

Uma Revisão sobre aspectos ambientais relacionados aos efluentes líquidos das indústrias de celulose e papel

A review of environmental reasons about effluents of pulp and paper industries /
Una revisión sobre aspectos ambientales relacionados a los efluentes líquidos de las industrias de celulosa y papel

Resumo

O tema “indústria e meio ambiente” encontra-se em alta no momento, sendo muitas as publicações e os eventos técnicos que vêm tratando deste assunto. O presente trabalho teve como objetivo fazer uma revisão dos resultados das principais publicações técnicas em âmbitos nacional e internacional, que tratam da caracterização e dos efeitos ambientais dos efluentes líquidos da indústria de celulose *kraft*. As informações descritas não esgotam o assunto, por isso, uma ampla bibliografia é citada ao final do artigo.

Palavras-chave: organoclorados (AOX), poluição, efluentes, meio ambiente.

1. Introdução

Em geral, na indústria de celulose, a polpação e o branqueamento são as principais fontes de poluição hídrica. O branqueamento, sozinho, pode atingir valores superiores a 60% da carga orgânica do efluente da indústria. A utilização do cloro durante o branqueamento tem levantado críticas devido à geração de organoclorados e, dentre estes, os compostos fenólicos-clorados têm ocupado lugar de destaque, pois alguns são considerados tóxicos, persistentes, lipofílicos, bioacumulativos e mutagênicos (KRINGSTAD *et al.*, 1981; VOSS, *et al.*, 1980; SIERRA-ALVAREZ, 1990; ROSA & PIRES, 1995; GIFFORD, 1996; HOSTACHY *et al.*, 1996).

*PESQUISADOR E PROFESSOR DA PUC-PR – DOUTOR EM ENGENHARIA PELA EESC – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; **PROFESSOR ASSOCIADO DO DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO DA ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; ***PROFESSOR – PULP AND PAPER ENGINEERING DEPT. – MIAMI UNIVERSITY, OXFORD-OH, EUA.

Marcelo Antunes
Nolasco

**Eduardo Cleto
Pires

***Allan M. Springer

Currently, the theme “industry and environment” is on spot and there are many publications and technical events regarding this issue. The aim of this paper is to present a review of the technical publication at national and international levels, concerning the characterization and environmental fate of pulp and paper mill’s effluents. The information described in this paper doesn’t exhaust the matter, so a wide bibliography list is found at the end of the text.

Key-words: adsorbable organic halogen (AOX), pollution, effluents, environment.

HALL & RANDLE (1994) afirmam que os compostos fenólicos-clorados são parâmetros indicadores da qualidade do efluente de fábricas de celulose branqueada. Outros autores, no entanto, afirmam que os compostos fenólicos-clorados não são os únicos responsáveis pelos efeitos tóxicos que estes efluentes apresentam (PRIHA, 1991; AXEGARD *et al.*, 1993; SERVOS, 1996). As resinas ácidas estariam entre os grupos de compostos que elevam a toxicidade para microrganismos aquáticos (PRIHA, 1991; GIFFORD, 1991). Recentemente outros compostos, tais como os fitoesteróides, hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs) e ácidos graxos-clorados, têm despertado o interesse quanto aos potenciais efeitos contaminantes (GIFFORD, 1996).

A relação causal entre os constituintes específicos, presentes nos despejos, e os efeitos tóxicos provocados ainda é pouco conhecida. Isto se deve às interações químicas e físicas ou aos efeitos sinérgicos ou antagonísticos, entre estes constituintes químicos gerados na indústria de celulose e papel (ROSA & NOLASCO, 1994).

O objetivo da polpação e branqueamento é remover a lignina, composto polimérico-aromático, para o qual o cloro elementar se mostra um bom

agente alvejante para a polpa *kraft*, obtendo-se assim uma celulose de excelente qualidade em relação às suas propriedades finais desejadas: resistência e alvura. No entanto, na reação do cloro com a lignina, dá-se a formação das cloroligninas e dos compostos clorofenólicos, que são lavados da polpa e descarregados nos efluentes da fábrica.

A composição dos efluentes das fábricas de celulose *kraft* é única para cada unidade de produção. A descarga e características dos poluentes nos efluentes variam com a matéria-prima, os processos de polpação e de branqueamento, a lavagem e o grau e tipo de tratamento interno e externo dos filtrados (Figura 1).

Em geral, na indústria de celulose e papel, as etapas de polpação e branqueamento são as principais fontes geradoras de poluição hídrica. O branqueamento, sozinho, pode chegar a ser o responsável por valores superiores a 60% da carga orgânica do efluente da indústria. A seguir, serão descritos os principais fundamentos¹ dos processos de polpação e branqueamento, a geração de compostos fenólicos-clorados e as novas tendências de minimização de impactos ambientais na indústria de celulose e papel.

2 - Polpação

O propósito da polpação é o de livrar as fibras de celulose de outros componentes da madeira (principalmente a lignina) em condições que as deixe o tanto quanto possível puras e sem danos. No processo *kraft*, a celulose e a lignina são separadas com o auxílio dos reagentes químicos: Hidróxido de Sódio (NaOH) e Sulfeto de Sódio (Na₂S) a temperaturas entre 160°C e 180°C, sendo a lignina despolimerizada e dissolvida.

A solução, contendo os reagentes químicos e os subprodutos, gerados na decomposição dos constituintes da madeira, denomina-se licor negro (ou lixívia negra). Em uma etapa posterior, esse licor é concentrado através de evaporação e, então, incinerado com o objetivo de recuperar energia e compostos inorgânicos para reutilização no processo industrial (BRYCE, 1980). Desta forma, é também eliminada uma fonte potencial de poluição da água e torna o processo mais econômico. O processo de polpação termina quando a polpa ainda contém entre 5% e 10% de lignina, pois uma deslignificação mais extensa pode danificar a fibra e prejudicar a qualidade da polpa.

A lignina é um polímero ramificado, de elevado peso molecular, formada pela po-

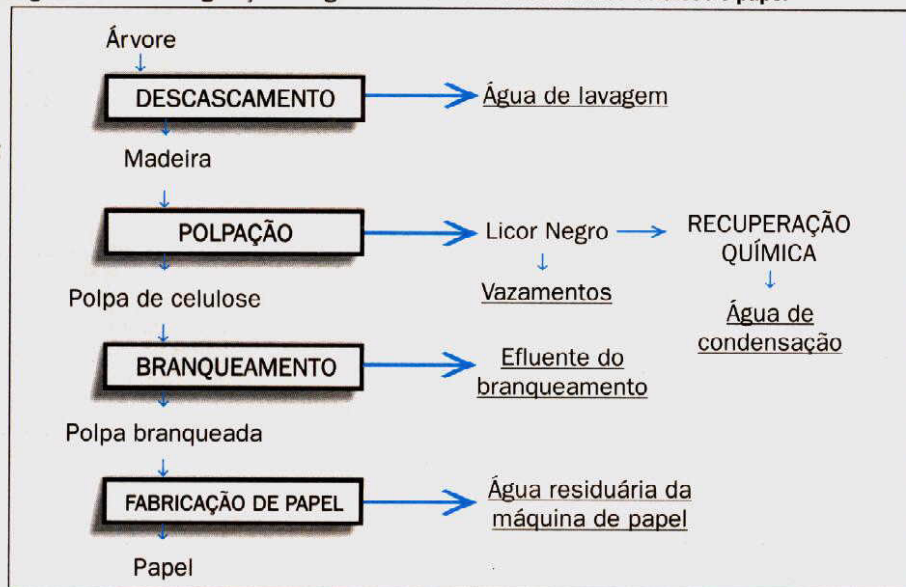
limerização dos álcoois p-hidroxiarilpropenil. Sua origem são espécies de coníferas, a exemplo do *Pinus* (denominada por madeira de fibras longas ou *softwood*), formado principalmente pela polimerização do álcool coniferil, enquanto que a lignina das espécies folhosas, a exemplo do Eucalipto (madeira de fibras curtas ou *hardwood*), é formada pelos álcoois coniferil e sinapil (KRINGSTAD & LINDSTROM, 1984). Estas diferenças entre os tipos de ligninas afetam as propriedades da polpa e a composição das águas residuárias geradas na polpação e no branqueamento.

As principais fontes de poluição hídrica, nesta etapa do processo, são a água de condensação contaminada por substâncias no processo de recuperação química e os vazamentos em bombas e tubulações ricos em material orgânico dos digestores, evaporadores e unidades de recuperação. Em indústrias de pequeno porte não é feita a recuperação química devido aos custos elevados das unidades de incineração, assim, o licor negro pode representar um problema ambiental permanente nestas indústrias (MISRA, 1980).

O licor negro é muito rico em matérias orgânicas e inorgânicas (a DQO pode atingir valores superiores a 300.000 mg/L) geradas no processo industrial. Sua composição inclui centenas de compostos, originados da madeira e dos reagentes químicos. As substâncias, formadas da reação da lignina com os licores da polpação, contêm grupos funcionais ionizáveis, tais como fenóis ou ácidos carboxílicos que auxiliam sua dissolução no licor altamente cáustico de cozimento. Entre os compostos identificados estão os fenóis, ácidos carboxílicos aromáticos e alifáticos, diácidos e compostos sulfurados reduzidos (ex.: dimetilsulfeto e dimetildisulfeto). Durante o cozimento da pasta nos digestores, os ésteres são saponificados, dando origem aos ácidos graxos livres. Uma parcela destes ácidos graxos é oxidada e pode produzir cetonas.

De acordo com PINHO & CAHEN (1981), a rápida expansão do processo sulfato, desde o início da década de 30, deu-se pela

Figura 1. Fontes de geração de águas residuárias na indústria de celulose e papel



¹Detalhes sobre os processos de preparação e fabricação da polpa, conferir referências: CASEY, 1980; D'ALMEIDA, 1981; WALDEN *et al.*, 1986. Sobre modificações e modernização do processo industrial e fontes de poluição: SPRINGER, 1993.

combinação de vários fatores, sendo os mais importantes:

- a possibilidade de adaptação, praticamente, a todas as espécies de madeira;
- o desenvolvimento de um sistema de recuperação eficiente;
- a introdução de um sistema de branqueamento satisfatório.

Atualmente, quase toda a pasta química é preparada a partir da madeira, por meio do processo *kraft*. No Brasil, cerca de 81% da produção de pasta química são feitas por este processo; 12% pelo processo soda; e os 7% restantes por outros processos.

3 - Branqueamento da polpa

No branqueamento, a lignina residual é removida, por meio de procedimentos em múltiplos estágios, que purificam a celulose e removem a cor da polpa, sendo este, portanto, o principal objetivo desta etapa. As seqüências de branqueamento podem variar, mas usualmente essa operação ocorre através de uma série de etapas com a utilização do cloro, dióxido de cloro, hipoclorito, álcali, oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio. Entre cada estágio, a polpa é lavada com água fresca limpa ou com o filtrado da etapa seguinte. Os filtrados da cloração e estágios alcalinos são despejados na forma de efluentes, considerados como as principais fontes de material orgânico (ricos em ligninas e seus subprodutos clorados), contribuindo com a parcela maior de poluentes, nos efluentes da indústria de celulose *kraft*.

4 - Geração dos compostos orgânicos-clorados

Os compostos fenólicos-clorados (organo-clorados) podem ser formados na cloração de águas subterrâneas e superficiais e têm sido detectados também em lodos de estações de tratamento de esgotos domésticos (CEPA, 1993) e nos sedimentos marinhos.

Os compostos fenólicos-clorados, incluindo os clorofenóis, cloroguaiacóis, clorocatecóis, clorosiringóis, clorosiringaldeídos e clorovanilinas (Figura 2) foram identificados como sendo os principais organoclorados presentes nas águas residuárias da in-

dústria de celulose e papel (Voss *et al.*, 1980; Woods, 1985; Zini, 1993).

No processo convencional de branqueamento, o cloro reage com a lignina através de reações de substituição e de oxidação, as quais levam a uma despolimerização substancial da lignina, assim como à introdução de cloro e vários grupos ácidos na sua estrutura. Durante o estágio de extração alcalina, a dissolução da lignina clorada em hidróxido de sódio é auxiliada pela ionização dos grupos ácidos. Neste estágio, aproximadamente 75% do cloro orgânico estão ligados aos materiais com pesos moleculares elevados, isto é, maiores que 10.000 (Kringstad & Lindstrom, 1984). Somente 5% do cloro ligado estão associados aos compostos com peso molecular menor que 1.000 Da.

Os efluentes gerados nos estágios de cloração contêm os materiais com peso molecular menor. Nestes efluentes, aproximadamente 30% do cloro organicamente ligado estão associados aos compostos com peso molecular menor que 1.000 Da (Kringstad & Lindstrom, 1984).

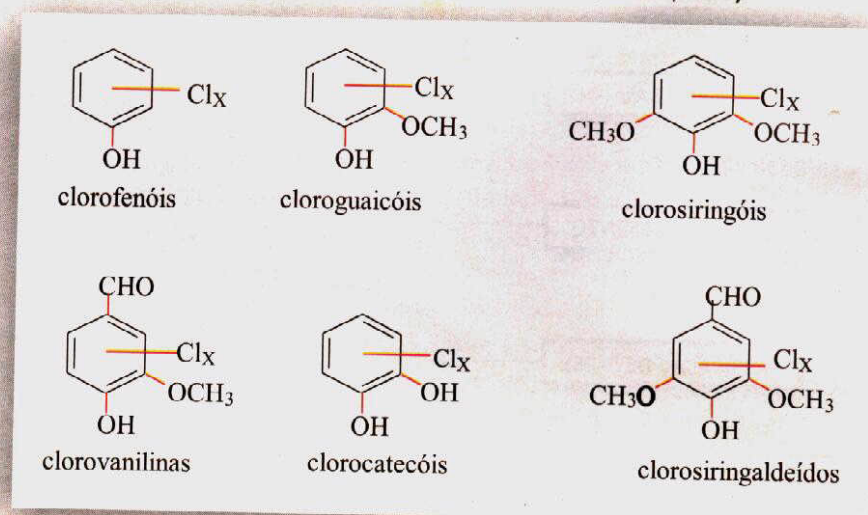
Cerca de 90% do cloro usado no branqueamento de celulose *kraft* chegam ao final do processo fabril na forma de sais, enquanto 10% se encontram organicamente ligados ao efluente. Destes, 80% são organoclorados de elevado peso molecular (>1000 Da), sendo uma pequena parcela

dos outros 20% constituída pelos compostos potencialmente problemáticos ao meio ambiente, devido a sua capacidade de penetrar nas membranas celulares, ou pela tendência à bioacumulação nos tecidos adiposos dos organismos vivos (Zini, 1993).

Voss *et al.* (1981) caracterizaram os efluentes de branqueamento de várias polpas de fibras curtas e longas e afirmaram que os compostos presentes nos efluentes são mais dependentes dos estágios de branqueamento que dos tipos de polpas utilizadas. No entanto, Lafleur (1996) afirma que o tipo de madeira utilizado é o fator determinante na composição das águas residuárias. Os clorofenóis e clorocatecóis têm sido detectados em ambos os estágios: cloração e extração alcalina. Os diclorocatecóis foram identificados nos estágios de cloração, enquanto que os tri e tetraclorocatecóis foram isolados dos efluentes do estágio de extração.

Os cloroguaiacóis e clorovanilinas têm sido identificados somente nos efluentes do estágio de extração. Os compostos encontrados em efluentes de branqueamento também apresentam diferenças em concentrações, de uma fábrica para outra, que vão de níveis não-detectáveis a valores de até 5 mg/L. Estas diferenças são devido, em parte, às características dos processos de polpação e aos tipos de branqueamento utilizados pelas fábricas.

Figura 2. Estruturas moleculares das principais classes de compostos fenólicos-clorados, identificados nos efluentes da indústria de pasta de celulose branqueada. (Adaptado de: Voss *et al.*, 1980; Woods, 1985; Carlberg, 1991; Spengel *et al.*, 1994; Lafleur, 1996).



A produção de compostos fenólicos-clorados é, portanto, fortemente influenciada pelas condições de polpação e branqueamento (KINSTREY, 1993). Através de múltiplas lavagens da polpa, em etapa anterior ao branqueamento, é possível diminuir a produção de compostos aromáticos-clorados nos efluentes, pois as concentrações dos precursores dos clorofenóis são reduzidas. A temperatura, o pH, a dosagem de cloro e a substituição total ou parcial do cloro (Cl_2) pelo dióxido de cloro (ClO_2) também afetam a formação de organoclorados.

No branqueamento convencional, com o uso do cloro elementar, atinge-se a formação de 5kg a 6 kg de AOX, sendo 40g percentuais à classe dos compostos fenólicos-clorados para cada tonelada de polpa *kraft* alvejada. Nas indústrias mais modernas, em que o dióxido de cloro é o agente oxidante, são produzidos entre 1kg e 2 kg de AOX. Destes, 1,5g refere-se à quantidade de compostos fenólicos-clorados (McFARLANE *et al.*, 1991; HOSTACHY *et al.*, 1996).

SPENGL *et al.* (1994), em estudo de caracterização de efluentes em oito indústrias de celulose, obtiveram resultados que confirmam a hipótese de que a substituição do dióxido de cloro pelo cloro reduz, não somente a quantidade de clorofenóis produzidos, mas também a variedade de compostos clorados-fenólicos. As amostras das fábricas, que utilizaram o cloro elementar combinado ao dióxido de cloro no branqueamento, produziram mono, di e tri compostos fenólicos-clorados. Nas fábricas que utilizaram 100% de dióxido de cloro no branqueamento os mono e di-clorofenóis foram os compostos encontrados em maior concentração. Nas indústrias em que foram utilizados 100% de dióxido de cloro houve tendência em produzir clorofenóis com os anéis aromáticos abertos, formando compostos, denominados ácidos mucônicos.

A produção de compostos fenólicos-clorados aumenta na mesma proporção que a dosagem de cloro utilizada, pois pode haver múltiplas clorações de um mesmo com-

posto (formação de compostos fenólicos-clorados com vários átomos de cloro - ex.: tetraclorofenol). Compostos com maior número de átomos de cloro em suas moléculas (por exemplo, o pentaclorofenol), são encontrados em poucos efluentes da indústria de celulose e papel. Sua presença é atribuída ao uso de biocidas na fabricação do papel que ainda são permitidas em alguns países (WALDEN *et al.*, 1986).

A produção de CoFCs (compostos fenólicos-clorados) é também aumentada, quando a cloração ocorre com pH entre 1 e 2, ou em temperaturas elevadas (Voss *et al.*, 1981). No entanto, a substituição do cloro pelo dióxido de cloro no estágio de cloração pode levar a uma redução significativa na produção de organoclorados (KINSTREY, 1993). Este mecanismo se deve ao fato de que o cloro reage, tanto por oxidação, quanto por substituição, enquanto o dióxido de cloro reage somente por oxidação (SHIMP & OWENS, 1993; SCHWANTES, 1994; LAFLEUR, 1996).

Em estudos sobre a formação de CoFCs, LACHENAL (1993) e Ni *et al.* (1993) afirmam que o dióxido de cloro pode atuar na formação de compostos fenólicos-clorados. Uma fração (cerca de 60%) dos átomos de cloro do alvejante dióxido de cloro é convertida em ácido hipocloroso, e o cloro orgânico é formado pela reação entre a lignina e este ácido, produzido *in situ*. É sugerido no estudo de Ni *et al.* (1993), que a maior parte dos organoclorados são formados durante a fase inicial de branqueamento, quando o dióxido de cloro é o insumo alvejante utilizado. Outras fases do branqueamento também contribuem para o aumento do AOX no efluente, devido à elevação da solubilidade da lignina clorada da polpa.

Mais recentemente, um estágio de pré-branqueamento, com deslignificação empregando oxigênio, tem sido utilizado pela indústria. O oxigênio promove a oxidação da lignina, que a deixa menos suscetível a reações de substituição pelo cloro e, conseqüentemente, reduz a fração fenólica-clorada nos efluentes.

5 - Mudanças recentes e tendências na fabricação da polpa *kraft*

Buscando atender às exigências ambientais, a indústria de celulose e papel foi gradativamente obrigada a se enquadrar a uma legislação ambiental cada vez mais severa, ou ainda, em alguns casos, a indústria tem posicionado-se além das exigências legais, devido principalmente à necessidade de atender a um mercado mais exigente denominado, usualmente, mercado "verde" (SACON *et al.*, 1996).

Com a necessidade de mudança, visando a reduzir os impactos ambientais, tornou-se prioridade investir no setor de pesquisa para se conhecer, esclarecer e criar soluções aos diversos problemas ambientais que a indústria apresentava. Uma série de centros de pesquisa, principalmente, na Suécia, Finlândia, Canadá e Estados Unidos, têm estado à frente no domínio da pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, relacionadas não somente ao processo industrial, mas também aos estudos de caracterização e minimização dos impactos ambientais gerados pela indústria de polpa de celulose e papel.

Recentemente, alguns processos de branqueamento têm sido utilizados nas indústrias, onde o cloro não é empregado, e sim outros agentes oxidantes, como o peróxido de hidrogênio, o ozônio, o oxigênio, enzimas e combinações entre eles. Esses processos são denominados *Totally Chlorine Free (TCF)*. O processo *TCF* foi inicialmente desenvolvido nos países nórdicos, devido a uma pressão ambiental crescente para eliminação do cloro nos processos industriais, e posteriormente difundido em outros países.

No entanto, a polpa *TCF* ainda não atinge um grau de qualidade elevado (exemplo: menor brancura e baixa resistência) quando comparada às polpas obtidas por seqüências que empregam o cloro e/ou dióxido de cloro no branqueamento. Outro aspecto é que seu preço de produção ainda é muito superior aos custos de produção da polpa convencional, portanto,

é um produto ainda com menor competitividade no mercado internacional, mesmo com uma tendência de demanda crescente por produtos não-clorados. Esses fatores criaram uma resistência por parte de muitos fabricantes em adotarem esse processo, apesar de existirem, no Brasil, pelo menos três indústrias com linhas de branqueamento *TCF*.

No Brasil, assim como nos Estados Unidos e Canadá, os grandes fabricantes de polpa têm concentrado esforços em otimizar os processos tradicionais de branqueamento. Isto significa a utilização de um grau de substituição cada vez maior do cloro elementar pelo dióxido de cloro, associado a um pré-branqueamento com oxigênio e, algumas vezes, desdesignificação prolongada no estágio de cozimento da polpa associados a maiores investimentos no tratamento externo (*end-of-pipe*), enquanto os países nórdicos têm enfatizado o desenvolvimento de tecnologias com eliminação total do cloro (*TCF*) no processo de branqueamento da polpa.

Existe ainda certa controvérsia sobre o tema 'indústria de celulose e meio ambiente'. Alguns renomados pesquisadores² afirmam que as fábricas, tidas como *TCF*, não são ambientalmente mais corretas³, como eram consideradas no início desta década, comparadas às que utilizam o dióxido de cloro no branqueamento, isto é, as denominadas polpas *ECF* (*Elemental Chlorine Free*). Um dos argumentos utilizados está baseado no fato de que nem todos os organoclorados são tóxicos e xenobióticos. Alguns destes estão presentes no ambiente aquático e terrestre e são produzidos naturalmente por organismos, e vários destes compostos são amplamente utilizados em medicamentos e alimentos, possuindo, portanto, seu lado benéfico.

Ao que tudo indica, atualmente, as fábricas de celulose estão investindo fortemente

na redução dos volumes de efluentes despejados, sejam elas *ECF* ou *TCF*, integradas ou não às indústrias de papel. Há uma tendência cada vez maior de otimização do uso da água fresca captada, através do reúso no processo industrial com a recirculação da mesma, após tratamento interno por processos biológicos e físico-químicos (GELLMAN, 1993; NOLASCO *et al.*, 1997). Além da fábrica de celulose, que utiliza grandes volumes de água, a fábrica de papel *kraft* integrada ou não à de polpa também demanda grande quantidade de água.

A operação de captação também não é barata, pois há necessidade de bombear, decantar, utilizar reagentes químicos, filtrar e, novamente, bombear, de modo que a recuperação interna acabe ficando senão mais econômica, ao menos competitiva. Em alguns casos, a água captada do rio está tão poluída que é inadequada à fabricação do papel, o que gera a necessidade de se investir maciçamente em seu tratamento ou até de comprar água potável de prefeituras ou de empresas engarrafadoras de água (GONÇALVES & NEVES, 1995).

A adoção dessa abordagem, com a introdução de novas tecnologias para o fechamento de circuitos na indústria, visando assim à fábrica livre de efluentes, tem sido denominada na literatura por *TEF* (*Totally Effluent Free*).

Para exemplificar, uma indústria *kraft* de celulose utilizava um volume superior a 240 m³ de água para produzir uma tonelada de polpa em 1959; este número caiu para 72 m³/tonelada em 1988 (70% de redução); e 36 m³ para 1992 para as indústrias mais modernas (GUIDONI, 1996). Esta redução no consumo de água fresca continua a ter progressos contínuos e, segundo OWENS (1996), a média de consumo de água para a indústria norte-americana para os próximos anos deve ser inferior a 10 m³ por tonelada de polpa branqueada, nas fábricas mais sofisticadas.

Muitas são as questões referentes ao futuro da indústria de celulose e papel e, em relação ao tema águas residuárias, a solução correta, de acordo com EVANS (1995), é o fechamento de circuitos na indústria, para minimizar, ou mesmo eliminar os despejos. As tecnologias de produção *ECF* e *TCF*, segundo o autor, não vão ao encontro da legislação futura sobre as descargas de efluentes. Somente a não-geração de efluentes ("efluentes zero") é que realmente atenderá às necessidades ambientais. Por outro lado, o fechamento de circuitos na indústria de celulose, ao equacionar a questão do uso da água, levanta outro aspecto que, sob a ótica ambiental, é de grande importância: o aumento do consumo de energia, necessário à operação da indústria (FOLKE, 1996).

6 - Conclusão

O objetivo deste artigo foi abordar a problemática da poluição hídrica nas indústrias de celulose *kraft*, enfatizando as principais fontes de produção de poluentes, e identificar os compostos produzidos. Os tipos e quantidades de poluentes produzidos são dependentes dos tipos de matérias-primas utilizadas, dos processos de polpação e branqueamento da pasta celulósica, do grau de tratamento interno e externo dos filtrados, entre outros.

O assunto é bastante amplo e, para concluir, pode-se afirmar que a avaliação dos custos e benefícios envolvidos na questão 'indústria de celulose e meio ambiente' ainda é um tema bastante controvertido, e os interesses econômicos envolvidos são grandes. Sob o ponto de vista ambiental, não é unânime a opinião se as indústrias do setor papelero, sejam elas *ECF*, *TCF* e *TEF*, provocam menores impactos ao meio ambiente. De qualquer forma, é grande o avanço tecnológico aplicado ao setor, e as indús-

² SHIMP & OWENS, 1993; FOLKE & BRODERSEN, 1996; OWENS, 1996.

³ O conceito de que a fábrica *TCF* seria mais adequada ambientalmente foi amplamente divulgado para a população através de estratégias agressivas de comunicação por Organizações Não-Governamentais (ONG), principalmente o *Greenpeace*, coordenada por um de seus fundadores e diretor de pesquisa, Joe Thornton. Essa ONG, elaborou uma campanha mundial para banir a utilização industrial do cloro, inclusive em outros setores industriais, acabando por influenciar modificações no processo fabril e, conseqüentemente no produto final de várias indústrias na Europa.

trias de celulose, que atuam no mercado externo, encontram-se no mesmo nível de sofisticação que as concorrentes, situadas nos países desenvolvidos.

7 - Referências bibliográficas

- AXEGARD, P.; DAHLMAN, O.; HAGLIND, I.; JACOBSON, B.; MÖRCK, R.; STRÖMBERG, L. (1993). Pulp Bleaching and the Environment - the Situation of 1993. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, n.04, p.365-378.
- *BRYCE, J.C. (1980). Alkaline Pulping. In: CASEY, J.P. (ed.). *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Volume I. John Wiley & Sons, New York, NY - EUA, p.377-492.
- *CARLBERG, G.E. (1991). *Composition of Effluents from Bleached Kraft Pulp Mills*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BLEACHED KRAFT PULP MILLS OF TAPPI -. Melbourne - Australia. p.181-200.
- *CASEY, J.P. (1980). *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Volume I. John Wiley & Sons, New York, NY - EUA.
- *CEPA. (1993). CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT. Priority Substances List Assessment Report - Chlorinated Wastewater Effluents. Canada. 33p.
- *D'ALMEIDA, M.L.O. (1981). *Celulose e Papel: Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica* - Vol. I. SENAI e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP. 492p.
- *EVANS, T. (1995). Applying proven technology to eliminate kraft bleach plant effluents. *Pulp & Paper Canada*, 96(3), p.60-64.
- *FOLKE, J. (1996). Future Directions for Environmental Harmonization of Pulp Mills. In: SERVOS, M.R., MUNKITTRICK, K.R., CAREY, J.H. VAN DER KRAAK, G.J. (eds.), *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, EUA, p.693-700.
- *FOLKE, J.; BRODDERSEN, L. (1996). *Historic Aspects of Organochlorines in Relation to the Pulp Industry*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONFERENCE OF THE TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI) Book 1. Orlando - FL - EUA, p.163-168.
- *GELLMAN, I. (1993). Ecological Aspects of Future Paper Industry Development. In: INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL SYMPOSIUM - EUCEPA. Paris, França, Vol. 2, p.67-74.
- *GIFFORD, J.S. (1991). An Evaluation of the Toxicity of Effluents from New Zealand Pulp and Paper Mills. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BLEACHED KRAFT PULP MILLS OF TAPPI. Melbourne - Australia, p.239-251.
- *GIFFORD, J.S. (1996). Recent Advances in Environmental fate of Chemicals from Pulp Mills. In: SERVOS, M.R., MUNKITTRICK, K.R., CAREY, J.H. VAN DER KRAAK, G.J. (eds.), *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, EUA, p.271-279.
- *GONÇALVES, C.; NEVES, J.M. (1995). Fechamento de Circuito de Águas numa Fábrica de Papel Kraft e sua Influência no Processo. *O Papel*, 56(11), p.61-73.
- *GUIDONI, G. (1986). Sustainable Development Progress on the Green Front. *Papermaker*, n.08, p.38-40.
- *HALL, E.R.; RANDLE, W.G. (1994). Chlorinated Phenolic Removal from Bleached Kraft Mill Wastewater in Three Secondary Treatment Processes. *Water Science & Technology*, 29(5-6), p.177-187.
- *HOSTACHY, J.C.; LACHENAL, D.; COSTE, C. (1996). *Ozonation of Pulp Bleaching Effluent to Reduce the Polluting Charge*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONFERENCE OF THE TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI) Book 2. Orlando - FL - EUA, p.817-823.
- *KINSTREY, R.B. (1993). An Overview of Strategies for Reducing the Environmental Impact of Bleach-Plant Effluents. *TAPPI Journal*, 76(3), p.105-112.
- *KRINGSTAD, K.P.; LJUNQUIST, P.O.; DE-SOUZA, F. STRÖMBERG, L. (1981). Identification and Mutagenic Properties of Some Chlorinated Aliphatic Compounds in the Spent Liquor from Kraft Pulp Chlorination. *Environmental Science & Technology*, 15(5), p.562-566.
- *KRINGSTAD, K.P.; LINDSTROM, K. (1984). Spent Liquor from Pulp Bleaching. *Environmental Science and Technology*, 18(8), p.236-248.
- *LACHENAL, D. (1993). *The Bleaching Issue: Discussion and Perspectives*. In: INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL SYMPOSIUM - EUCEPA. Paris, França, Vol. 2, p.35-44.
- *LaFLEUR, L.E. (1996). Sources of Pulping and Bleaching Derived Chemicals in Effluents. In: SERVOS, M.R., MUNKITTRICK, K.R., CAREY, J.H. VAN DER KRAAK, G.J. (eds.), *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, EUA, p.21-31.
- *McFARLANE, P.N.; ALISON, R.W.; CLARK, T.A.; MACKIE, K.L. (1991a). The effects of Chlorination Conditions on the AOX and Chlorinated Phenol Content of Kraft Bleach Plant Wastewaters. *Water Science and Technology*, 24(3/4), p.55-63.
- *MISRA, D.K. (1980). Pulping and Bleaching of Nonwood Fibers. In: CASEY, J.P. (ed.), *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. Volume I. John Wiley & Sons, New York, NY - EUA, p.504-601.
- *NI, Y.; VAN HEININGEN, A.R.P.; KUBES, G.J. (1993). Mechanism of Formation of Chloro-Organics During Chlorine Dioxide Prebleaching of Kraft Pulp. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, n.04, p.351-353.
- *NOLASCO, M.A.; PIRES, E.C.; SPRINGER, A.M. (1997). Tratamento de Efluentes da Indústria de Celulose e Papel por um Processo Modificado de Lodos Ativados. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE FECHAMENTO DE CIRCUITOS - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP). Vitória, ES, Setembro/1997.
- *OWENS, J.W. (1996). Regulation of Pulp Mill Discharges: Current Status and Needs from an International Perspective. In: SERVOS, M.R. (1996). In: SERVOS, M.R., MUNKITTRICK, K.R., CAREY, J.H. VAN DER KRAAK, G.J. (eds.), *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, EUA.
- *PINHO, M.R.R.; CAHEN, R. (1981). Polpação Química. In: D'ALMEIDA, M.L.O. (Coord. Técnica), *Celulose e Papel: Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica* - Vol. I. SENAI e Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP. p.165-315.
- *PRIHA, M. (1991). *Toxic Characteristics of Effluents from Bleached Kraft Pulp Mills Using Modern Technologies*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BLEACHED KRAFT PULP MILLS OF TAPPI. Melbourne - Australia. Fevereiro de 1991. p.203-218.
- *ROSA, J.; NOLASCO, M.A. (1994). *Physical-Chemical and Toxicological Characterization of an Integrated Pulp and Paper Industry*. In: I SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SAÚDE DE ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

E SIGNIFICADO ECOLÓGICO DE BIOENSAIOS. São Carlos - SP. Outubro, 1994. *ROSA, J.; PIRES, E.C. (1995). Propriedade Mutagênica de Efluentes de Indústrias de Celulose ou Integradas - Uma Revisão. *O Papel*, 56(7), p.51-62. *SACON, V.; VENTURA, J.W.; HEINRICH, F. (1996). Balanço de Metais e Não-Metais numa Fábrica de Celulose Kraft - Um Conceito para Circuito Fechado. *O Papel*, 57(7), p.64-73. *SCHWANTES, T.A. (1994). *Characterization of Effluent Fraction from ClO₂ and Cl₂ Bleaching of Unbleached and O₂ Bleached Softwood Kraft Pulps*. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL CONFERENCE - TAPPI. Atlanta, GA, EUA. *SERVOS, M.R. (1996). Origins of Effluent Chemicals and Toxicity: Recent Research and Future Directions. In: SERVOS, M.R., MUNKITTRICK, K.R., CAREY, J.H. VAN DER KRAAK, G.J. (eds.), *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL, EUA, p.159-166.

SHIMP, R.J.; OWENS, J. W. (1993). Pulp and Paper Technologies and Improvements in Environmental Emissions to Aquatic Environments. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 40, p.213-233. *SIERRA-ALVAREZ, R. (1990). *The Role of Natural Wood Constituents on the Anaerobic Treatability of Forest Industry Wastewaters*. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University. Wageningen, Netherlands. *SPENGLER, D.B.; BICKNELL, B.; ANDERSON, D.F.; SMITH, M.; BODIEN, D.G. (1994). A Comparison of Chlorinated Phenolic Compound Concentrations and Loadings in Bleach-Plant and Treatment-System Samples at Eight Mills. *TAPPI Journal*, 77(11), p.155-166. *SPRINGER, A. M. (1993). *Industrial Environmental Control: Pulp and paper Industry*. TAPPI Press, Atlanta, GA - EUA, 2nd ed., 699p. *VOSS, R.H.; WEARING, J.T.; MORTIMER, R.D.; KOVACS, T.; WONG, A. (1980). Chlorinated Organics in Kraft Bleachery Effluents. *Paperi ja Puu*, n.12, p.809-

814. *VOSS, R.H.; WEARING, J.T.; WONG, A. (1981). Effect of Hardwood Chlorination Conditions on the Formation of Toxic Chlorinated Compounds. *TAPPI Journal*, 64(3), p.167-170. *WALDEN, C.C.; McLEAY, D.J.; McKAGUE, A.B. (1986). Cellulose Production Process. In: HUTZINGER, O. (ed.), *The Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 3, Part D: *Anthropogenic Compound*. Springer-Verlog; Berlin - Heidelberg - New York - Tokio. p.1-34.

WOODS, S.L. (1985). *The Fate of Chlorinated, Hydroxylated and Methoxylated Benzenes in Anaerobic Wastewater Treatment*. PhD Thesis, University of Washington, EUA. *ZINI, C.A. (1993). *Compostos Fenólicos Clorados em Efluentes de Fábrica Kraft de Celulose Utilizando 80% de Substituição por Dióxido de Cloro no Estágio D₂*. In: 26^o CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP), São Paulo-SP, p.437-450. ▲

NORTON

NORTON CERÂMICAS AVANÇADAS LTDA

EXCELÊNCIA EM TECNOLOGIA E SERVIÇOS PARA O MERCADO DE PAPEL E CELULOSE

Líder mundial, fabricante de cerâmica industrial, a NORTON oferece no Brasil a melhor tecnologia para fabricação de forming boards, foils, coberturas de caixa de sucção, hidrociclones, pá de apalpador e contra facas para conversão de papel.

Com fábricas espalhadas por todos os continentes, a NORTON disponibiliza no Brasil os materiais cerâmicos carbeto de silício, nitreto de silício e alumina 99,5%, que juntos constituem o estado da arte da tecnologia em materiais cerâmicos para máquina de papel.

Fabricamos sob desenho todos os tipos de réguas, coberturas e componentes. Consulte-nos por telefone ou e-mail, e solicite uma visita técnica.

Excelência em Tecnologia e Serviços!

SAINT-GOBAIN
CERAMIQUES INDUSTRIELLES

Av. Brasil, 4900 - Rio Claro-SP - 13505-600 - Brasil - Fone: 0xx (19) - 3535.7300 - Fax: 0xx (19) - 535.3640
e-mail: <NORTON@nortoncer.com.br>

