



Papel e Celulose



GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE - **SÉRIE P+L**



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

José Serra – Governador

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE

Francisco Graziano – Secretário

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Fernando Rei – Presidente

2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

S713g Souza, André Heli Coimbra Botto e
Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose / André Heli Coimbra Botto
e Souza ; coordenação técnica Angela de Campos Machado, Meron Petro Zajac, Flávio de Miranda
Ribeiro ; colaboração Antônio Carlos do Nascimento ... [et al.]. -- São Paulo : CETESB, 2008.
49 p. : il. ; 30 cm. -- (Série P + L, ISSN 1982-6648)

Disponível em :

<http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos/papel.pdf>.

ISBN 978-85-61405-01-4

1. Celulose - processo industrial 2. Papel - processo industrial 3. Poluição – controle
4. Poluição - prevenção 5. Produção limpa 6. Resíduos industriais – minimização I. Machado,
Angela de Campos, Coord. II. Zajac, Meron Petro, Coord. III. Ribeiro, Flávio de Miranda, Coord.
IV. Título. V. Série.

CDD (21.ed. Esp.) 676.028 6

CDU (ed. 99 port.) 628.51 : 676.02

Catalogação na fonte: Margot Terada CRB 8.4422



DIRETORIA DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E QUALIDADE AMBIENTAL

Marcelo Minelli

DEPTO. DE DESENVOLVIMENTO, TECNOLOGIA E RISCOS AMBIENTAIS

Angela de Campos Machado

DIVISÃO DE TECNOLOGIAS LIMPAS E QUALIDADE LABORATORIAL

Meron Petro Zajac

SETOR DE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Flávio de Miranda Ribeiro

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Angela de Campos Machado

Meron Petro Zajac

Flávio de Miranda Ribeiro

ELABORAÇÃO

André Heli Coimbra Botto e Souza – CETESB/ EINP

COLABORAÇÃO

CETESB

Antonio Carlos do Nascimento – Agência Ambiental de Guarulhos

Cristiane M D F de Souza Reis – Agência Ambiental de Piracicaba

Junzo Inoue - Agência Ambiental de Pirassununga

Lucas Grisolia (estagiário) - EINP

Luiz Carlos Mion - Agência Ambiental de Pirassununga

Maria da Penha de O. Alencar – Agência Ambiental de Campinas II

Martha Faria Bernils Maganha - EINP

Mateus Sales dos Santos - EINP

Thyago Vieira Alves - Agência Ambiental de Paulínea

EMPRESAS

Santher – Fábrica de papel Santa Terezinha S.A.

Orsa – Celulose, papel e embalagens S.A.

International Paper do Brasil Ltda.

Klabin

Safelca S.A. Indústria de Papel





FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Paulo Skaf - Presidente
Departamento de Meio Ambiente – DMA
Nelson Pereira dos Reis
Arthur Cezar Whitaker de Carvalho
Marco Antonio Barbieri
Nelson Vieira Barreira
Raul Ardito Lerário
Walter Toscano
Nilton Fornasari Filho
Luciano Rodrigues Coelho



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL

Elisabeth Carvalhaes – Presidente Executiva
Francisco Saliba



ABTCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL

Alberto Mori – Presidente
Afonso Moraes de Moura
Francisco Bosco de Souza
Nei Rubens Lima
Patrícia Capo
Juliana Tiemi Sano Sugawara



Apresentação

No decorrer dos últimos anos a CETESB vem desenvolvendo Guias Ambientais de Produção mais Limpa, com o intuito de incentivar e orientar a adoção de tecnologias limpas nos diversos setores produtivos da indústria paulista, além de fornecer uma ferramenta de auxílio para a difusão e aplicação do conceito de P+L, tanto para o setor público como o privado.

A experiência tem mostrado que os guias mais recentes, publicados a partir do final de 2005, tornaram-se fundamentais para o estabelecimento de novas formas de ação com o objetivo de assegurar maior sustentabilidade nos padrões de produção.

Não há dúvidas de que a adoção da P+L como uma ferramenta do sistema de gestão da empresa, pode trazer resultados ambientais satisfatórios, de forma contínua e perene, ao invés da implementação de ações pontuais e unitárias. Estes dados permitirão estabelecer, em futuro próximo, indicadores como a produtividade, a redução do consumo de matérias-primas e dos recursos naturais, a eliminação de substâncias tóxicas, a redução da carga de resíduos gerados e a diminuição do passivo ambiental, sendo que os resultados positivos destes indicadores implicam diretamente na redução de riscos para a saúde ambiental e humana, bem como contribuem sobremaneira para os benefícios econômicos do empreendedor, para a sua competitividade e imagem empresarial, tendo em vista os novos enfoques certificatórios que regem a Gestão Empresarial.

Neste contexto, o intercâmbio maduro entre o setor produtivo e o órgão ambiental é uma importante condição para que se desenvolvam ferramentas de auxílio tanto na busca de soluções adequadas para a resolução dos problemas ambientais, como na manutenção do desenvolvimento social e econômico sustentável.

Esperamos assim que as trocas de informação e tecnologias iniciadas com a elaboração dos guias da série P + L, oriundos da parceria entre o órgão ambiental e o setor produtivo, gerem uma visão crítica, de modo a se identificar oportunidades de melhoria nos processos produtivos, bem como subsidiem um aumento do conhecimento técnico, podendo assim disseminar e promover o desenvolvimento de novas tecnologias, com vistas ao sucesso do desenvolvimento sustentável.

Fernando Cardozo Fernandes Rei

Presidente

CETESB - Companhia de Tecnologia
de Saneamento Ambiental

Os Guias Técnicos de Produção Mais Limpa, com especificidades e aplicações nos distintos segmentos da indústria, constituem preciosa fonte de informações e orientação para técnicos, empresários e todos os interessados na implementação de medidas ecologicamente corretas nas unidades fabris. Trata-se, portanto, de leitura importante para o exercício de uma das mais significativas ações de responsabilidade social, ou seja, a defesa do meio ambiente e qualidade de vida.

Essas publicações, frutos de parceria da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), contribuem muito para que as indústrias, além do devido e cívico respeito aos preceitos da produção mais limpa, usufruam a conseqüente economia de matérias-primas, água e energia. Também há expressivos avanços quanto à eliminação de materiais perigosos, bem como na redução, no processo produtivo, de quantidades e toxicidade de emissões líquidas, gasosas e resíduos.

Ganham as empresas, a economia e, sobretudo, a sociedade, considerando o significado do respeito ao meio ambiente e ao crescimento sustentável. A Cetesb, referência brasileira e internacional, aloca toda a sua expertise no conteúdo desses guias, assim como os Sindicatos das Indústrias, que contribuem com informações setoriais, bem como, sobre as ações desenvolvidas em P+L, inerentes ao segmento industrial. Seus empenhos somam-se ao da Fiesp, que tem atuado de maneira pró-ativa na defesa da produção mais limpa. Dentre as várias ações institucionais, a entidade organiza anualmente a Semana do Meio Ambiente, seminário internacional com workshops e entrega do Prêmio Fiesp do Mérito Ambiental.

Visando a estimular o consumo racional e a preservação dos mananciais hídricos, criou-se o Prêmio Fiesp de Conservação e Reuso da Água. Sua meta é difundir boas práticas e medidas efetivas na redução do consumo e desperdício. A entidade também coopera na realização do trabalho e é responsável pelo subcomitê que dirigiu a elaboração da versão brasileira do relatório técnico da ISO sobre Ecodesign.

Por meio de seu Departamento de Meio Ambiente, a Fiesp intensificou as ações nesta área. Especialistas acompanham e desenvolvem ações na gestão e licenciamento ambiental, prevenção e controle da poluição, recursos hídricos e resíduos industriais. Enfim, todo empenho está sendo feito pela entidade, incluindo parcerias com instituições como a Cetesb, para que a indústria paulista avance cada vez mais na prática ecológica, atendendo às exigências da cidadania e dos mercados interno e externo.

Paulo Skaf

Presidente da Fiesp

O Brasil tem uma história importante no setor florestal, notadamente no desenvolvimento da indústria de celulose e papel. Por suas dimensões territoriais, características de solo e clima e pela tecnologia silvicultural desenvolvida, o país conquistou posição de destaque no mercado internacional, reafirmando sua vocação para o cultivo de florestas e para a produção de celulose e papel.

Além disso, o setor tem se destacado pelo absoluto comprometimento com a sustentabilidade, com resultados que se traduzem em benefícios para a sociedade. Não só na geração de riquezas, mas com forte atuação na proteção e recuperação de recursos naturais, bem como na promoção do desenvolvimento e da qualidade de vida em comunidades espalhadas por todo o país.

A publicação do Guia de Produção Mais Limpa para Celulose e Papel, do qual temos o orgulho de participar, constitui mais uma evidência do compromisso e da adesão da indústria brasileira de celulose e papel às melhores práticas. Esperamos, com essa contribuição, fortalecer o trabalho da cadeia produtiva do setor, com a geração de impactos ambientais positivos.

Elizabeth de Carvalhaes

Presidente Executiva da Bracelpa

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel tem a missão de informar a sociedade sobre os aspectos técnicos que envolvem a produção de papel e celulose. Os temas ambientais são da maior importância na condução dos processos de produção e formação das futuras gerações.

Neste cenário foi muito importante poder contribuir com a produção deste guia, pois será uma referência para a demonstração do processo, dos fatores ambientais relacionados e práticas usadas para melhorar a performance ambiental das fábricas. Com este guia, a comunidade terá uma boa referência da atuação do setor de celulose e papel e o quanto é responsável em termos de sustentabilidade sócio-ambiental.

A ABTCP espera que este trabalho frutifique no sentido de promover a integração entre o setor produtivo, órgãos ambientais e o público em geral uma vez que o maior beneficiado é o meio ambiente.

Alberto Mori

Presidente da ABTCP

Sumário

| | |
|---|----|
| Apresentação..... | 09 |
| 1. Introdução..... | 14 |
| 2. Perfil do Setor..... | 15 |
| 3. Descrição do Processo..... | 16 |
| 3.1. Processo de Produção de Celulose Branqueada – Kraft..... | 17 |
| 3.2. Preparação da Madeira..... | 19 |
| 3.3. Da Madeira à Celulose Marrom..... | 20 |
| 3.4. Da Celulose Marrom à Celulose Branqueada..... | 22 |
| 3.5. Produção de Papel ou Papelão a partir de Celulose Virgem/ Aparas..... | 24 |
| 4. Aspectos e Impactos Ambientais..... | 29 |
| 4.1. Áreas Florestais..... | 31 |
| 4.2. Consumo de Água..... | 32 |
| 4.3. Consumo de Energia..... | 32 |
| 4.4. Reagentes de Processo..... | 33 |
| 4.5. Aditivos..... | 34 |
| 4.6. Efluentes Industriais..... | 34 |
| 4.7. Processos de Branqueamento..... | 35 |
| 4.8. Resíduos Sólidos..... | 36 |
| 4.9. Emissões Atmosféricas/Ruído..... | 37 |
| 4.10. Dioxinas e Furanos..... | 37 |
| 4.11. Impactos da Reciclagem de Aparas..... | 38 |
| 5. Levantamento Básico de Valores Típicos para as Emissões Ambientais do Setor..... | 39 |
| 6. Boas Práticas – Medidas de Produção mais Limpa (P+L) e de Controle de Emissões na Produção de Celulose (Kraft) e Papel..... | 40 |
| 6.1. Sistema de Gestão Ambiental..... | 41 |
| 6.2. Áreas Florestais..... | 41 |
| 6.3. Operações de Beneficiamento de Madeira..... | 41 |
| 6.4. Consumo de Água e Geração de Efluentes Industriais..... | 42 |
| 6.5. Ciclo de cozimento e deslignificação..... | 43 |
| 6.6. Processos de Branqueamento..... | 44 |
| 6.7. Minimização de Emissões tmosféricas/Odores/Ruído..... | 44 |
| 6.8. Reagentes e Aditivos..... | 45 |
| 6.9. Resíduos Sólidos..... | 46 |
| 6.10. Reciclagem de Aparas de Papel..... | 47 |
| 6.11. Reciclagem de Embalagens Longa Vida..... | 49 |
| 7. Bibliografia..... | 49 |

1. Introdução

Este Guia foi desenvolvido para levar até você informações que o auxiliarão a integrar o conceito de Produção Mais Limpa (P+L) à gestão de sua empresa. Embora a P+L já seja um conceito conhecido de muitas indústrias, principalmente no que se refere às melhorias de eficiência dos processos, ainda persistem dúvidas na hora de adotá-la no cotidiano das empresas. De que forma ela pode ser efetivamente aplicada nos processos e na produção? Como integrá-la ao dia-a-dia dos colaboradores? Que vantagens e benefícios traz para a empresa? Como uma empresa de pequeno porte pode trabalhar à luz de um conceito que, à primeira vista, pode parecer sofisticado ou caro?

Para responder a essas e outras questões, este Guia traz algumas orientações técnicas com o objetivo de auxiliar você a dar o primeiro passo na integração de sua empresa a este conceito, que tem levado diversas organizações à busca de uma produção mais eficiente, econômica e com menor impacto ambiental.

Em linhas gerais, o conceito de P+L pode ser resumido como uma série de estratégias, práticas e condutas econômicas, ambientais e técnicas, que evitam ou reduzem a emissão de poluentes no meio ambiente por meio de ações preventivas, ou seja, evitando a geração de poluentes ou criando alternativas para que estes sejam reutilizados ou reciclados.

Na prática, essas estratégias podem ser aplicadas a processos, produtos e até mesmo serviços, e incluem alguns procedimentos fundamentais que inserem a P+L nos processos de produção. Dentre eles, é possível citar a redução ou eliminação do uso de matérias-primas tóxicas, aumento da eficiência no

uso de matérias-primas, água ou energia, redução na geração de resíduos e efluentes, e reuso de recursos, entre outros.

As vantagens são significativas para todos os envolvidos, do indivíduo à sociedade, do país ao planeta. Mas é a empresa que obtém os maiores benefícios para o seu próprio negócio. Para ela, a P+L pode significar redução de custos de produção; aumento de eficiência e competitividade; diminuição dos riscos de acidentes ambientais; melhoria das condições de saúde e de segurança do trabalhador; melhoria da imagem da empresa junto a consumidores, fornecedores, poder público, mercado e comunidades; ampliação de suas perspectivas de atuação no mercado interno e externo; maior acesso a linhas de financiamento; melhoria do relacionamento com os órgãos ambientais e a sociedade, entre outros.

Por tudo isso vale a pena adotar essa prática, principalmente se a sua empresa for pequena ou média e esteja dando os primeiros passos no mercado, pois com a P+L você e seus colaboradores já começam a trabalhar certo desde o início. Ao contrário do que possa parecer num primeiro momento, grande parte das medidas são muito simples. Algumas já são amplamente disseminadas, mas neste Guia aparecem organizadas segundo um contexto global, tratando da questão ambiental por meio de suas várias interfaces: a individual relativa ao colaborador; a coletiva referente à organização; e a global, ligada às necessidades do país e do planeta.

É provável que, ao ler este documento, em diversos momentos, você pare e pense: “mas isto eu já faço!” Tanto melhor, pois isso apenas irá demonstrar que você já adotou algumas iniciativas para que a sua empresa se torne mais sustentável. Em geral, a P+L começa com a aplicação do “bom senso” aos processos, que evolui com o tempo até a

incorporação de seus conceitos à gestão do próprio negócio. Importante ressaltar que a P+L é uma estratégia que pode se aplicar aos sistemas de gestão, e que abrange diversos níveis da empresa, da alta diretoria aos diversos colaboradores. Trata-se não só de mudanças organizacionais, técnicas e operacionais, mas também de uma mudança cultural que necessita de comunicação para ser disseminada e incorporada ao dia-a-dia de cada colaborador.

É uma tarefa desafiadora, e que por isso mesmo consiste em uma excelente oportunidade de agregar inovação e competitividade à sua empresa. Com a P+L é possível construir uma visão de futuro, aperfeiçoar as etapas de planejamento, expandir e ampliar o negócio, e o mais importante: obter simultaneamente benefícios ambientais e econômicos na gestão dos processos. Com isso, o objetivo deste material é demonstrar a responsabilidade de cada empresa, seja ela pequena, média ou grande, com a manutenção e melhoria da qualidade ambiental, atitude imprescindível para a gestão responsável das empresas.

De modo a auxiliar as empresas nesta empreitada, este Guia foi estruturado em capítulos que se iniciam com a descrição do setor; apresentam a descrição dos processos produtivos, com as etapas genéricas e as entradas de matérias-primas e saídas de produtos, efluentes e resíduos; discutem os potenciais impactos ambientais potenciais

da atividade produtiva, que pode ocorrer quando não existe o cuidado com o meio ambiente; e por fim mostram alguns exemplos de procedimentos de P+L aplicáveis à produção: uso racional da água com técnicas de economia e reuso; técnicas e equipamentos para a economia de energia elétrica; utilização de matérias-primas menos tóxicas, reciclagem de materiais, tratamento de água e de efluentes industriais, entre outros.

Esperamos que este Guia contribua na construção de um projeto de sustentabilidade na sua empresa. Nesse sentido, convidamos você a ler este material atentamente, discuti-lo com sua equipe e colocá-lo em prática.

2. Perfil do Setor

O setor de celulose e papel é um dos segmentos industriais mais competitivos do País, com um padrão de qualidade equivalente aos melhores do mundo, atuando num mercado globalizado e extremamente ativo. Em seu processo produtivo, o setor utiliza basicamente madeira plantada (eucalipto e pinus), originária de reflorestamentos.

O crescimento da Celulose de Mercado nos últimos 15 anos foi em média 3,3% ao ano, saindo de 29 milhões de toneladas em 1990 para uma demanda total de 47 milhões de toneladas em 2005. Nesse mesmo período, a celulose de fibra curta de eucalip-

Tabela I: Evolução da produção brasileira de celulose e papel – em toneladas anuais

| ANO | CELULOSE (Fibra Curta) | % Crescimento | PAPEL | % Crescimento |
|------|------------------------|---------------|-----------|---------------|
| 2001 | 7.4012.027 | -0,69 | 7.434.767 | 3,3 |
| 2002 | 8.021.095 | 8,22 | 7.773.913 | 4,52 |
| 2003 | 9.069.247 | 13,07 | 7.915.504 | 1,82 |
| 2004 | 9.620.143 | 6,07 | 8.452.411 | 6,78 |
| 2005 | 10.352.113 | 7,61 | 8.597.307 | 1,71 |
| 2006 | 11139449 | 7,2 | 8.744.427 | 1,8 |

Fonte: Bracelpa – Relatório Estatístico 2005/2006.

| Tabela II: Distribuição Geográfica da Produção brasileira de Celulose e Papel – em ton. anuais | | | | |
|---|------------------------|------------------|--------------|------------------|
| ESTADO | CELULOSE (Fibra Curta) | | PAPEL | |
| | Produção (t) | Participação (%) | Produção (t) | Participação (%) |
| São Paulo | 3.141.230 | 31,88 | 3.877.934 | 45,11 |
| Espírito Santo | 2.134.530 | 21,66 | | |
| Bahia | 1.061.118 | 10,77 | 302.996 | 3,52 |
| Minas Gerais | 967.060 | 9,82 | 392.742 | 4,57 |
| Santa Catarina | 867.921 | 8,81 | 1.596.098 | 18,57 |
| Paraná | 790.482 | 8,02 | 1.726.313 | 20,08 |
| Rio Grande do Sul | 446.073 | 4,53 | 204.149 | 2,37 |
| Pará | 364.227 | 3,7 | 35.850 | 0,42 |
| Maranhão | 53.821 | 0,55 | 67.340 | 0,78 |
| Pernambuco | 26.000 | 0,26 | 117.091 | 1,36 |
| Rio de Janeiro | 0 | 0 | 193.311 | 2,25 |
| Amazonas | 0 | 0 | 30.300 | 0,35 |
| Paraíba | 0 | 0 | 26.193 | 0,30 |
| Goiás | 0 | 0 | 10.100 | 0,12 |
| Ceará | 0 | 0 | 8.500 | 0,10 |
| Sergipe | 0 | 0 | 6.000 | 0,07 |
| Rio Grande do Norte | 0 | 0 | 2.390 | 0,03 |

Fonte: Relatório Anual da Bracelpa 2006.

to cresceu em média 7,4% ao ano, saindo de 3,5 milhões de toneladas em 1990 e passando para mais de 10 milhões de toneladas em 2005. Em termos de mercado mundial, a fibra de eucalipto subiu 12% desde 1990, para 21% do mercado mundial de celulose.

Apesar do avanço do processo de informatização, a demanda tem continuado a crescer expressivamente, por conta do aumento no consumo de papéis de impressão e para utilização em embalagens, fazendo com que se busque a ampliação das unidades produtivas existentes e o projeto de novas unidades. Nesse cenário, destacam-se o Estado de São Paulo, a Bahia, Espírito Santo e Rio Grande do Sul.

3. Descrição do Processo

A origem dos primeiros processos de produção de papel se confunde com a pró-

pria história da humanidade. Pressupõe-se a existência de um número de variações igual ou maior que o de matérias primas empregadas. Desde o núcleo fibroso da planta papíro, já se fabricou papel a partir de trapos, fibra de cânhamo (EUA, Austrália e França), folhas de amoreira (Japão) e assim por diante. Em países em desenvolvimento se estima que 60% da fibra celulósica venha de insumos agrícolas como bagaço de cana, palha de cereais, bambu, juncos, gramíneas, juta, sisal e outros¹.

No Brasil, a quase totalidade da produção de papel se dá a partir da celulose de fibras curtas, obtida de madeiras de áreas de reflorestamento; essas podem ser duras (*eucaliptos*) ou mais moles (*pinus*) – utilizadas conforme as demandas de mercado. A maior difusão do eucalipto se deve às suas vantagens competitivas, como boa aclimação às condições brasileiras (permitindo aproveitamento da planta em até 7 anos e,

1. World Bank Group. Pollution Prevention and Abatement Handbook. Julho de 1998.

no caso de florestas europeias, de 20 a 50 anos, além da melhora das propriedades de maciez proporcionadas aos papéis da linha “Tissue” (linha sanitária).

A produção de papel, papelão e outros artefatos afins pode ocorrer a partir da fibra celulósica virgem, da reconstituição da polpa de papel reciclado (aparas) ou ambas combinadas. Uma dada unidade industrial pode apenas processar a polpa produzida fora ou funcionar como uma unidade integrada (fábrica de papel e celulose). Os impactos ambientais irão variar conforme o processo envolvido. A produção de polpa de celulose (polpeamento) também varia conforme as características desejadas para o produto final e o processo empregado para remoção de lignina² das fibras. O polpeamento pode empregar dois tipos de ação: mecânica ou química (seja por cozimento ou digestão). Também existem alguns processos mistos.

De forma abrangente, pode-se dividir os processos de produção de celulose em:

- Processos mecânicos, termo-mecânicos ou termo químico-mecânicos;
- Processo de produção de celulose ao sulfato – Kraft³ (alcalino);
- Processo de produção de celulose ao sulfito (ácido);

Os métodos mecânico e termo-mecânico (moagem mais calor) separam as fibras desagregando a madeira por ação abrasiva (discos) ou impacto (facas). Aproveitam praticamente 90% da madeira, mas produzem um papel de fibra demasiado curta e frágil, com um maior residual de lignina (o que leva a um rápido amarelecimento da folha), além de demandarem mais energia para a desagregação. A polpa pode ser utilizada sem branqueamento, para a fabricação de papéis em que não haja exigências de brilho, principalmente papel jornal. No entanto, para a maioria dos outros usos (papéis para impres-

são e algumas embalagens), a polpa mecânica terá que ser branqueada.

A fim de se avaliar o conteúdo de lignina de uma dada polpa, define-se o número “kappa”, variando de 1 a 100 (de 1 a 70 para as madeiras mais comuns). O número *kappa* é muito utilizado no setor para avaliação dos diferentes processos de extração de lignina⁴. O teor de lignina pode ser estimado multiplicando-se o número *kappa* pelo fator 0,165⁵.

Os processos mistos químico-mecânicos e termo químico-mecânicos são similares, apenas empregam menos energia; utilizam agentes amaciantes como sulfito (Na_2SO_3), carbonato (Na_2CO_3) ou hidróxido de sódio (NaOH). Nessas polpas, a maior parte da lignina residual fica retida no papel, mas na fase de branqueamento ela é, por sua vez, oxidada com o emprego de peróxidos e hidrossulfitos.

Os processos químicos são os que geram as polpas mais puras, sendo os mais utilizados no país. Transformam aproximadamente metade da madeira em “resíduo” (grande parte na forma de licor negro, reaproveitado como veremos a seguir), além de demandar grandes quantidades de água e apresentar impactos ambientais potenciais significativos.

Tendo em vista que o processo com sulfito parece estar caindo em desuso e que a grande maioria das plantas do país utiliza o processo Kraft, fornece-se abaixo uma descrição sucinta do mesmo.

3.1. Processo de Produção de Celulose Branqueada – Kraft

É utilizado para produzir uma ampla variedade de polpas, principalmente as destinadas à produção de embalagens de papelão e papéis de alta resistência, além da maior parte daquela utilizada nos papéis de impressão utilizados no país.

2. Substância, ou mistura de substâncias carbonadas, relacionadas fisiologicamente à celulose e que com esta constitui a parte essencial do tecido lenhoso.

3. Kraft - força em alemão. Diz respeito à boa resistência do papel assim produzido.

4. O número kappa é obtido através da reação da polpa de celulose com uma solução padrão de permanganato de potássio.

5. Maiores detalhes sobre seu método de determinação podem ser encontrados na norma ISO 302:2004. IPPC, 2000, apud Piotto, 2003

Trata-se de um processo que apresenta a propriedade de recuperar os insumos químicos envolvidos e que, via de regra, apresenta um alto grau de complexidade. Os detalhes de suas etapas e fluxos variam apreciavelmente entre diferentes unidades industriais, sendo que alguns podem estar envoltos em segredo industrial. Por essa razão e para melhor entendimento pelos leitores, aqui serão apenas apresentadas as etapas de forma genérica, considerando-se uma planta hipotética, de tecnologia relativamente moderna. Este pode ser dividido

em quatro grandes fases ou macro-etapas, com impactos distintos:

- Extração, seleção e preparação da madeira;
- Da madeira à celulose marrom (digestão; etapas de recuperação de insumos químicos, em “circuito fechado”);
- Da celulose marrom à celulose branqueada;
- Produção de papel ou papelão.

As Figuras 1 e 2 respectivamente ilustram, sob forma esquemática, o processo principal de produção de celulose Kraft e, de forma mais detalhada, o ciclo de recuperação dos reagentes de digestão.

Figura 1: Fluxograma simplificado do processo alcalino (Kraft) de produção de celulose e papel (Fonte: ABTCP)

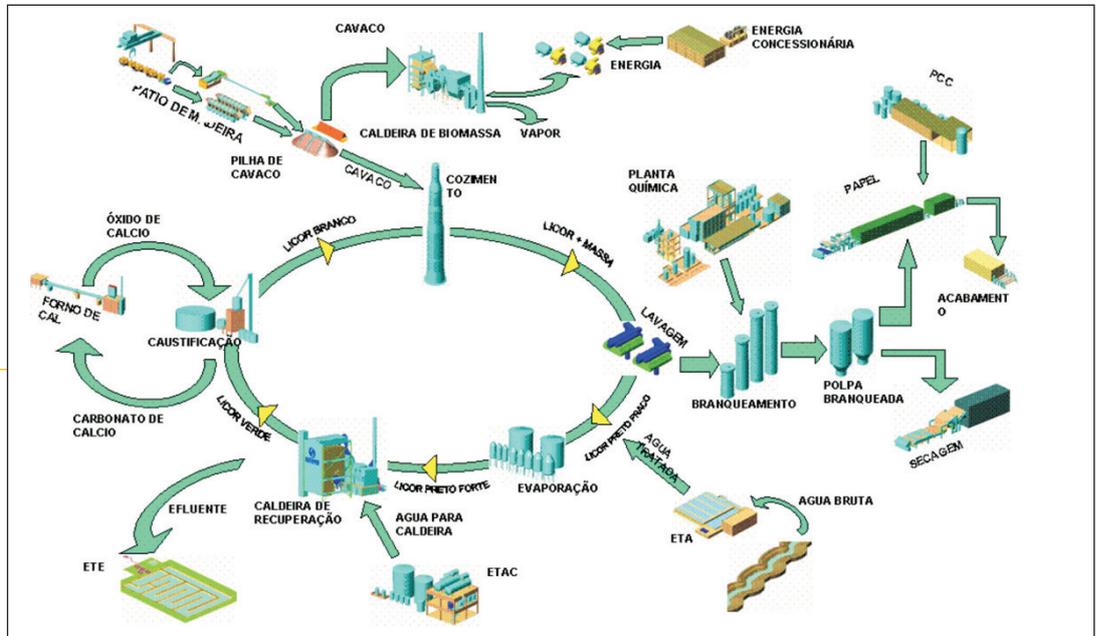
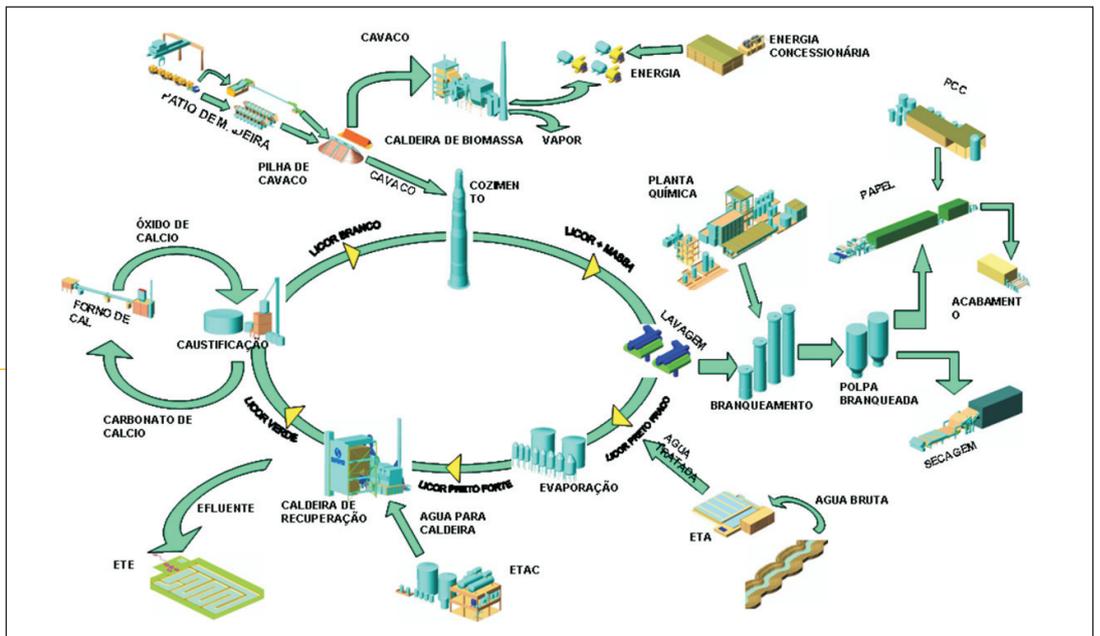


Figura 2: Fluxograma simplificado das etapas de recuperação de insumos do processo Kraft (Fonte: ABTCP)



3.2. Preparação da Madeira

O processo produtivo de polpa de celulose se inicia nas áreas florestais, que em geral são de propriedade das próprias empresas; lá, as árvores são derrubadas, desgalhadas e as toras cortadas, sendo que algumas fábricas realizam o descascamento na própria floresta, para depois enviá-las, normalmente por caminhões, até as unidades industriais, onde são armazenadas em pátio de estocagem de toras, para servir como reserva estratégica para eventuais interrupções no sistema transporte de madeira da floresta para a fábrica. Lá, as toras são separadas conforme seu tamanho (critério de diâmetro). Aquelas que não atendam os requisitos para o cozimento são separadas e enviadas para um picador específico, onde são reduzidas a cavacos para alimentação da caldeira de biomassa, com geração de vapor e energia suplementar.

Nessa etapa, as toras são lavadas para remoção do material argiloso aderido às cascas e à própria tora. Seguem-se as etapas

de descascamento (caso as mesmas não tenham sido realizadas no campo) e picagem. A madeira para celulose segue para os equipamentos descascadores, que removem a casca por atrito, usualmente através de discos giratórios. Essa casca também é encaminhada às caldeiras de biomassa. Nos picadores, a madeira é desagregada pela ação de lâminas rotativas, que têm a importante função de obter cavacos de tamanho uniforme e dimensões bem definidas, que facilitem o processo de digestão. Sempre que a picagem não apresente uniformidade no tamanho dos cavacos produzidos, seja por gerar cavacos muito pequenos (“serragem”, “palitos”) ou muito grandes (“lascas”), a saída do picador segue, via esteira transportadora, até uma série de peneiras vibratórias, que fazem a seleção e separam os materiais que apresentam tamanho adequado para cozimento.

Os cavacos de madeira para celulose são então armazenados a céu aberto em um pátio ou em silos cobertos, onde ficam

Figura 3: Pátio de estocagem de madeira – foto de Milton Souza



6. Piotto, Zeila C. Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel – Estudo de Caso Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003)

constituem uma reserva estratégica da empresa em caso de problemas no fornecimento de madeira, ou servem para definir misturas adequadas (por tipo de madeira) ao Cozimento.

A quantidade de material obtida (rendimento dos processos) dependerá da seleção realizada e da eficiência dessas diversas etapas. Os valores mais comuns estão em torno de 4 a 6,6m³ de madeira por tonelada de polpa, considerando-se uma densidade média da madeira entre 0,4 e 0,6g/cm³. A quantidade de cascas varia de 12 a 15% em massa⁶.

3.3. Da Madeira à Celulose Marrom

Esta fase ocorre após a picagem, seleção e estocagem, em que se dão as etapas de digestão (o coração do processo), separação do licor negro da celulose, sua concentração nos evaporadores, queima na caldeira de recuperação (co-geração de energia), formação do licor verde e caustificação/calцинаção (recuperação de produtos

químicos, que são reciclados à digestão) – Veja-se as Figuras 1 e 2.

Digestão: Os cavacos selecionados são levados ao digestor, um vaso de pressão, para impregnação com o chamado licor branco, uma solução aquosa alcalina contendo reagentes como hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), em temperaturas entre 110 e 120 °C e pressão entre 8,0 e 10,0 kgf/cm², o que ajuda a cozinhar a massa e realizar a impregnação dos cavacos pelos reagentes. Nessas condições de cozimento dá-se a reação do Licor Branco com a madeira, dissolvendo a lignina e transformando os cavacos em celulose marrom, dessa forma individualizando as fibras. Da reação do licor branco com a lignina forma-se o licor negro, onde se concentram, além de lignina, quase todos os reagentes, e várias outras substâncias constituintes da madeira, uma parte sob a forma de substâncias odoríferas.

Figura 4: Pátio de cavacos – foto de Milton Souza



O tempo de duração dessa etapa pode variar de trinta minutos até aproximadamente 2 a 3 horas, eventualmente mais. Esse processo pode ocorrer em forma de batelada ou contínuo, onde, após o cozimento, a massa e o licor passam para um tanque de descarga (*blow tank*), onde a pressão é equalizada e é feita a separação em celulose e licor negro. Ultimamente, a tendência tem sido a opção pelos digestores em fluxo contínuo, onde todo processo ocorre sem interrupção em duas colunas, uma para impregnação com vapor e outra para o processo de digestão.

Além de mais econômicos, os digestores contínuos apresentam menor nível de emissões atmosféricas odoríferas, o que recomenda sua adoção em quase todas as plantas, recentes ou reformadas.

Concentração e queima do licor negro:

Devido à severidade do polpeamento químico, o licor negro gerado na digestão é extremamente rico em material or-

gânico de alto poder calorífico (contém aproximadamente metade da massa da madeira original), o que torna viável sua utilização como insumo energético; ademais, o processo também permite a recuperação de boa parte das substâncias químicas de digestão.

Após sua separação da celulose (por lavagem), o licor negro é enviado para o setor de Evaporação, onde uma seqüência de evaporadores em série (aquecidos a vapor) remove o excesso de água, aumentando a concentração de sólidos da mistura. Quando esta atinge uma concentração ótima, o licor é bombeado para os queimadores da caldeira de recuperação, a qual produz vapor a alta pressão, passível de utilização para co-geração de energia elétrica (através de turbinas) e vapor de processo, além de transformar os compostos de sódio do cozimento em Carbonato de Sódio (Na_2CO_3). Esse fato faz da caldeira de recuperação um dos equipamentos mais vitais ao funciona-

Figura 5: Digestor contínuo – foto de Celso Foelkel



mento da unidade; ao mesmo tempo ela é também uma das fontes mais significativas de emissões atmosféricas, na forma de material particulado e de enxofre total reduzido (ETR), cuja sigla mais conhecida no setor é TRS (Total Reduced Sulfur), que necessitam de controle adequado.

Formação do licor verde (solução de carbonato de Sódio + Sulfeto de sódio) e processo de caustificação: Após a queima do licor negro, seus constituintes inorgânicos (“smelt”) fluem para o fundo da caldeira, onde são coletados e dissolvidos com licor branco fraco ou água quente. Grande parte desse material é composto dos mesmos reagentes que entraram no processo, basicamente carbonato e sulfeto de sódio. Ao smelt é adicionada água quente ou licor branco fraco, formando-se então o licor verde, que segue para a etapa de recuperação de reagentes.

A primeira etapa consiste em um tratamento (filtração ou decantação) para remoção de cinzas e impurezas (os “dregs”) sempre presentes após um processo de queima (uma fonte expressiva de resíduos sólidos). Segue-se o processo de caustificação, em que ao licor verde é adicionado óxido de cálcio (CaO), que reage com o Na_2CO_3 , e forma novamente hidróxido de sódio (NaOH), recompondo o licor branco forte, acrescido de uma lama calcária (carbonato de cálcio – CaCO_3), que é precipitada na reação; esta é separada e enviada para um Forno de Cal, onde ocorre a calcinação da lama, regenerando o CaO para reutilização no processo e liberando CO_2 . O licor branco regenerado também retorna ao processo de digestão, fechando o ciclo. Esse processo permite taxas de recuperação de reagentes relativamente altas. As eventu-

ais perdas de reagentes do processo, via efluentes líquidos, sólidos e gasosos são repostas por adição de álcali ao sistema, a qual pode ser feita sob a forma de soda cáustica, sulfato de sódio, cal virgem ou carbonato de cálcio.

3.4. Da Celulose Marrom à Celulose Branqueada

Esta fase engloba todas as etapas posteriores à digestão da madeira, com a consequente individualização da fibra, até a máquina de secagem de celulose, o que inclui todos os passos de depuração da massa marrom (também conhecida no setor pelo termo “*brown stock*”), o branqueamento, o refino e os tratamentos necessários a cada produto. São as etapas que envolvem o maior consumo de água e as fontes mais significativas de geração de efluentes líquidos.

Etapa de lavagem da celulose: Na saída do digestor, a mistura de polpa (fibras) mais licor negro sofre separação por intermédio das etapas posteriores de lavagem, com encaminhamento deste último ao processo de recuperação de reagentes e energia (descrito acima). Numa unidade convencional, que opere com digestão em batelada, essas etapas usualmente empregam máquinas de lavagem a vácuo em formato de tambor, enquanto os digestores contínuos usualmente têm a vantagem de serem equipados com uma zona de lavagem a alta temperatura, à qual são adicionados mais alguns equipamentos de lavagem adicionais, que podem ser do tipo tambor, prensa, com difusores ou de outras variedades. No interior do digestor, aplica-se água (ou licor) de lavagem quente à massa digerida.

Operações de lavagem eficientes servem para reduzir o residual de licor negro na massa, diminuindo o consumo de rea-

gentes necessários às etapas posteriores de deslignificação e de branqueamento (podendo vir a eventualmente eliminá-las, de acordo com o nível de exigência para o produto final). A eficiência das operações de lavagem dependerá bastante do desempenho do equipamento utilizado, da consistência da polpa digerida e, principalmente, da quantidade de água utilizada. É preciso atentar para o fato de que um aumento no desempenho de lavagem, através do aumento da quantidade de água utilizada, também implicará em um maior consumo de vapor (energia) na etapa de concentração do licor negro (evaporadores). A lavagem ocorre em múltiplas etapas e em contra corrente (água mais limpa sendo adicionada ao último lavador, com a saída deste usada para realimentar o equipamento anterior, em sentido oposto ao do fluxo da celulose lavada), podendo ocorrer de se optar por colocar uma etapa de deslignificação (descrita a seguir) entre dois estágios de lavagem consecutivos.

Deslignificação (pré-branqueamento):

As polpas Kraft são muito resistentes (quando produzidas com fibras longas), mas também muito escuras. Como já foi dito, o alto teor de lignina no “*brown stock*” é um problema potencial, não só em termos de maior necessidade de reagentes alvejantes (maior custo), mas também devido ao seu maior potencial de geração de impactos ambientais, resultantes da utilização desses reagentes. Nas plantas modernas, é normal a adoção de uma etapa intermediária de deslignificação entre a lavagem e o branqueamento (ou entre dois estágios consecutivos de lavagem), utilizando-se oxigênio puro em meio alcalino. A operação é compatível com o emprego de qualquer dos tipos de digestão e pode ser

realizada em uma ou duas fases, com ou sem o emprego de um estágio intermediário de lavagem. De forma a manter o meio alcalino necessário ao processo, normalmente adiciona-se licor branco fraco à mistura; nessas condições, o NaOH mantém o pH suficientemente alto e o sulfeto de sódio vai a tiosulfato; também pode-se adicionar sulfato de magnésio ($MgSO_4$) para manter a integridade da massa. Devido à baixa solubilidade do oxigênio na mistura, o reator trabalha pressurizado e sob uma temperatura de cerca de 100 °C. A matéria orgânica solubilizada durante essa etapa pode ser perfeitamente encaminhada ao estágio de recuperação química, sem que haja necessidade de grandes modificações de processo, assim reduzindo a carga de efluentes para o sistema de tratamento.

Branqueamento: É a etapa que causa o maior impacto ambiental dessa fase do processo, principalmente no que diz respeito aos efluentes líquidos. Ela nem sempre está presente, salvo nos casos em que isso seja considerado imprescindível (como na produção de papel branco, papéis brilhantes, “tissue” e outros). O branqueamento é usualmente realizado em vários estágios ácidos ou então em meio alcalino. No processo convencional, usualmente tem-se empregado compostos de cloro, como o Dióxido de Cloro, para impregnar a massa e oxidar qualquer residual de lignina que ainda persistir após o cozimento e a deslignificação.

O Cloro Gasoso, em função dos altos riscos ocupacionais e ambientais ligados ao seu emprego, além de fatores de mercado, está sendo gradualmente banido, em favor de processos denominados “ECF” (Elemental Chlorine Free - processos Livres de Cloro Molecular) ou aqueles totalmen-

te livres do emprego de Cloro (descritos pela sigla TCF – *Totally Chlorine Free*). Este último envolve o uso de outros agentes, como oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio, enquanto que o ECF emprega principalmente dióxido de cloro e, eventualmente, hipoclorito de sódio. Mais recentemente, o ácido peracético se tornou disponível no mercado (ainda de modo incipiente) para uso como agente alvejante.

De uma maneira geral, por não serem tão reativos os processos TCF apenas admitem o trabalho com um menor conteúdo de lignina (valores de *kappa*) na massa do que seria possível no branqueamento por processos ECF. A escolha do agente e dos produtos químicos auxiliares a utilizar, além da seqüência de etapas a serem seguidas, dependerá do produto desejado e das características dos agentes alvejantes, tais como:

Cloro gasoso e hipoclorito: estão rapidamente deixando de ser utilizados; na maior parte dos casos estão sendo substituídos pelo dióxido de cloro. No processo de produção desse composto, alguma quantidade residual de cloro gasoso ainda é formada como subproduto e tal residual, sem dúvida, acaba por atuar no branqueamento.

Dióxido de cloro: assim como o ozônio, é um oxidante muito forte e precisa ser gerado na própria unidade industrial, para uso imediato, enquanto que o peróxido de hidrogênio, o oxigênio e os álcalis podem ser recebidos de terceiros.

Ozônio: é, talvez, o agente alvejante mais reativo, enquanto que o dióxido de cloro, o oxigênio e o peróxido são menos reativos (requerem maior tempo de contato). O processo consiste em levar a lignina a

uma forma solúvel em base alcalina (adição de hidróxido de sódio ou licor branco). O emprego de processos TCF permite que os efluentes da etapa de branqueamento sejam utilizados na lavagem da polpa em processo de contra-corrente.

Secagem da Celulose Branca: Trata-se da fase final da produção de celulose e apenas tem lugar em grande escala no caso de plantas exclusivas de celulose (geralmente para exportação), mas também pode ter lugar em fábricas de papel e celulose (integradas) que disponham de um excesso de produção que lhes permita fornecer polpa ao mercado. Secadoras de proporções reduzidas podem ser utilizadas para produzir pequenas partidas de celulose excedente para uso como estoque regulador, para utilização durante emergências ou paradas do processo para manutenção. Após uma última etapa de depuração, a celulose é encaminhada para a secadora, que apresenta um arranjo físico muito similar ao de uma máquina de papel. A massa (a uma consistência próxima a 98% de umidade) entra por uma extremidade e passa por cilindros aquecidos a vapor, ou por colchões de ar aquecido, saindo em forma de bobina (a 5 % de umidade), que é cortada em grandes folhas e enfardada para expedição.

3.5. Produção de Papel ou Papelão a partir de Celulose Virgem/ Aparas

Como já foi dito, as etapas após a celulose pronta (seja ela branqueada ou não) geralmente se dão em unidades totalmente autônomas (realidade da grande maioria das empresas médias e pequenas do país). Esse processo pode apresentar um número imenso de variações, que não serão objeto deste manual, razão pela qual a descrição ficará restrita às macro operações básicas, que sempre estão presentes:

- Preparação da massa (diluição);
- Etapas de purificação e refino;
- Máquina de papel propriamente dita.

Já há algum tempo as fibras de celulose reciclada vêm se tornando um insumo indispensável à indústria, principalmente devido ao preço potencialmente mais vantajoso do papel reciclado quando comparado ao da celulose virgem, sem falar em sua crescente popularidade, devida às diversas campanhas pelo consumo consciente. O processo básico de produção a partir de aparas é muito similar ao que só emprega celulose virgem; a grande diferença diz respeito à ausência das operações de digestão e à necessidade muito maior por etapas de depuração e limpeza. Além disso, grande parte das empresas do setor hoje emprega quantidades consideráveis de fibra reciclada (existindo muitas plantas que se utilizam exclusivamente de aparas). Para benefício do leitor e de modo a se evitar repetições desnecessárias, far-se-á uma descrição geral e sucinta, válida para

ambos os processos, mencionando-se sempre que existam diferenças.

Pré-seleção em empresas aparistas (só p/ processo de aparas): o papel reciclado é separado do lixo e vendido a sucateiros, que o enviam a depósitos. Ali, o papel é enfardado em prensas e depois encaminhado aos aparistas, que classificam as partidas e as revendem para as fábricas de papel como matéria-prima. O transporte é feito em caminhões cobertos, de modo a se evitar a absorção de umidade.

Ecepção e seleção (só p/ processo de aparas): ao chegarem à fábrica, os fardos de papel são pesados e classificados. Essa classificação é feita de acordo com um “grau de brancura” visual de cada partida (branco de 1a, de 2a, de 3a, etc.), o que também condiciona o seu preço de aquisição. As mais valiosas são as chamadas “brancas de primeira”, resultantes do rebarbamento das bobinas de papel branco virgem; a partir daí

Figura 6: Recepção de aparas – foto de Celso Foelkel



o preço decresce com o acréscimo de cor e impurezas à partida. O processo de papelão possui seus próprios critérios de classificação distintos. Após essa etapa, os fardos usualmente ficam armazenados a céu aberto, aguardando processamento.

Desfibramento / preparação da massa (também se pode utilizar celulose branca a partir dessa fase):

Os fardos são colocados em uma esteira de alimentação, que os leva aos equipamentos denominados “Hidrapulpers” (similares a grandes liquidificadores), em forma de tanques cilíndricos (ao qual é adicionada água, nova e/ou reciclada), providos de rotores giratórios ao fundo, onde a massa é desagregada. O equipamento forma a pasta de celulose, em uma consistência próxima à do leite, para permitir seu bombeamento.

Figura 7: Entrada de fardos de aparas no hidrapulper – foto de André Souza



Etapas de depuração e lavagem: as etapas em si e seu número dependerão do grau de pureza da massa. São empregados equipamentos diversos, para remoção de materiais grosseiros, de materiais finos, areias e outras impurezas. As pastas recicladas contêm grande número dessas impurezas, como pedaços de papel não desagregado, metal (arames, cliques, ferragens) e plástico. Uma peneira (descontaminador), abaixo do rotor do hidrapulper, se constitui na primeira etapa de remoção de materiais grosseiros, que são separados e enviados para o lixo. As impurezas finas e areia são removidas em uma série de equipamentos como peneiras, flutuadores, separadores centrífugos (“cleaners”), e outros., que progressivamente vão purificando a massa. Nessas etapas há uso de quantidades consideráveis de água de processo, que entra para lavagem da massa.

Destintamento (opcional – só p/ processo de aparas): trata-se do grande divisor de águas do processo de reciclagem, do ponto de vista de impactos ambientais. A massa não destintada geralmente só encontra utilização para a produção de papel jornal, de embrulho e papelão. A fabricação de papéis sanitários, de escrita/para impressão, além de papel para revistas e alguns tipos de papel cartão, demanda o emprego de insumos como soda cáustica e produtos químicos (geralmente tensoativos), que retiram os resíduos de tintas e o passam para o efluente do processo, em geral sob forma coloidal. O consumo de destintantes irá depender do grau de branquidão requerido para a massa.

Engrossamento (opcional): de modo a garantir o adequado funcionamento das próximas etapas, às vezes é necessário reduzir

o teor de umidade da massa, o que se dá nos engrossadores, que removem o excesso de água, por pressão ou a vácuo.

Branqueamento (aqui somente para processo de aparas, utilização opcional):

quando há uso de aparas em proporção significativa, e dependendo do grau de brancura da massa e do produto pretendido, pode haver necessidade de se intercalar uma etapa de branqueamento adicional. Como não contém praticamente mais lignina, a pasta pode ser branqueada por processos TCF, sendo comum o uso do peróxido de hidrogênio. Dependendo do uso final, também poderá ser adicionada uma pequena quantidade de corante à massa, para conferir um determinado “tom” (p/ ex.: azulado) ao produto final e melhorar seu aspecto.

Refino ou despastilhamento (opcional):

de modo a conseguir uma maior resistência do produto, às vezes é necessário

“abrir” e reorientar as fibras de celulose, melhorando sua ligação (efeito de entrelaçamento). Isso é feito no equipamento denominado refinador ou “despastilhador”, composto de dois discos face a face que giram em sentidos opostos, aplicando determinada tensão de cisalhamento à massa.

Depuração fina e acerto do comprimento da fibra:

últimas etapas antes da entrada na máquina de papel. Dá-se nos “Cleaners” e depuradores, onde são eliminadas as areias e impurezas finas ainda existentes na pasta. Eventualmente, nem toda a massa é passível de incorporação ao novo produto. Fibras pequenas demais tendem a tornar o papel quebradiço e devem ser separadas nessa etapa, através de operações de peneiramento fino. Essas pequenas fibras são usualmente desprezadas junto com o efluente, onde a maior parte fica retida no tratamento e é reciclada a outros processos (ou deverá ser disposta como resíduo).

Figura 8: Refinadores ou Despastilhadores – Foto de Dino Ranzani



Máquina de papel: é a principal etapa de recomposição do produto final. A massa é bombeada a tanques de armazenamento e volta a ser diluída com água até uma viscosidade similar à de leite ralo (~98% de umidade), onde pode eventualmente receber seus últimos aditivos: amido, cargas minerais para conferir brilho e outros. Daí é aspergida uniformemente sobre a máquina (também denominada “mesa”). Esta se assemelha a uma longa série de esteiras rolantes, composta pelas seguintes seções:

- a caixa de entrada, que injeta a suspensão homogeneamente sobre a mesa;
- a primeira esteira, de tela grossa, por onde a água escoar por queda livre (toda a água escoada vai para uma bandeja inferior, de onde é bombeada para reuso); durante essa fase a massa vai a um teor de 12 a 20% de sólidos. As bordas irregulares da folha são aparadas com jatos d’água a alta pressão;

- uma segunda seção, em que a tela passa por bocais a vácuo e ainda outra, de tela

mais fina e rolos pressores, que progressivamente vão secando mais a massa, que aí atinge 50% de umidade;

- a seção de secagem (também denominada “secaria”), em que a aplicação de vapor sob pressão no interior dos cilindros de secagem leva a massa até seu teor de umidade final de 5%, formando-se a folha de papel “seca”;
- área de formação da bobina de papel (enrolamento).

Rebobinamento: por vezes essas grandes bobinas de papel (pesando toneladas) já se constituem no produto final, mas usualmente a unidade produtiva também efetua seu rebobinamento em suas próprias dependências, de modo a formar bobinas menores – geralmente enroladas sobre tubetes de papelão – e de mais fácil manuseio nas eventuais máquinas especializadas.

Máquinas para confecção dos produtos finais: dependendo do tipo (gramatura, brilho, propriedades mecânicas, etc.) do

Figura 9: Vista de um equipamento de depuração fina da massa de aparas reciclada (“cleaner”) – foto de Dino Ranzani



papel/papelão desejado, uma série de outros equipamentos poderá ser utilizada; calandras, bobinadeiras, rebobinadeiras, onduladeiras (só para papelão), aplicadoras de cola, máquinas de revestimento, de impressão (clichês), máquinas peletizadoras (embaladeiras) e outras.

4. Aspectos e Impactos Ambientais

Ao longo de milênios, o papel tem sido um bem de vital importância para a economia e a cultura de toda a humanidade, sendo que sua importância só tem aumentado. Hoje se vive em um mundo onde há demanda crescente por papel. Quarenta por cento do lixo doméstico de países desenvolvidos são compostos de papel. A situação é tanto mais séria quando se avalia o recente surto de crescimento econômico de países emer-

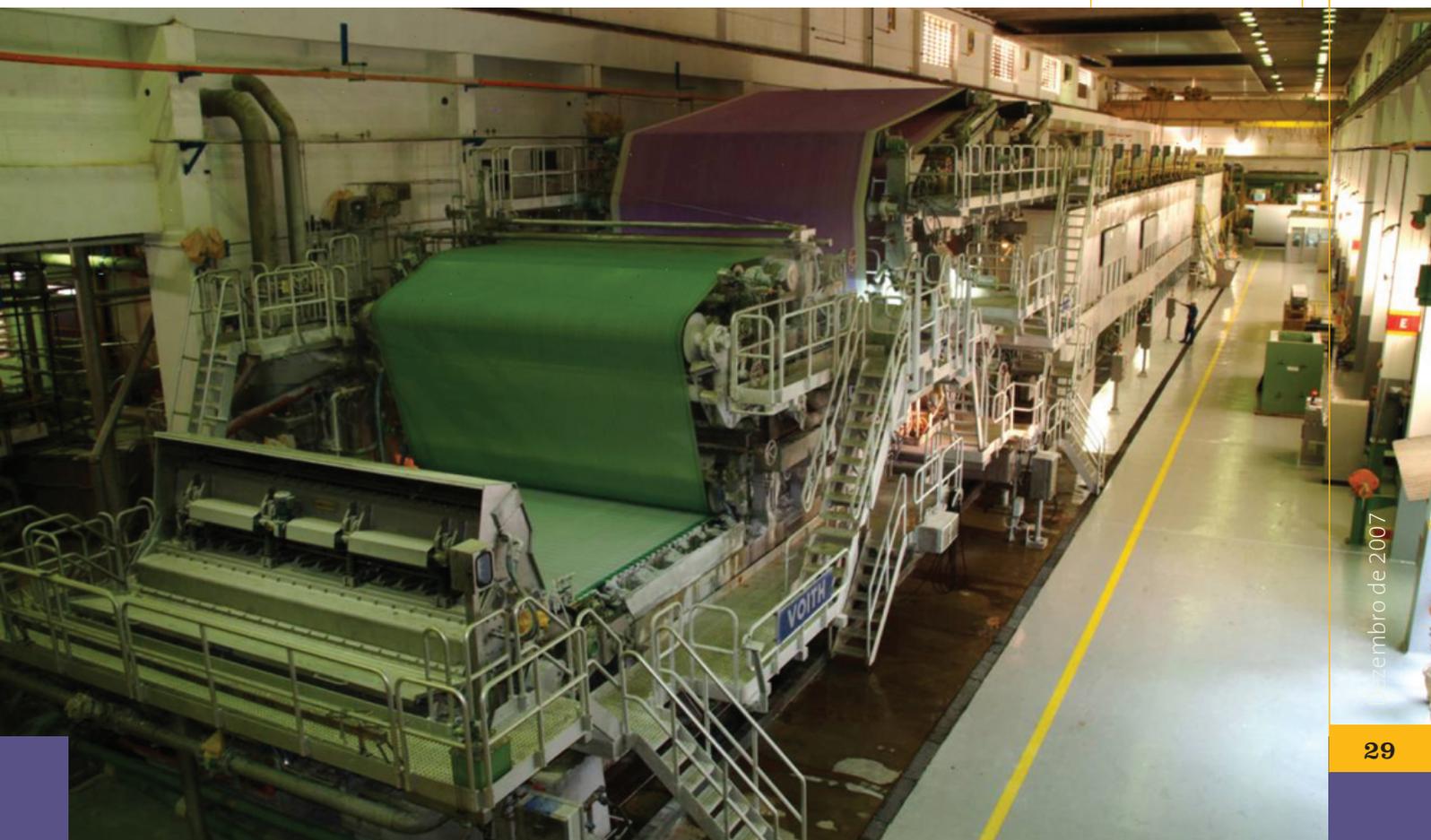
gentes como a China. As estimativas são de que, mantidas as atuais taxas de crescimento, a evolução do consumo chinês poderia contribuir para a duplicação da atual demanda por volta do ano 2031, com impactos ambientais adversos.

Para o setor de Celulose e Papel, o tratamento da questão ambiental é hoje uma questão de sobrevivência. Ano após ano, esta premissa vem sendo tratada como uma variável gerencial relevante ao negócio.

Quase toda a polpa de celulose utilizada hoje no Brasil é produzida a partir de madeira de eucalipto (fibra curta), segundo o processo Kraft (alcalino), com impactos potenciais à biota e sobre a saúde muito elevados, o que tem servido de incentivo à adoção de medidas de conservação de matérias-primas/energia e à utilização de tecnologias de controle sofisticadas, inclusive no sentido de evitar a ocorrência de incidentes e acidentes, que geralmente têm conseqüências críticas.

O leque dos poluentes adversos (ou estranhos ao meio) encontrados nas emissões

Figura 10: Vista geral de uma máquina de papel típica. Cortezia Suzano Celulose e Papel.



7. Piotto, Z., op. cit.

brutas (sem tratamento) de fábricas de celulose inclui substâncias como: monóxido de carbono, sulfeto de carbonila, cloro/dióxido de cloro, clorofórmio, dioxinas e furanos, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado, fenóis, óxidos de enxofre, compostos de enxofre reduzido (ETR), resinas acídicas, álcoois terpenos, acetaldeído, nitratos, fungos (*aspergillus fumigatus* e *aspergillus versicolor*), bioaerossóis (endotoxinas), compostos aromáticos clorados e outros compostos orgânicos voláteis (inclusive ácido dicloroacético, metil éster, 2,5 Diclorotiofano, estireno, benzeno, tolueno e xileno), sendo que seus impactos na natureza não são totalmente conhecidos até o presente. Neste capítulo procurou-se discutir os principais.

O consumo de água varia de uma fábrica para outra. É possível encontrar valores entre 15 e 100m³/t (valores acima de 50m³/t – geralmente incluem água de refrigeração)⁷.

Este valor pode ser reduzido à medida que aumentam a recirculação interna e a eficiência dos equipamentos de lavagem

e dos processos de reciclagem de filtrados alcalinos, com efeitos diretos nas descargas de efluentes.

A questão dos efluentes líquidos atualmente é equacionada com a redução de efluentes na fonte onde foram gerados, através da implantação dos chamados “Sistemas de Recuperação de Perdas”, cujo principal conceito é: “cada área geradora de efluentes também fica responsável por gerenciar suas perdas”. O emprego de tratamento secundário dos efluentes hídricos já é prática normal nas fábricas de Celulose e Papel e, alguns casos, integra-se o tratamento terciário.

Quanto às emissões atmosféricas, essas vêm sendo reduzidas através do emprego de novas tecnologias, principalmente na queima de Licor Negro, por meio da implantação da tecnologia de “Caldeiras de Recuperação de Baixo Odor”, que requerem a queima de licor negro a altas concentrações. Foram praticamente extintos os antigos evaporadores tipo cascata, que eram fontes significativas de emissão de odores (ETR/TRS).

Figura 11:
Formação da folha de papel



Estes foram substituídos por evaporadores do tipo “Falling Film”, que geram licor negro altamente concentrado (75% a 80%), além de gerarem condensados menos contaminados, os quais podem ser empregados na lavagem da polpa ou da lama de cal.

A reciclagem dos resíduos sólidos tem sido bastante empregada, principalmente pelos grandes empreendimentos do setor. A segregação dos resíduos, por tipo e fonte de geração, para tratamento em separado já é uma prática comum na indústria.

A Figura 12 ilustra, de forma esquemática, os fluxos de insumos e as principais emissões e correntes de resíduos do processo de papel e celulose, de acordo com as diferentes etapas do processo produtivo.

A seguir, são tecidas considerações acerca dos principais aspectos ambientais envolvidos no processo.

4.1 Áreas Florestais

Poucos se dão conta de que os impactos da produção de papel se iniciam nas áreas de reflorestamento. Tal discussão não é propriamente objeto deste Guia, porém vale a pena comentar que a produção florestal não se dá sem custos, como:

- imobilização de amplas áreas para cultivo de eucaliptos e pinus, que poderiam ter outras destinações;
- redução de biodiversidade nas áreas plantadas (“desertos verdes”);
- alto consumo de água de irrigação pelos cultivares;
- possibilidade de incêndios florestais e nas pilhas de resíduos de corte de árvores, gerando emissões atmosféricas, resíduos sólidos e possíveis danos a terceiros;
- uso de maquinário pesado para extração da madeira, com risco de compactação do solo;

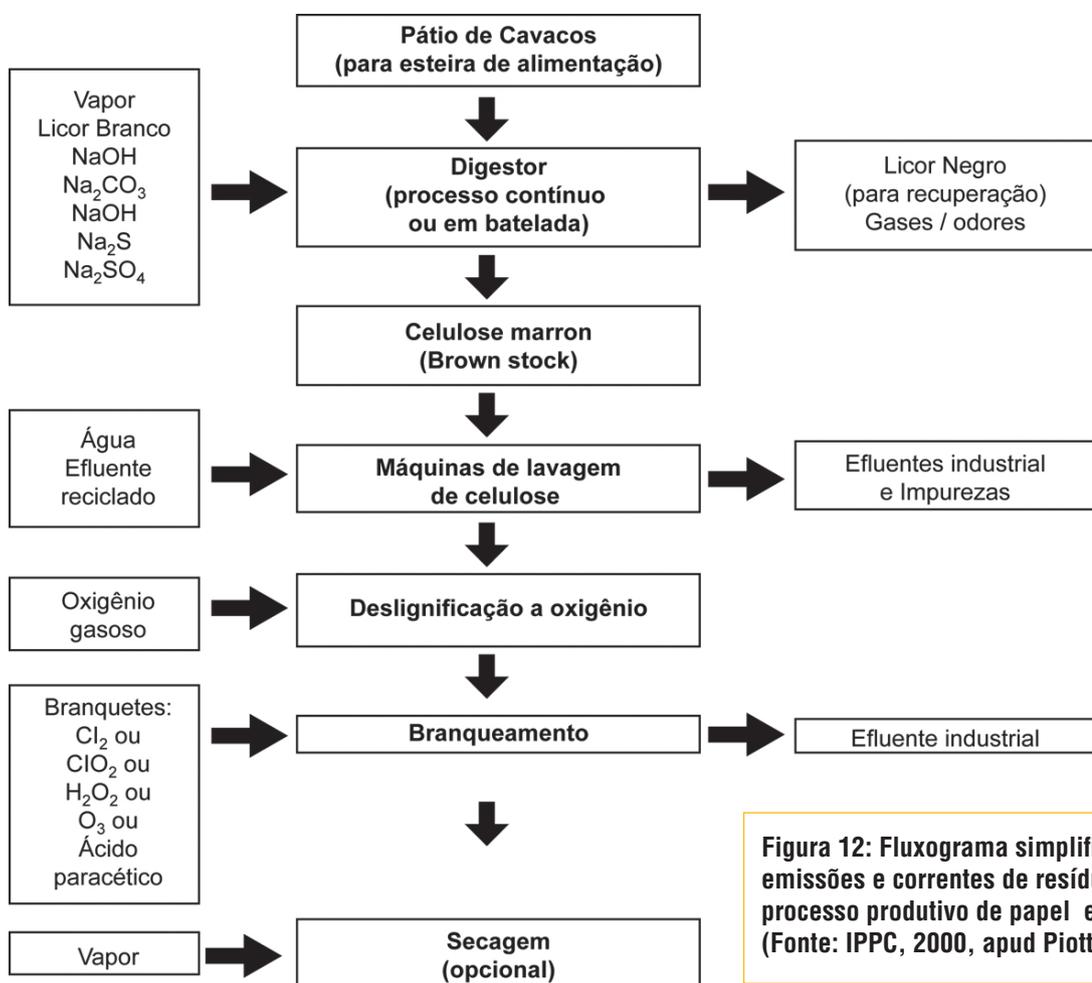


Figura 12: Fluxograma simplificado das emissões e correntes de resíduos para o processo produtivo de papel e celulose (Fonte: IPPC, 2000, apud Piotto, 2003).

- amplo uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, com riscos para, fauna, solo e águas subterrâneas

Entretanto, todos esses impactos podem ser contornados por meio do emprego de práticas de manejo sustentável da floresta.

4.2. Consumo de Água

Os processos de fabricação de celulose e papel já estiveram entre os mais intensivos em termos de consumo de água. No entanto, o setor, através de novas tecnologias e práticas operacionais, já reduziu drasticamente os índices relativos a este item. Na produção, tanto de celulose como de papel, empregam práticas voltadas para o fechamento de circuito, através da reutilização de licores, condensados e águas de lavagem. Os produtores de celulose, principalmente os exportadores, tiveram que adotar essas práticas pressionados pelo mercado. Já os demais segmentos do setor nacional reagiram preventivamente diante da Lei Federal 9433/97 que, no seu Capítulo IV artigo 5º, prevê a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Recentemente (dezembro de 2005), também entrou em vigor a Lei Estadual nº 12.183, que dispõe sobre a cobrança pela utilização de recursos hídricos no Estado de São Paulo. É previsto que sua aplicação deverá vir a disciplinar especialmente o emprego dos aquíferos subterrâneos para fins de abastecimento e uso em processos industriais.

Esta mudança no gerenciamento dos processos pode ser constatada pela apreciação dos valores de consumo específico praticados nos anos 70, quando se utilizava de 100 a 120 m³ de água por tonelada produzida de celulose; no final dos anos 90, este índice havia sido reduzido para algo em torno de 32 a 36 m³ por tonelada produzida.

Atualmente, a taxa média de recirculação de uma fábrica de celulose é de 1/30, ou seja, para cada metro cúbico aduzido de água, 30 m³ são recirculados ao processo. Pelo processo de melhoria contínua das fábricas, busca-se constantemente melhorar esta relação. Porém, devido ao aumento do volume recirculado, advêm problemas causados por incrustações e acúmulo de substâncias estranhas ao processo, que degradam a qualidade do produto final, seja celulose ou papel, desafio constante ao fechamento total de circuitos.

4.3. Consumo de Energia

O processo pode ser considerado energeticamente intenso, devido às suas múltiplas necessidades. Como ferramentas de maior consumo aparecem as caldeiras auxiliares (a biomassa, óleo, gás...) e a de recuperação, que queimam o próprio licor negro de processo. Esse equipamento é dos mais importantes, fornecendo por volta de 80% das necessidades energéticas da unidade industrial, tanto em forma de vapor de processo (tanto as secadoras de celulose quanto as máquinas de papel são consumidoras expressivas de vapor),

| Tabela III: Consumo médio de energia no processo produtivo de celulose. | | |
|--|-------------------------------------|---|
| Tipo / Parâmetro | Consumo de energia térmica (GJ/tsa) | Consumo de energia elétrica (MWh/tsa ⁹) |
| Polpa branqueada/ fábricas não integradas | 10 a 14 | 0,6 a 0,8 |
| Polpa branqueada/ fábricas integradas | 14 a 20 | 1,2 a 1,5 |
| Polpa não branqueada/ fábricas integradas | 14 a 17,5 | 1,0 a 1,3 |

Fonte: IPPC, 2001

quanto através da geração de energia elétrica (em turbinas), o que torna as indústrias de celulose praticamente auto-sustentáveis em termos de energia elétrica e térmica.

A tabela III demonstra, de forma genérica, o consumo médio de energia no processo produtivo, que pode ter origem na queima efetuada no processo de recuperação, queima de biomassa ou ser fornecida pelas distribuidoras de energia elétrica. Os dados aqui apresentados se referem à estimativa do *European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau* – EIPPC⁸.

Em fábricas de celulose, é comum a adoção de caldeiras a biomassa (resíduos de madeira), onde é queimado o material inadequado ao processo produtivo, que inclui galhos, gravetos, cascas, nós, palitos e outros.

As emissões de material particulado (e quantidades apreciáveis de cinzas) dessas caldeiras também precisam ser adequadamente controladas. Recentemente também passou a ser utilizado o gás natural, alternativa considerada mais amigável ambientalmente e de custo razoável, com muitas adaptações de queimadores de óleo para gás e para o tipo bi-combustível. Vários outros equipamentos – motores, compressores/bombas de vácuo, bombas hidráulicas, misturadores, depuradores, refinadores (despastilhadores) e outros são consumidores de eletricidade, outro importante insumo.

4.4. Reagentes de Processo

O processo produtivo de celulose e papel faz uso de um amplo leque de produtos químicos e aditivos, que podem variar amplamente. Vários deles apresentam um alto potencial de danos à saúde e ao ambiente, especialmente quando se fala em processos de produção de celulose. Neste guia, menciona-se apenas os principais:

Cloro gasoso: utilizado no branqueamento da massa em unidades mais antigas, geralmente sob forma líquida (dissolvido em água, sob a forma de hipoclorito de sódio ou ácido hipocloroso). Hoje está sendo abandonado devido a uma série de fatores de risco patrimonial, ocupacional e ambiental. Os efeitos são proporcionais à concentração e ao tempo de exposição:

Dióxido de Cloro: encontra ampla utilização nos processos de branqueamento de polpa Kraft, ditos isentos de cloro elementar (descritos pela sigla em inglês ECF). Utilizado em forma de solução em água, o dióxido de cloro é um poderoso biocida cujos efeitos nocivos não podem ser menosprezados; é um gás explosivo em concentrações maiores que 12% no ar, corrosivo, altamente tóxico por ingestão, nocivo para plantas e animais, sendo que a vida aquática é particularmente sensível a seus efeitos (em concentrações acima de 3%).

Enxofre e seus compostos: conforme o processo de digestão adotado, a fabricação de celulose envolve o uso de grandes quantidades de sais de enxofre (no caso do processo Kraft, sulfato de sódio), que durante o processo de digestão sofrem reações químicas, transformando-se em compostos reduzidos de enxofre (ETR), responsáveis pelo odor característico das plantas de celulose, o que se deve à presença de substâncias como a metilmercaptana, perceptível ao olfato humano a partir de um limiar muito baixo de concentração. Além de representarem um problema de relacionamento em potencial com a comunidade do entorno da fábrica, certos sulfetos têm a propriedade de “anestésiar” o olfato quando acima de certas concentrações; isso traz o potencial de acidentes com óbitos por intoxicação/sufocamento

8. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001.

9. tsa: tonelada de celulose seca ao ar (~5% de umidade)

de operadores desavisados que porventura penetrem em ambientes com concentrações proibitivas de sulfetos, como galerias subterrâneas, sistemas de tratamento e outros.

Hidróxido de Sódio (Soda Cáustica): é uma das bases (substâncias alcalinas) mais fortes. Adicionado ao digestor para extração da lignina no processo Kraft, é outro agente altamente agressivo, na condição de base forte de pronunciado efeito corrosivo. Em contato direto com a pele, pode causar queimaduras severas, com ulceração profunda. Os efeitos sobre os olhos abrangem desde irritação severa com cicatrizes leves até cegueira permanente. A ingestão pode produzir queimaduras severas na boca, garganta e esôfago. A inalação (sob forma de aerossol) pode causar edema pulmonar. Casos de exposição severa podem mesmo levar à morte.

4.5. Aditivos

Há, ainda, um vasto conjunto de aditivos e produtos auxiliares (para conferir a cada tipo de papel as propriedades necessárias, além de ajudar a melhorar a eficiência do processo). São incluídos detergentes, destintantes, polímeros (aniônicos e

catiônicos), corantes (matizantes de papel), antiespumantes, resinas e muitos outros compostos. Várias dessas substâncias podem apresentar propriedades tóxicas e/ou irritantes, o que torna essencial o conhecimento de seus efeitos potenciais sobre a saúde humana e o meio ambiente, assim como sobre os procedimentos emergenciais em caso de derramamentos acidentais, contaminações ou intoxicações.

Embora não seja objeto deste manual, é fundamental alertar quanto à atenção para os riscos ocupacionais associados ao recebimento, transferência e manuseio de muitas destas substâncias e para a importância do uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) e coletiva (EPC's).

4.6. Efluentes Industriais

Como já mencionado, embora a composição dos efluentes do setor varie em função do tipo de produto elaborado, mais de um milhão de substâncias químicas já foram identificadas entre seus componentes, o que inclui compostos organoclorados, metais pesados, ácidos e resinas.

A Tabela IV apresenta algumas estimativas da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP para valores mé-

| Tabela IV – Faixas Típicas de Geração de Efluentes Líquidos nas principais etapas da Indústria de Celulose ¹⁰ | | |
|--|-------------------------------------|--|
| Operação | Volume Gerado (m ³ /tsa) | Concentração do Efluente (kg DBO5/tsa) |
| Beneficiamento da madeira | 1,3 – 6,0 | 0,1 – 5,0 |
| Cozimento | 1,2 – 2,0 | 0,8 – 1,2 |
| Lavagem e depuração | 3,0 – 7,0 | 5,0 – 8,0 |
| Branqueamento | 15,0 – 30,0 | 3,0 – 5,0 |
| Secagem da celulose | 4,0 – 7,0 | 0,5 – 2,0 |
| Evaporação de licor negro | 0,5 – 2,0 | 0,2 – 1,0 |
| Caldeira de recuperação | 1,0 – 2,0 | 0,5 – 1,0 |
| Gaustificação | 1,0 – 2,0 | 2,0 – 4,0 |
| Forno de cal | 1,0 – 2,0 | 0,5 – 1,0 |

tsa: tonelada de celulose seca ao ar (-5% de umidade)
 Fonte: ABTCP, 2007

10. LIMA, N. R. Controle Ambiental no Setor de Celulose e Papel.. Apresentação da Comissão de Meio Ambiente da ABTCP, 2007.

dios de geração de efluentes e respectivas cargas orgânicas para as etapas de fabricação de celulose.

Pode-se apontar alguns outros componentes normalmente presentes nos efluentes brutos que, de modo geral, podem ocorrer em concentrações acima das permitidas na legislação. Dentre esses, é possível citar os seguintes poluentes e efeitos adversos associados:

Tensoativos: apesar de não apresentarem alta toxicidade, são resistentes à biodegradação. Suas propriedades lipossolventes lhes conferem efeito bactericida, prejudicando processos biológicos importantes ao bom funcionamento dos ecossistemas aquáticos. Suspeita-se que alguns detergentes pesados de uso industrial sejam disruptores hormonais, que afetam a reprodução de organismos aquáticos, alterando o equilíbrio da biota.

Resíduos de cloro (AOX): a tendência é de aparecimento de certa quantidade no efluente, até mesmo quando a planta não utiliza branqueamento a cloro, pois a presença de matérias-primas como celulose ou aparas assim branqueadas é quase que uma garantia da sua existência no efluente, em certo teor.

Cor: uma das características mais “ofensivas” do efluente das plantas de celulose. Basicamente, tem origem nos licores escuros resultantes do processo de cozimento. Também nas indústrias de papel pode ser um problema, pois com o destintamento da massa é comum a presença de cor residual no efluente.

Soda Cáustica (NaOH): quando presente em quantidades significativas (sem que haja neutralização), apresenta efeitos corrosivos e biocidas pronunciados. Altera o equilíbrio

ecológico através da alteração do pH dos corpos d'água.

Metais pesados: oriundos do processo/aditivos de produção do papel. Podem promover efeitos tóxicos e tendem a se acumular nos organismos.

Estes compostos normalmente são tratados por via biológica e/ou físico-química, com resultados satisfatórios em termos de remoção de carga orgânica, inorgânica e toxicidade, de modo a atender os padrões de lançamento vigentes.

4.7. Processos de Branqueamento

Como foi visto, conforme a qualidade pretendida para o produto, pode ou não haver necessidade de processos de branqueamento, dependendo de fatores de mercado e da natureza da massa (ou aparas) utilizada.

Ficam claras as principais vantagens ambientais das linhas de papelão ou de papel reciclado, em relação ao papel de polpa virgem, em vista de sua necessidade reduzida, ou não necessidade, de branqueamento. Em síntese, são os seguintes os principais aspectos ambientais das etapas de branqueamento:

Branqueamento com cloro: a reação entre os compostos clorados e a polpa dá lugar a uma série de reações químicas, gerando compostos organoclorados. Alguns são os chamados poluentes orgânicos persistentes (POP's), altamente nocivos e objeto de legislação internacional (Convenção de Estocolmo, em maio/2001 que visa o seu banimento. Alguns são disruptores hormonais, enquanto que outros compostos, apesar de naturalmente presentes nas árvores que originaram o papel, tornam-se muito tóxicos quando o cloro é adicionado. Compostos organoclorados voláteis são danosos à camada de ozônio (ionosfera); também

apresentam um alto potencial de bioacumulação, tendendo a permanecer dentro do organismo que os consome, com incremento dos teores de contaminação a cada degrau superior da cadeia alimentar. Uma parte da fauna marinha e das aves acumula esses POP's a uma concentração tão alta, que não mais conseguem se reproduzir. Mamíferos afetados (inclusive humanos) acabam excretando quase que atotalidade desses organoclorados através do leite materno com que alimentam seus bebês.

Processos isentos de Cloro (TCF): uma grande variedade de processos TCF vem sendo desenvolvida, utilizando derivados de oxigênio (substâncias oxidantes) de vida mais curta, o que reduz impactos potenciais ao meio. Vários deles encontram aplicabilidade no branqueamento de papel reciclado e para produção de papéis para usos menos exigentes; recentemente têm sido muito discutidos os aspectos ambientais das seqüências ECF e TCF (definir). O grande atrativo do branqueamento TCF é a ausência da emissão de substâncias cloradas nos efluentes do processo, apesar dos mesmos apresentarem uma demanda de oxigênio (DQO) superior à de etapas ECF correspondentes. Processos TCF também tendem a produzir resíduos sólidos em maior quantidade, devido à necessidade de operações de preparação de reagentes químicos e elevado consumo de soda e sulfato de magnésio. Quanto às emissões de CO₂ fóssil (aqui enfocado devido ao aspecto de alterações climáticas e direitos de emissão), não foi notada nenhuma diferença entre os dois processos. Os mais conhecidos são:

Peróxido de hidrogênio: tem grande aplicação no processo de produção de polpa mecânica (pouco utilizado no Brasil), onde costuma ser adicionado durante a fase de co-

zimento prolongado-. Seu efeito fortemente alvejante ajuda a remover o excesso de lignina na massa. É muito utilizado para produção de papéis reciclados branqueados.

Processos oxidantes de branqueamento alternativos: vários outros processos se encontram em desenvolvimento, como os de oxigênio ativo, (combinação de oxigênio nascente e peróxido) e o de ozônio, este relativamente novo. Outro ainda utiliza ácido peracético, mais um agente quelante (não está muito claro). Independentemente do subtipo, praticamente todos envolvem o emprego de substâncias ditas "bioativas", oxidantes fortes que demandam toda uma série de precauções e cuidados de armazenamento e manuseio, afim de evitar o contato dessas substâncias, extremamente hostis, ao meio ambiente.

4.8. Resíduos Sólidos

As correntes de resíduos do setor irão variar de acordo com as particularidades do processo. Para o Kraft, as principais fonte de resíduos são:

- Grits, gerados no processo de apagamento da cal para produção de licor branco (soda caustica);
- Dregs, gerados na clarificação do licor verde (carbonato de sódio + sulfeto de sódio);
- Lama de cal, gerada nos filtros de lama de cal (carbonato de cálcio);
- Casca suja, oriunda do pátio de madeira;
- Serragem, oriunda dos picadores;
- Rejeito, oriundo da digestão da madeira.;
- Cinzas, oriundas dos precipitadores das caldeiras de biomassa e forno de cal;
- Lodo da estação de tratamento de efluentes.

Também existem outras correntes de características diversas, tais como sobras de aditivos, insumos fora de especificação ou com prazo de validade vencido, cinzas de caldeira, material retido em sistema de

controle de poluição atmosférica (filtros, ciclones e outros).

É importante considerar os resíduos resultantes da operação e manutenção da caldeira (borras oleosas, cinzas, estopas sujas, embalagens de combustível, entre outros), pois sua disposição final pode depender de autorização específica do Órgão de Controle Ambiental competente. O mesmo vale para os restos de embalagens, resíduos de serviços de saúde (ambulatório médico, consultório dentário etc), resíduos de varrição, de sanitários, escritórios/refeitório e outros.

De acordo com suas características e composição, os resíduos são classificados segundo os critérios estabelecidos na Norma ABNT – NBR10004/2004, sendo então adotados os procedimentos adequados relativos ao seu acondicionamento, armazenamento e disposição, sendo essencial consultar os órgãos ambientais competentes quanto aos procedimentos a serem adotados.

4.9. Emissões Atmosféricas/Ruído

As emissões atmosféricas potenciais são extremamente significativas, tanto se considerando a questão dos produtos de combustão quanto a das emissões fugitivas, que podem incluir materiais particulados, dióxido de enxofre, enxofre reduzido (sulfetos mercaptanas) e os perigosos - “dioxinas e furanos”. A natureza dos impactos dependerá do tipo de processo utilizado. Todas essas substâncias podem acarretar riscos severos à saúde dos empregados e ao entorno imediato, a saber:

- A *caldeira de recuperação* apresenta altas emissões potenciais de SO_x, particulados e compostos reduzidos de enxofre, demandando a utilização de equipamentos de controle adequados.
- O processo também emprega o forno de calcinação (ou de cal), geralmente queimando óleo, com um alto potencial de emissão de material particulado e outras substâncias.

- É comum o uso de *caldeiras a óleo combustível* em empresas pequenas e, nesses casos, é essencial o controle rígido da queima, de modo a minimizar as emissões de monóxido de carbono, óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado para a atmosfera.

- *Caldeiras a gás* também demandam medidas de controle das emissões, principalmente para que sejam evitadas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_{xx}), que são oxidantes fotoquímicos – precursores do ozônio troposférico (prejudicial à saúde).

- *O digestor, os evaporadores e equipamentos de processo* apresentam emissões fugitivas de compostos de enxofre reduzido (ETR), de odor desagradável. Todas essas substâncias podem causar doenças ocupacionais e/ou contaminação ambiental e, de acordo com as necessidades, devem ser controladas por sistemas de tratamento de gases não condensáveis.

As emissões atmosféricas normalmente estão sendo controladas através do emprego de precipitadores eletrostáticos, lavadores de gases, filtros tipo “Bag” e outros equipamentos semelhantes.

Para controle das emissões fugitivas, que são as que causam mais desconforto, seja para as pessoas que estão dentro da fábrica ou nas cercanias da indústria, tem sido empregado o tratamento de gases não condensáveis, que consiste em se enclausurar as fontes geradoras destes gases de forma a captá-las e direcioná-las para um sistema de tratamento, constituído basicamente por sistemas de lavagem ou de incineração.

Adicionalmente, algumas das etapas de processo podem gerar níveis inaceitáveis de ruído, com grande potencial de incômodos à vizinhança da unidade industrial.

4.10. Dioxinas e Furanos

Designa-se por dioxinas e furanos toda uma família de substâncias químicas que

ocorrem acidentalmente em vários processos industriais, sempre que há emprego de cloro e calor. Suas principais fontes em potencial são equipamentos que queimem combustíveis contendo substâncias cloradas (caldeiras, forno de calcinação), sempre que ocorram condições propícias à sua formação (como temperatura de queima demasiado baixa, problemas na mistura ar/combustível e outros).

Também há possibilidade significativa de migração (via cinzas, por exemplo) para o efluente do sistema de tratamento, o que deve ser monitorado freqüentemente, uma vez que se trata de poluentes orgânicos persistentes (POP's), que tendem a se acumular ao longo da cadeia alimentar.

Dioxinas e furanos são altamente tóxicos tanto para a biota quanto para o ser humano. Alguns estudos indicam que essas substâncias interferem na ação de determinados hormônios do corpo, acoplando-se a seus receptores e impedindo seu funcionamento natural. Além disso, são cancerígenos e danosos ao sistema imunológico e reprodutor.

4.11. Impactos da Reciclagem de Aparas

De uma maneira geral, os processos de reciclagem de fibras de celulose vêm ganhando muita visibilidade, sendo hoje uma dos aspectos de maior proeminência de várias iniciativas de consumo sustentável. Ainda assim, é importante frisar que, apesar dos processos de reciclagem contribuírem para a sustentabilidade como alternativa ao uso da fibra virgem, também apresentam limitações, visto que as fibras possuem um ciclo máximo de reciclagem de 3 a 5 vezes, o que até o momento tem inviabilizado o uso de papel 100% reciclado.

Além disso, a maior parte do papel reciclado é produzida em empresas pequenas, que muitas vezes não possuem sistemas de

tratamento adequados e estão localizadas próximas a córregos pequenos, que acabam recebendo uma elevada carga de poluentes, incluindo corantes, fatores que impõem a necessidade da conscientização de seus gestores para um adequado controle de tais processos. Analisam-se a seguir alguns dos principais aspectos ambientais ligados a essas atividades.

Uma etapa importante do processo ocorre imediatamente *antes* da chegada à unidade industrial, através da atividade de catadores, cooperativas e aparistas de papel. Como no país ainda não existe um arcabouço formal de regulamentação das atividades de coleta e reciclagem de papel, o processo acaba sujeito à variação de fatores de mercado.

Os verdadeiros “heróis anônimos” por trás dos relativamente altos percentuais de reciclagem no Brasil são uma legião de catadores de poucas posses ou estudo; é sobre essa categoria que usualmente recai a responsabilidade sobre a importante etapa de pré-seleção e classificação das aparas, que muitas vezes são coletadas em meio ao lixo comum, sendo depois submetidas a seleção manual e classificadas segundo sua aparência visual, para posterior encaminhamento ao processo.

Muitas vezes, ocorrem erros de classificação ou contaminação das aparas por lixo orgânico, ou “molhado”. Isso faz com que papéis que poderiam ser reciclados acabem sendo rejeitados. Nesses casos, é muito usual o seu descarte para o lixo comum e o encaminhamento para aterros sanitários, o que implica em todos os impactos relacionados com esse procedimento, como a redução de vida útil do aterro, maiores riscos de contaminação do subsolo/águas subterâneas, emissões de gases estufa e outros.

Por outro lado, a contaminação de aparas por agentes estranhos também pode prejudicar o processo industrial de recicla-

gem, tornando-o mais oneroso e aumentando suas correntes de resíduos. Sob outros aspectos, os impactos desse processo são equivalentes ao de uma unidade de produção de papel a partir de polpa de celulose.

5. Levantamento Básico de Valores Típicos para as Emissões Ambientais do Setor

Como se pode depreender, os fatores de emissão da indústria são função de

uma série de variáveis, sejam elas relativas ao tipo de unidade (integrada, só de produção de celulose, só de papel ou a partir de aparas) ou ao tipo de tecnologia (para digestão, branqueamento e outras.) empregada.

De uma forma geral, é possível estabelecer alguns valores gerais de acordo com esses grandes divisores de águas. A série de tabelas abaixo se baseiam nas estimativas do European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau – EIPPC, que é a agência reguladora responsáveis pelo levantamento desse tipo de dados na União Européia. Essas estimativas se referem a unidades sob condições de funcionamento otimizadas (emprego de boas práticas e melhor tecnologia disponível)¹¹.

Tabela V: Parâmetros para as emissões atmosféricas da indústria de celulose, para fábricas modernas.

| Parâmetro | Faixa |
|-------------------------------|----------------------------------|
| TRS (total) | 0,1 – 0,2 kg/tsa ¹² |
| TRS (forno de cal) | <0,05 kg/tsa |
| TRS (caldeira de recuperação) | <0,03 kg/tsa |
| MP (caldeira de Recuperação) | 0,1 – 1,8 kg/tsa |
| MP (caldeira de biomassa) | 20 – 40 mg/Nm3 ¹³ |
| MP (total) | 0,2 – 0,5 kg/tsa |
| MP (forno de cal) | 0,01 – 0,1 kg/tsa |
| SO2 (total) | 0,2 – 0,4 kg/tsa |
| SO2 (cald. Recuperação) | 0,2 – 0,5 kg/tsa |
| SO2 (forno de cal) | 0,002 – 0,003 kg/tsa |
| NOx (total) | 1,0 – 1,5 kg/tsa |
| NOx (caldeira de recuperação) | 0,6 – 1,8 kg/tsa |
| NOx (forno de cal) | 0,2 – 0,3 kg/tsa |
| NOx (caldeira de biomassa) | 0,3 – 0,7 kg/tasca ¹⁴ |

Fonte: IPPC, 2001

Tabela VI: Valores atuais de caracterização das águas residuárias de indústrias de celulose — para polpa branqueada e não branqueada.

| Tipo / Parâmetro | Vazão (m³/tsa) | DQO (kg O ₂ /tsa) | DBO (kg O ₂ /tsa) | SST (kg/tsa) | AOX (kg/tsa) | N Total (kg N/ tsa) | P Total (kg P/ tsa) |
|----------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|
| Polpa branqueada | 30 a 50 | 8 a 23 | 0,3 a 1,5 | 0,6 a 1,5 | <2,5 | 0,1 a 0,25 | 0,01 a 0,03 |
| Polpa não branqueada | 25 | 5 a 10 | 0,2 a 0,7 | 0,3 a 1 | - | 0,1 a 0,2 | 0,01 a 0,02 |

Fonte: IPPC, 2001

11. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001.

12. Emissão em quilos por tonelada de produto seca ao ar

13. Em base seca, a 11% de excesso de O₂

14. Emissão em quilos por tonelada de casca queimada

Tabela VII: Faixas de variação das cargas de efluentes de sistemas de lodos ativados de indústrias de celulose.

| Parâmetro | DBO (mg/L) | DQO (mg/L) | SST (mg/L) | P Total (mg/L) | N Total (mg/L) |
|--------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|
| Concentração | 20 a 40 | 300 a 500 | 20 a 40 | 0,2 a 0,4 | 2 a 4 |

Fonte: IPPC, 2001

Tabela VIII: Valores de DQO nas águas residuárias das diversas etapas do processo.

| Etapa do Processo | DQO (kg O ₂ / tsa) |
|--------------------|-------------------------------|
| Preparo de madeira | 1,0 a 10,0 |
| Condensados | 2,0 a 8,0 |
| Derramamentos | 2,0 a 10,0 |
| Perdas na lavagem | 6,0 a 12,0 |
| Branqueamento | 15,0 a 65,0 |
| Total | 31,0 a 105,0 |

Fonte: IPPC, 2001

Tabela IX: Emissões hídricas de metais na produção de polpa de celulose branqueada e não branqueada.

| Tipo / Parâmetro ¹⁵ | Cd | Pb | Cu | Cr | Ni | Zn |
|--------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|----|
| Branqueada | 0,03 | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 5 |
| Não Branqueada | 0,1 | 0,4 | 1 | 0,7 | 0,9 | 15 |

Fonte: IPPC, 2001

Tabela X: Resíduos sólidos do processo produtivo (orgânicos e inorgânicos)

| Tipo / Parâmetro | Resíduos inorgânicos (kg/tsa) | Resíduos orgânicos (kg/tsa) |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Não Branqueada | 30 a 60 | 20 a 60 |
| Branqueada | 40 a 70 | 30 a 60 |

Fonte: ABTCP, 2007

6. Boas Práticas – Medidas de Produção mais Limpa (P+L) e de Controle de Emissões na Produção de Celulose (Kraft) e Papel

A redução na fonte das emissões do processo de celulose pode ser obtida a partir de todo um leque de medidas, algumas espe-

cíficas para um dado tipo de processo ou unidade industrial. Deve-se sempre buscar a implantação dos melhores processos disponíveis, além de utilizar tecnologias de minimização específicas. É necessário atentar para o fato que boa parte das alternativas, tendo em vista a escala do processo, se refere a medidas de alto investimento inicial. Porém, ao longo do tempo, a tendência é que seu retorno financeiro venha em muitas ocasiões, contrabalançar esses custos.

A principal resposta às questões ambientais de um setor tão competitivo como esse consiste no fechamento cada vez mais perfeito dos ciclos produtivos de cada unidade ou operação, além da substituição de insumos perigosos. Num cenário ideal, toda a fibra e produtos químicos passíveis de reutilização seriam recuperados; todo o lodo

15. Valores expressos em g/tsa

do tratamento seria compostado, queimado para produção de energia ou destinado a reciclagem; a água seria tratada e reutilizada indefinidamente; qualquer nova adução seria feita apenas para suprir eventuais perdas e assim por diante¹⁶.

A tarefa dos gestores do processo é fazer com que se chegue sempre mais perto desse cenário. Independentemente do tipo de unidade produtiva envolvido, seja de celulose ou papel. O desempenho ambiental da empresa virá a se beneficiar muito com as seguintes medidas:

6.1. Sistema de Gestão Ambiental

A implantação de um SGA considera duas etapas principais:

Primeira etapa:

- Otimização do controle de processo (online, 24h/dia), com alto grau de automação, amostragens on-line e modelagem matemática;
- Provisão de serviços de manutenção adequada dos equipamentos de processo e de controle;
- Planos de melhoria contínua para treinamento, aprimoramento e motivação da alta gerência, do corpo funcional e dos operadores;
- Planos de resposta rápida a episódios críticos envolvendo derramamentos acidentais de efluentes líquidos, gasosos ou contaminação do solo.

Segunda etapa:

- Em uma segunda fase, as medidas descritas deverão levar ao estabelecimento de um Sistema de Gestão Ambiental, destinado a otimizar o gerenciamento do processo, aumentar o grau de conscientização dos funcionários, fornecedores, parceiros, terceiros e fornecer objetivos, medidas e instruções precisas para lidar com essas ocorrências.

6.2. Áreas Florestais

Medidas úteis ao processo e benéficas ao ambiente devem ser aplicadas desde a fase inicial de extração da madeira, nas áreas de produção florestal. Visto que a maioria das empresas de celulose mantém propriedades privadas fica viável a estratégia de efetuar, logo após o corte, a etapa de descascamento das toras e separação de todas as partes inservíveis ao processo, ou seja, cascas, folhas, galhos finos e outros, antes do seu transporte para a unidade industrial.

Quando o material é transportado à empresa, uma porção se transforma em resíduo, que se acumula no pátio e deve ser disposto em aterro. Cuidados especiais devem ser tomados, pois não raras já foram as ocasiões em que essa massa sofreu combustão espontânea, com conseqüências sérias para a empresa e seu entorno.

O descascamento nas áreas de floresta pode ser levado a cabo com o emprego de máquinas do tipo anel. Além do benefício com a redução dos custos do transporte e de combustível, o material orgânico deixado sobre o terreno atua como uma capa protetora contra erosão; essa também tende a se decompor com certa rapidez, proporcionando à próxima cultura uma fonte adicional de matéria orgânica e nitrogênio, minimizando a necessidade de adubação química. Uma outra vantagem é que o processo de descascamento pode ser realizado a seco, economizando água.

6.3. Operações de Beneficiamento de Madeira

O controle do tempo de estocagem de madeira e cavacos é fundamental. Esta etapa tem como objetivo principal a degradação enzimática dos extrativos. O período ideal de permanência em estoque é de quarenta dias,

| Tabela XI: Características das águas residuárias geradas no descascamento da madeira. | | | | |
|--|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Tipo de descascamento | Volume (m³/t polpa) | DBO (kg O ₂ /t de polpa) | DQO (kg O ₂ /t de polpa) | Fósforo Total (g P/t de polpa) |
| Úmido | 3 a 10 | 5 a 15 | 20 a 30 | 25 a 35 |
| A seco | 0,1 a 2,5 | 0,5 a 2,5 | 1 a 10 | 10 a 20 |

IPPC, 2001

durante o qual a madeira atinge o ponto ótimo de maturação devido à exposição ao ambiente. Períodos superiores são prejudiciais à qualidade da madeira, reduzindo assim o rendimento do processo¹⁷.

Descascamento da madeira a seco: O descascamento a seco reduz o consumo de água de processo e a quantidade de matéria orgânica dissolvida nas águas residuárias, conforme a Tabela XI.

Caso se opte pelo descascamento úmido, a utilização de prensas nas operações poderá trazer um aumento do teor de sólidos na casca, o que melhorará o rendimento de sua queima na caldeira de biomassa. No entanto, esse processo também aumentará a carga orgânica das águas residuárias geradas.

6.4. Consumo de Água e Geração de Efluentes Industriais

Em se tratando de um dos insumos mais importantes ao processo, a água é também aquele que mais tem merecido atenção no que diz respeito a medidas de conservação. De uma forma geral, o fechamento total do ciclo de água de uma unidade dependerá das restrições impostas pela qualidade final pretendida para o produto. Atualmente, várias fábricas de papelão já conseguiram ou estão próximas de atingir índices de fechamento de circuito em 100%. Algumas medidas de conservação mais utilizadas são:

- Uso de medidas preventivas destinadas à redução da frequência e dos efeitos de episódios de derramamentos acidentais.

- Minimização do consumo pela otimização dos volumes adequados a cada etapa produtiva dos diferentes tipos de celulose/papel, aumentando a proporção de água de reuso e melhorando o gerenciamento da água de processo.

- Melhor controle dos fatores (contaminações) que possam tornar desvantajoso o fechamento do ciclo de água, desde o beneficiamento da madeira até o emprego de insumos químicos e energéticos no processo

- Implantação de um sistema adequado de armazenamento e reuso de licores, do filtrado e de outros líquidos de contaminação reduzida.

- Emprego de instalações e equipamentos de baixo consumo de água, sempre que isso se mostre praticável (em geral, isso pode ser programado quando há mudança de instalações ou troca de equipamentos)

- Controle eficiente de vazamentos e derramamentos (spills): é recomendado que as plantas tenham sistemas de coleta de derramamentos devido a perdas acidentais, empregando bacias de contenção, além de um sistema de recuperação e reuso das águas “limpas” de resfriamento, vazamento de gaxetas e outros, que ocorrem nas diversas etapas do processo produtivo. Por meio de medições de condutividade, pode ser determinado se um fluido deve ser encaminhado ao circuito de recuperação ou ao sistema de águas residuais. Esse sistema de coleta deverá ser separado do sistema de águas limpas.

- Segregação dos efluentes das etapas “claras” (licor branco, caldeiras, máquina de pa-

pel) daqueles das etapas “escuras” (digestão da madeira, licor negro) para tratamento em separado.

- Provisão para instalação de tanques pulmão com capacidade suficiente a montante do sistema de tratamento, para o armazenamento dos vazamentos de licores de cozimento e de recuperação, assim como de condensados contaminados, para que se evitem descargas de pico de carga ao sistema de tratamento de águas residuárias e seus correspondentes impactos ambientais.
- Emprego de um leque de sistemas de tratamento envolvendo as fases de tratamento primário, secundário (biológico) e/ou, em alguns casos, tratamento terciário com precipitação química (quando se implanta apenas tratamento químico, a DBO de saída tende a ser mais alta, apesar de conter matéria de biodegradabilidade mais fácil).
- Recirculação das correntes alcalinas resultantes da etapa de branqueamento.
- Stripping (destilação) e reutilização dos condensados da planta de evaporação.

6.5. Ciclo de cozimento e deslignificação

• O pré-aquecimento dos cavacos com vapor antes destes entrarem no digestor é essencial para sua impregnação com licor de cozimento. O rendimento do processo está diretamente ligado ao controle de temperatura, pressão, tempo de detenção, teor de álcalis e sulfidez¹⁸. O controle do cozimento se faz tendo em vista o controle do residual de lignina, ou número *kappa* (Tabelas XII e XIII).

Lavagem e depuração: na separação do licor das fibras e seu encaminhamento para o processo de recuperação, pode-se utilizar lavadores tipo prensa e/ou difusores, que são mais eficientes na remoção dos compostos orgânicos, sendo assim os mais utilizados antes da etapa de branqueamento. O uso de prensas na lavagem da polpa permite a redução de aproximadamente 70% do consumo de água nesta etapa, o que aumenta o teor de sólido da massa a ser queimada na caldeira de recuperação.

Deslignificação com oxigênio: Devido à baixa solubilidade do oxigênio no licor, a

Tabela XII: Valores de número *kappa* comumente encontrado para os diferentes tipos de cozimento.

| Tipo de deslignificação | Madeiras Duras | Madeiras Moles |
|---|----------------|----------------|
| Cozimento convencional | 14 a 22 | 30 a 35 |
| Cozimento convencional e deslignificação com oxigênio | 13 a 15 | 18 a 22 |
| Cozimento estendido | 14 a 16 | 18 a 22 |
| Cozimento estendido e deslignificação com oxigênio | 08 a 10 | 08 a 12 |

Fonte: IPPC, 2001

Tabela XIII - Estimativa de DQO nos filtrados do branqueamento (kg O₂/t)

| Tipo de deslignificação | Madeiras Duras | Madeiras Moles |
|---|----------------|----------------|
| Cozimento convencional | 28 a 44 | 60 a 70 |
| Cozimento convencional e deslignificação com oxigênio | 26 a 30 | 36 a 40 |
| Cozimento estendido | 28 a 32 | 36 a 44 |
| Cozimento estendido e deslignificação com oxigênio | 16 a 20 | 16 a 24 |

Fonte: IPPC, 2001

18. No licor branco, define-se sulfidez como sendo a porcentagem do Na₂S em relação à de álcali ativo, expressa sob a forma de Na₂O.

deslignificação deve ser feita em reatores pressurizados e com temperatura elevada (100°C). A adição de sulfato de magnésio é essencial para a preservação das propriedades das fibras.

6.6. Processos de Branqueamento

Juntamente com a digestão, esta é a etapa mais crítica no que diz respeito a impactos ambientais. Como já foi mencionada, a melhor alternativa em termos de P+L é o branqueamento da massa através de processos livres de cloro elementar (ECF) e baixo AOX ou, preferivelmente, os totalmente livres de cloro (TCF). Um bom exemplo disso são os processos que utilizam agentes oxidantes: peróxido de hidrogênio, ozônio e outros. Ou, quando cabível, não se utilizar qualquer etapa de branqueamento no processo (apesar deste fatodepender de fatores de mercado e do uso pretendido para o produto final). No entanto, deve-se ressaltar que os padrões e a tecnologia de operação das fábricas, além da existência de tratamentos secundários, muitas vezes poderão contrabalançar os efeitos da tecnologia de branqueamento utilizada, seja ela ECF ou TCF¹⁹.

Hoje em dia, o maior grau de conscientização dos consumidores já permite a aceitação de produtos “menos brancos” em troca de suas correspondentes vantagens ambientais, como atesta a boa aceitação mercadológica atual dos papéis escrita. Algumas medidas para redução do impacto do branqueamento seriam:

- Aumento da eficiência de deslignificação antes da etapa de branqueamento, através da extensão ou modificação da etapa de cozimento, além da inserção de etapas adicionais de deslignificação a oxigênio.
- Aumento da eficiência de lavagem da massa digerida não branqueada (*brown stock*) e sua seleção em circuito fechado.

• Adicionalmente, os gestores do processo deverão prestar atenção à possível futura viabilização de processos alternativos de branqueamento de celulose que hoje se encontram em fase experimental, como o que utiliza ácido peracético e agentes quelantes.

6.7. Minimização de Emissões Atmosféricas/Odores/Ruído

Otimização da linha de licor negro: O licor negro resultante da etapa de deslignificação geralmente apresenta um teor de sólidos entre 14 e 18% em massa. O projeto da planta de evaporação de licor negro deverá garantir sua capacidade de absorver cargas adicionais de licores e produzir licor para queima com maior concentração possível, elevando-o a aproximadamente 70%, a fim de garantir a eficiência de queima. A energia adicional obtida com a queima dos licores deverá ser utilizada para a geração de calor/energia, sempre que a relação calor/potência assim o permita.

Elevação da temperatura na fornalha da caldeira de recuperação: propiciará o aumento do teor de sólidos do licor para 75%, melhorando as condições de queima e reduzindo a emissão de compostos de enxofre em até 80%. Por outro lado, este aumento de temperatura favorece o aumento das emissões de NOx. As emissões de enxofre total reduzido (ETR) da caldeira de recuperação podem ser controladas através de um controle eficiente (on-line) da combustão e monitoramento da concentração de monóxido de carbono nos gases.

Controle do fornecimento de ar de combustão: As emissões de NOx são dependentes do conteúdo de nitrogênio no licor negro e do controle do excesso de ar na combustão. O controle do fornecimento

de ar (ou seja, cuidar para que haja uma adequada mistura ar/combustível no queimador da caldeira) e a otimização das condições de queima têm impacto direto na redução dessas emissões. Seus valores típicos estão entre 1 e 2 kg/t de gás.

Captação e incineração dos gases odoríferos e controle das emissões de SO_x resultantes:

Os gases mais concentrados podem ser queimados na caldeira de recuperação, no Forno de Cal ou numa caldeira específica de baixa emissão de NO_x (os gases resultantes podem conter altas concentrações de SO_x e precisarão ser adequadamente controlados). A formação de gás sulfídrico nos gases de combustão é um indicador de que a mistura ou o fornecimento de oxigênio estão abaixo dos valores corretos. Os compostos de enxofre, reduzidos ou concentrados, deverão ser captados e encaminhados para queima. Gases odoríferos menos concentrados também devem ser captados e incinerados e o efluente gasoso resultante, tratado para remoção de SO_x.

Forno de cal: as emissões de compostos de enxofre no forno de cal podem ser reduzidas através da lavagem da lama de cal, visando reduzir a contaminação por sulfeto. Além disso, é necessário instalar lavadores de gases e controlar o teor de enxofre dos combustíveis. As emissões de ETR do forno podem ser controladas através do controle do excesso de ar, utilização de combustível com baixo teor de enxofre e pelo controle do residual de sódio solúvel na lama calcárea de alimentação.

Uso de precipitadores eletrostáticos: É considerado essencial no controle de emissão de material particulado, tanto no forno de cal como na caldeira de recuperação e caldeiras auxiliares. O problema das emissões de SO_x

das caldeiras auxiliares pode ser contornado através de substituição do óleo combustível por lenha, gás natural, óleo BTE, ou mesmo pela instalação de lavadores.

Caldeiras de biomassa: para essas caldeiras, que apresentam temperaturas de operação relativamente baixas quando comparadas às caldeiras de recuperação, a emissão de NO_x pode ser controlada através do controle do excesso de ar. No entanto esta prática também pode acarretar no aumento da emissão de CO, procedimento não aconselhável.

Condensados provenientes do cozimento e evaporação: nestas etapas são gerados entre 8 e 10m³/t_{sa} (t_{sa} – T toneladas de polpa seca ao ar) de condensados com concentrações típicas de DBO = 25kgO₂/t_{sa} e DQO = 8,5kg O₂/t_{sa}, aproximadamente. As frações com maiores e moderados graus de contaminação de condensados é submetida ao arraste por “*stripping*”, de forma que 90% dos contaminantes sejam removidos. O consumo de vapor no processo é de aproximadamente 0,2 toneladas por tonelada de condensado, mas esse valor poderá ser reduzido a até 0,02 toneladas por tonelada de condensado. Os gases volatilizados podem ser incinerados no forno de cal. A fração menos contaminada poderá ser utilizada em operações de lavagem da polpa e de lavagem de gases, podendo retornar ao ciclo de recuperação. Assim evita-se que ela seja descartada como água residuária.

Adicionalmente, deverá ser estimulado o uso de combustíveis de fontes renováveis, como madeira e serragem, se for o caso, de modo a reduzir as emissões de CO₂ fóssil.

6.8. Reagentes e Aditivos

Em várias ocasiões será possível atuar de forma a reduzir o uso desses produtos, como por exemplo:

- No caso de todos os produtos químicos utilizados, é muito importante que o pessoal da produção disponha de um banco de dados que contenha, para as substâncias utilizadas, todas as informações relativas às suas propriedades químicas e físicas. Recomenda-se que, em qualquer compra realizada, seja feita a solicitação aos fornecedores do fornecimento da FISPQ – Folha de Informações Sobre Produtos Químicos. - ao contrário: definição por extenso antes.
- Também se deverá dispor e disponibilizar, para fácil acesso das brigadas (devidamente treinadas), de uma listagem completa de medidas de segurança e telefones emergenciais para resposta a episódios de acidentes como vazamentos, incêndio, contaminação e outros. Também deverão ser estabelecidas medidas preventivas quanto a possíveis derramamentos na fase de manipulação dos produtos, sempre que isso possa representar uma ameaça à água e ao solo.
- Uma boa prática é a aplicação do princípio da substituição, pelo qual os gestores do processo deverão estar permanentemente alertas para o surgimento de produtos e aditivos alternativos de toxicidade comprovadamente inferior (ou não tóxicos), que possam servir de sucedâneos aos atualmente utilizados. Esses produtos deverão ser testados e, se aprovados, adotados pela empresa.
- Todos os produtos químicos deverão ser armazenados em ambiente adequado (coberto), de acesso restrito e que atenda a todas as condições necessárias ao seu correto manuseio.

6.9. Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos gerados diretamente dos processos de fabricação de celulose e papel são geralmente classificados como de Classe IIA ou IIB, de acordo com a norma NBR 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, sendo gerados em

quantidade significativa. O volume estimado de geração de resíduos para as fábricas brasileiras está em torno de 150 kg/tonelada de produto, com um custo de disposição próximo de US\$ 2,00/tonelada; os principais resíduos gerados são as cascas sujas dos pátios de madeira, a lama de cal e os resíduos das plantas de tratamento de efluentes.

De uma forma geral, estes resíduos apresentam características propícias para um estudo mais aprofundado visando ao aumento de sua reciclagem, tais como a compostagem das cascas para a produção de húmus, a aplicação dos lodos do tratamento secundário como bio-fertilizantes, os rejeitos da caustificação como corretivos de solos, e outros usos.

A melhor estratégia para o caso dos resíduos sólidos sempre será a da minimização, se possível valendo-se de alternativas de recuperação, reuso e reciclagem desses materiais de volta ao processo produtivo, dentro ou fora do mesmo processo industrial.

Quando essa alternativa se tornar inviável técnica ou economicamente, os resíduos deverão ser encaminhados a unidades regularizadas de tratamento ou disposição, tais como incineradores e aterros, mediante análise e autorização prévia do Órgão Ambiental competente. A esse respeito, é recomendável a consulta freqüente e a adequação, sempre que necessário, às normas e legislação pertinentes vigentes.

Abaixo se fornece algumas medidas e boas práticas relativas aos resíduos do setor de papel e celulose:

- É sempre recomendável que seja feita a segregação das diversas correntes, de acordo com suas características físicas e químicas, de forma a evitar contaminações e facilitar seu reaproveitamento.
- Quando um resíduo não for considerado utilizável para reciclagem, mesmo assim

poderá ser aproveitado, caso o seu conteúdo energético viabilize sua utilização como combustível em caldeiras e fornos. Dois exemplos disso são os cavacos, nós, casca de árvore e o licor negro, que podem ser queimados em fábricas de celulose;

- Outro exemplo de reutilização de resíduos diz respeito à reciclagem do lodo dos sistemas de tratamento de efluentes de fábricas de papel. A constituição deste tipo de material, com alta concentração de fibras de celulose, pequenas demais para aproveitamento no processo, por outro lado o torna uma matéria-prima ideal para outros processos. Tal lodo pode ser aproveitado como matéria-prima tanto em outras fábricas de artefatos de papel quanto utilizado na confecção de produtos como palmilhas para calçados, revestimento termoacústico ou telhas. Essas são alternativas, interessantes, que já têm sido implantadas com sucesso em várias empresas do setor.

Embalagens a granel: sempre que possível, é aconselhável que a empresa negocie com seus fornecedores e opte por receber seus produtos e reagentes a granel, com a instalação de grandes estocagens centralizadas. Além da vantagem ambiental com a eliminação de uma infinidade de embalagens, muitas empresas estão descobrindo que isso também significa uma expressiva vantagem econômica. Também tem se empregado a devolução das embalagens que contêm as matérias-primas às empresas fornecedoras.

- Se isso não for possível, deverá ser dada destinação adequada às embalagens (tambores, bombonas, etc.) de matérias-primas e produtos auxiliares. Nos casos da possibilidade de reutilizar ou reciclar, é aconselhável que a indústria atente para que suas embalagens sejam encaminhadas a empresas re-

gulamentadas pelas autoridades ambientais, para que haja garantia de que as operações envolvidas sejam realizadas de forma a garantir a integridade do meio ambiente.

- Os resíduos orgânicos podem ser prensados para que atinjam a consistência de no mínimo 40%, para daí então serem queimados gerando energia e suas cinzas podem ser encaminhadas para as florestas para serem utilizadas como adubo (desde que o teor de metais permita este tipo de aplicação).

6.10. Reciclagem de Aparas de Papel

Com exceção das medidas específicas para a produção de celulose, tudo o que já foi dito também vale para o caso de unidades industriais de reciclagem de aparas (ou que produzam papel a partir de celulose adquirida de terceiros). No entanto, este apresenta um problema específico, no que respeita à qualidade da matéria-prima entregue pelos fornecedores (aparistas), que pode conter substâncias “proibitivas” (plástico, metal, areia) e “impurezas” (papéis fora de especificação: gomados, laminados, vegetal, carbono e outros), o que pode ser considerado mais ou menos severo, de acordo com a qualidade exigida para o produto final. Isso pode ser contornado através do controle de qualidade das partidas.

As empresas adotaram o procedimento de amostragem aleatória dos fardos, utilizando equipamentos especializados – longas furadeiras que retiram amostras cilíndricas do fardo, que são analisadas em laboratório quanto ao teor de impurezas, antes que a partida seja aceita. Além das vantagens econômicas para a empresa, este procedimento simples abre as portas para que seja feito um trabalho de conscientização de catadores e aparistas,aju-

dando a reduzir o grau de contaminação do papel reciclado e contribuindo para a minimização dos impactos com a disposição de resíduos sólidos. Abaixo lista-se mais algumas medidas de P+L para o processo:

- Separação das correntes de água de processo mais limpas das mais contaminadas (de forma a se evitar contaminação cruzada), com sua recirculação ao processo.
- Medidas de otimização dos fluxos de água de processo (fechamento de circuitos), com o emprego de estágios intermediários de clarificação das águas, por processos de sedimentação, flotação ou filtração; reuso do efluente para diversos fins ligados ao processo.
- Uso de água clarificada na etapa de destintagem.
- Instalação de tanque de equalização a montante do tratamento primário.
- Adoção da alternativa de tratamento biológico dos efluentes. Trata-se de alternativa eficiente para o caso de plantas que incluam destintagem e, dependendo das condições também para os de massa não

destintada, é o tratamento aeróbio; em alguns casos também se emprega alternativas como floculação e precipitação química. Tratamento físico-químico seguido de tratamento biológico anaeróbio/aeróbio é a modalidade preferida no caso de variedades de papel não destintadas. Essas plantas geralmente deverão tratar efluente mais concentrado, devido ao maior grau de fechamento de circuitos.

- Reuso parcial dos efluentes do tratamento biológico de volta ao processo. A taxa de reciclo ideal irá variar de acordo com a qualidade pretendida para o produto final. Para o caso de variedades não destintadas, esta pode ser considerada uma boa prática. No entanto, as vantagens e desvantagens precisarão ser consideradas, pois isso usualmente faz com que seja necessária a adoção de um tratamento terciário, de modo a garantir que seja garantidos os padrões de qualidade previstos na legislação para lançamento em rede ou em corpo d'água.

Figura 13: Reciclagem de embalagens longa vida
– Foto cedida por Klabin S.A.



6.11. Reciclagem de Embalagens

Longa Vida

A última tendência em termos de reciclagem de embalagens de papel também representa uma iniciativa pioneira do país em termos de inovação tecnológica, parceria de uma grande empresa do setor com a produtora das embalagens e sua fornecedora de alumínio.

Trata-se de processo para reciclar embalagens Longa Vida, separando-as novamente em seus componentes básicos: papel, alumínio e plástico (polietileno), que no processo é convertido em parafina para reutilização na indústria petroquímica.

A separação ocorre em duas unidades industriais vizinhas, onde primeiramente é feita a separação do papel, que ocorre de forma convencional (utilizando *hydrapulpers* com rotor especial), separando o papel das correntes de plástico (como PVC) que possam prejudicar o processo. A massa alumínio/polietileno segue para a outra unidade, onde os fardos são desagregados, passam por uma limpeza final e entram em um forno de plasma, onde o alumínio derrete (é vertido em lingotes) e o plástico convertido em parafina segue para condensação e é solidificado.

Apesar de atualmente ainda não ter atingido operacionalidade plena, esse processo já provou sua viabilidade e é um exemplo perfeito de agregação de valor ao que antes era considerado um resíduo sem utilidade e aterrado ou descartado no ambiente.

do Estado de São Paulo. Centro Técnico em Celulose e Papel – Tecnologia de Fabricação de pasta celulósica. 1981 492 p.;

- Yooni Armando Minchola Robles et al. Avaliação de diferentes tecnologias de Branqueamento para obtenção de polpa. São Paulo, 1900 nº de pág.

- Carlos Alberto Santos et al. Desenvolvimento de Seqüências ECF utilizando estágios em alta temperatura para Dióxido de Cloro e para Peróxido de Hidrogênio. In: Congresso de Celulose e Papel – ABTCP, 2004, São Paulo. Anais ABTCP, 2004. 18 p;

- São Paulo (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo, Sindicato das Indústrias Gráficas do Estado de São Paulo.

Guia Ambiental Gráfico. São Paulo março de 2003. 68 p;

- Fernando Luiz Neves. Novos Desenvolvimentos para reciclagem de embalagens Longa Vida – (Tetrapak Brasil). In: Congresso de Celulose e Papel – ABTCP, 2006, São Paulo. Anais ABTCP, 2006. 11 p;

- Gerd Wäne, Oal Svending. Report Eucalyptus Pulp Production - Environmental Impacts of Modern ECF and TCF bleaching – An Life Cycle Assessment Study. Stora Enso Pulp Competence Centre. Sweden, 2003. 13p.

- Eucalipto Decifrado: Genoma da planta está usado pelos cientistas brasileiros para gerar ganhos em quantidade e produtividade da madeira. – Savastano, Renata Marcante;

- Relatório Técnico: Produção de Polpa de Eucalipto – Impactos Ambientais do Branqueamento ECF e TCF modernos – Um estudo LCA - Gerd Wäne e Ola Svending.

- Piotto, Zeila C. Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel – Estudo de Caso Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003).

- European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. December 2001.

7. Bibliografia

- Associação Brasileira de Celulose e Papel. Relatório Estatístico 2005/2006. 164 p;

- World Bank Group. Pollution Prevention Abatement Handbook. Julho de 1988;

- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Instituto de Pesquisa Tecnológica

FIESP
SESI
SENAI
IRS



**SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE**



**GOVERNO DO ESTADO DE
SÃO PAULO**
TRABALHANDO POR VOCÊ