

# **Melhoria das propriedades de polpa Kraft branqueada de eucalipto pela adição de fibras mecânicas**

## **Improving eucalyptus Kraft pulp properties with mechanical fiber reinforcement**

**Mauro Manfredi<sup>1</sup>, Rubens C. Oliveira<sup>2</sup>, Jorge L. Colodette<sup>2</sup> e Eric C. Xu<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Estudante de Engenharia Florestal, UFV, Viçosa, MG, Brasil

<sup>2</sup>Professores Titulares, UFV, Viçosa, MG, Brasil

<sup>3</sup>Andritz Inc., Springfield, OH, EUA

### **RESUMO**

Polpas Kraft de eucalipto são usadas em larga escala para a fabricação de papéis sanitários e de imprimir & escrever. Enquanto as propriedades de maciez e absorvência são vitais ao segmento de papéis sanitários, as propriedades de opacidade, porosidade e volume específico aparente são de grande importância ao de imprimir & escrever. As polpas Kraft de eucalipto naturalmente apresentam tais atributos, os quais têm sido aperfeiçoados cada vez mais pelo avanço nos programas de qualidade da madeira e pela escolha de espécies de eucalipto mais adequadas a cada segmento. Entretanto, as propriedades desejáveis das fibras de eucalipto para cada segmento de papéis podem ser melhoradas ainda mais pela mistura com outras fibras. A mistura de fibras de eucalipto com fibras longas tem sido prática comum. Neste estudo, direcionado ao segmento de papéis de imprimir & escrever, foi avaliada a mistura de fibras mecânicas de eucalipto de alta alvura, provenientes do processo de polpação P-RC APMP (modified alkaline peroxide mechanical pulping), à polpa Kraft branqueada de eucalipto, em diferentes proporções (10-40% de substituição). As misturas de polpa foram refinadas em moinho PFI e avaliadas quanto às suas principais propriedades óticas e físicas. Os resultados dos testes mostraram que com a mistura de fibras mecânicas a força de ligação entre as fibras aumenta. Para uma mesma densidade, os índices de tração e arrematamento aumentaram com o aumento da proporção de fibras mecânicas, mas o índice de rasgo diminuiu. A alvura e a opacidade da polpa Kraft diminuem com a adição de fibras mecânicas, mas o volume específico aparente aumenta para um mesmo índice de tração. Concluiu-se que a mistura de fibras mecânicas à polpa Kraft, até 20% p/p, é técnica viável para melhorar o volume específico aparente e porosidade do papel, sem qualquer prejuízo às propriedades mecânicas da polpa Kraft de eucalipto.

### **ABSTRACT**

Eucalyptus kraft pulps are largely used to manufacture tissue and printing & writing paper grades. While softness and absorbency are important properties for the tissue grades, porosity, bulk and opacity are critical for the printing & writing ones. Eucalyptus kraft pulp fibers naturally present these attributes, and they have been constantly enhanced through wood quality improvements and the right choice of species for each paper grade. However, the desirable properties of eucalyptus fibers for each segment may be further improved by mixing them with other fibers. Mixture of eucalyptus fibers with long fibers has been common practice. This study focused on the printing & writing paper grades and investigated the mix of eucalyptus kraft pulp with high brightness mechanical pulp produced by the P-RC APMP (modified alkaline peroxide mechanical pulping process). The mixture of the two pulp types in various proportions (10-40% mechanical pulp fibers) were treated in a PFI mill at various refining intensities and evaluated for optical and physical properties. It was observed that mechanical pulp addition increase kraft pulps inter-fiber bonding forces. For a given sheet density, higher tensile and burst strength were obtained with increasing proportion of mechanical fibers although the tear strength decreased. The brightness and opacity of the kraft pulp decreased with increased addition of mechanical fibers but bulk and porosity increased substantially for a given tensile index. It is concluded that mixing mechanical fibers with kraft pulp up to 20% w/w improve the bulk and porosity of the latter while maintaining the pulp strength properties.

Palavras-chave: Eucalipto, P-RC APMP, Misturas de polpa, Propriedades da celulose.

Key Word: Eucalyptus, P-RC APMP, Blend of pulp, Pulp Properties.

## INTRODUÇÃO

Mistura de polpas vem sendo estudadas ao longo dos anos visando, principalmente, melhorar as propriedades do produto final. Misturar polpas também pode favorecer o processo de produção diminuindo os gastos com energia, matéria prima, reagentes e tratamento de efluentes. Além de diminuir os custos de produção, um outro objetivo de introduzir em mistura uma polpa diferente à polpa principal é o aumento de produtividade da fábrica de papel.

Nesse estudo foi avaliada a mistura de pasta mecânica branqueada (P-RC APMP = Preconditioning followed by Refiner Chemical treatment Alkaline Peroxide Mechanical Pulping) de eucalipto com celulose Kraft branqueada também de eucalipto. A celulose Kraft foi utilizada por apresentar boas propriedades óticas e ser a principal fonte de fibras no mercado brasileiro. A pasta mecânica foi utilizada por apresentar alto volume específico aparente e alvura compatível com a da polpa kraft. A pasta P-RC APMP é do tipo quimiatermomecânica, sendo produzidos a partir de cavacos pré-tratados com hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio estabilizado e, em seguida, desfibrados em refinador de discos para a obtenção do material fibroso. O pré-tratamento tem como objetivo amaciar os cavacos diminuindo assim o consumo de energia durante o desfibramento e facilitando o desenvolvimento de resistências.

No processo de tratamento, os cavacos são acondicionados em alta pressão para remover substâncias solúveis em água que poderiam prejudicar a ação do Peróxido. Em seguida, a pressão é liberada e os cavacos são impregnados pelo licor e mantidos por um determinado tempo em um silo até que os reagentes penetrem por completo nos cavacos. Esse tempo de reação varia conforme a espécie vegetal e a quantidade de reagentes utilizados. Assim que a reação se completa os cavacos seguem para um outro estágio de tratamento ou direto para o refino. O Refino pode ser feito pressurizado ou atmosférico, sendo a última modalidade mais interessante quando se deseja pasta de mais alta alvura. Existem outros processos quimiatermomecânicos (CTMP, APMP e CCS), mas para a madeira de eucalipto, o P-RC APMP tem se mostrado o mais efetivo em termos de investimento, custos operacionais, eficiência química, tratamento de efluentes e qualidade de produto (Xu, 1998).

(Xu, 1998) relata também que o eucalipto pode ser uma excelente matéria prima para fabricar pastas mecânicas. O autor relata que algumas madeiras de eucalipto da América do Sul podem originar pastas mecânicas APMP com boas propriedades de resistência, até mesmo melhores que as de algumas pastas TMP de fibra longa Norte Americanas. As polpas provenientes de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* apresentaram as melhores qualidades, especialmente em relação ao volume específico aparente.

A celulose Kraft branqueada de eucalipto é muito utilizada no mundo inteiro pelas suas características altamente desejáveis, especialmente para fabricação de papéis tipo *tissue* de impressão & escrita. Elas resultam folhas de papel com boa formação, permeabilidade e propriedades óticas. Já as pastas originadas de processos quimiatermomecânicos formam folhas com alto volume específico aparente e opacidade, além de apresentarem menor custo de produção devido aos seus altos rendimentos. Portanto, ao se misturar esses dois tipos de fibras, se objetiva introduzir algumas das características desejáveis das pastas mecânicas na celulose kraft, desta forma se aperfeiçoando o processo de fabricação de papel no que tange ao custo de produção e qualidade do produto acabado.

As propriedades de polpas Kraft e APMP diferem pela natureza e quantidade de ligação superficial entre fibras. As fibras APMP possuem mais hemiceluloses na superfície de ligação em relação às polpas Kraft, o que intensifica a ligação entre as fibras e aumenta a força dessas ligações. Em seus estudos Xu, 1998 observou que a adição de até 20% de pasta P-RC APMP à celulose Kraft reduz sua resistência ao rasgo, mas aumenta suas propriedades de tração e TEA (tensile energy absorption) a um dado volume específico aparente (VEA) ou resulta num maior VEA para uma mesma resistência a tração.

Além da melhoria de qualidade do produto final, uma das vantagens de se adicionar pasta mecânica à celulose kraft é a diminuição do custo do produto. Processos quimiatermomecânicos resultam em

rendimentos de 80% a 93% (Penna, 2005) enquanto o processo Kraft alcança no máximo 55% de rendimento. A introdução, mesmo que em pequenas proporções, de APMP diminui, consideravelmente, o consumo de madeira da fábrica. Outro aspecto importante a ser considerado é a baixa demanda de capital para se implantar uma fábrica de pasta mecânica em relação à de celulose Kraft (Ignez, 2005).

Ignez (2005) observou que a adição de pastas à celulose Kraft causou problemas operacionais na fabricação de papel, pois reduziu a eficiência de retenção na tela formadora. Esta perda de eficiência foi atribuída à presença em grandes quantidades de finos na pasta mecânica e, conseqüentemente, o papel produzido apresentou menor homogeneidade e menor resistência devido a grande quantidade de espaços vazios na folha. Tal problema pode ser contornado utilizando-se pasta mecânica de melhor qualidade, com menos finos e finos de melhor qualidade tais como os produzidos no processo P-R APMP, por exemplo.

As propriedades objetivadas na produção de celulose dependem do tipo de produto final. Logo, a mistura de polpas pode ser desejável ou não de acordo com o tipo de produto que se deseja produzir. A tendência na produção de papel imprensa é diminuir a gramatura do papel, o que resulta em diminuição da resistência e da opacidade do mesmo (Penna, 2005). Misturar pasta quimiotermodomecânica do tipo P-RC APMP à celulose Kraft pode ser uma boa alternativa, pois ela apresenta boa resistência e opacidade (Penna, 2005).

O principal objetivo desse trabalho é saber até quanto de pasta de alto rendimento P-RC APMP branqueada de eucalipto se pode adicionar à celulose Kraft branqueada de eucalipto sem que ocorra perda das propriedades desejáveis, e quais dessas propriedades podem-se melhorar com a adição da pasta P-RC APMP.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada celulose Kraft branqueada de eucalipto, fornecida pela Cia. Suzano de Papel e Celulose S/A, unidade Mucuri, e pasta quimiotermodomecânica branqueada, produzida pelo processo P-RC APMP na unidade piloto da Andritz Inc. em Springfield, Ohio, EUA. As características iniciais das duas amostras estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Caracterização da amostras de celulose kraft e pasta P-RC APMP

Características	Kraft	P-RC APMP
Viscosidade, cP	17,78	-
Alvura, % ISO	85,81	80,5
Opacidade, %	81,29	74,98

Para estudar a interferência nas propriedades da celulose Kraft de eucalipto causada pela adição da polpa P-RC APMP, as polpas foram misturadas em várias proporções e refinadas em várias intensidades em moinho PFI. Os níveis de refino foram selecionados de tal forma a se alcançar um nível de drenabilidade de 200mL CSF. No Quadro 2 são apresentadas as várias proporções, as designações apropriadas e os vários níveis de revoluções empregados no moinho PFI para cada nível de mistura. Para servir de referência, foram também avaliadas as propriedades das amostras originais, antes de serem misturadas. A pasta P-RC não necessitou de refino já que apresentou Freeness abaixo de 200mL CSF naturalmente, dado o seu elevado teor de finos que tende a reduzir sua drenabilidade.

Quadro 2. Designação da amostra, proporções de mistura, intensidade de refino e drenabilidade das várias amostras.

Designação da Amostra	% de polpa Kraft	% de polpa P-RC APMP	Intensidade de Refino, Rev. PFI	Drenagem mL CSF
100K	100	0	0	540
			1000	380
			2000	280
			3000	180
9K1P	90	10	0	505
			500	370

			1000	310
			2000	195
8K2P	80	20	0	415
			500	295
			1000	260
			2000	185
7K3P	70	30	0	350
			300	260
			700	235
			1000	210
6K4P	60	40	0	310
			300	205
			600	195
			900	175
100P	0	100	0	60

Para realização dos testes físico-mecânicos das polpas sem refino e as respectivas polpas refinadas foram formadas folhas laboratoriais, em formador do tipo Tappi, obedecendo à metodologia estabelecida pela Tappi. As folhas foram acondicionadas em ambiente com umidade relativa do ar de  $50 \pm 2\%$  e temperatura de  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ . Os testes foram realizados utilizando os seguintes equipamentos: Rasgo: Elmendorf; Arrebatamento: Mullen; Resistência à passagem de ar: Porosímetro de Gurley; Espessura de folhas: Micrômetro. As determinações relativas aos testes de tração, ou seja, índice de tração, alongamento, energia absorvida pelo corpo de prova em regime de tração (TEA) e módulo de elasticidade específico (MOE), ou seja, índice de rigidez sob força de tração, foi realizado em aparelho de testes do tipo Instron-modelo 4204, conforme norma Tappi T494 om-88, com as seguintes condições de teste: Velocidade de teste de 25 mm/min.; Capacidade da célula de carga de 1000N; Dimensões do corpo de prova de 160 x 15 mm e distância entre garras de 100 mm. A leitura dos valores das forças aplicadas foi feita pelo uso de célula de carga e, a determinação das deformações pelo deslocamento da barra de tracionamento do equipamento. Ambas os sistemas foram conectados através de um sistema de aquisição de dados controlado por computador, o qual permite o controle automatizado do sistema responsável pela coleta de dados e derivação das propriedades.

As análises experimentais foram realizadas conforme procedimentos e metodologias padronizadas de acordo com normas técnicas da "Technical Association of Pulp and Paper Industry" (TAPPI) conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 3: Testes físicos e mecânicos realizados nos papéis.

Refino em moinho tipo PFI	T 248 wd-97
Formação de folhas laboratoriais de papéis	T 205 sp-95
Gramatura de papéis	T 220 sp-96
Testes físicos de papéis	T 220 sp-96
Resistência ao arrebatamento	T 403 om-97
Espessura de folhas de papéis	T 411 om-97
Resistência ao rasgo (Elmendorf)	T 414 om-98
Resistência a tração <sup>(1)</sup>	T 494 om-96
Resistência à passagem de ar	T 536 om-96
Peso específico aparente	T 220 sp-96
Volume específico aparente	T 220 sp-96

NOTA <sup>(1)</sup>: O teste de resistência à tração foi realizado em equipamento do tipo Instron modelo 4204 com sistema computadorizado de aquisição, análise e saída de dados, com distância entre garras de 100mm, velocidade de teste de 25mm/min e capacidade da célula de carga de 1000N. Simultaneamente, este teste nos fornece resultados das seguintes propriedades: Força a ponto de ruptura, índice de tração, tensão e deformação ao limite de proporcionalidade (elasticidade), energia de deformação (TEA) e módulo de elasticidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme pode ser observado no Quadro 2, mostrado no item anterior, a introdução da pasta P-RC APMP reduz a possibilidade de aplicação de maior intensidade de refino da mistura de polpas. Enquanto foram necessárias 3.000 rotações no moinho PFI para a polpa Kraft alcançar um Freeness de 180ml, a mistura contendo 40% de P-RC APMP atingiu semelhante nível de drenabilidade (Freeness de 175ml) com apenas 900 revoluções do moinho. Isso se deve à grande quantidade de finos presentes em pastas quimiotermodinâmica que tendem a reduzir a capacidade de drenagem das pastas. Portanto, como a intensidade de aplicação de refino é reduzida, o equivalente em consumo de energia nesta operação é menor.

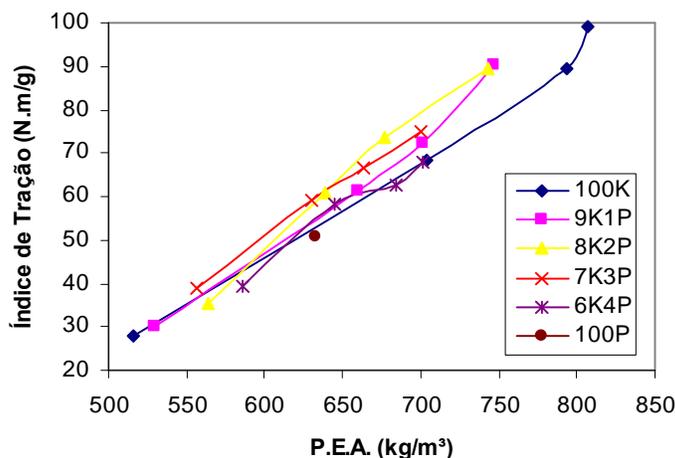


Figura 1 – Relação entre índice de tração e peso específico aparente das folhas formadas

A Figura 1 mostra que de maneira geral a mistura de polpas ocasionou uma melhoria na resistência à tração dos papéis formados. Essa melhoria pode ser observada em misturas com 20% e 30% de introdução da pasta P-RC APMP à polpa Kraft. No entanto, a propriedade de resistência à tração dos papéis provenientes da mistura contendo 40% de pastas P-RC APMP mostrou-se semelhante à da polpa 100% Kraft. Isto demonstra que acrescentar mais que 30% de P-RC APMP em polpa Kraft não se justificaria para melhorar o índice de tração das polpas. Melhorias proporcionalmente semelhantes no índice de tração também foram observadas por **Xu, 2002** em seus trabalhos, ao misturar pasta P-RC APMP branqueada de Aspen em até 20% com a polpa Kraft proveniente da mesma madeira. Essas melhorias se devem provavelmente ao melhor corpo de contato interfibras, ocasionado pela introdução de maiores teores de finos em conformabilidade com o restante do material fibroso.

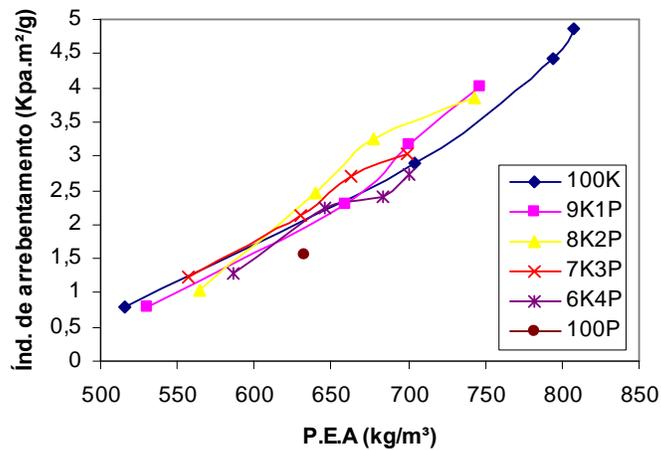


Figura 2 – Relação entre índice de arrebentamento e peso específico das folhas formadas

A Figura 2 mostra melhorias da propriedade de índice de arrebentamento dos papéis de forma semelhante ao encontrado para o índice de tração dos papéis, mostrado anteriormente na Figura 1. Essas melhorias provavelmente se devem também ao aumento de contato interfibras, ocasionado pela introdução de maiores teores de finos da pasta P-RC APMP em mistura com o restante do material fibroso.

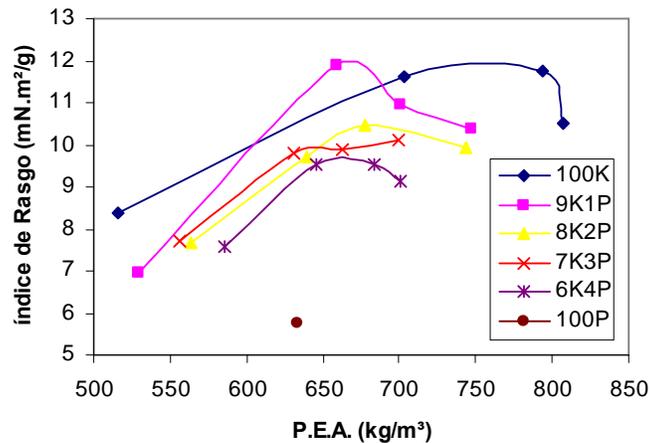


Figura 3 – Relação entre Índice de rasgo e peso específico das folhas formadas

Na figura 3 podemos observar que em apenas um caso de mistura das polpas ocorreu o efeito favorável à resistência ao rasgo comparada à polpa 100% Kraft. No entanto, para as demais misturas não houve benefícios das misturas de polpas na resistência ao rasgo expressa pelo índice de rasgo, ou seja, ocorreu uma redução do índice de rasgo dos papéis diminuiu com a adição de P-RC APMP. O índice de resistência ao rasgo mede qual é a resistência das fibras quase que individualmente, ou seja, as fibras provenientes de processos mecânicos de polpação são mais fracas. O índice de rasgo e arrebentamento apresentou-se melhor porque a ligação e o agrupamento das fibras se tornaram melhor, mesmo com a resistência das mesmas piorando. Boa parte dessa melhoria no corpo de ligação das fibras se deve a maior quantidade de hemiceluloses presente. Polpas Kraft são pobres em hemiceluloses quando comparadas com polpas provenientes de outros processos que utilizam menor quantidade de reagentes químicos na deslignificação.

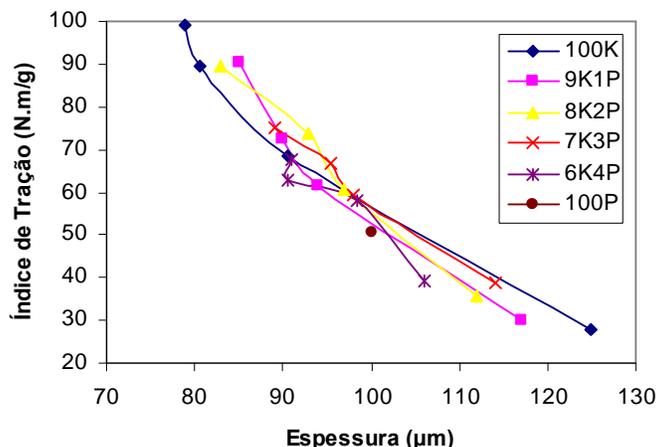


Figura 4 – Relação entre espessura e índice de tração das folhas formadas

Como observado na Figura 4, maiores valores de índice de tração dos papéis formados foram obtidos com misturas de polpas em situações em que o nível de refino é mais intenso, ou seja, em papéis com menores valores de espessuras. Em situações industriais em que o refino mais elevado se torna necessário, principalmente para obtenção de melhores valores de resistência, a redução de espessura dos papéis passa a ser reflexo de um melhor entrelaçamento de fibras na formação do papel, porém com conseqüente redução do volume específico da folha (bulk), o que não é desejável em muitas aplicações do papel. Portanto, em condições de refino mais elevado com conseqüente ganhos em resistência a tração, as polpas em misturas (P-RC APMP e Kraft) trazem benefícios em gerar uma folha de maior resistência à tração em um mesmo valor de espessura. Para um mesmo valor de índice de tração, haverá um ganho de espessura nos papéis formados, e conseqüentemente refletindo em maior volume específico aparente dos papéis. Este é um benefício geralmente almejado na produção de papéis, e em inúmeras aplicações de uso final de papéis.

## CONCLUSÕES

O uso de pasta P-RC APMP em mistura à polpa Kraft reduz o custo de produção da celulose sem prejudicar as propriedades do papel produzido.

Acrescentando até 40 % de pasta P-RC APMP há uma modificação positiva e de consideráveis benefícios nas propriedades dos papéis obtidos. Principalmente, em condições de operação de mais elevado refino, obtendo ganhos de espessura dos papéis e conseqüentemente reflexo no volume específico aparente do papel (bulk) sem prejuízos de resistência a tração dos papéis.

## REFERÊNCIAS

1. Penna, V. I. "O Potencial de Utilização de Pasta de Alto Rendimento". 2005 Tese de mestrado UFV.
2. Ingez, N. N. "Influência do Uso de Pastas Quimiotermodinâmica no Andamento de Máquina de Papel" 2005 Tese de mestrado UFV.
3. Xu, E. C. "Mechanical Pulping of South American Eucalyptus – Technology, Pulp Properties and Application Potential". 1<sup>st</sup> ABTCP Pulping Technology Conference – São Paulo, Brazil, May 5-7, 1998.
4. Xu, E. C. & Teubner, D., "Comparison of Chemical and Chemical Mechanical Pulps from Hardwoods", 2<sup>nd</sup> International Symposium on Emerging Technologies of Pulping and Paper-Marking, Guangzhou, China, (Oct. 8-11, 2002).