

Avaliação da qualidade da celulose kraft-AQ ECF e TCF de eucalyptus spp

MFN -3006

N CHAMADA:

TITULO: Avaliação da qualidade da celulose kraft-AQ ECF e TCF de eucalyptus spp

AUTOR(ES): Gomes, I.M.B.Barrichelo, L.E.Pereira, A.M.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 02.3. Branqueamento da Pasta Celulósica

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual de Celulose e Papel, 31

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 19-23.10.1998

IMPRESSÃO: 1998, ABTCP

PAG/VOLUME: p.105-117,

FONTE: Congresso Anual de Celulose e Papel, 31, 1998, São Paulo, p.105-117

AUTOR ENTIDADE: Ripasa SA Celulose e PapelEsalq

DESCRIPTOR: pastas TCF, pastas ECF, alvura, viscosidade

RESUMO:

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA CELULOSE KRAFT-AQ

ECF E TCF DE EUCALYPTUS SPP

Isabel Menezes de Bulhões Gomes*
Luiz Ernesto George Barrichelo**
Altair Marcos Pereira*

* Ripasa S.A. Celulose e Papel - SP - Brasil

** Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - SP - Brasil

Resumo

Devido à descoberta de componentes tóxicos nos efluentes de indústria de celulose provenientes do cloro, utilizado na etapa de branqueamento de polpa química, grande pressão ambiental começou a atuar sobre o setor. Diante deste fato, novas seqüências de branqueamento começaram a ser estudadas para substituir parcialmente (ECF) ou totalmente o cloro das seqüências de branqueamento (TCF). Muitos estudos foram realizados no que diz respeito ao consumo de químicos do branqueamento e alvura final da polpa. Entretanto, poucos trabalhos têm sido realizados sobre as características físico-mecânicas destas polpas, principalmente a de eucalipto. Com o intuito de se comparar a qualidade de polpas ECF e TCF provenientes da mesma polpa de origem, este trabalho teve como objetivo a avaliação físico-mecânica de polpa industrial kraft-antraquinona de eucalipto sob uma mesma alvura. Concluiu-se deste trabalho que as polpas branqueadas com ozônio (TCF e Z-ECF) apresentaram menor viscosidade final e a polpa TCF necessita de cargas mais elevadas para se obter uma mesma alvura final. Com relação aos testes físico-mecânicos, observou-se que as polpas TCF e Z-ECF são mais facilmente refináveis e que é possível trabalhar-se a qualidade destas fibras para resistências similares à fibra ECF e padrão, para o índice de tração de 70 Nm/g.

Palavras-chaves: branqueamento, polpa TCF, polpa ECF, alvura, viscosidade, testes físico-mecânicos.

Introdução

A indústria brasileira de celulose e papel é a 7ª maior produtora mundial de celulose e a 11ª maior produtora de papel.

O Brasil produz aproximadamente 5 milhões de toneladas de celulose por ano. Deste total cerca de 67% é fibra curta branqueada proveniente do processo químico (1).

Pesquisas envolvendo aspectos ambientais tem detectado a presença de compostos organoclorados nos efluentes das indústrias de celulose. O cloro elementar e os demais compostos clorados utilizados no branqueamento de polpa celulósica são a principal fonte formadora de organoclorados nos efluentes industriais. Considerando o efeito danoso de tais compostos sobre o meio ambiente, no início dos anos 80, desencadeou-se uma grande pressão

"Trabalho apresentado no 31º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo - SP - Brasil, de 19 a 23 de outubro de 1998".

sobre as indústrias produtoras de polpa celulósica no sentido de reduzir ou eliminar o cloro elementar e demais compostos clorados das seqüências de branqueamento.

Devido à necessidade cada vez maior de produção de celulose e papel ambientalmente "limpos", vários estudos vem sendo realizados como, por exemplo, desenvolvimento de seqüências de branqueamento livre de cloro elementar (elemental chlorine free - ECF) e livres de compostos de cloro (totally chlorine free - TCF).

Os estudos relacionados com branqueamentos ECF/TCF têm se concentrado na avaliação de agentes deslignificantes e alvejantes, na otimização de processos e ainda na cinética das reações envolvidas. Pouco se tem avaliado, com relação ao efeito dos reagentes químicos e das seqüências de branqueamento, sobre as características físico-mecânicas da polpa, em especial a de eucalipto.

Estando na era da qualidade e visto que na visão moderna a qualidade da fibra está voltada ao produto final e às necessidades do cliente, faz-se necessário que a análise de qualidade da celulose seja avaliada.

Neste trabalho foi avaliado o efeito de seqüências de branqueamento ECF/TCF sobre as características da polpa celulósica e conseqüentemente da sua relação com a qualidade final do papel produzido dentro da realidade industrial brasileira.

Revisão de Literatura

A preocupação com o efeito de processos industriais sobre o meio ambiente tem orientado pesquisas do setor celulósico mundial.

Associando-se a questão ambiental à etapa de branqueamento da polpa celulósica, as pesquisas têm levado à remoção do cloro elementar e de compostos de cloro das tradicionais seqüências de branqueamento pelo seu efeito deletério ao meio ambiente, em especial devido a formação de dioxinas.

No processo de branqueamento com cloro, uma porção significativa do cloro combina diretamente com a lignina, a qual é um composto aromático. A lignina tem átomos arranjados em anéis, e átomos de cloro podem vir a atacar estes anéis. Dioxinas são parte dos grupos aromáticos clorados (2).

Desde a descoberta das dioxinas em efluentes de fábricas de polpa kraft branqueada em meados dos anos 80, esforços têm sido concentrados na eliminação de compostos organoclorados (AOX) dos efluentes (3).

Diante deste fato, a tecnologia de branqueamento de polpa tem vivido momentos de grande turbulência nos últimos dez anos. Porém, os processos convencionais de branqueamento com reagentes clorados são dominantes e deverão ainda manter sua hegemonia por algum tempo, especialmente na América do Norte e no Japão (4).

Na América do Norte, a maioria das fábricas tem optado pela produção de polpa ECF porque o capital de investimento necessário para adequação da fábrica atual para TCF é muito alto e não apresenta benefícios ambientais significativos (5). Por outro lado, seqüências de branqueamento TCF são tecnologias estabelecidas nos países nórdicos. América do Norte ainda

defende o branqueamento com dióxido de cloro, enquanto que as indústrias nórdicas pretendem fechar o circuito de branqueamento com o processo TCF.

Enquanto a indústria de papel e celulose procura alternativas para os agentes branqueadores à base de cloro, uma atenção crescente está sendo focalizada no uso de agentes à base de oxigênio (oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio). Não somente estes produtos químicos não produzem matérias orgânicas cloradas no efluente do branqueamento, mas este efluente está isento de componentes corrosivos e pode ser completamente reciclado no sistema químico de recuperação da fábrica (6).

Dentre as modificações estudadas e realizadas no processo de branqueamento, a pré-deslignificação com oxigênio tem seu papel fundamental na redução do impacto causado ao meio ambiente, uma vez que o seu efluente retorna para a etapa de recuperação.

O uso de oxigênio nas plantas de branqueamento de celulose se tornou uma realidade. Isto devido às inúmeras vantagens apresentadas por esta tecnologia e, principalmente, por ser um processo econômico e ambientalmente viável. O oxigênio pode ser usado no pré-branqueamento, em estágios de extração alcalina, ou mesmo em conjunto com o peróxido de hidrogênio, melhorando, significativamente, a eficiência do processo (7).

A deslignificação convencional com oxigênio é, normalmente, projetada para reduzir o número kappa da polpa entre 30 a 50%, sendo 35% típico para madeiras de folhosas e 45% típico para madeira de coníferas (8).

Os resultados dos testes da planta piloto da pré-deslignificação com oxigênio da polpa kraft de eucalipto indicou grande potencial para obter novos produtos com alvura maior a um custo de produção menor (9).

Estudos mostram que a etapa de pré-branqueamento com oxigênio em dois estágios aumenta a eficiência de deslignificação em aproximadamente 30%, quando comparado a um único estágio. Polpas de coníferas pré-deslignificadas com oxigênio em duplo estágio, quando submetidas a branqueamento TCF apresentaram maior facilidade de obtenção de alvura que polpas pré-deslignificadas em estágio único com oxigênio, considerando-se a mesma carga de oxigênio aplicada (10). Estes autores concluem ainda que para o branqueamento TCF, quando mais intensiva for a pré-deslignificação, o menor consumo de químicos no branqueamento será obtido tomando a seqüência mais interessante do ponto de vista econômico.

No estágio de extração, normalmente, é acrescentado oxigênio e peróxido de hidrogênio para aumentar sua eficiência, sendo o estágio denominado Eop. Para se conseguir a melhor performance possível, são realizados estudos de otimização, que dependerá da seqüência e do tipo de polpa adotada. O uso de sulfato de magnésio até 0,2% auxilia na preservação da viscosidade, a partir do qual não há vantagem adicional (11).

Com o aumento da demanda para polpas ECF, o uso de peróxido se tornou essencial na extração alcalina para possibilitar a obtenção de polpas com alta alvura. No que diz respeito a polpas TCF, o peróxido de hidrogênio é um reagente essencial a este processo de branqueamento. Grande parte hoje da polpa TCF produzida no mundo é branqueada com oxigênio e peróxido de hidrogênio (12).

A produção de polpa TCF com alta alvura requer outros agentes que não apenas o oxigênio e o peróxido de hidrogênio; é necessário agentes oxidantes fortes como o ozônio (10).

A eficiência de deslignificação com ozônio é maior em polpas kraft pré-deslignificadas com oxigênio que em polpas kraft (8).

O ozônio apresenta uma menor seletividade pela lignina quando comparado com o cloro e o dióxido de cloro; desta forma a carga de ozônio aplicada no branqueamento não deve ser elevada (13). Ainda segundo estes autores o ozônio em si apresenta uma reatividade em relação a lignina de cerca de 10^6 vezes maior do que com os carboidratos, mas os produtos originados desta reação reagem mais rapidamente com os carboidratos.

O ozônio e os radicais formados sob condições de ozonização desfavoráveis reagem não apenas com a lignina mas também com carboidratos. As reações com carboidratos levam a redução da viscosidade e perda de resistências físico-mecânicas. Num estudo sobre branqueamento de polpa kraft, a aplicação de 2% de ozônio produziu uma alvura final alta, mas sofreu uma redução significativa na viscosidade. A resistência à tração foi igual às polpas branqueadas convencionalmente, mas a resistência ao rasgo foi menor (6). A degradação do ozônio e formação indesejável de grupos hidroxilas (HO \cdot) e perhidroxilas (HOO \cdot) são influenciadas pelo pH, temperatura e presença de metais pesados (10).

Como todo agente oxidante forte, o ozônio reage com quase todos os compostos orgânicos, mostrando preferência particular por aqueles que contem dupla ligação carbono-carbono. No caso da lignina entretanto, o ozônio ataca as duplas ligações da cadeira lateral e dos núcleos aromáticos (10).

Vários estudos têm mostrado que polpas ECF produzidas a partir de seqüências de branqueamento com ozônio apresentam propriedades de resistências inferiores as outras polpas ECF (10).

O ozônio é mais eficiente e seletivo quando aplicado nos últimos estágios do que nos primeiros estágios de uma planta de branqueamento. Quando uma planta é tratada com dióxido de cloro e/ou peróxido de hidrogênio antes do ozônio, a fração de lignina, facilmente extraível e altamente reativa (lignina fenólica), é removida, tornando o ozônio mais eficiente e seletivo (14).

Com relação ao branqueamento com peróxido de hidrogênio, acredita-se que é possível branquear polpas a altas alvuras, porém com grande quantidade de lignina residual. No estágio com peróxido, a lignina dissolvida é acompanhada por uma extensiva remoção de grupos cromóforos. Grupos fenólicos são degradados tanto em estágios com oxigênio quanto com peróxido e sua degradação é acompanhada por um aumento na quantidade de grupos carboxílicos (15).

O tempo de retenção do estágio de peroxidação pode ser reduzido significativamente se o estágio funcionar a altas temperatura e pressão. Entretanto, a polpa sofrerá uma perda de viscosidade. (16).

Alvura depende linearmente da temperatura e quadraticamente da carga de peróxido de hidrogênio. Há uma interação negativa entre estas duas variáveis. A alvura aumenta com a temperatura e com a dosagem de peróxido. Porém para altas cargas de peróxido, a alvura é menos afetada pela temperatura (17).

O sucesso da aplicação de peróxido no estágio de branqueamento de polpas kraft depende da etapa de quelação para remoção de íons metálicos que interferem no branqueamento

com peróxido, e o cuidadoso controle das condições do estágio para prevenir perda de alvura (18).

Para tomada de decisão entre ECF e TCF busca-se compatibilizar as variáveis: qualidade ambiental (principalmente AOX); aceitação do mercado consumidor; custo operacional; capital de investimento; possibilidade de fechamento de circuito; qualidade final da polpa (viscosidade; alvura; testes físico-mecânicos e reversão de alvura). Dependerá de cada caso específico.

As seqüências mais utilizadas pelas grandes indústrias americanas são ECF, por exemplo, D-Eop-D; D-Eop-D-E-D; D-Eop-D-Ep-D (5). Por outro lado, na Escandinávia e em alguns países da Europa tem predominado seqüências TCF, principalmente à base de oxigênio e peróxido de hidrogênio. Com relação ao Brasil, poucas indústrias implantaram TCF e a grande maioria tem buscado ECF.

As viscosidades das polpas branqueadas pelos processos TCF foram inferiores à da polpa branqueada pela seqüência convencional DEopD. Entretanto, existe muita controvérsia quanto à validade da viscosidade como um indicador das propriedades físico-mecânicas da polpa. As polpas branqueadas por processos TCF apresentaram, em amostras de polpas não refinadas, valores de módulo de elasticidade, índice de tração e índice de estouro superiores aos da polpa branqueada pela seqüência DEopD, e menores valores de índice de rasgo. Os menores valores de resistência ao rasgo desta polpa pode ser explicado pelas suas menores viscosidades (4).

A polpa branqueada pela seqüência QP(ZE)P (viscosidade de 12,1 cP e índice de rasgo de 10,0 mN.m²/g) apresentou índice de rasgo muito próximo ao da polpa branqueada pela seqüência convencional DEopD (viscosidade de 20,3 cP e índice de rasgo de 10,6 mN.m²/g). Por outro lado, a polpa branqueada pela seqüência Q(ZE)P que tinha baixa viscosidade (8,1 cP), devido ao seu alto requerimento de ozônio (0,93%), resultou no mais baixo índice de rasgo (8,5 mN.m²/g). Tais resultados indicam que existe um valor mínimo de viscosidade abaixo do qual ocorre deterioração da resistência ao rasgo da polpa. Este valor mínimo é de, aproximadamente, 10 cP. (4).

O rendimento da polpa proveniente do branqueamento TCF com ozônio foi 1% menor que o branqueamento ECF. TCF com ozônio requer maior energia de refino e apresenta maior bulk que polpa ECF. O índice de rasgo da polpa de fibra curta a índice de tração de 50 Nm/g da polpa TCF com ozônio foi quase igual à polpa ECF (19).

Material e Métodos

Para realização deste trabalho utilizou-se celulose industrial kraft-antraquinona de eucalipto não branqueada. A metodologia adotada encontra-se abaixo:

Caracterização da polpa não-branqueada

Na polpa não branqueada determinou-se o número kappa (TAPPI T236 om-85), a alvura (TAPPI T525) e a viscosidade (TAPPI TM206).

Branqueamento da Celulose a alvura 90±1%ISO

A celulose foi branqueada, em escala laboratorial, pelas seqüências de branqueamento TCF (OO - A - Eop - ZQ - Pht); Z-ECF (OO - A - Eop - ZE - D); ECF (OO - D - Eop - D) e padrão (standard) (O - C/D - Eop - D) como referência.

A pré-deslignificação com oxigênio foi conduzida em reator de branqueamento laboratorial Quantum, modelo Mark V.

Tabela I. Pré-deslignificação com oxigênio em um e dois estágios - condições laboratoriais.

Condições	pré-deslignificação em um estágio	pré-deslignificação em dois estágios
peso a.s. total de amostra (g)	3000	3000
tempo (min)	60	90
temperatura (°C)	100	100
consistência (%)	10	10
Dosagens		
hidróxido de sódio (%)	2,8	2,1
sulfato de magnésio (%)	0,25	0,25
oxigênio (atm)	6	6

Tabela II. Condições da seqüência TCF.

Condições	Estágios	A	Eop	(ZQ)	Pht
tempo (min)		30	90	1 / 30	240
temperatura (°C)		60	90	amb / 70	110 / 98
consistência (%)		10	10	40 / 10	10
pH inicial		2,5	11,5	2,5 / 6,6	11,4
Dosagens					
ácido sulfúrico 4N (%)		0,7	—	—	—
hidróxido de sódio (%)		—	1,2	0,6	0,6
peróxido de hidrogênio (%)		—	0,7	—	0,6
ozônio aplicado (%)		—	—	8,5	—
sulfato de magnésio (%)		—	0,2	—	0,2
quelante EDTA (%)		—	—	0,2	—
oxigênio (atm/15 min)		—	2	—	5

Tabela III. Condições da seqüência Z-ECF.

Condições	Estágios	A	Eop	(ZE)	D
tempo (min)		30	90	1 / 15	240
temperatura (°C)		60	90	amb / 70	75
consistência (%)		10	10	40 / 10	10
pH inicial		2,5	11,5	2,5/11,4	4,5
Dosagens					
ácido sulfúrico 4N (%)		0,7	—	—	—
hidróxido de sódio (%)		—	1,2	1,2	—
peróxido de hidrogênio (%)		—	0,7	—	—
ozônio aplicado (%)		—	—	8,5	—
sulfato de magnésio (%)		—	0,2	—	—
dióxido de cloro como cloro ativo (%)		—	—	—	3,2
oxigênio (atm/15 min)		—	2	—	—

Tabela IV. Condições da seqüência ECF.

<i>Condições</i>	<i>Estágios</i>	<i>D</i>	<i>Eop</i>	<i>D</i>
tempo (min)		60	80	180
temperatura (°C)		70	90	70
consistência (%)		10	10	10
pH inicial		—	12,2	—
Dosagens				
hidróxido de sódio (%)		—	1,5	—
oxigênio (atm/15 min)		—	2	—
peróxido de hidrogênio (%)		—	0,4	—
sulfato de magnésio (%)		—	0,2	—
dióxido de cloro como cloro ativo (%)		2,55	—	2,5

Tabela V. Condições da seqüência padrão

<i>Condições</i>	<i>Estágios</i>	<i>C/D</i>	<i>Eop</i>	<i>D</i>
tempo (min)		25	80	180
temperatura (°C)		55	90	70
consistência (%)		3,5	10	10
pH inicial		—	11,6	5,0
Dosagens				
cloro (%)		2,45	—	—
hidróxido de sódio (%)		—	1,5	—
oxigênio (atm/15 min)		—	2	—
peróxido de hidrogênio (%)		—	0,45	—
sulfato de magnésio (%)		—	0,2	—
dióxido de cloro como cloro ativo (%)		1,05	—	1,5

Caracterização da celulose branqueada

Após cada estágio de cada seqüência de branqueamento foram avaliados parâmetros de número kappa, alvura e viscosidade conforme descritos na caracterização da celulose não branqueada.

Análises da celulose branqueada

Ao final de cada seqüência, foram refinadas em moinho PFI (TAPPI T248). Para cada nível de refino (0, 1000, 1500, 2000, 2500 e 3000 revoluções), de cada seqüência de branqueamento, foram formadas 8 folhas de acordo com a norma TAPPI T205 om-88. Os ensaios físico-mecânicos foram realizados de acordo com a norma TAPPI T220. As propriedades físico-mecânicas foram determinadas para as amostras de celulose de acordo com o nível de refino. Foram determinadas as seguintes propriedades: grau de refino (°SR), volume específico aparente (cm³/g), resistência à passagem de ar (seg/100 mL), índice de rasgo (mN.m²/g) e índice de tração (Nm/g).

Resultados e Discussão

Tabela VI. Resultados de N° kappa, viscosidade e alvura

Polpas	N° kappa	viscosidade (cP)	alvura (%ISO)
Polpa não branqueada	17,0	41,2	36,4
Polpa pré-designificada em um estágio	11,3	31,2	52,3
Polpa pré-designificada em dois estágios	9,8	29,3	59,7
Sequências			
TCF - OO A Eop ZQ Pht	9,8 / 8,1 / 0,7 / —	27,5 / 21,0 / 16,7 / 13,9	59,5 / 72,3 / 82,5 / 89,6
Z-ECF - OO A Eop ZE D	9,8 / 8,1 / 0,5 / —	27,5 / 21,0 / 16,2 / 14,5	59,5 / 72,3 / 82,8 / 90,5
ECF - OO D Eop D	3,4 / 2,8 / 0,5	23,8 / 18,6 / 18,3	75,8 / 85,8 / 89,1
Padrão - O C/D Eop D	1,4 / 0,6 / 0,3	24,8 / 19,8 / 18,7	71,0 / 85,5 / 90,6

De acordo com a tabela VI, verificou-se que a eficiência da pré-designificação com oxigênio em duplo estágio foi aproximadamente 26% maior comparado a apenas um estágio. O aumento da alvura foi da ordem de 47% maior quando se compara o pré-branqueamento com um e dois estágios. Porém, a perda da viscosidade foi 19% maior na etapa com duplo estágio.

Com relação aos estágios de branqueamento constatou-se, como esperado, que o estágio ácido tem apenas como função a retirada de metais para as etapas subsequentes. Após o estágio ácido não ocorreu ganho de alvura nem redução de número kappa, ocorrendo apenas uma pequena perda da viscosidade, provavelmente pela reação do ácido sulfúrico com a celulose.

Na análise do estágio Eop, observou-se que ocorre perda relativamente acentuada da viscosidade devido à alta dosagem de soda cáustica, mesmo com adição de sulfato de magnésio para proteger a fibra. Por outro lado, o ganho de alvura e a redução de número kappa também são significativos para o processo durante a etapa de branqueamento.

Comparando-se as sequências ECF e padrão, verificou-se que as alvuras estão muito próximas após o estágio Eop, porém a sequência padrão atingiu maior alvura com menor carga de dióxido de cloro no último estágio. Este fato deve estar relacionado ao número kappa de entrada do último estágio (padrão=0,6 e ECF=2,8).

Pôde-se observar que, entre as sequências TCF e Z-ECF, onde basicamente a única diferença se encontra no último estágio, verificou-se que a sequência que contém dióxido de cloro atinge mais facilmente alvuras maiores.

A sequência ECF comparada à padrão apresentou viscosidades muito próximas. Este fato ocorreu provavelmente devido ao processo ECF ter sido realizado com pré-designificação em duplo estágio e a sequência padrão com apenas um estágio.

Pôde-se observar, como citado na revisão, que a viscosidade decresce bastante após o estágio de ozônio (10). Por outro lado, o ozônio é o reagente químico que proporciona maior redução do número kappa.

De acordo com os resultados, verificou-se que a aplicação de dióxido de cloro no primeiro estágio levou a um aumento significativo de alvura da polpa.

Tabela VII. Testes físico-mecânicos da sequência TCF

N. de revoluções	0	1000	1500	2000	2500	3000
Propriedades						
grau shopper riegler (°SR)	19	26	31	36	44	52
resistência à passagem de ar (s/100 mL)	0,8	3	5	17	20	76
volume específico (cm³/g)	2,4	1,8	1,6	1,5	1,6	1,4
índice de rasgo (mN.m²/g)	5,3	9,3	9,7	10,3	10,7	9,8
índice de tração (Nm/g)	25,1	53,8	62,0	76,2	75,5	71,1

Tabela VIII. Testes físico-mecânicos da sequência Z-ECF

N. de revoluções	0	1000	1500	2000	2500	3000
Propriedades						
grau shopper riegler (°SR)	18	24	29	36	42	51
resistência à passagem de ar (s/100 mL)	0,6	3	8	15	31	71
volume específico (cm³/g)	2,4	1,7	1,6	1,5	1,5	1,4
índice de rasgo (mN.m²/g)	5,3	9,5	10,0	10,5	9,7	9,3
índice de tração (Nm/g)	23,2	54,9	62,3	70,5	71,5	77,3

Tabela IX. Testes físico-mecânicos da sequência ECF

N. de revoluções	0	1000	1500	2000	2500	3000
Propriedades						
grau shopper riegler (°SR)	18	23	27	31	38	48
resistência à passagem de ar (s/100 mL)	0,4	2,5	5	8,9	19,7	53,7
volume específico (cm³/g)	2,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,4
índice de rasgo (mN.m²/g)	3,4	9,1	11,5	12,0	10,7	10,0
índice de tração (Nm/g)	16,1	48,6	55,6	59,7	68,1	72,8

Tabela X. Testes físico-mecânicos da sequência padrão

N. de revoluções	0	1000	1500	2000	2500	3000
Propriedades						
grau shopper riegler (°SR)	18	23	29	33	41	47
resistência à passagem de ar (s/100 mL)	0,6	1	5	13	29	55
volume específico (cm³/g)	2,6	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4
índice de rasgo (mN.m²/g)	3,8	7,5	9,3	9,6	10,6	8,6
índice de tração (Nm/g)	21,2	44,0	62,5	68,8	78,2	79,1

Pôde-se observar, de acordo com o gráfico 1, que as polpas branqueadas com ozônio se apresentaram ligeiramente mais fáceis de se refinar. A polpa ECF foi a que se desenvolveu menos durante o refino.

A resistência à passagem de ar é uma medida indireta da porosidade da folha. Tem influência direta no processo de fabricação de papel, onde está relacionado com a etapa de secagem. Entretanto, não se observou diferenças significativas para esta propriedade no grau shopper riegler próximo de 30.

Com relação ao bulk, praticamente não houve diferença entre as sequências, mostrando que este parâmetro está mais relacionado à qualidade intrínseca da fibra do que com a etapa de branqueamento.

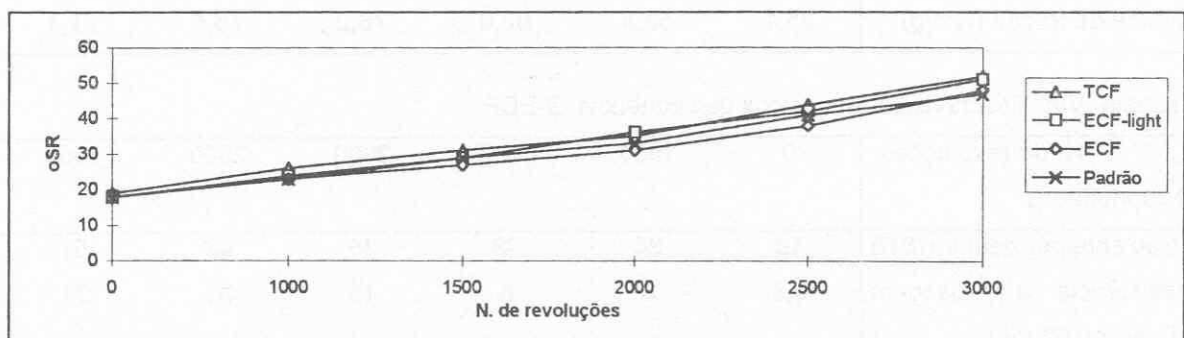


Gráfico 1. Relação entre grau de refino e número de revoluções em PFI

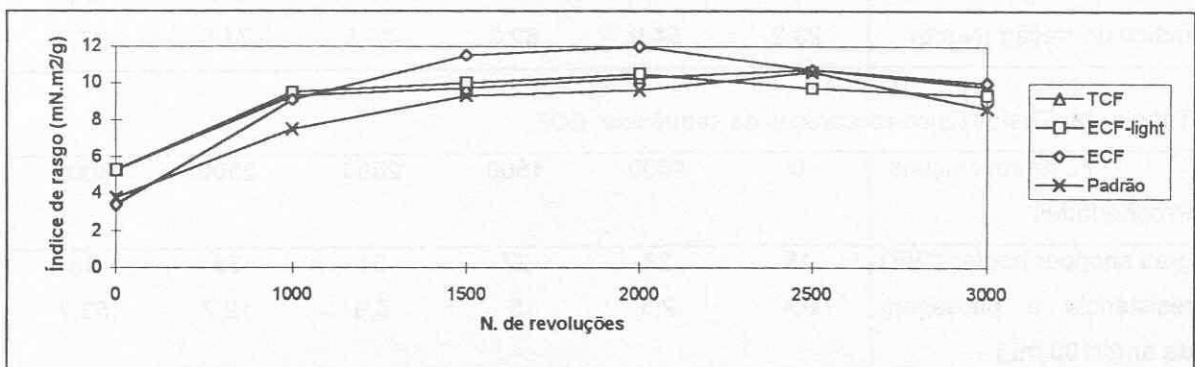


Gráfico 2. Relação entre Índice de rasgo e número de revoluções em PFI.

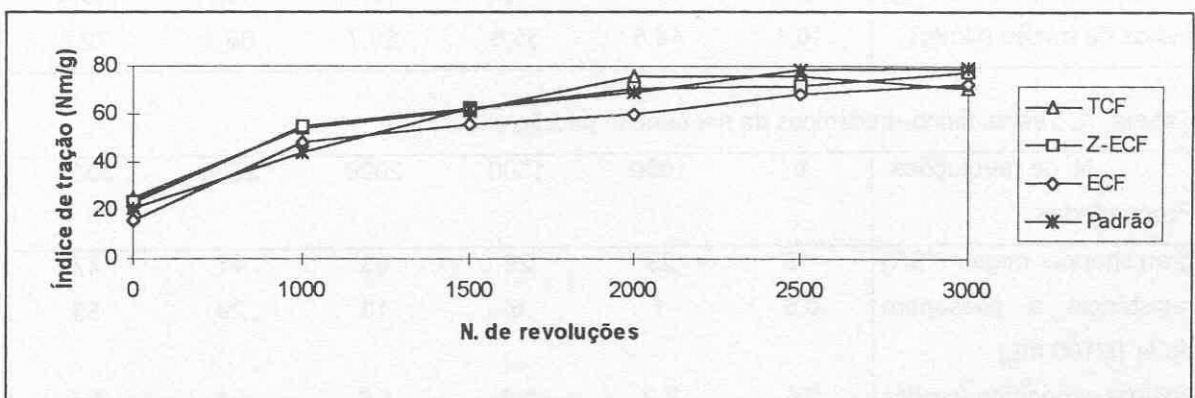


Gráfico 3. Relação entre índice de tração e número de revoluções em PFI.

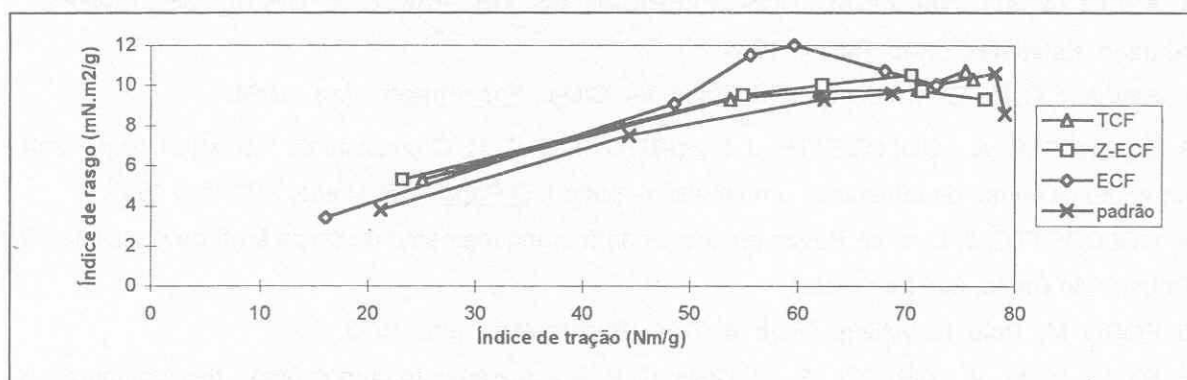


Gráfico 4. Relação entre índice de rasgo e índice de tração

Ao se analisar os gráficos 2, 3 e 4, observou-se que para mesma tração (70 Nm/g), as polpas praticamente se equivalem com relação ao índice de rasgo. A sequência ECF apresentou maiores índices de rasgo e a sequência padrão os menores. De acordo com estes gráficos, quando se compara polpas TCF e Z-ECF com a padrão, no que diz respeito ao índice de rasgo e tração, estas polpas são consideradas similares ou ligeiramente superiores.

Conclusões

Para obtenção de uma mesma alvura final, a sequência TCF necessita de dosagens mais elevadas de reagentes químicos.

O ozônio é o reagente químico que apresentou maior degradação da celulose no processo de branqueamento, porém é o que proporciona maior redução do número kappa. As polpas TCF e Z-ECF foram as que apresentaram menor viscosidade devido ao uso do ozônio.

A polpa ECF foi a que apresentou os maiores índices de rasgo e os menores índices de tração e a polpa padrão os menores índices de rasgo e os maiores índices de tração.

As polpas branqueadas com ozônio (TCF e Z-ECF) são mais facilmente refináveis. Verificou-se que é possível atingir qualidades similares às polpas ECF e padrão para o índice de tração de 70 Nm/g.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Jorge L. Colodette, pela possibilidade de realizar o branqueamento das sequências com ozônio no laboratório de celulose da Universidade Federal de Viçosa.

Referências Bibliográficas

1. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE PAPEL E CELULOSE . (ANFPC). Anuário Estatístico. São Paulo. 1994.
2. SWANN, C. E. Environment. The Case for ClO₂. Papermaker. Jan., 1994.
3. MOUNTEER, A. ; COLODETTE, J. L. ; BRITO, A. S. C. H. O conceito da fábrica de polpa kraft branqueada isenta de efluentes - uma revisão - parte I. O Papel. São Paulo, SP. Abr., 1995.
4. COLODETTE, J. L. et al. Novos processos para branqueamento de polpa kraft de eucalipto. O Papel. São Paulo, SP. Fev., 1994.
5. FORD, M. Pulp bleaching. Tried & True. Papermaker. jun, 1995.
6. BYRD Jr., M. V. ; GRATZL, S. ; SINGH, R. P. Branqueamento com ozônio - designificação e branqueamento de polpas químicas com ozônio: um retrospecto. O Papel. São Paulo, SP. Fev, 1993.
7. BARNA, J.; SALLES, D. V. C.; SALVADOR, E., COLODETTE, J. L. Efeito da adição de peróxido de hidrogênio na designificação com oxigênio em duplo estágio. O Papel. São Paulo, SP. Agosto, 1997.
8. COLODETTE, J. L. et al. Fatores que afetam a branqueabilidade de polpas kraft com oxidantes derivados do oxigênio. Trabalho apresentado no 28º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. São Paulo. nov., 1995.
9. MOKFIENSKI, A . & DEMUNER, B. J. Pilot-plant experience with ozone in TCF bleaching of eucalypt pulp. Tappi Journal, vol.77, nº11, nov., 1994.
10. FUHRMANN, A.; LI, X-L. & RAUTONEN, R. Effects of ECF and TCF Bleaching Sequences on the Properties of Softwood Kraft Pulp. Journal of Pulp and Paper Science: vol. 23, nº10, october, 1997.
11. SANTOS, L. N. D. ; BARBOSA, G. S. ; MALLETT, S. M. S. ; SILVA FILHO, J. P. ; MACIEL, P. S. G. Otimização da temperatura no estágio Eop - A experiência industrial da Jari. O Papel. São Paulo, SP. Jun., 1997.
12. ALBERT, R. J. International Non-Chlorine Bleaching Conference. Amelia Island, USA. March, 1994.
13. DENCE, C. W.; REEVE, D. W. Pulp Bleaching. Principles and Practice. TAPPI PRESS. Atlanta. 1996.
14. SILVA, M. R.; COLODETTE, J. L. & BRITO, A. S. C. H. Aplicações do ozônio no branqueamento ECF de polpa kraft. O Papel. São Paulo, SP. Jan., 98.
15. GELLERSTEDT, G. & HEUTS, L. Changes in the Lignin Structure During a Totally Chlorine Free Bleaching Sequence. Journal of Pulp and Paper Science: vol. 23, nº7, july, 1997.
16. FLETCHER, D. E.; JOHANSSON, N. G.; BASTA, J. J.; HOLM, A-S. & WACKERBERG, E. TCF bleaching of sulfite pulps - new aspects. Tappi Journal, vol.80, nº12, december, 1997.
17. VIDAL, T.; PEPIÓ, M.; COLOM, J. F. Hydrogen peroxide addition in the (E+O) stage. Tappi Journal. October, 1989.
18. LIEROP, B. V.; LIEBERGOTT, N. & FAUBERT, M. G. Using Oxygen and Peroxide to Bleach Kraft Pulps. Journal of Pulp and Paper Science: vol. 20, nº7, july, 1994.

19. RAUTONEN, R.; RANTANEN, T.; TOIKKANEN, L. & MALINEN, R. TCF Bleaching to High Brightness - Bleaching Sequences and Pulp Properties. Journal of Pulp and Paper Science: v. 22, n.8. Ago., 1996.
20. SHACKFORD, L.D.; PEREIRA, E.R.; BREED, D.; COLODETTE, J. L. A novel peroxide bleaching process for cost-effective retrofit of existing bleach plants to ECF and TCF bleached pulp production. 28 Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP. São Paulo, SP. 1994.
21. TAPPI TEST METHODS, Atlanta, TAPPI PRESS, 1988.