro do eucalipto e sua influência sobre a qualidade da celulose kraft. O Papel, São Paulo, julho 1981

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; SIQUEIRA, L.R.O.; KATO, J. & ANDRADE, J.O.M. - Casca desmedulada de eucalipto: uma nova opção como fonte de fibras para a indústria de celulose kraft. In: Trabalhos Técnicos ABCP, X Congresso Anual, São Paulo, p. 19-33, 1977