

IMPREGNAÇÃO DE CAVACOS DE EUCALIPTO COM EFLUENTES SETORIAIS

Autores*: Walaston Martins de Souza¹
Leandro Coelho Dalvi¹
Leonardo Souza de Caux¹



RESUMO

Durante o processo de polpação grande parte da carga alcalina é consumida pelo fenômeno conhecido como neutralização da madeira, em que grupos ácidos nela presentes são neutralizados, consumindo grande parte dos químicos na fase inicial do cozimento. Com o intuito de promover redução no consumo de químicos foram avaliadas algumas alternativas para remoção desses compostos antes da dosagem de álcali, que, diretamente, proporcionará redução da carga alcalina e em consequência elevação do rendimento. Neste estudo, a impregnação dos cavacos foi avaliada considerando diferentes composições de filtrados e condições de tempo e temperatura. Ganhos consideráveis foram apresentados em relação aos itens propostos, como a remoção de grupos ácidos e redução da carga alcalina necessária para a obtenção do mesmo número kappa. Em decorrência desse efeito observou-se aumento de rendimento e outros ganhos adicionais, como a lixiviação dos metais e seus impactos benéficos ao processo. Dos filtrados avaliados, a água branca apresentou-se como melhor alternativa por apresentar ganhos consideráveis no rendimento e redução de químicos durante os processos de polpação e branqueamento. Avaliaram-se também os efeitos da impregnação na composição da madeira e no filtrado gerado, uma vez que a impregnação remove parte das matérias orgânica e inorgânica da madeira. O estudo apresentou ganhos significativos relacionados à impregnação, sendo portanto indicado como alternativa viável para a otimização do processo.

Palavras-chave: álcali, branqueabilidade, impregnação, kappa, polpação.

INTRODUÇÃO

Em um mercado globalizado e competitivo onde as variáveis qualidade e preço se tornam cada vez mais uniformes, as empresas

procuram por redução de custos e otimizações de processos como diferencial competitivo.

No setor de celulose, a exemplo dos demais ramos da indústria, a competitividade acirrada, as exigências do mercado e, principalmente, a sensibilidade que o setor apresenta às crises econômicas e aos fatores macroeconômicos levam as empresas a busca constante do ponto ótimo entre custo de produção e qualidade final, objetivando a máxima eficiência do processo, pois que o preço do produto - classificado como *commodity* - é determinado pelo mercado.

De acordo com Smook (1997) e D'Almeida (1988), o processo sulfato - ou kraft - é o mais importante e difundido entre os vários processos de obtenção de celulose, isso em função de sua simplicidade, rapidez e versatilidade em relação às matérias-primas a serem empregadas, além das excelentes características que conferem à celulose em termos de resistência mecânica e, ainda, a possibilidade de recuperação do licor residual (licor negro), o que confere ao processo um ganho econômico considerável.

Vários fatores contribuem para a composição do custo total do processo de polpação, como a desuniformidade da madeira, a demanda de energia, o consumo de álcali, o efluente gerado, o consumo específico de madeira e, em especial, o rendimento do processo, calculado em função da quantidade de polpa produzida em relação à quantidade de cavacos (madeira) utilizada.

Na busca do processo ideal alguns paradigmas tem sido quebrados, o que pode ser observado pelas novas tecnologias praticadas, os conhecidos digestores modificados: MCC, EMCC, ITC e *Lo-Solids*, componentes de novos sistemas de cozimento promotores da otimização e da estabilização dos processos por via da redução de temperaturas e da carga alcalina, aplicadas em diferentes etapas e concentrações, objetivando aumentos da taxa de

* Referências dos autores:

1. Celulose Nipo-Brasileira S.A. CENIBRA. - BR 381, km 172. Belo Oriente. MG - Brasil

Autor correspondente: Walaston Martins de Souza – E-mail: walaston.souza@cenibra.com.br

deslignificação e de rendimento com conseqüente redução de químicos de branqueamento e menor impacto ambiental.

Além destas inovações tecnológicas, mudanças no processo, especialmente através da variação da sulfidez, da relação entre sulfeto de sódio (Na_2S) e hidróxido de sódio (NaOH) e da utilização de aditivos - como a antraquinona e o polissulfeto - tem se tornado práticas comuns no setor.

Contudo, as mudanças no processo de polpação terão efeito nos estágios subseqüentes, devendo, portanto, ser analisadas em conjunto, pois os benefícios observados no processo de polpação poderão trazer prejuízos para a branqueabilidade da polpa ou a características do produto final.

O NaOH destaca-se como principal químico utilizado no processo de polpação para deslignificação da madeira, embora seja também responsável pela neutralização dos grupos ácidos - ou desacetilação - que, segundo GOMIDE (1979), ocorre por completo na fase inicial no cozimento e, conforme GOMIDE e FANTUZZI NETO (2000), nos primeiros 60 minutos do cozimento, onde a temperatura é de 120 °C.

O processo de deslignificação é descrito em três fases: fase inicial, fase principal e fase residual, sendo que a fase inicial, onde segundo GOMIDE (1979) ocorre a desacetilação por completo, corresponde à fase de impregnação, teoricamente não consumidora de álcali, porém a neutralização dos grupos ácidos o consome.

De acordo com MIMMS *et al.* (1993), a cinética da polpação kraft é complexa e pode ser dividida em etapas:

- transporte de íons de licor de cozimento para a superfície do cavaco;
- difusão dos íons para o interior do cavaco;
- reações químicas entre íons e os componentes da madeira;
- difusão dos produtos das reações do licor para o exterior do cavaco;
- transporte dos produtos de reação para o licor de cozimento.

A primeira e segunda etapas representam a fase inicial da polpação, onde o licor penetra nos vazios do cavaco chegando a seu interior por difusão. A penetração é um mecanismo físico, já a difusão é um mecanismo físico-químico. Penetração é o fluxo de licor através da madeira sob influência de um gradiente de pressão hidrostática; já a difusão se dá através do movimento de íons ou outro soluto através da água sob um gradiente de concentração (STONE, J. E. e FORDERREUTER, C., 1956).

Segundo FOELKEL (1977), a difusão necessita de água e atinge seu ótimo quando a madeira está saturada. A penetração se dá através dos vasos e lumens das fibras, traqueídeos e parênquima via pontuações, e seu ótimo ocorre em madeira relativamente seca.

D'ALMEIDA (1988) afirmou que em perfeitas condições o fenômeno da impregnação possibilita o transporte dos agentes

químicos pelas paredes da fibra até o local de reação, a lamela média, onde a lignina está altamente concentrada. De acordo com STONE (1956), soluções alcalinas penetram mais devagar que soluções ácidas. A velocidade de penetração no sentido longitudinal/transversal ocorre numa razão de 100:1 para coníferas e 10.000:1 para folhosas.

Já a difusão é mais efetiva em curtas distâncias, também envolvendo os capilares da parede celular e os poros maiores.

BORLEW *et al.* (1970) esclarecem que os resultados obtidos por STONE (1956) valem para solução neutra; em solução alcalina, devido ao inchamento das fibras, a velocidade de difusão seria praticamente a mesma em todas as direções.

Portanto, para um bom desempenho na polpação é desejável que o cavaco esteja o máximo possível impregnado antes de se elevar a temperatura para atingir a fase de deslignificação principal, onde a vantagem de uma eficiente impregnação será ganho de seletividade, que representa baixa degradação de carboidratos com alta deslignificação, o que pode ser mensurado através da relação rendimento depurado - ou viscosidade - com número kappa.

Estudos relatam que grande parte do álcali efetivo é consumida antes de as reações de intensa deslignificação terem início, ainda no processo de neutralização da madeira que ocorre na fase de impregnação dos cavacos no digestor, o que pode representar uma perda considerável em massa, afetando, com isso, o rendimento do processo.

Portanto, o presente estudo tem por finalidade avaliar os efeitos relacionados à impregnação dos cavacos com utilização de efluentes setoriais e água branca da secagem da polpa, com o objetivo de promover a remoção de grupos acetila, de extrativos e outros, proporcionando redução de álcali, aumento de rendimento e limpeza dos cavacos por via da remoção de areia, de finos e de contaminantes leves, como plástico e borracha.

Dentro dos efluentes setoriais a serem avaliados, os efluentes alcalinos apresentam elevado residual de sódio podendo, com isso, representar reaproveitamento desse álcali, visto que será reenviado ao processo de recuperação após o cozimento; deve-se porém atentar também para possíveis inconvenientes como a presença de cloreto e potássio, que se constitui em riscos ao sistema de recuperação química.

É também objetivo deste estudo avaliar as alterações químicas ocorridas na composição da madeira e na polpa gerada após impregnação, além dos possíveis impactos na branqueabilidade da polpa e ambientais através da tratabilidade do efluente gerado, uma vez que compostos orgânicos lixiviados da madeira não serão mais enviados para queima na caldeira juntamente com o licor preto.

Para avaliar estes efeitos foi realizado um teste de referência em condições idênticas, mas sem o tratamento com pré-hidrólise. Procurou-se, também, estabelecer os ganhos econômicos resultantes em função da redução de reagentes químicos e aumento no rendimento da polpação.

MATERIAIS E MÉTODOS

As normas aplicadas no estudo estão relatadas na **Tabela 1**.

Os métodos de análises utilizados foram padrões TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry - 2000), Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - 1998 e SCAN-test Methods - 1994.

Tabela 1. Metodologias utilizadas no estudo

Nº	PROCEDIMENTO CENIBRA	REFERÊNCIA
P0251	PASTA CELULÓSICA E MADEIRA - DETERMINAÇÃO DE LIGNINA	NBR 7989 / TAPPI um 250
P0253	DETERMINAÇÃO DE CASCAS, NÓS E GRANULOMETRIA DOS CAVACOS INDÚSTRIAS	TAPPI 265
P0255	PASTAS CELULÓSICAS - DETERMINAÇÃO DE CONSISTÊNCIA E TEOR DE FIBRAS	TAPPI 412
P0256	PASTAS CELULÓSICAS - DETERMINAÇÃO DO NÚMERO KAPPA	ABNT NBR ISO 302
P0258	PASTA CELULÓSICA - DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE EM SOLUÇÃO DE CUPROETILENO DE AMINA	NBR 7730
P0259	ANÁLISE DE ÁGUA E EFLUENTES HÍDRICOS - DETERMINAÇÃO DE OD E DBO	ST. MET. 4500-OC / 5210 B e C
P0261	PASTA CELULÓSICA E MADEIRA - DETERMINAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM SOLVENTE ORGÂNICO	TAPPI 204 - cm-97
P0266	PASTAS CELULÓSICAS - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZA E CINZA INSOLÚVEL EM ÁCIDO CLORÍDRICO	NBR 13999 e 14000
P0291	REFINO EM PASTA CELULÓSICA E PREPARO DE FOLHAS PARA ENSAIOS FÍSICOS	NBR 14031, 14344, 14345 e ABNT NBR ISO 5269-1
P0297	PASTAS CELULÓSICAS - DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS FÍSICO-MECÂNICAS E ÓPTICAS	CNB P0297
P0301	ANÁLISE DOS PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS PARA BRANQUEAMENTO DE PASTA CELULÓSICA	TAPPI 620 e 613
P0316	COZIMENTO EM LABORATÓRIO	CNB P0316
P0347	ANÁLISE DOS LICORES BRANCO E VERDE, LICOR BRANCO OXIDADO, TANQUE DISSOLUÇÃO DE SMELT	SCAN - N 2:88
P0379	DETERMINAÇÃO DE UMIDADE E DAS DENSIDADES: A GRANEL, BÁSICA E APARENTE	CNB P0379
P0238	DETERMINAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – MÉTODO DO DICROMATO POR REFLUXO FECHADO	SCAN-CM 45:91
P0273	DETERMINAÇÃO DE CLORETO	TAPPI 256
P0279	BRANQUEAMENTO DE PASTA CELULÓSICA EM LABORATÓRIO	
P0576	PASTAS CELULÓSICAS - DETERMINAÇÃO DE ALVURA, NÚMERO DE COR POSTERIOR E REVERSÃO	NBR 14528:2002 e NM - ISO 2470

Impregnantes

Foram coletados e classificados 40 kg a.s. de cavacos no pátio industrial. Os cavacos foram mantidos em sacos de polietileno lacrados, sob refrigeração, antes de serem submetidos a pré-hidrólise.

Inicialmente, determinou-se o impregnante ideal através de avaliação dos resultados obtidos de pré-hidrólises com quatro possíveis alternativas em diferentes condições de tempo e temperatura, conforme **Tabela 2**.

A pré-hidrólise a 85°C durante 24 h foi realizada em banho-maria com temperatura controlada, sendo as demais impregnações realizadas em reator laboratorial Hatto. Nesses testes foram utilizados 100 g de cavacos absolutamente secos (a.s.) para cada condição.

Tabela 2. Condição de impregnação

Condições	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Impregnante
Teste 1	1440	85	Água
Teste 2	1440	85	Água branca
Teste 3	1440	85	Filtrado alcalino
Teste 4	1440	85	Condensado
Teste 5	60	100	Água
Teste 6	60	100	Água branca
Teste 7	60	100	Filtrado alcalino
Teste 8	60	100	Condensado
Teste 9	60	110	Água
Teste 10	60	110	Água branca
Teste 11	60	110	Filtrado alcalino
Teste 12	60	110	Condensado
Teste 13	60	120	Água
Teste 14	60	120	Água branca
Teste 15	60	120	Filtrado alcalino
Teste 16	60	120	Condensado

Cozimento

Para avaliação inicial, realizou-se o experimento mediante cinco curvas de cozimento em reator Hatto, sendo utilizada como referência madeira sem tratamento inicial, e as demais após impregnadas, conforme delineado. O cozimento foi efetuado conforme condição estabelecida na **Tabela 3**.

Tabela 3. Condição de cozimento

Tempo (min)	150
Temperatura (°C)	170
Relação licor:madeira	3:1
Sulfidez (%)	30

Após definido o impregnante ideal efetuou-se cozimento com 450g a.s de cavacos com e sem pré-hidrólise (referência), sendo também realizado cozimento de cavaco pré-hidrolisado com o mesmo teor de álcali encontrado para referência.

Branqueamento

Para determinação do consumo de dióxido de cloro foram realizadas curvas de branqueamento utilizando a sequência OD(EP)DP interpolada para alvura 90% ISO. Após interpolação, efetuou-se o branqueamento das polpas.

Refino

As polpas branqueadas foram refinadas em moinho PFI para três diferentes níveis de refino (500, 1000 e 1500 rpm). Foram realizados testes físico-mecânicos em sala climatizada a 50±2% de umidade relativa e temperatura de 22,0±1°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O álcali efetivo estimado para obtenção de polpa com número kappa 17 foi obtido através de interpolação de curvas (**Figura 1**),

onde foi analisada a influência das variáveis tempo e temperatura da pré-hidrólise para os diversos impregnastes.

Embora o tempo de pré-hidrólise de 24 horas tenha apresentado os melhores resultados se considerada a redução de álcali, o tempo foi considerado como muito extenso para justificar os ganhos observados.

Diante disso, avaliou-se o efeito das temperaturas 110°C e 120°C por 60 minutos, casos em que, conforme **Figura 2**, ocorreu comportamento similar em relação ao rendimento depurado para os diferentes impregnantes e condições, mas com variações significativas na viscosidade da polpa, em especial quando utilizada água desmineralizada, condição em que ocorreu redução considerável.

Em função da não constatação de ganhos significativos considerando a elevação da temperatura, optou-se pelo tempo de 60 minutos e temperatura de 110°C, definindo-se a água branca como o líquido impregnante em função do ganho de viscosidade apresentado e dos menores impactos que geraria ao sistema de recuperação comparativamente aos demais impregnantes.

Após definidas as condições e o impregnante efetuou-se nova impregnação e avaliou-se o filtrado gerado, onde, de acordo com a **Tabela 4**, observaram-se alterações nos parâmetros pH, cloreto e DQO dos filtrados.

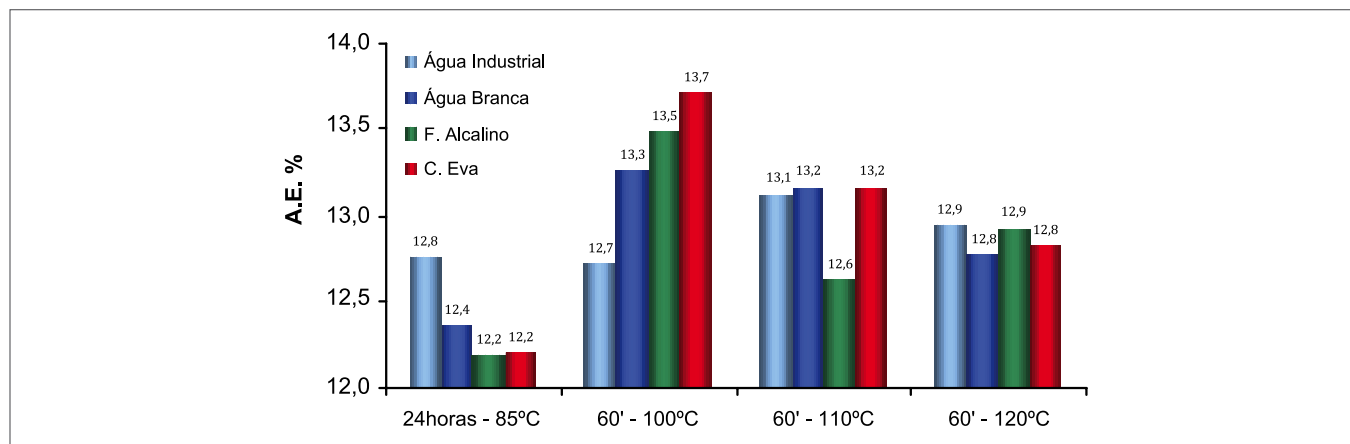


Figura 1. Álcali efetivo estimado para número kappa 17

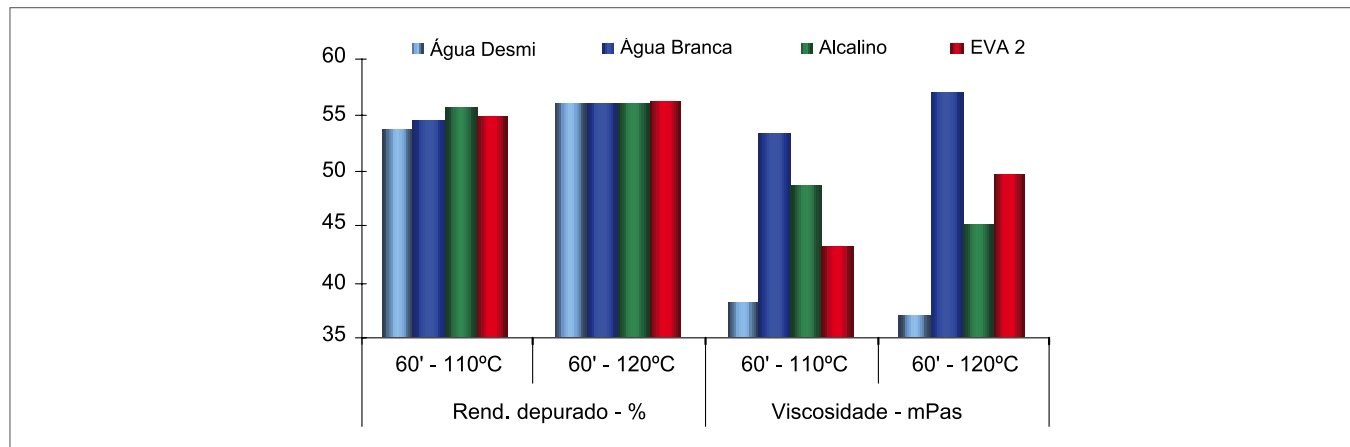


Figura 2. Variações do rendimento depurado e viscosidade da polpa para número kappa 17

A redução do pH no filtrado gerado se justifica devido a quebra de grupos acetilas presentes na madeira, conseqüentemente, com formação de ácidos acéticos.

O cloreto teve aumento significativo, demonstrando a capacidade de remoção desse íon do cavaco pela pré-hidrólise com água branca. A remoção do cloreto é muito interessante para evitar seja enviado ao ciclo de recuperação, minimizando problemas de incrustação na caldeira.

Contudo, o aumento da concentração de matéria orgânica nos filtrados, medida como DQO, indica a extração de compostos orgânicos da madeira, o que pode ser um problema para a estação de tratamento de efluentes.

Tabela 4. Caracterização dos filtrados

Amostra	pH	Cl ppm	DQO mg/L	Fibras g/L
Água branca	7,2	20,0	29,5	0,353
Filtrado da impregnação	5,1	94,3	1.743,4	-

Efetou-se também a avaliação da variação de metais na madeira referência e após pré-hidrólise, onde se observaram, conforme **Tabela 5**, reduções significativas em todos os metais a exceção

Tabela 5. Teor de íons nos cavacos antes e após a impregnação

METAIS	CAVACO SEM IMPREGNAÇÃO			CAVACO COM IMPREGNAÇÃO		
	Base cinza, ppm	base massa seca, g/t	%	Base cinza, ppm	base massa seca, g/t	%
Al	12704	25,41	0,003	16188	21,04	0,002
Mn	6917	13,83	0,001	8676	11,28	0,001
Cu	237	0,47	0,000	324	0,42	0,000
Fe	5780	11,56	0,001	13035	16,95	0,002
Ca	85377	170,75	0,017	106803	138,84	0,014
Mg	39066	78,13	0,008	42326	55,02	0,006
Zn	985	1,97	0,000	1165	1,51	0,000
Na	79075	158,20	0,016	95296	123,90	0,012
K	127737	255,50	0,023	79075	102,80	0,010

Tabela 6. Teor de extrativos, lignina e cinzas no cavaco antes e após impregnação

Amostra	Extrativos, %	Lignina insolúvel, %	Lignina solúvel, %	Teor de cinzas, %	Dens. básica, kg/m ³
Referência	0,822	24,38	3,55	0,20	450,67
Pré-hidrolisada	0,893	24,97	3,65	0,13	-

Tabela 7. Condição de cozimento

Amostra	A. E. %	Número kappa	Kappa HexA	R. dep. %	Viscosidade mPas	Alvura % ISO
Cavaco ind. ref.	13,8	17,25	5,5	53,63	41,0	36,1
Cavaco ind. impr. 60'	13,0	17,35	4,9	54,82	36,0	35,5
Cavaco ind. impr. 60'	13,8	16,10	5,7	53,35	37,4	36,3

do ferro, e com destaque para cálcio (18,7%), magnésio (25,6%), sódio (21,7%) e potássio (59,8%), valores expressos em gramas por tonelada.

Na **Tabela 6** observam-se aumentos para os teores de lignina solúvel e insolúvel, além dos extrativos, justificados pela perda de massa da madeira ocorrida em função da hidrólise de grupos acetilas. Porém, destaca-se a redução do teor de cinzas, confirmando a lixiviação de metais observados na polpa após impregnação.

Depois de estabelecidas as condições, três amostras de cavacos foram submetidas ao cozimento, sendo duas com o objetivo de se obter número kappa 17 (referência e cavaco impregnado) e a terceira, com cavaco impregnado, utilizando a mesma carga alcalina da referência - ver **Tabela 7** - onde se nota que o cavaco impregnado apresenta consumo de álcali 0,8 ponto abaixo do consumido pela amostra referência e, conseqüentemente, propiciando aumento de rendimento em aproximadamente 1%.

Observou-se também redução da viscosidade para o cavaco impregnado, porém considerada pouco significativa diante dos ganhos obtidos no rendimento da polpação e na redução do consumo de álcali.

Outra importante informação diz respeito à composição do número kappa, mais especificamente quanto de sua grandeza é composta

por ácidos hexenurônicos (HexA) formados durante a polpação alcalina pela modificação dos ácidos 4-O-metilglicurônicos, tornando-se responsáveis pela preservação de xilanas devido à interrupção da reação de despolimerização terminal.

Com a elevação do álcali ou da temperatura de polpação tende a aumentar a perda de metoxilas presentes no ácido 4-O-metilglicurônico e, conseqüentemente, com maior formação do HexA. Porém, este aumento se dá até determinada condição, onde condições severas tendem a degradar os HexA's formados, conforme relatado por Colodette *et. al.* (2000).

Os resultados indicaram teores de HexA's mais elevados quando efetuou-se cozimento com maior carga de álcali (13,8%) independentemente da impregnação, uma vez que a polpa obtida com cozimento de madeira impregnada na mesma condição da referência - sem impregnação - apresentou valores similares, embora com número kappa final mais baixo (16,1).

Confirmando esta afirmação, a polpa obtida para número kappa 17,0 após impregnação apresentou menor teor de HexA, indicando que a menor formação se deve a menor carga alcalina (13,0 %).

As polpas obtidas foram branqueadas utilizando seqüência OD(EP) DP, onde o consumo de dióxido de cloro (ClO₂) - conforme apresentado na **Figura 3** - indica que a amostra impregnada obtida através de menor dosagem de álcali apresentou menor consumo de ClO₂, tendo a polpa referência proveniente da madeira não impregnada apresentado o maior consumo.

De acordo com os resultados observados, a polpa obtida após impregnação necessitaria de 2,31 kg/tsa a mais que a polpa impregnada.

A diferença no consumo de ClO₂ pode ser melhor entendida ao verificar a composição do número kappa da polpa não branqueada onde, conforme resultados da Tabela 7, houve menor formação de HexA na amostra pré-hidrolisada utilizando menor carga alcalina, com isso, apresentou maior eficiência na deslignificação com oxigênio uma vez que o referido estágio não remove HexA, favorecendo, conseqüentemente, os estágios de branqueamento subsequentes com número kappa mais baixo, proporcionando menor consumo de químicos.

Outro fato relevante: a composição da polpa proveniente do cavaco impregnado, na entrada do branqueamento, apresentou menor teor de metais, conforme Tabela 5, o que também favorece o menor consumo de oxidantes no branqueamento.

Ao observar o impacto da pré-hidrólise no efluente gerado na seqüência de branqueamento D(EP)DP, verifica-se não ter havido variação significativa de DQO entre as amostras - conforme **Figura 4** - embora se deva ressaltar seu aumento no filtrado gerado após pré-hidrólise, como anteriormente mencionado.

As polpas branqueadas foram refinadas para avaliação de possíveis diferenças em função da impregnação, porém, como pode ser visto nas **Figuras 5 e 6**, para valores de consumo de energia e de Índice de Tração não foram observadas diferenças significativas para

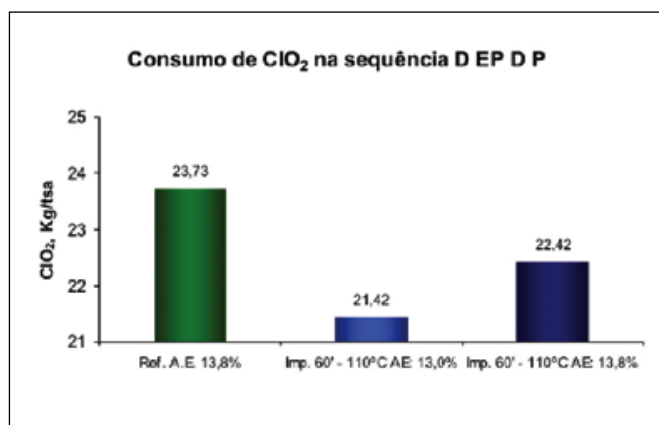


Figura 3. Consumo de ClO₂ durante o branqueamento das polpas

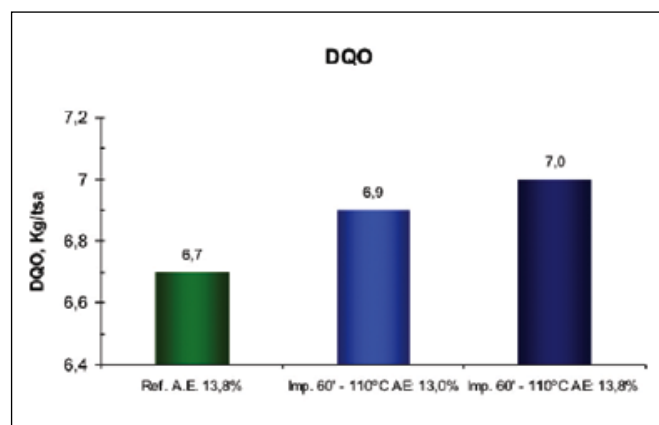


Figura 4. DQO gerado na seqüência de branqueamento D(EP)DP

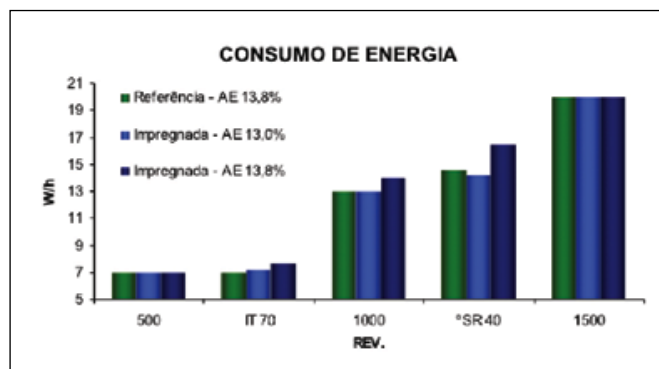


Figura 5. Consumo de energia durante o refino

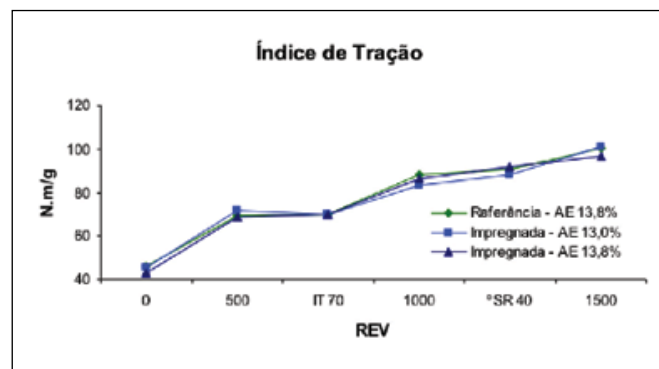


Figura 6. Variação do Índice de Tração

as polpas referência e impregnada (AE 13,0%), considerando obtenção do número kappa 17.

Observa-se, contudo, tendência de elevação do consumo para polpa proveniente de madeira impregnada com álcali 13,8%, fato, este, que pode estar associado ao menor número kappa (16,1) obtido por meio de um processo mais drástico, para o qual se espera menor teor de hemiceluloses e, conseqüentemente, maior demanda de energia durante o refino.

CONCLUSÃO

A pré-hidrólise apresentou redução significativa no consumo de álcali além de aumento expressivo de rendimento, o que pode proporcionar ganho considerável de produção.

O filtrado gerado após impregnação apresentou alta carga orgânica, contudo, sua biodegradabilidade deverá ser mais bem analisada.

A pré-impregnação favorece a limpeza da madeira e a lixiviação

dos metais, proporcionando reduções nos conteúdos de sílica, cloreto, cálcio e potássio, o que favorecerá o ciclo de recuperação.

O estudo apresentou também redução significativa de ClO_2 durante o branqueamento, onde a polpa impregnada apresentou melhor branqueabilidade.

As amostras branqueadas não apresentaram diferenças significativas na refinabilidade e nas propriedades físico-mecânicas.

Concluiu-se, portanto, que a pré-hidrólise oferece benefícios na polpação, onde foi observado menor consumo de NaOH e Na_2S_2 , menor formação de ácido hexenurônico, menor consumo de ClO_2 para a mesma alvura final, isso sem comprometimento na qualidade do efluente gerado e na manutenção das propriedades físico-mecânicas do produto final.

Agradecimentos

À Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA) pela oportunidade, ao Departamento de Meio Ambiente e Qualidade, à coordenação e funcionários do DEMAQ-P. ■

REFERENCES

1. D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). *Celulose e papel*. 2ª ed. São Paulo: IPT, 1988. v. 1.
2. BORLEW, P.B; MILLER, R.L. *chip tickness: a critical dimension in kraft pulping*. Tappi, Atlanta, v.53, n.11, p.2107-2111, Nov. 1970.
3. BUSNARDO, C.A. *Estudos sobre a deslignificação da madeira de eucalyptus urophylla de origem híbrida, pelo processo kraft para produção de celulose*. Dissertação mestrado (Ciências florestais) UFV Viçosa MG, 186p. 1981
4. CHAI, X.-S.; LUO, Q.; YOON, S.-H.; ZHU, J. Y. *The fate hexenuronic acid groups during kraft pulping of hardwoods*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY, 11. Volume II: Poster Presentations... France. June 11 to 14, 2001. p. 257-260.
5. CHAKAR, F.; ALLISON, L.; RAGAUSKAS, T.; MCDONOUGH, J.; SEZGI, U. *Influence of hexenuronic acids on U.S. bleaching operations*. Tappi Journal, v. 83, n. 11, p. 62-68, 2000.
6. COLODETTE, J.L; GOMIDE, J.L; GIRARD, R.; JAASKELAINEN, A-S., ARGYROPOULOS, *Influence of pulping conditions on hardwood pulp yield, quality and bleachability*. In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 2000, Halifax, Proceedings... Montreal: PAPTAC, 2000. p. 41-48.
7. COSTA, M. M. *Influência dos ácidos hexenurônicos na branqueabilidade de polpa Kraft -O2 de eucalipto*. 2001. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
8. D'ALMEIDA, M.L.O. *Celulose e Papel. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. São Paulo: IPT, 1988. Vol I.
9. FOELKEL, C.E.B. *A penetração de licores de cozimento no interior da madeira*. Química dos Processos de Produção de Celulose . TEC 331:T-7.. CENIBRA/UFV. 04 p. (1977).
10. GOMIDE, J.L; OLIVEIRA, R.C. *Eficiência da antraquinona na polpação alcalina de Eucalipto*. Revista Árvore, v. 3, n. 2, p.208-220, 1979
11. GOMIDE, J.L; FANTUZZI NETO, H. *Aspectos fundamentais da polpação kraft de madeira de Eucalyptus*. O Papel 61(3): 62-68. (2000).
12. GUSTAVSSON, C. A-S.; AL-DAJANI, W. W. *The influence of cooking conditions on the degradation of hexenuronic acid, xylan, glucomannan and cellulose during kraft pulping of softwood*. Nordic Pulp and Paper Research Journal, v. 15, n. 2, p. 160-167, 2000.
13. JIANG, Z. H.; LIEROP, B. V.; BERRY, R. *Hexenuronic acid groups in pulping and bleaching chemistry*. Tappi Journal, v. 83, n. 1, p. 167-175, 2000.
14. MIMMS, A; KOCUREK, M.J; PYATTE, J.A; WRIGHT, E.E - *Kraft Pulping book*, Tappi Press, Atlanta, 1993 203 p
15. OLIVEIRA, R.L.; COLODETTE, J.L., EIRAS, K.M.M.; VENTORIM, G. *The effect of wood supply and bleaching processo n pulp brightness stability*. Revista Arvore, Vicoso-MG, v.30, n.3, p.439-450, 2006.
16. PETTERSSON, E.A.K.; RAGNAR, M. e LINDSTÖM, M.E. *Kraft cooking characteristics and hexenuronic acid concentration of pulps from Eucalypt and other hardwoods species*, Nordic Pulp and Paper Research Journal, v. 17, n.3, p.222-227, 2002.
17. STONE, J.E; FORDERRENTHER, C. *Studies of penetration and diffusion into wood*. Tappi, Atlanta, v40, n.7, p539-541 July 1956.
18. VENTORIM, G. *Estudos das reações da lignina e dos ácidos hexenurônicos em polpa kraft de eucalipto com oxigênio, dióxido de cloro, ácido sulfúrico e ozônio*. 2004. 173 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
19. VUORINEN, T.; BURCHERT, J.; TELEMAN, A.; TENKANEN, M.; FAGERSTROM, P. *Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps*. In: INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE, 1996, Washington, D.C. Proceedings... Washington, D.C.: Tappi, v. 1, 1996, p. 43-51.