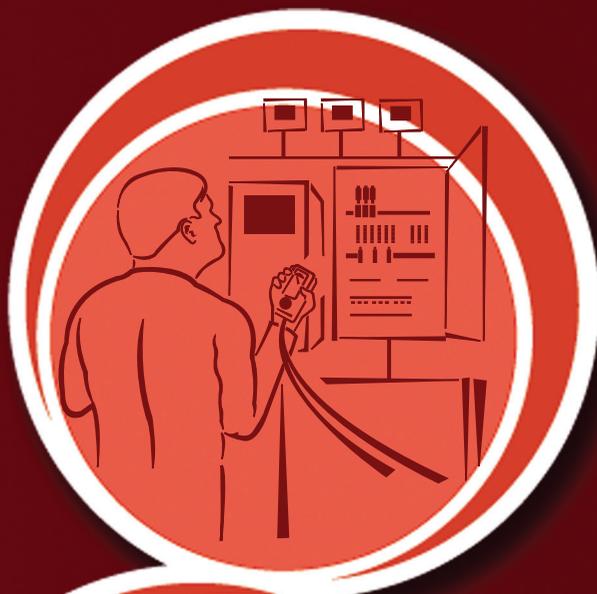


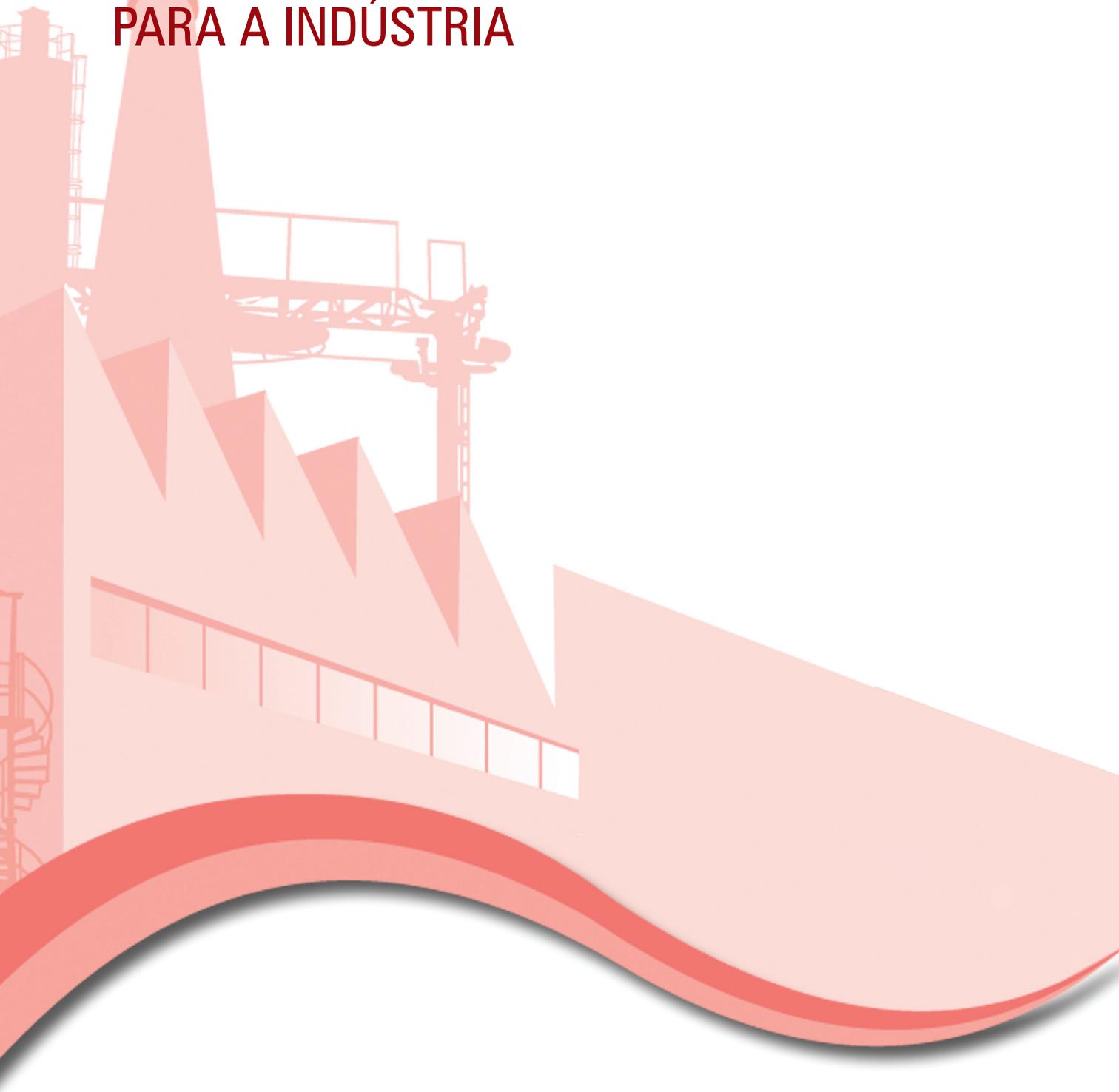
OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

RELATÓRIO SETORIAL
SETOR PAPEL E CELULOSE

BRASÍLIA – 2010



OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade
Presidente em Exercício

Diretoria Executiva – DIREX

José Augusto Coelho Fernandes
Diretor

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti
Diretor de Operações

Heloísa Regina Guimarães de Menezes
Diretora de Relações Institucionais

INSTITUTO EUVALDO LODI – IEL

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Carlos Roberto Rocha Cavalcante
Superintendente

ELETRORBRAS

José Antônio Muniz Lopes
Presidente

Ubirajara Rocha Meira
Diretor de Tecnologia

Fernando Pinto Dias Perrone
Chefe do Departamento de Projetos de Eficiência Energética

Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira
Chefe da Divisão de Eficiência Energética na Indústria e Comércio

OPORTUNIDADES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA

RELATÓRIO SETORIAL
SETOR PAPEL E CELULOSE

MAURO DONIZETI BERNI
SÉRGIO VALDIR BAJAY
FILIPE D. GORLA

BRASÍLIA – 2010

© 2010. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

CNI

Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Trabalho elaborado pela CNI em parceria com a Eletrobras, no âmbito do PROCEL INDÚSTRIA.

FICHA CATALOGRÁFICA

L533o

Berni, Mauro Donizeti

Oportunidades de eficiência energética para a Indústria: setor papel e celulose / Mauro Donizeti Berni, Sérgio Valdir Bajay, Filipe D. Gorla. – Brasília: CNI, 2010.

86 p.: il.

ISBN 978-85-7957-006-3

1. Eficiência Energética 2. Papel e Celulose I. Bajay, Sérgio Valdir II. Gorla, Filipe D. III. Título IV. Título: setor de papel e celulose.

CDU: 336.226.46

CNI

Confederação Nacional da Indústria

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

Setor Bancário Norte, Quadra 1, Bloco C, Edifício Roberto Simonsen, 70040-903, Brasília-DF

Tel.: (61) 3317- 9001, Fax: (61) 3317- 9994

<http://www.cni.org.br>

Serviço de Atendimento ao Cliente – SAC

Tels.: (61) 3317-9989 / 3317-9992

sac@cni.org.br

ELETROBRAS

Av. Presidente Vargas, 409, 13º andar, Centro, 20071-003, Rio de Janeiro RJ, Caixa Postal 1639

Tel 21 2514-5151

www.eletrobras.com

eletrobr@eletrobras.com

PROCEL

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Av. Rio Branco, 53, 14º, 15º, 19º e 20º andares, Centro, 20090-004 Rio de Janeiro RJ

www.eletrobras.com/procel

procel@eletrobras.com

Ligação Gratuita 0800 560 506

PROCEL INDÚSTRIA

Eficiência Energética Industrial

Av. Rio Branco, 53, 15º andar, Centro, 20090-004, Rio de Janeiro RJ

Fax: 21 2514-5767

www.eletrobras.com/procel

procel@eletrobras.com

Ligação Gratuita 0800 560 506

LISTA DE FIGURAS

Figura 1

O processo Kraft de fabricação de celulose e a recuperação de produtos químicos em uma planta integrada **21**

Figura 2

Etapas básicas para a fabricação de papéis **25**

Figure 3

Visão geral da produção de papel, reciclado ou não **28**

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1

Composição do consumo brasileiro de aparas em 2006 **30**

Gráfico 2

Evolução da Balança Comercial do Setor de Celulose e Papel, 1990/2007 **32**

Gráfico 3

Área florestal necessária para produção de 1 milhão ton/ano de celulose: Comparação Brasil e Mundo **33**

Gráfico 4

Evolução, de 1995 a 2005, do valor unitário de produção de papel e celulose, em (R\$ de 2005)/t **35**

Gráfico 5

Parcelas do mercado dos dez maiores produtores de celulose no Brasil em 2005 **36**

Gráfico 6

Evolução do valor adicionado em milhões de Reais de 2005 **40**

Gráfico 7

Participação percentual da indústria de celulose e papel mais indústria gráfica na formação do PIB, de 1995 a 2005 **41**

Gráfico 8

Relação entre investimentos, com recursos do BNDES, e valor adicionado nas indústrias de celulose/papel e gráfica no Brasil, de 1998 a 2005 **42**

Gráfico 9

Evolução, de 1991 a 2006, das participações dos principais energéticos e da eletricidade no consumo energético total da indústria de celulose papel **59**

Gráfico 10

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo final de energia da indústria de celulose e papel brasileira em 2006 **64**

Gráfico 11

Distribuição percentual, por usos finais, do consumo total de energia útil da indústria de celulose e papel brasileira em 2006 **65**

Gráfico 12

Consumos e potenciais de conservação de energia térmica na indústria de papel e celulose no Brasil em 2006, por tipo de fábrica **72**

Gráfico 13

Consumos e potenciais de conservação de energia elétrica na indústria de papel e celulose no Brasil em 2006, por tipo de fábrica **72**

Gráfico 14

Comparação entre os potenciais técnicos de conservação de energia da indústria de papel e celulose no Brasil em 2006, calculados segundo a metodologia adotada neste trabalho e segundo a metodologia do BEU **73**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1

Caldeiras de recuperação no Brasil **22**

Tabela 2

Produção de celulose e PAR no Brasil, por tipo de fibra e processo produtivo, em mil toneladas, de 1995 a 2006 **29**

Tabela 3

Produção de papéis no Brasil, por tipo, em mil toneladas, de 1995 a 2006 **29**

Tabela 4

Evolução, de 1997 a 2006, do consumo de aparas no Brasil **30**

Tabela 5

Produtividade do eucalipto e do pínus para a produção de celulose, em m³/ha/ano, em 1980, 2005 e potencial futuro **34**

Tabela 6

Produção, exportação, importação e consumo aparente de papel, em 10³ ton, em 2005 **38**

Tabela 7

Evolução do consumo aparente de papéis no Brasil, em 10³ toneladas **38**

Tabela 8

Balança comercial do segmento de celulose e papel, em US\$ milhão FOB, no período de 1996 a 2005 **39**

Tabela 9

Valor adicionado das indústrias de celulose e papel e gráfica no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1995 a 2005 **40**

Tabela 10

Empréstimos do BNDES para investimentos da indústria de celulose e papel e da indústria gráfica no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1998 a 2005 **41**

Tabela 11

Indústria de celulose e papel no Brasil: investimentos realizados no período 2002-2005, previstos para o período 2007-2010, em R\$ bilhões **42**

Tabela 12

Impactos de químicos e aditivos em planta de celulose e papel **48**

Tabela 13

Consumo de eletricidade e de combustíveis, de 1995 a 2006, na indústria de celulose e papel **58**

Tabela 14

Valor adicionado (VA), em 10⁶ R\$ de 2005, e intensidade energética (IE), intensidade elétrica (IEL) e intensidade de energia térmica (IET) da indústria de celulose e papel brasileira, em GJ/10³ R\$ de 2005, de 1995 a 2005 **60**

Tabela 15

Produção de papel e exportações de celulose (PF), em 10⁶ t, e consumos específicos de energia (CESPE), energia elétrica (CESPEL) e energia térmica (CESPET) da indústria de celulose e papel brasileira, em GJ/t, de 1995 a 2005 **60**

Tabela 16

Usinas termelétricas autoprodutoras ou produtores independentes da indústria de celulose e papel no Brasil em setembro de 2008 **62**

Tabela 17

Distribuição percentual do consumo dos energéticos utilizados na indústria de celulose e papel brasileira por usos finais, em 2004 **64**

Tabela 18

Rendimentos médios de conversão, em %, estimados para 2004, dos energéticos consumidos na indústria de celulose e papel brasileira **65**

Tabela 19

Coefficientes de distribuição de energia, em % **70**

Tabela 20

Produção e consumos energéticos específicos **71**

Tabela 21

Potenciais técnicos de conservação de energia na indústria de papel e celulose brasileira em 2006, estimados por tipo de planta **72**

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

BEN: Balanço Energético Nacional

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BRACELPA: Associação Brasileira de Celulose e Papel

CETCEP: Centro Tecnológico de Celulose e Papel

ha: Hectare

MME: Ministério de Minas e Energia

PAR: Pasta de Alto Rendimento

PPM: Parte por milhão

ton: tonelada

TRS: Tonelada de redução de enxofre

TSS: Tonelada de sólido seco

SECEX-MDIC: Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA 15

- 2.1 Introdução 16
- 2.2 Produtos 17
- 2.3 Processos de fabricação 17
 - 2.3.1 *De celulose e de pastas de alto rendimento* 17
 - 2.3.2 *De papel* 24
- 2.4 Produção de celulose, PAR e papel e consumo de aparas 28

3 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA 31

- 3.1 Introdução 32
- 3.2 Competitividade 33
- 3.3 O pronunciado comportamento cíclico do valor unitário da produção 35
- 3.4 Principais produtores 35
 - 3.4.1 *De pastas de celulose* 35
 - 3.4.2 *De papel* 36
- 3.5 O recente processo de fusões, incorporações e a entrada de capital estrangeiro 37
- 3.6 Consumo aparente de papel 37
- 3.7 Importações e exportações de celulose e papel 38
- 3.8 Estatísticas macroeconômicas 39

4 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL 45

- 4.1 Introdução 46
- 4.2 Impactos ambientais na atividade florestal e no pátio da madeira 47
- 4.3 Impactos ambientais associados aos consumo de água e de energia 47
- 4.4 Impactos ambientais de aditivos e de reagentes de processo 48
- 4.5 Impactos ambientais na etapa de branqueamento 49
 - 4.5.1 *Branqueamento com cloro* 49
 - 4.5.2 *Branqueamento através das tecnologias ECF e TCF* 50
- 4.6 Impactos ambientais das emissões atmosféricas 50
- 4.7 Impactos ambientais de efluentes líquidos 51
- 4.8 Impactos ambientais de resíduos sólidos 52
- 4.9 Impactos da reciclagem de aparas 52
- 4.10 Gestão ambiental na indústria de celulose e papel 53
 - 4.10.1 *Atividade florestal e pátio da madeira* 54
 - 4.10.2 *Cozimento da madeira* 54
 - 4.10.3 *Branqueamento* 54
 - 4.10.4 *Emissões atmosféricas e odores* 55
 - 4.10.5 *Resíduos sólidos* 56

5 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA 57

- 5.1 Consumo energético da indústria química brasileira como um todo 58

- 5.2 Consumo de energia **58**
- 5.3 Intensidade energética, intensidade elétrica e intensidade de energia térmica **60**
- 5.4 Consumos energéticos específicos **60**
- 5.5 Autoprodução de eletricidade **61**
- 5.6 Distribuição do consumo de energia por usos finais e rendimentos de conversão **62**

6 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO POTENCIAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 67

7 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS POTENCIAL TÉCNICO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA 69

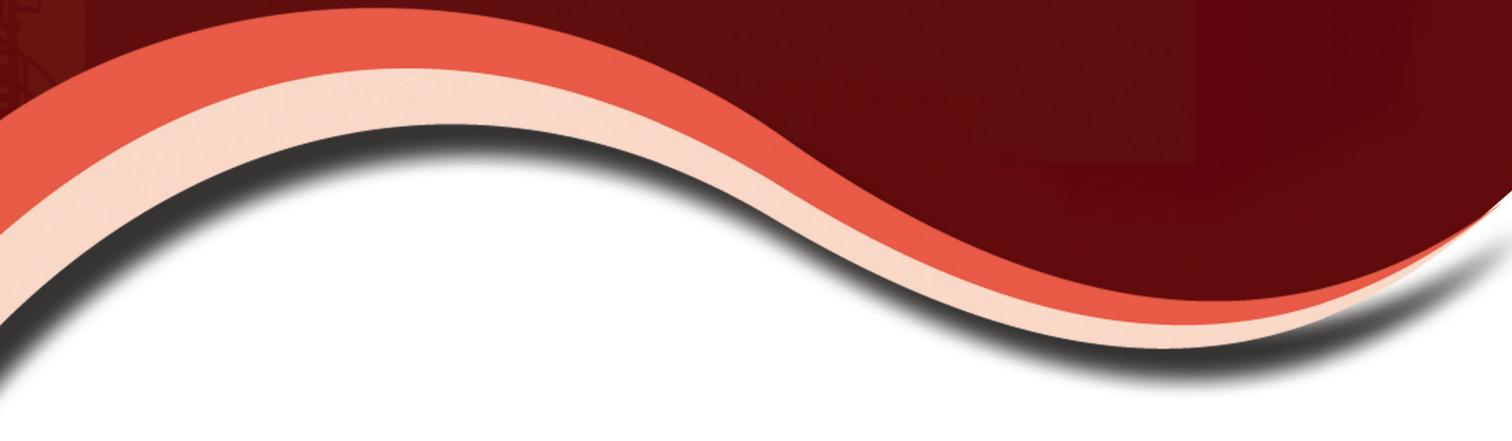
- 7.1 Consumo específicos de energia térmica e eletricidade **70**
- 7.2 Potenciais técnicos de conservação de energia **71**
- 7.3 Potencial de conservação de energia segundo o BEU **73**

8 BARREIRAS AO USO RACIONAL DE ENERGIA 75

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS 79

REFERÊNCIAS 83

1 Introdução



1 Introdução

Novos programas de conservação de energia no setor industrial que envolvem não só tecnologias mais eficientes, mas também novos arranjos gerenciais e melhores hábitos de consumo têm sido adotados em inúmeros países. Tais programas visam otimizar o perfil e o mix do consumo para diminuir tanto os gastos com energia, quanto os impactos ambientais associados ao seu consumo. Estes fatores são importantes para garantir a competitividade no atual mercado globalizado que visa a sustentabilidade.

Neste contexto, para o Brasil, ganha relevância o setor industrial de celulose e papel, pois, além de energia-intensivo, ou seja, demanda muita energia em suas cadeias produtivas, apresenta-se com forte penetração no mercado externo. Este setor é responsável por uma parcela significativa do balanço de pagamentos e é indutor do desenvolvimento econômico, com seu efeito multiplicador.

Este trabalho mostra o panorama do setor industrial de celulose e papel, através da sua caracterização técnica, econômica, ambiental e energética. Inclui também os resultados de simulações de potenciais técnicos¹ de conservação de energia e a metodologia adotada, devidamente, comparados com valores encontrados na literatura técnica e as prováveis barreiras para atingir tais potenciais, vis-a-vis a utilização das melhores tecnologias disponíveis.

Paralelamente ao desenvolvimento teórico do trabalho, foram realizadas reuniões e seminários com as duas principais associações patronais do setor, bem como visitas a plantas selecionadas, mostrando o importante papel da inovação para expansão e manutenção deste setor industrial nos mercados, bem como estratégia de crescimento da indústria no longo prazo. Há um constante aprimoramento tecnológico, favorecendo o estabelecimento e a consolidação de estratégias de diferenciação de produtos “amigos do meio ambiente” e, conseqüentemente, de conquista de novos mercados. É evidente que a adoção de estratégias empresariais que não focam na inovação através das melhores tecnologias disponíveis, poderá significar a perda de oportunidades de entrar na rota do desenvolvimento sustentável.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam como principal recomendação a necessidade de forte atuação conjunta, Estado e o setor industrial, tendo em vista a busca por alternativas para a viabilização dos potenciais técnicos, através de ações e do aperfeiçoamento da Política Industrial brasileira. O foco deve ser as novas orientações e demandas que o setor industrial, e em particular, a indústria de celulose e papel, poderá vir desempenhar, após 2012, com a substituição das metas ambientais do Protocolo de Quioto. Neste novo status quo para a sustentabilidade, é certo que com as novas metas a serem pactuadas, países emergentes, caso do Brasil, serão chamados a darem suas contribuições de forma efetiva para a sustentabilidade do planeta, com o setor industrial sendo um dos principais protagonistas nas negociações das novas diretrizes ambientais.

¹ Potenciais técnicos são aqueles que levam em consideração apenas as restrições tecnológicas para serem implementados.

2 Caracterização Técnica



2 Caracterização Técnica

2.1 Introdução

O segmento de celulose e papel, segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), é um ramo industrial altamente globalizado, capital intensivo e que requer um longo prazo de maturação de seus investimentos. Este segmento, no Brasil, é responsável por uma produção anual de 10,3 milhões de toneladas de celulose e 8,6 milhões de toneladas de papel, ocupando a 7ª e a 11ª posições, respectivamente, entre os maiores produtores do mundo.

O segmento de celulose e papel, segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), é um ramo industrial altamente globalizado, capital intensivo e que requer um longo prazo de maturação de seus investimentos. Este segmento, no Brasil, é responsável por uma produção anual de 10,3 milhões de toneladas de celulose e 8,6 milhões de toneladas de papel, ocupando a 7ª e a 11ª posições, respectivamente, entre os maiores produtores do mundo.

A origem dos primeiros processos de produção de papel se confunde com a própria história da humanidade. Pressupõe-se a existência de um número de variações igual ou maior que o de matérias-primas empregadas. No Brasil, a quase totalidade da produção de papel se dá a partir da celulose 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 anos¹, além da melhora das propriedades de maciez proporcionadas aos papéis da linha sanitária Tissue.

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 variam conforme o processo envolvido. A produção de polpa de celulose, chamado de polpeamento, varia conforme as características desejadas para o produto final e o processo empregado para remoção de lignina das fibras.

Existem várias classificações possíveis para grupos homogêneos de empresas no segmento de celulose e papel. Uma corrente de técnicos deste segmento industrial entende que ele pode ser dividido nos seguintes três grandes grupos:

- I) produtores de celulose,
- II) produtores integrados de celulose e papel,
- III) produtores de papel, incluindo os recicladores.

O Ministério de Minas e Energia (MME), que, através do Balanço Energético Nacional (BEN), contabiliza anualmente as principais informações energéticas brasileiras, considera que o segmento de celulose e papel é composto por unidades produtoras de celulose e de pastas (mecânicas, termomecânicas e quimiotermomecânicas), papel, papelão, cartolina e peças e acessórios de papel.

A Bracelpa, entidade patronal que reúne as principais empresas deste segmento no Brasil, classifica-as como sendo:

- I) produtores de celulose e de pastas de alto rendimento (PAR),
- II) produtores integrados (celulose + papel),

¹ Na Europa, o aproveitamento da madeira de florestas plantadas pode requerer períodos de desenvolvimento de 20 a 50 anos.

- III) produtores de papéis, inclusive para fins sanitários,
- IV) produtores de papel a partir da reciclagem de fibras secundárias ou papel velho.

A classificação, adotada neste trabalho, exclui os fabricantes de artefatos de papel, caso dos setores gráfico e de embalagens. Para estes quatro tipos de plantas, a Bracelpa possui uma estrutura de coleta e tratamento de dados, sobretudo econômicos e sociais, que são disponibilizados através de um anuário. Desde 1995, a Bravelpa, através de seu departamento de estatística não realiza mais pesquisas de consumo de energia junto aos seu filiados.

2.2 Produtos

A pasta celulósica pode ser obtida a partir de fibras recicladas, ou através de fibras virgens como as do linho, sisal, bagaço de cana ou bambu, mas é da madeira que provém a maior parte da matéria fibrosa virgem utilizada na produção das pastas. Uma combinação entre o tipo de fibra, processo, alvejamento e matéria-prima resulta na produção de diferentes tipos de pastas e, conseqüentemente, na obtenção dos vários tipos de papel, como é o caso da pasta branqueada, que resulta em um papel com maior grau de alvura.

Em termos de processos de obtenção das pastas, estas podem ser divididas em dois grupos: pastas químicas e semiquímicas, que originam a celulose através de processos químicos, e pastas de alto rendimento – PAR, obtidas por processos mecânicos.

Quanto aos papéis, estes podem ser divididos em seis grupos: papel de imprensa, papel de imprimir e escrever, embalagens, papéis sanitários, cartões e cartolinas, e papéis especiais (Barbeli, 2003).

2.3 Processos de fabricação

2.3.1 De celulose e de pastas de alto rendimento

Os processos produtivos tem relação direta com o tipo de fibras celulósicas que se pretende trabalhar, variando muito as formas do processamento industrial das fibras longas, fibras curtas e fibras secundárias (reciclagem).

A celulose é constituída por fibras vegetais que estão agrupadas na forma de fibrilas, formando as microfibrilas e as macrofibrilas, com dimensões que variam conforme o espécime vegetal analisado. Por exemplo, a celulose de coníferas apresenta um comprimento de fibra entre 3 a 5 mm, tem grande valor de mercado e confere ao papel resistência mecânica, sendo, por conseguinte, indicada para a fabricação de papéis de embalagem. Os processos químicos de polpeamento da celulose de fibras longas apresentam um rendimento sobre a madeira² relativamente baixo, de cerca de 48 %.

As fibras celulósicas curtas apresentam um comprimento entre 0,8 e 1,5 mm, são mais macias e conferem opacidade ao papel (mais fechado); entretanto elas possuem uma menor resistência mecânica e são indicadas para papéis de impressão e escrita. O rendimento de processos químicos aplicados a fibras curtas é maior que 50%.

² Rendimento sobre a madeira= (quantidade de pasta seca produzida / quantidade de madeira seca processada) x 100.

As fibras secundárias possuem diferentes composições e sua utilização depende da experiência do fabricante, visto a necessidade da preparação de um mix de fibras, para se obter o tipo de papel desejado com a qualidade final requerida.

A variedade de fibras disponíveis para a produção de papel acaba impondo determinadas soluções tecnológicas no processo produtivo. Neste contexto, é que se explicam as diferenças significativas existentes no processamento de fibras curtas e longas, que se refletem nos vários processos de fabricação de celulose e de PAR.

Para a produção de celulose são utilizados processos químicos e semiquímicos, enquanto que para a produção de PAR empregam-se processos de base mecânica, ou seja, processos mecânicos, termomecânicos, quimio-mecânicos e quimiotermodomecânicos, que diferem entre si quanto ao grau de consumo de energia na etapa de polpação.

Os processos químicos utilizam soluções aquosas contendo reagentes químicos para a remoção da lignina, que é o elemento ligante das fibras da madeira, provocando a separação destas fibras. A pasta resultante contém uma grande concentração de celulose.

Os processos de base mecânica, como o próprio nome sugere, separam as fibras da madeira através da utilização intensiva de forças mecânicas. Geralmente, nestes processos, os elementos removidos são poucos e, normalmente, são finos e solúveis em água. Além de diferentes níveis de consumo de energia, há um outro importante indicador comparativo entre os processos, que é o rendimento da madeira após a polpação.

Diferente dos processos químicos, a produção de PAR por processos mecânicos possui um alto rendimento sobre a madeira. Os produtos fabricados com PAR são resistentes, mas de baixo valor agregado.

2.3.1.1 Processos químicos e semiquímicos para a produção de celulose e o processo Kraft

Os processos químicos e semiquímicos caracterizam-se pela utilização de agentes químicos durante a fase de cozimento dos cavacos de madeira.. O sulfito de cálcio era o agente químico mais utilizado até a década de 1950; todavia, em face do seu alto impacto ambiental, o processo que o utilizava³ foi substituído pelo processo sulfato. Com a evolução tecnológica, o processo de produção que vem ganhando espaço a partir da década de 1980 é o semiquímico, que é uma variação do processo sulfito, com a utilização do sulfito neutro de sódio. Ele utiliza uma menor quantidade de produtos químicos, o que, somado a melhorias conseguidas nas etapas de polpação e refino, tem proporcionado uma diminuição na emissão de poluentes.

O processo sulfato, também conhecido como processo Kraft, apresenta várias vantagens sobre o processo sulfito e outros processos. Ele admite uma variada gama de matérias primas e tamanhos de fibras, possui tempos de cozimento de cavacos relativamente mais curtos e gera uma pasta mais resistente, com vários níveis de alvura, além de possibilitar a recuperação de subprodutos e dos agentes químicos utilizados. Os produtos químicos básicos empregados são o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio. Por outro lado, o processo Kraft tem desvantagens, tais como a necessidade de um maior aporte de investimentos na construção da planta e um gasto extra com a operação de branqueamento, uma vez que a celulose obtida é pouco alva.

Sob a ótica energética, uma grande vantagem oferecida pelo processo Kraft é a possibilidade de recuperação de subprodutos e dos reagentes químicos. Neste contexto é que é obtido o licor negro, ou lixívia, utilizado em uma caldeira de recuperação para gerar vapor, para fins térmicos e/ou autoprodução de eletricidade.

³ Método desenvolvido em 1867 pelo químico americano Benjamin Tilghmann, dominou absoluto o processo produtivo de pastas químicas de celulose de madeiras por cerca de 100 anos. O processo sulfito base cálcio foi o método dominante e, devido aos preços extremamente baixos do calcário e do enxofre, não havia motivos econômicos para a recuperação destes reagentes químicos do licor residual do cozimento. Em contrapartida, o processo provocava um enorme impacto ambiental.

No Brasil, 81% da polpa química é produzida pelo processo Kraft, 12% pelo processo soda e os 7% restantes por outros processos (Cetcep, 2004). Na produção de celulose pelo processo Kraft tem-se algumas etapas fundamentais, além do preparo da madeira, que são descritas a seguir.

2.3.1.1.1 Processo Kraft – cozimento

O cozimento dos cavacos de madeira provoca a formação das fibras individuais, do licor negro e dos gases da digestão. O licor da cocção é constituído por hidróxido de sódio e sulfato de sódio, enquanto que no processo soda utiliza-se apenas o hidróxido de sódio. Os reagentes químicos são preparados a partir do chamado licor branco, proveniente da unidade de recuperação de produtos químicos. A mistura reagente é encaminhada ao blow tank⁴. Na sequência, alguns vapores são condensados e a massa (polpa + licor) segue para a lavagem.

2.3.1.1.2 Processo Kraft – lavagem, depuração e espessamento

A lavagem tem por finalidade separar, da melhor maneira possível, a polpa celulósica do licor negro, e é feita em filtros rotativos especiais operados em série, com lavagem em contracorrente.

A depuração é feita em depuradores centrífugos (peneiras finas) e serve para separar pedaços de cavacos que não foram devidamente desfibrados.

O espessamento serve para aumentar a consistência da massa que é, posteriormente, enviada ao branqueamento e à máquina de papel. Todo o processamento do licor negro gera gases odoríferos.

2.3.1.1.3 Processo Kraft – branqueamento

O branqueamento consiste, basicamente, na remoção das substâncias que conferem cor à massa de celulose. Estas substâncias encontram-se associadas à lignina, representando apenas uma porção pequena em relação a ela. O branqueamento é realizado em três etapas fundamentais:

- (I) a deslignificação, realizada por oxidantes como cloro, oxigênio, entre outros;
- (II) um tratamento cáustico, para remoção das cloroligninas solúveis em álcalis;
- (III) o branqueamento propriamente dito, efetuado por agentes fortemente oxidantes, como o cloro, hipocloritos, peróxidos, dióxidos de cloro, etc.

É o processo que provoca a maior preocupação ambiental, pois mais de 3.000 substâncias e produtos químicos são gerados, principalmente no branqueamento convencional, em que o agente oxidante mais comum é o cloro. Várias mudanças foram e estão sendo feitas para minimizar os efeitos ambientais e, ainda, proporcionam uma celulose com alvura aceitável. O branqueamento gera efluentes líquidos em quantidades significativas.

⁴ Tanque de despressurização, onde se formam vapores, que podem ser separados, posteriormente, após sua condensação.

2.3.1.1.4 Processo Kraft – recuperação de produtos químicos

O processo Kraft permite a recuperação do hidróxido de sódio do licor negro, além da geração de vapor, que pode ser empregado na produção de energia elétrica. As etapas envolvidas na recuperação de produtos químicos do licor negro são:

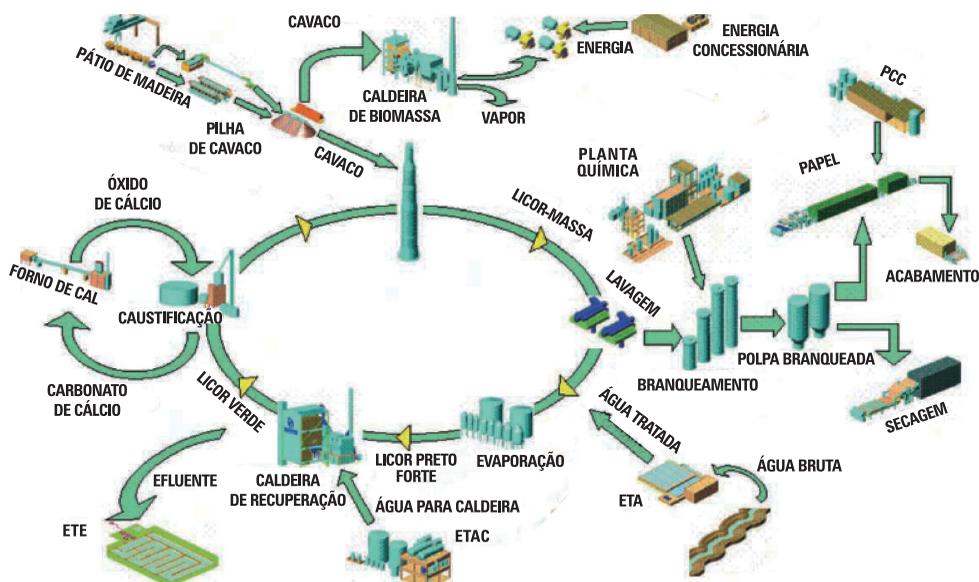
I) concentração do licor negro em evaporadores de múltiplo efeito. Nesta etapa, a concentração de sólidos no licor negro passa de 15% para 55%;

II) queima do licor negro concentrado na caldeira de recuperação, em que os gases de combustão são usados para geração de vapor e o material fundido, constituído basicamente de carbonato de sódio e sulfeto de sódio, é dissolvido com o licor branco fraco, da recaustificação, formando o licor verde. O licor verde é clarificado, dando origem a impurezas sólidas que, após lavagem, se constituem nos resíduos sólidos chamados dregs. A caldeira de recuperação gera, ainda, material particulado e gases odoríferos, além de gases oxidados de enxofre e nitrogênio;

III) caustificação do licor verde, resultado de sua reação com cal, formando o carbonato de sódio e o hidróxido de sódio. Um clarificador separa a lama contendo carbonato de cálcio do clarificado (hidróxido de sódio). A lavagem da lama acontece com água fresca, água dos condensadores da evaporação, ou água de lavagem dos dregs e se constitui no licor branco fraco. Os sólidos aqui retidos são chamados de grits. Formam-se gases malcheirosos;

IV) o cal é adensado em filtros a vácuo e calcinado em fornos de cal, transformando-se em óxido de cálcio, que retorna ao processo. O forno de cal é uma grande fonte de emissão de material particulado e compostos reduzidos de enxofre.

A Figura 1 ilustra, de uma forma esquemática, a produção de celulose pelo processo Kraft e o ciclo de recuperação dos reagentes da digestão.



Fonte: Fiesp/Cetesb, 2008.

Figura 1
O processo Kraft de fabricação de celulose e a recuperação de produtos químicos em uma planta integrada

2.3.1.1.5 Caldeiras de recuperação

O consumo de lixívia, ou licor negro, para a cogeração de eletricidade é bastante alto na indústria de papel e celulose. Produzida e utilizada somente em plantas integradas e produtoras de celulose, o seu poder calorífico é relativamente baixo, de modo que grandes volumes de lixívia geram uma quantidade de energia relativamente baixa. O crescimento do consumo deste composto químico acompanha o ritmo de produção de celulose, de modo que alterações no perfil da produção induzem alterações no consumo de lixívia.

No Brasil, há mais de 30 caldeiras de recuperação conforme pode ser observado na Tabela 1.

O parque nacional de caldeiras de recuperação é bastante heterogêneo tanto em capacidade quanto idade, tendo-se caldeiras de 200 toneladas sólido seco (tss)/dia, gerando vapor saturado a baixa pressão, até as de 4 mil tss/dia, com alta pressão de vapor. No País, as caldeiras de recuperação possuem uma capacidade média em torno de 1600 tss/dia e uma idade média de 17 anos; nos últimos três anos, 13 foram construídas, ou reformadas. Observa-se, na Tabela 1, que o aumento de escala das caldeiras é uma tendência no mercado brasileiro.

Tabela 1
Caldeiras de recuperação no Brasil

Empresa	Ano de Início	Idade (anos)	Capacidade (tons/dia)	Pressão (bar)	Vazão (t/h)
Aracruz celulose	2001	6	3700	64	524
Aracruz celulose	1991	16	3700	64	524
Aracruz celulose	1997	10	3100	64	455
Aracruz Guaíba	1972	35	1200	64	160
Aracruz Guaíba	2002	5	1950	64	300
Bahia Pulp	1995	12	900	63	130
Bahia Pulp	2007	0	3300	85	494
Bahia Sul Celulose	1992	15	3200	85	420
Bahia Sul Celulose	2007	0	4700	85	420
Cenibra	1977	30	1800	66	250
Cenibra	1992	15	2500	66	422
Cenibra	2006	1	3500	86	515
Cocelpa	1988	19	220	45	30
Iguaçu	1972	35	104	16	24
International Paper	1976	31	315	29	35
International Paper	1985	22	1050	29	140
Itapagé Artefatos	1972	35	175	42	15
Jarí Celulose	1979	28	1550	65	250
Klabin C. Pinto	1987	20	800	85	95
Klabin Telêmaco	1977	30	2000	46	265
Klabin Otac. Costa	1987	20	420	41	54
Klabin Otac. Costa	1998	9	1000	87	145
Lwarcel	2002	5	630	85	85
Nobrecel	1999	8	270	45	37
Orsa	1982	25	260	19	30
Orsa	2006	1	400	42	74
Rigesa	1987	20	250	43	36
Rigesa	1999	8	600	64	126
Ripasa	1972	35	520	42	72
Ripasa	1981	26	530	42	72
Ripasa	2002	5	1100	42	180
Suzano	1973	34	750	50	100
Suzano	1987	20	960	50	145
Trombini	1989	18	185	21	25
VCP-Luiz Antonio	1991	16	1550	64	245
VCP-Jacaré	1994	13	1700	88	245
VCP-Javareí	2002	5	2760	88	392
Veracel Celulose	2005	2	4000	94	620

Fonte: Elaboração própria, com dados de Perecin (2006)

São inúmeras as tecnologias introduzidas nas caldeiras de recuperação para a melhora de seu desempenho energético e ambiental. Pode-se mencionar os casos da lavagem e incineração dos gases do tanque de dissolução na caldeira, e o sistema multilevel de ar de combustão, que proporcionam o abatimento das emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos reduzidos de enxofre (TRS), entre outros. Além disso, a adoção de tecnologias que utilizam mais de quatro níveis de ar na fornalha tem proporcionado bons resultados em termos das eficiências energética e ambiental, resultando na conciliação de emissões de CO e NOx, com níveis abaixo de 120 ppm.

Especificamente sob a ótica energética, ganhos têm sido obtidos a partir do aumento do teor de sólidos do licor negro e aumento de área de troca térmica na caldeira, pela utilização de reaquecedores e de préaquecedores.

O aumento do teor de sólidos da lixívia até o nível de 85% tem significado uma elevação de 3,15 para 3,5 t de vapor por tonelada de lixívia queimada – base seca, além de melhorias ambientais, visto que as emissões de enxofre são substancialmente reduzidas.

A indústria de celulose e papel, no mundo todo, está com grandes expectativas sobre a viabilização econômica, a médio prazo, da gaseificação da lixívia. Esta tecnologia vem sendo desenvolvida desde a década de 1970 (BAJAY; BERNI; LIMA, 2005).

2.3.1.2 Processos de produção de pastas de alto rendimento

PARs surgiram devido à demanda crescente de celulose, à estratificação e controle de desmatamento da maioria das reservas florestais no mundo e o aumento do custo da energia. Estes gargalos acabaram alavancando um interesse acentuado nos países produtores de celulose por processos de polpeamento de alto rendimento. Na produção de uma PAR tem-se um rendimento superior a 60% na transformação da madeira.

Entretanto, a partir de uma PAR é obtido um papel de menor qualidade. É uma alternativa à celulose branqueada em alguns nichos de mercado. As PARs apresentam constituintes não celulósicos da madeira com teores variáveis, sendo aplicadas na produção de determinados papéis, cartões ou papelões com menores exigências, comparativamente aos produtos feitos com pastas químicas-branqueadas.

As pastas de alto rendimento têm um custo de produção bem inferior às pastas químicas.

As madeiras de fibra longa, como as coníferas, são as mais adequadas para produzir PARs. No Brasil predomina a utilização do pinus.

A produção de uma PAR utiliza processos menos complexos do que os processos químicos. Com o objetivo de obter pastas de melhor qualidade do que as que se consegue com o processo mecânico, foram desenvolvidas algumas variantes, como, por exemplo, os processos termomecânico, quimomecânico e quimitermomecânico.

Entre os vários tipos de PAR (CETCEP, 2004) e seus processos de fabricação, pode-se destacar:

a) Pasta mecânica de mó (*Stone groundwood pulp* – SGWP): é obtida por desfibramento de madeira roliça em mó, à pressão atmosférica. Seu rendimento situa-se entre 95 e 97%. A pasta mecânica de mó é utilizada em inúmeros tipos de papéis e papelões, tanto de uma forma isolada como combinada com outros tipos de pastas. O maior consumidor de pasta mecânica é o papel de imprensa, cuja composição média é pasta mecânica de mó de 71 a 82 %, pasta química de 18 a 25 %, e cargas e aditivos que podem variar de 0 a 4 %;

b) Pasta mecânica de mó pressurizada () : é obtida por desfibramento de madeira roliça em mó, sob pressão (equipamento fechado e pressurizado). Seu rendimento é superior a 90%;

c) Pasta mecânica de desfibrador despressurizado (*Refiner mechanical pulp – RMP*): é obtida por desfibramento de madeira, ou de seus resíduos sob a forma de cavacos ou serragem, em desfibrador de disco sob pressão atmosférica. Seu rendimento situa-se em torno de 95%,

d) Pasta termomecânica (*Thermomechanical pulp – TMP*): resulta do desfibramento, em desfibrador de disco, sob pressão, de cavacos, serragem de madeira ou resíduos agrícolas (palhas de cereais), previamente aquecidos com vapor saturado. O rendimento do processo situa-se entre 92 e 94%;

e) Pasta quimomecânica de mó (*Chemimechanical pulp – CMP*): é o produto de um desfibramento em mó, sob pressão atmosférica, de madeira roliça, prévia e levemente tratada com reagentes químicos. Seu rendimento é em torno de 90%;

f) Pasta quimomecânica de desfibrador de disco (*Chemimechanical pulp – CMP*): é obtida pelo desfibramento, em desfibrador de disco, sob pressão atmosférica, de cavacos, serragem de madeira, ou resíduos agrícolas (palhas de cereais), prévia e levemente tratados com reagentes químicos. O rendimento do processo é em torno de 90%;

g) Pasta quimo-termomecânica (*Chemi-thermomechanical pulp – CTMP*): resulta do desfibramento, em desfibrador de disco, sob pressão, de cavacos, serragem de madeira ou resíduos agrícolas, prévia e levemente tratados com reagentes químicos. Seu rendimento é cerca de 90%;

h) Pasta mecano-química: provém de pastas mecânicas, obtidas por qualquer processo, e que sofrem um tratamento químico posterior ao desfibramento. Trata-se de um processo ainda em estudos;

i) Pasta semiquímica com soda a frio (*Cold soda pulp ou chemimechanical pulp*): o seu processo de produção envolve um desfibramento com desfibrador de disco, sob pressão atmosférica, de cavacos tratados com solução de hidróxido de sódio. Trata-se de um cozimento sob condições mais suaves e tempos mais curtos do que os empregados nos processos químicos convencionais. A concentração de reagentes também é menor. O rendimento do processo pode variar de 80 a 90%;

j) Pasta semiquímica ao sulfito neutro (*Neutral sulfite semichemical pulp – NSSC*): os cavacos são aquecidos com vapor e a seguir impregnados com solução de sulfito e carbonato de sódio com um pH entre 8 e 9. Posteriormente, são cozidos com vapor em temperaturas entre 160 e 180 oC por 15 a 60 minutos. O rendimento do processo varia de 75 a 85%;

k) Pasta semimecânica com soda à quente (): este processo é mais utilizado para resíduos agrícolas, os quais são, inicialmente, aquecidos com vapor à pressão atmosférica, impregnados com solução de hidróxido de sódio a 8-10% e, depois, cozidos com vapor à temperaturas de 160 a 180 oC por 15 minutos ou mais.

2.3.2 De papel

2.3.2.1 Etapas básicas da fabricação de papéis

Embora os diversos tipos de papéis se diferenciem segundo suas especificações físicas e químicas e formas de acabamento, sua fabricação segue as mesmas etapas básicas, resumidas a seguir. Isto também vale para a reciclagem de papéis.

A etapa inicial da fabricação de papel corresponde à preparação da massa, na qual a matéria-prima fibrosa recebida varia de acordo com o nível de integração da planta. As plantas fabricantes de papel adquirem a celulose de mercado enfardada e seca, enquanto que, em uma planta integrada, a celulose chega em suspensão, facilitando a produção de papel.

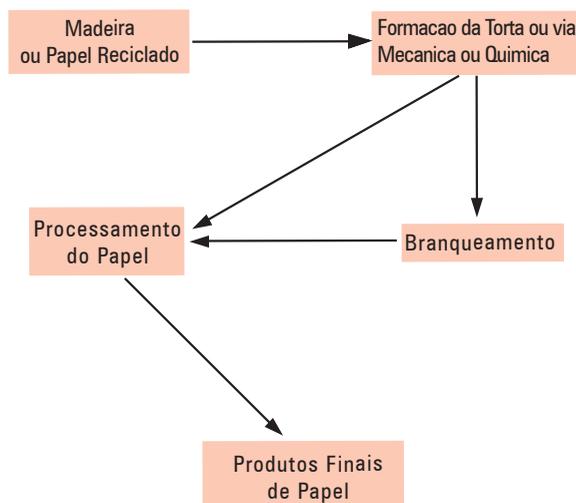


Figura 2

Etapas básicas para a fabricação de papéis

O preparo da massa compreende três operações distintas: desagregação; refinação e depuração.

O objetivo da desagregação é dar consistência aos materiais que entram no processo e se passa em um equipamento conhecido como tanque desagregador.

Na refinação, a suspensão obtida é adequada à formação da folha de papel. Esta operação é vital, pois influencia diretamente as características finais da folha de papel. Os refinadores são equipamentos grandes consumidores de eletricidade.

Na depuração, o objetivo é retirar todas as impurezas contidas na suspensão fibrosa. Os equipamentos utilizados nesta operação são as peneiras e depuradores centrífugos.

Após esta operação, a suspensão fibrosa é depositada nas telas da máquina de papel, onde, a partir da redução de sua umidade através de processos mecânicos de drenagem e sucção, inicia-se a formação da folha de papel, e posterior prensagem. Normalmente há duas prensas por máquina de papel. A velocidade da máquina está diretamente relacionada ao tipo e qualidade do produto final desejado.

A folha de papel segue, então, para a seção de secagem da máquina, onde a umidade residual é retirada através de cilindros aquecidos. Nesta operação, além do consumo de eletricidade para força motriz, existe um consumo elevado de energia térmica na secagem propriamente dita.

Dependendo do tipo de produto requerido, a folha de papel é encaminhada para tratamento superficial e acabamento final.

2.3.2.2 O processo de reciclagem

A atividade de reciclagem de papel é complementar à produção de matérias-primas fibrosas virgens, que constituem os principais insumos do processo de fabricação de papel. A reciclagem dos papéis é, tecnicamente, muito difícil após quatro a cinco ciclos sem a entrada constante de matérias-primas fibrosas virgens no processo.

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.

Existe a necessidade de pré-seleção das aparas a serem recicladas⁵. 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, para evitar a absorção de umidade. Ao chegar às plantas, os fardos de papel são pesados e classificados. Essa classificação é feita de acordo com alguns critérios como grau de brancura, nível de contaminantes, etc. O resultado desta classificação condiciona o preço de aquisição. Após essa etapa, os fardos usualmente ficam armazenados a céu aberto, aguardando processamento. As etapas deste processamento são descritas a seguir.

2.3.2.2.1 Preparação da massa

Os fardos de papel reciclado são colocados em uma esteira de alimentação, que os leva aos equipamentos denominados Hidrapulpers, que possuem a forma de tanques cilíndricos, providos de rotores giratórios ao fundo, onde a massa é desagregada, após a adição de água, nova e/ou reciclada. Estes equipamentos formam a pasta de celulose, com uma consistência entre 2 e 3 %, que permite o seu bombeamento.

2.3.2.2.2 Depuração e lavagem

A utilização das etapas de depuração e lavagem em si e seu número dependem 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 usualmente contêm um grande número dessas impurezas, tais como pedaços de papel não desagregado, metais como arames, cliques, ferragens, bem como plásticos. Uma peneira, abaixo do rotor do hidrapulper, constitui a 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, flotores e separadores centrífugos denominados cleaners, que, progressivamente, vão purificando a massa. Nessas etapas, há o uso de quantidades consideráveis de água de processo, que é empregada na lavagem da massa.

2.3.2.2.3 Destintamento das aparas

Esta etapa somente não é utilizada quando a massa celulósica se destina à produção de papel jornal, de embrulho/embalagem e papelão.

A etapa deve ser bem monitorada, devido aos impactos ambientais decorrentes do destintamento das aparas.

A fabricação de papéis sanitários, de escrever, de impressão, além de papel para revistas e alguns tipos de

⁵ Também denominadas como papel velho.

papel cartão, demandam o emprego de produtos químicos que retiram os resíduos de tintas e o passam para o efluente do processo, em geral sob a forma coloidal. O consumo de destintantes depende do grau de brancura requerido para a massa celulósica.

Após o destintamento, a otimização do processo de fabricação requer o engrossamento da massa, de modo a garantir o adequado funcionamento das próximas etapas. Para tal propósito, é necessário se reduzir o teor de umidade da massa, o que se dá nos engrossadores, que removem o excesso de água, por pressão ou a vácuo.

2.3.2.2.4 Branqueamento

Quando há o uso de aparas em proporção significativa e, dependendo do grau de brancura da massa e do produto pretendido, pode haver a necessidade de se intercalar uma etapa de branqueamento adicional.

Como não contém praticamente mais lignina, a pasta pode ser branqueada por processos isentos de cloro elementar, que é o caso do processo TCF⁶, sendo comum o uso do peróxido de hidrogênio.

Dependendo do uso final, também poderá ser adicionada, nesta etapa, uma pequena quantidade de corante à massa, para conferir uma determinada tonalidade, por exemplo azulado, que possibilita melhorar o aspecto do produto final.

2.3.2.2.5 Refino ou despastilhamento

Para conseguir uma superior resistência do produto, às vezes é necessário “abrir” e reorientar as fibras de celulose, melhorando sua ligação, ou seja, ampliando o efeito de entrelaçamento. Isto é obtido com a passagem da massa celulósica por um refinador, ou “despastilhador”, composto de dois discos face a face que giram em sentidos opostos e aplicam uma determinada tensão de cisalhamento à massa.

2.3.2.2.6 Depuração fina e acerto do comprimento da fibra

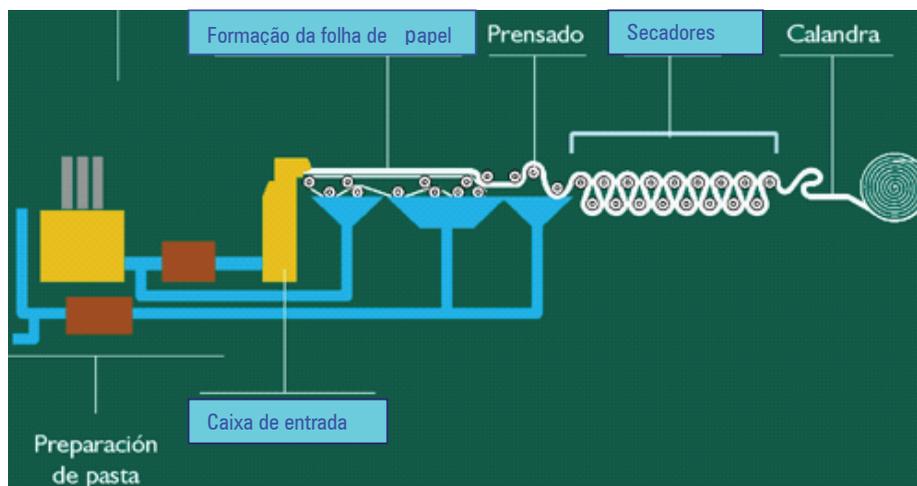
Antes da entrada na máquina de papel, é necessário fazer uma depuração fina e uniformizar o comprimento das fibras. Este procedimento é realizado em cleaners e depuradores, onde são eliminadas as areias e impurezas finas ainda existentes na pasta. Eventualmente, nem toda a massa é passível de incorporação ao novo produto. Fibras pequenas demais tendem a tornar o papel quebradiço e devem ser separadas nessa etapa, através de operações de peneiramento fino.

2.3.2.2.7 Formação da folha de papel

A massa é bombeada a tanques de armazenamento e volta a ser diluída com água até uma consistência de, no máximo, 1%, que pode, eventualmente, receber seus últimos aditivos, como por exemplo, amido e cargas minerais para conferir brilho e colagem. Em seguida ocorre a formação da folha de papel, a partir da seção denominada caixa de entrada (Figura 3), que injeta a suspensão homogeneamente sobre a mesa ou formador. As bordas irregulares da folha formada são aparadas com jatos de água a alta pressão, antes

⁶ “Total chlorine free”.

de seguir para a seção de prensas, onde retira-se mais de 50% da umidade presente na folha. Na seção de secagem da máquina de papel, a aplicação de vapor sob pressão no interior dos cilindros de secagem leva a massa até seu teor de umidade final, de 5% a 7%, formando-se a folha de papel.



Fonte: Area, 2005

Figura 3
Visão geral da produção de papel, reciclado ou não

2.3.2.2.8 Rebobinamento

A folha de papel bobinada na máquina de papel já constitui um produto final. A unidade produtiva, no entanto, frequentemente costuma efetuar um rebobinamento em suas próprias dependências, para formar bobinas menores, geralmente enroladas em tubetes de papelão, pois facilita o manuseio e transporte. Outros equipamentos para confecção de diferentes apresentações do produto final podem ser utilizados, dependendo do tipo de gramatura do papel/papelão desejado, como é o caso das calandras, bobinadeiras, rebobinadeiras, onduladeiras (só para papelão), aplicadoras de cola, máquinas de revestimento tipo coating, de impressão (clichês), embaladeiras, etc.

2.4 Produção de celulose, PAR e papel e consumo de aparas

A tabela 2 resume a evolução recente da estrutura de produção nacional de celulose e PAR, considerando os diversos tipos de fibras e processo produtivo. O eucalipto é a matéria-prima de fibra curta mais utilizada no País, independente do processo adotado, enquanto que o pinheiro (pínus) é a matéria-prima de fibra longa mais empregada. Pode-se observar na Tabela 2, que o maior volume de produção tem sido de celulose branqueada de fibra curta (79,7% do total em 2006). Da produção de PAR em 2006, 50,7% foi de pasta termomecânica, 27,3% de pasta mecânica, 17,0% de pasta quimitemomecânica e 5% de pasta quimimecânica (Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas>>. Acesso em: 21jun. 2008). anos), já que os volumes de exportações ainda são modestos.

Tabela 2
Produção de celulose e PAR no Brasil, por tipo de fibra e processo produtivo,
em mil toneladas, de 1995 a 2006

Ano	Processo Químico e Semiquímico						Total	PAR	Total geral	Evolução anual(%)
	Fibra Longa			Fibra Curta						
	Branq.	N/Branq	Total	Branq.	N/Branq	Total				
1995	262	1.150	1.411	3.760	271	4.031	5.443	493	5.936	1,8
1996	221	1.124	1.345	4.098	293	4.391	5.736	465	6.201	4,5
1997	122	1.160	1.282	4.333	289	4.622	5.904	427	6.331	2,1
1998	95	1.152	1.247	4.739	245	4.984	6.231	455	6.687	5,6
1999	87	1.318	1.405	5.092	268	5.360	6.765	444	7.209	7,8
2000	72	1.350	1.422	5.295	244	5.539	6.961	502	7.463	3,5
2001	71	1.367	1.438	5.292	213	5.505	6.943	468	7.412	-0,7
2002	88	1.420	1.508	5.751	266	6.017	7.526	495	8.021	8,2
2003	86	1.426	1.512	6.812	286	7.098	8.610	459	9.069	13,1
2004	97	1.441	1.538	7.312	301	7.612	9.150	470	9.620	6,1
2005	87	1.450	1.536	8.011	305	8.316	9.852	500	10.352	7,6
2006	89	1.333	1.422	8.909	351	9.260	10.682	497	11.180	8,0

Fonte: Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas>>. Acesso em: 21jun. 2008

A evolução, de 1995 a 2006, da produção no País dos vários tipos de papéis está apresentada na Tabela 3. Os maiores volumes de produção tem sido de papéis para embalagens e papéis para imprimir, nesta sequência. Comparando-se as taxas anuais de crescimento pode-se observar taxas recentes bem mais elevadas para as produções de celulose e PAR, por conta dos elevados volumes de exportações de celulose de fibra curta para o aquecido mercado internacional. A produção de papel, por seu vez, é influenciada principalmente pelo mercado interno (cujo crescimento tem sido baixo na maior parte dos últimos anos), já que os volumes de exportações ainda são modestos.

Tabela 3
Produção de papéis no Brasil, por tipo, em mil toneladas, de 1995 a 2006

Ano	Imprensa	Imprimir	Escrever	Embalagem	Fins sanitários	Cartões e cartolinas	Papéis especiais	Total	Variação anual (%)
1995	295	1.643	159	2.510	466	430	159	5.798	2,6
1996	277	1.669	143	2.800	550	426	170	6.176	6,5
1997	265	1.848	135	2.911	565	480	168	6.518	5,5
1998	274	1.848	110	2.978	574	463	191	6.589	1,1
1999	243	1.959	108	3.209	571	502	197	6.953	5,5
2000	266	1.992	100	3.347	597	520	204	7.200	3,6
2001	233	2.052	100	3.526	619	526	208	7.438	3,3
2002	248	2.092	94	3.716	673	559	212	7.774	4,5
2003	163	2.213	106	3.772	684	568	231	7.916	1,8
2004	133	2.326	101	4.141	735	583	233	8.452	6,8
2005	133	2.381	99	4.180	778	596	235	8.597	1,7
2006	135	2.450	101	4.231	787	619	201	8.725	1,5

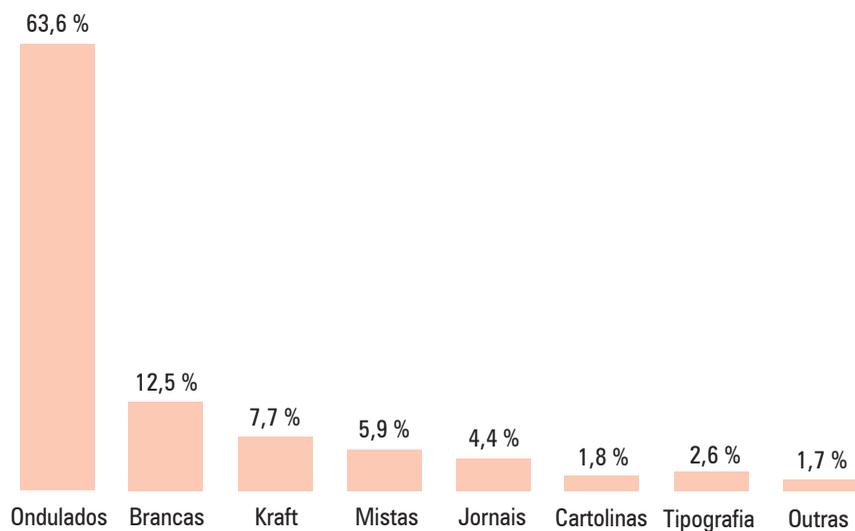
Fonte: Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas>>. Acesso em: 21jun. 2008

A Tabela 4 ilustra o consumo crescente de aparas no País de 1997 a 2006, enquanto que o Gráfico 1 mostra a composição deste consumo em 2006. Observe-se, no Gráfico 1, que a reciclagem dominante é de papéis ondulados, seguida, bem atrás, pelos papéis brancos.

Tabela 4
Evolução, de 1997 a 2006, do consumo de aparas no Brasil

Ano	1.000 t	Evolução anual
1997	2.239	2,7
1998	2.295	2,5
1999	2.416	5,3
2000	2.612	8,1
2001	2.777	6,3
2002	3.017	8,7
2003	3.005	-0,4
2004	3.360	11,8
2005	3.438	2,3
2006	3.497	1,7

Fonte: Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas>>. Acesso em: 21jun. 2008.



Fonte: Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas>>. Acesso em: 21jun. 2008

Gráfico 1
Composição do consumo brasileiro de aparas em 2006

3 Caracterização Econômica



3 Caracterização Econômica

3.1 Introdução

A celulose é considerada uma commodity no mercado internacional.

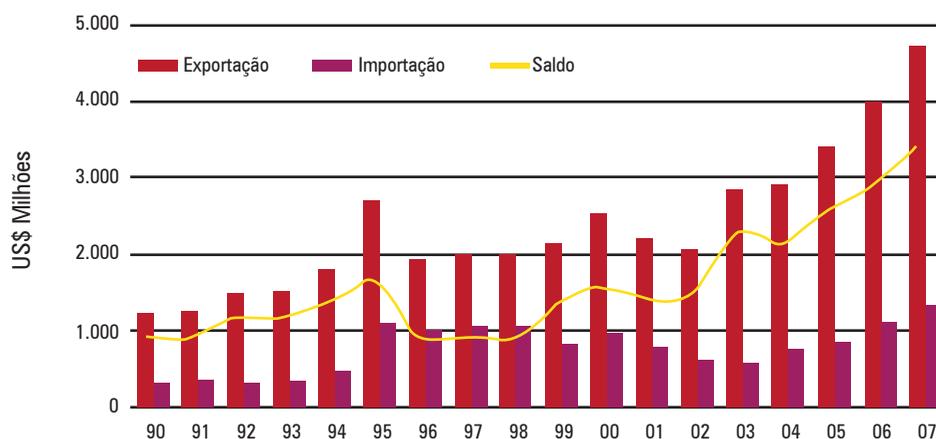
A produção brasileira de pastas celulósicas vem crescendo a uma média de 5,5% ao ano nos últimos dez anos. Em 2006, o Brasil passou do sétimo para o sexto lugar, ultrapassando o Japão, entre os maiores produtores mundiais (Bracelpa, 2007).

O setor de celulose e papel brasileiro é o 11o do mundo no ranking dos fabricantes de papel, com um volume de 8,6 milhões de toneladas de papel produzidas por ano.

Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel (Bracelpa), o setor contava, em 2005, com 220 empresas, em 450 municípios de 16 estados nas cinco regiões brasileiras, gerando 108 mil empregos diretos nas indústrias e florestas e produzindo um faturamento de R\$ 23,1 bilhões. Naquele ano, foram exportados US\$ 3,4 bilhões, que geraram um saldo comercial de US\$ 2,5 bilhões para o País (Bracelpa, 2006). O Gráfico 2 mostra a evolução da balança comercial no período de 1990 a 2007.

O setor possuía, em 2005, 1,7 milhão de hectares de florestas plantadas. Sua participação no PIB, naquele ano, foi de 1,4%.

O consumo brasileiro per capita de papel foi de 41,1 kg por habitante em 2006, um valor baixo, quando comparado com estatísticas correspondentes nos Estados Unidos (300.6 kg/ano), França (177.8 kg/ano), Chile (68.3 kg/ano), Argentina (50.5 kg/ano) e China (45.1 kg/ano) (Disponível em: <www.bracelpa.org.br>).



Fonte: SECEX

Gráfico 2

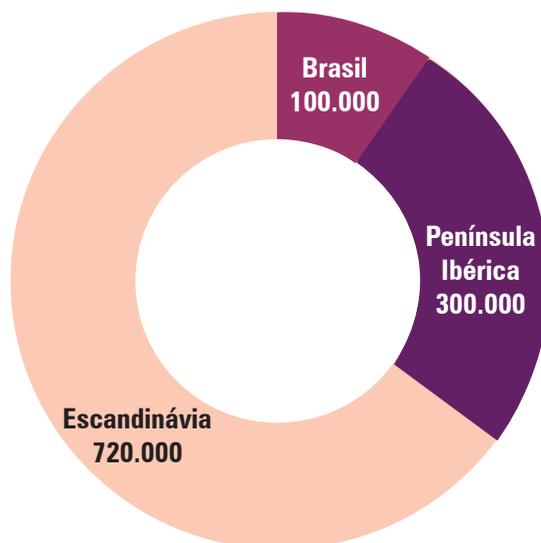
Evolução da Balança Comercial do Setor de Celulose e Papel, 1990/2007

3.2 Competitividade

O Programa Nacional de Papel e Celulose, lançado em 1974, estabeleceu uma política de incentivos e subsídios voltada para o segmento de celulose e papel. Dentre os mais importantes, destacaram-se os incentivos fiscais para reflorestamento e os financiamentos para investimentos em tecnologias em toda a cadeia produtiva. Tais medidas resultaram em uma melhora das condições de competitividade das empresas nacionais no mercado externo, reduzindo a dependência externa de diversos produtos. O parque industrial de celulose e papel se modernizou, as atividades de P&D aumentaram seu ritmo e o mercado externo foi alcançado.

As grandes empresas integradas produtoras de celulose do Hemisfério Norte mostram-se extremamente competitivas nas operações industriais especializadas – a partir da fábrica da celulose em diante, até a produção e comercialização de papéis. Elas estão, entretanto, em desvantagem nas etapas iniciais da cadeia produtiva, basicamente na fase de plantação de florestas homogêneas e na logística. O tempo de maturação de uma árvore, do seu plantio ao corte determina um claro diferencial de custos. O eucalipto, por exemplo, que compõe a base florestal das empresas brasileiras, pode ser cortado em sete anos, enquanto no norte da Europa os pinheiros não levam menos de 30 a 40 anos para estarem prontos. Mesmo com o eucalipto da Península Ibérica e do Chile, com uma maturação de 11 a 12 anos, não se obtém as mesmas vantagens do Brasil (COUTINHO et al., 2003).

As vantagens obtidas pelo Brasil nas atividades florestais não dependem apenas de condições naturais e do tempo de maturação do eucalipto, mas também do manejo florestal e da logística de transporte da matéria-prima até a planta industrial. O Gráfico 3 fornece exemplo da competitividade florestal brasileira vis-a-vis mundial. Observe no Gráfico 3, que a área florestal necessária para a produção de um milhão de toneladas por ano de celulose, no Brasil é sete vezes menor que na Escandinávia.



Fonte: Pöyry

Gráfico 3

Área florestal necessária para produção de 1 milhão t/ano de celulose:
Comparação Brasil e Mundo

A produção de pasta celulósica branqueada encontra no Brasil condições muito favoráveis (COUTINHO et al., 2003). O grande sucesso do aproveitamento do eucalipto como matéria-prima básica para a produção de celulose tem garantido ao País custos de produção entre os mais baixos do mundo. Esta vantagem de custos tem sido reforçada pela realização de inversões na modernização do parque industrial, especialmente na fabricação de celulose. Além disso, as empresas realizaram investimentos em pesquisa aplicada de desenvolvimento florestal. O resultado destas pesquisas já pode ser considerado incorporado através do estabelecimento de um importante crescimento da produtividade em relação aos grandes produtores do Hemisfério Norte (vide Tabela 5)

Tabela 5
Produtividade do eucalipto e do pínus para a produção de celulose, em m³/ha/ano, em 1980, 2005 e potencial futuro

	1980	2005	Crescimento (%)	Potencial	Crescimento (%)
Eucalipto	24	39	63	50	108
Pínus	19	30	58	40	111

Fonte: Bracelpa, 2006

Vários fabricantes de celulose têm oferecido a pequenos e médios produtores rurais a oportunidade de plantar florestas em conjunto com suas outras atividades. Em 2005, a área fomentada pelo segmento era de 219 mil hectares e o número de fomentados chegava a 10,4 mil propriedades.

O segmento brasileiro de celulose e papel possui a maior área de florestas certificadas entre os segmentos de base florestal do País. Em 2005, a área total certificada era de 1,6 milhão de hectares.

As plantas do segmento de celulose e papel, em geral, pertencem a grandes corporações mundiais que atuam na produção de papel e celulose e são altamente verticalizadas. No Brasil, não ocorre de forma diferente. Destaque-se, no caso brasileiro, a presença de algumas grandes empresas de capital nacional, algumas empresas estrangeiras de grande porte e um número elevado de instalações de médio porte, que reciclam papel usado.

Do ponto de vista da qualidade, por imposição do mercado externo face às exportações, todos os produtores integrados e fabricantes de celulose de mercado já possuem os certificados ISO 9000 e ISO 14000.

Um outro parâmetro imprescindível de aferição de qualidade na fase industrial é a instrumentação digital, com controles lógicos programáveis, que favorecem a automação dos controles das variáveis de processo. Cabe mencionar que, em todos os tipos de plantas, a largura e a velocidade da máquina que fabrica o papel são parâmetros importantes para a competitividade; eles, combinados com a gramatura, fornecem a produção horária, que tem influência direta nos custos. Não menos importante é a idade da máquina vis-a-vis a possibilidade de automatizar. O grau de automação tem grande importância na competitividade, na medida em que possibilita produzir com uma confiabilidade de mais de 98 %.

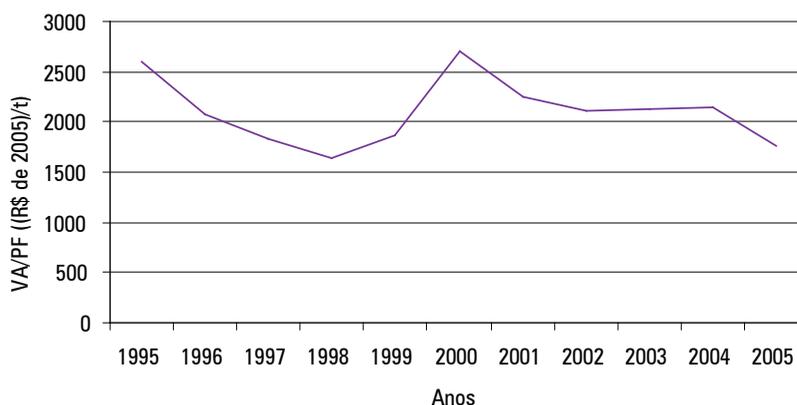
Em nível mundial, tem ocorrido um processo de diferenciação dos produtos da indústria de papel e celulose em razão da resistência, por parte de alguns países, em adquirir produtos originários de produtores cujas plantas apresentem problemas ambientais, não utilizem florestas plantadas, ou não empreguem, em maior grau, fibras recicladas em seu processo produtivo.

Logo, as especificações técnicas, tanto para os processos industriais como para o controle da exploração comercial das florestas, têm se tornado mais rigorosas, requerendo grandes investimentos e influenciando na competitividade.

Na União Européia não entra mais papel brasileiro que não esteja livre de cloro. Desde meados da década de 1980, os produtores de celulose no Brasil já vêm migrando para os processos parcialmente livres de cloro elementar (ECF), ou para os sistemas totalmente isentos de cloro elementar (TCF), substituindo o método tradicional em que compostos organoclorados são lançados no ambiente. A instalação de um sistema de branqueamento de celulose do tipo ECF custava, em 2003, cerca de 70 milhões de dólares; já os sistemas do tipo TCF representavam, naquele ano, uma adição de custo de até US\$ 100 dólares/t de celulose a mais, em virtude de necessitar mudanças de equipamentos e de projeto (Coutinho et alii, 2003). O processo TCF é considerado como a melhor tecnologia de branqueamento de celulose (Bracelpa, 2006).

3.3 O pronunciado comportamento cíclico do valor unitário de produção

O Gráfico 4 ilustra bem o pronunciado comportamento cíclico, de grande amplitude, do valor unitário da produção (valor adicionado / produção total) do segmento de celulose e papel, ocasionado pelo forte comportamento cíclico do preço da celulose no mercado internacional. A produção total do segmento de celulose e papel é dada pela produção de papel mais as exportações de celulose.



Fonte: Elaboração própria

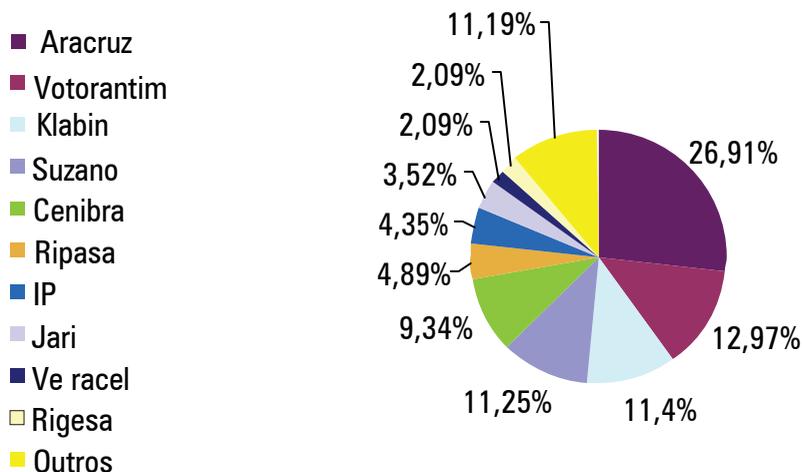
Gráfico 4
Evolução, de 1995 a 2005, do valor unitário de produção de papel e celulose, em (R\$ de 2005)/t

3.4 Principais produtores

3.4.1 De pastas de celulose

Pouco mais da metade da celulose que é produzida no Brasil é consumida pelos produtores integrados. Do restante, cerca de 40% são comercializados para o mercado externo e apenas 10%, segue para produtores de papel no mercado interno (Bracelpa, 2006). No tocante às PARs, 87%, são aproveitados pelos próprios produtores e 13% seguem para outros produtores de papéis e embalagens.

O Gráfico 5 mostra as parcelas de mercado dos dez maiores produtores nacionais de celulose no ano de 2005.



Fonte: Bracelpa, 2006

Gráfico 5

Parcelas do mercado dos dez maiores produtores de celulose no Brasil em 2005

Segundo a Bracelpa (2006), os cinco maiores fabricantes de celulose no Brasil concentravam, em 2005, 72% da produção total desta commodity. Estes são: a Aracruz Celulose S/A, com 2,78 milhões; a Votorantim Celulose e Papel S/A, com 1,34 milhões; a Klabin S/A, com 1,18 milhões; a Suzano Papel e Celulose, com 1,16 milhões e a Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra) com 0,97 milhão de toneladas.

Os cinco maiores produtores de celulose elencados na Figura 16 são integrados. A Aracruz possui a maior fábrica de celulose de fibra curta à base de eucalipto do mundo e destina ao mercado externo 94% do que fabrica, o que lhe confere uma liderança indiscutível neste mercado.

A Votorantim foi vendida em 2006 ao grupo controlador da International Paper do Brasil Ltda; as atividades florestais, no entanto, continuam sob a gestão do grupo Votorantim. O grupo de empresas Klabin destina cerca de um quarto de sua produção para a comercialização no mercado interno e externo, sendo o restante consumido internamente na produção de papéis. Os outros dois grandes fabricantes brasileiros, Suzano e Cenibra, são responsáveis por, aproximadamente, um quarto da produção total de celulose no País.

3.4.2 De papel

Em 1990, 56% da produção originava-se de dez fabricantes. Passados quinze anos, esta participação atingiu, em 2005, 60%.

Em 2005 os dez maiores produtores de papéis foram a Klabin S/A (16,93%), Suzano Papel e Celulose (9,60%), International Paper do Brasil Ltda. (7,24%), Votorantim Celulose e Papel S/A (7,04%), Ripasa S/A Celulose e Papel (5,96%), Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda. (3,62%), Orsa Celulose, Papel e Embalagens S/A (3,21%), Trombini Industrial S/A (2,27%), Norske Skog Pisa Ltda. (1,98%) e Celulose Irani S/A (1,96%).

85% do total da produção de papel em 2005 foram direcionados ao mercado interno (Bracelpa, 2006).

3.5 O recente processo de fusões, incorporações e a entrada de capital estrangeiro

A primeira forte entrada de capitais estrangeiros na indústria de celulose e papel ocorreu na década de 1950, quando a Rigesa, uma fábrica de embalagens de Valinhos (SP), foi adquirida pela americana Westvaco Corporation (1953), e a Panamericana Têxtil, de Mogi Guaçu (SP), foi adquirida pela Champion International Corporation (1959), também americana.

O movimento de reestruturação empresarial nesta indústria, com algumas incorporações e fusões, sobretudo a partir de 2000, impulsionou o seu crescimento, tornando-o mais concentrado.

Em 2005, a concentração ampliou-se com o início das operações da Veracel, empresa pertencente à Aracruz e à sueco-finlandesa Stora Enso, com 50% cada uma. O ritmo de concentração continuou em 2005, quando da aquisição da Ripasa pela Votorantin e pelo grupo Suzano Bahia Sul, em partes iguais.

No início de 2006, a Votorantin foi vendida para a International Paper, ficando somente com os seus negócios na área florestal.

Até 2004, a participação de capital estrangeiro na produção de celulose no Brasil estava centrada no capital japonês da Cenibra, na finlandesa Norske Skog e nas americanas International Paper e Rigesa. O capital estrangeiro, do total de 9,62 milhões de toneladas produzidas em 2004, foi responsável por uma participação de 18,2%, ou seja, 1,75 milhão de toneladas de celulose. Em 2006, com a entrada em operação da Veracel, aquele percentual subiu para 20,6%, ou seja, 2,20 milhões, de um total de 10,63 milhões de toneladas de celulose (Valor Econômico, 2007).

As empresas americanas International Paper, Rigesa, Sonoco e Kimberly-Clark, a franco-americana Schweitzer-Mauduit, as finlandesas Norske Skog, Huhtamaki e Ahlstrom, e a franco-inglesa Arjo Wiggins foram responsáveis por uma produção quase 1,4 milhão de toneladas de papéis em 2004, correspondente a 16% do total da produção nacional daquele ano, de 8,452 milhões de toneladas (Valor Econômico, 2007).

3.6 Consumo aparente de papel

A Tabela 6 apresenta as estatísticas de produção, exportação, importação e consumo aparente de papel em 2005, no Brasil, por tipo de papel. Os maiores consumos aparentes são de papel de embalagem, papel de imprimir e escrever, nesta sequência; eles foram responsáveis por 73% da demanda interna total de papel no País. Os papéis de imprimir e escrever representaram, em 2005, 45% das vendas externas e 24% das vendas no mercado interno. 33% da exportação total de papel foram constituídas por papéis de embalagem naquele ano. As exportações foram maiores do que as importações para todos os tipos relacionados na Tabela 6, exceto o papel de imprensa, cuja produção não é competitiva no País, fato este refletido por nenhuma exportação em 2005.

Tabela 6

Produção, exportação, importação e consumo aparente de papel, em 10³ ton, em 2005

Tipo de papel	Produção	Exportação	Importação	Consumo aparente
Imprensa	133	0	366	499
Imprimir e escrever	2.481	922	223	1.782
Embalagem	4.180	683	43	3.540
Papel cartão	596	207	28	417
Sanitários	778	59	11	730
Outros	429	168	99	360
Total	8.597	2.039	770	7.328

Fonte: Bracelpa, 2006

A Tabela 7 indica a evolução, de 2000 a 2005, do consumo aparente de papéis no Brasil.

Tabela 7

Evolução do consumo aparente de papéis no Brasil, em 10³ toneladas

	2000	2005	Taxa de variação (% ao ano)
Imprensa	600	499	- 3,6
Imprimir e escrever	1510	1782	3,4
Embalagem	2890	3540	4,1
Papel cartão	461	417	-2,0
Sanitários	545	730	6,0
Outros	367	360	-0,4

Fonte: Bracelpa 2003; Bracelpa, 2006.

3.7 Importações e exportações de celulose e papel

O volume das exportações é um excelente indicador do grau de competitividade de um segmento econômico. Segundo números da SECEX-MDIC, as exportações brasileiras de celulose cresceram 174% em volume entre 1995 e 2005, de 1,984 milhões para 5,441 milhões de toneladas, o que corresponde a uma média anual de 10,6%. A média anual de crescimento do comércio internacional de celulose tem sido de 4%. É, portanto, cada vez maior a presença brasileira no comércio mundial de celulose (VALOR ECONÔMICO, 2007).

No caso dos papéis, conforme dados do BNDES (2001), na década de 1990, a participação brasileira no comércio internacional de papéis chegou a cair de 2% em 1990 para 1% em 1999. De 2001 para cá, no entanto, tem havido uma forte tendência de aumento. De 2000 a 2005, as exportações brasileiras de papéis evoluíram de 1,1 milhão de toneladas para 2,04 milhões, um crescimento de 85% em cinco anos, o que representou uma média de 13,1% ao ano (BRACELPA, 2003; 2006).

Nos últimos anos, o saldo da balança comercial brasileira de celulose e papéis vem sendo sempre positivo e com tendência de crescimento, conforme pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8
Balança comercial do segmento de celulose e papel, em US\$ milhão FOB, no período de 1996 a 2005

Ano	Exportação	Importação	Saldo comercial
1996	1.934	1.007	927
1997	1.990	1.062	928
1998	1.979	1.059	920
1999	2.145	829	1.316
2000	2.543	969	1.574
2001	2.191	772	1.419
2002	2.055	594	1.461
2003	2.831	561	2.270
2004	2.909	758	2.151
2005	3.405	864	2.541

Fonte: Bracelpa, 2006

Em 2005, o saldo comercial foi de US\$ 2,541 bilhões, 5,7% do superávit total da balança comercial brasileira no ano, de US\$ 44,735 bilhões.

As importações brasileiras de celulose não apresentaram crescimento no período entre 2000 e 2005; pelo contrário, verificou-se uma diminuição. De um patamar de 329 mil toneladas em 2000, estas importações caíram para 310 mil toneladas em 2005. Analogamente às importações de celulose, também houve uma queda nas importações de papéis entre 2000 (839 mil toneladas) e 2005 (770 mil toneladas).

Em relação às importações brasileiras de papel, observa-se a utilização de tarifas como mecanismo de proteção à indústria nacional. Conforme Coutinho et al. (2003), um dos exemplos mais marcantes é o de papéis de imprensa, no qual a produção interna não alcança a demanda, e que apresenta a menor tarifa, 9%. No caso dos produtos cuja oferta interna atende adequadamente à demanda, as tarifas são maiores, como no caso dos papéis para imprimir e escrever, cujas tarifas variam de 16,5% a 17,5%.

3.8 Estatísticas macroeconômicas

A Tabela 9 mostra a evolução, de 1995 a 2005, do Valor Adicionado (VA) da indústria de celulose e papel mais a indústria gráfica, em R\$ constantes de 2005. Conforme discutido anteriormente, a renda gerada pela indústria de papel e celulose apresenta um comportamento cíclico decorrente do forte comportamento, também cíclico do preço da celulose no mercado internacional; isto está bem representado nas variações que os valores de VA apresentam na Tabela 9 e Gráfico 6.

Tabela 9

Valor adicionado das indústrias de celulose e papel e gráfica no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1995 a 2005

1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
19.795	17.462	16.461	15.446	18.757	27.332	24.069	23.452	26.268	28.513	24.775

Fonte: Disponível em: <www.ibge.gov.br>

O crescimento médio anual do VA da indústria de celulose e papel mais a indústria gráfica, no período de 1995 a 2005, foi de 2,27% a.a., um pouco inferior ao crescimento médio do PIB no mesmo período – 2,4% a.a..

O Gráfico 6 ilustra a evolução do Valor Adicionado em milhões de Reais, de 2005, para o período de 1995 a 2005.

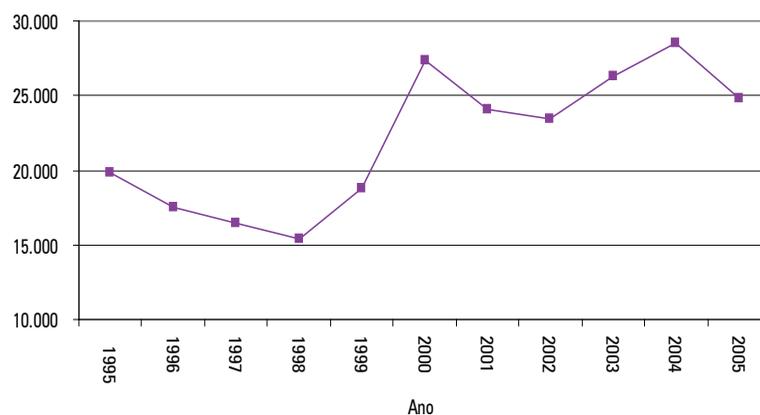
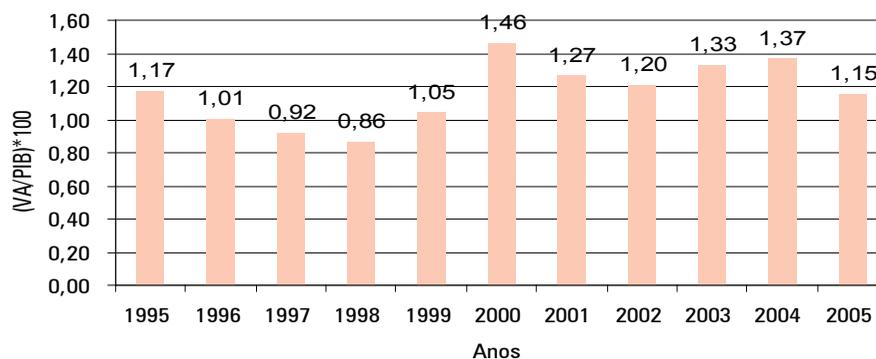


Gráfico 6

Evolução do valor adicionado em milhões de Reais de 2005

O Gráfico 7 ilustra como evoluiu, no período de 1995 a 2005, a participação das indústrias de papel e celulose e gráficas na formação do PIB nacional. Pode-se observar que houve uma ligeira diminuição nesta participação, na média, ao longo dos anos, para 1,16%, com grandes oscilações anuais, conforme já ficou evidenciado na Tabela 9 e Figura 9.



Fonte: Elaboração própria, com dados do IBGE

Gráfico 7

Participação percentual da indústria de celulose e papel mais indústria gráfica na formação do PIB, de 1995 a 2005

Não foram encontrados na literatura econômica consultada, dados sobre os investimentos totais anuais das indústrias de celulose e papel e gráficas no Brasil. A Tabela 10 mostra os empréstimos anuais do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para estas indústrias, de 1998 a 2005. Pode-se constatar, nesta tabela, fortes oscilações e investimentos elevados no biênio 2001/2002 e em 2005.

Tabela 10

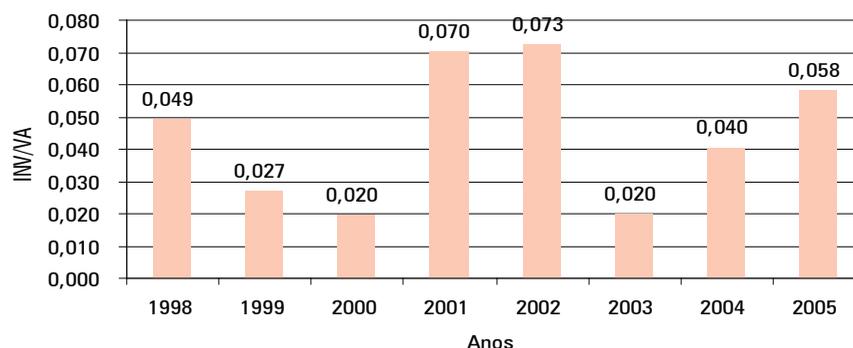
Empréstimos do BNDES para investimentos da indústria de celulose e papel e da indústria gráfica no Brasil, em 10⁶ R\$ de 2005, de 1998 a 2005

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Celulose e papel	731,5	495,7	510,8	1.659,7	1.676,2	498,0	1.128,0	1.415,1
Gráfica	32,0	11,5	24,8	35,7	33,6	31,2	23,7	20,3
Total	763,5	507,2	535,6	1.695,4	1.705,8	529,2	1.151,7	1.435,4

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados, em R\$ correntes, do BNDES (Disponível em: <www.bndes.gov.br/estatisticas>)

Em 2006 e 2007, as indústrias de celulose e papel e gráfica investiram 2,34 e 1,84 bilhões de reais, respectivamente, em moeda corrente. A diminuição dos investimentos em 2007 parece ser apenas conjuntural, não indicando, ainda, uma nova fase descendente dos ciclos de alta frequência da indústria de celulose e papel (Disponível em: <www.bndes.gov.br/estatisticas>).

O Gráfico 8 ilustra dois ciclos de investimentos destas duas indústrias.



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 8

Relação entre investimentos, com recursos do BNDES, e valor adicionado nas indústrias de celulose/papel e gráfica no Brasil, de 1998 a 2005

Segundo o BNDES, os investimentos totais realizados pela indústria de papel e celulose brasileira no período de 2002 a 2005 totalizaram R\$9,2 bilhões. No tocante a novos investimentos, um estudo deste banco (BNDES, 2006) aponta um montante total previsto de R\$20 bilhões para o período de 2007 a 2010, conforme indicado na Tabela 11.

Tabela 11

Indústria de celulose e papel no Brasil: investimentos realizados no período de 2002 a 2005 e previstos para o período de 2007 a 2010, em R\$ bilhões

Investimentos		Previsão de crescimento
Realizados 2002/2005	Previsão 2007/2010	(% ao ano)
9,2	20,0	16,9

Fonte: BNDES, 2006; Folha de São Paulo, Caderno-Dinheiro, B8, 17/06/2007

Com os investimentos previstos mostrados na Tabela 11, de acordo com o BNDES (2006), a capacidade brasileira para a produção de celulose deve atingir 11 milhões de toneladas/ano, em 2010, com a maior parte destinada à exportação. No caso da produção de papel, a capacidade de produção deve sair do patamar atual de 9,9 milhões para 11,6 milhões de toneladas/ano.

A produção estimada pelo BNDES (2006) para 2010 já foi alcançada em 2006, de acordo com o informativo da Bracelpa (2007).

O aumento da produção está basicamente voltado para a exportação, conferindo uma característica de forte autonomia frente aos condicionantes macroeconômicos domésticos, como renda, juros e câmbio. De acordo o BNDES (2006), os fatores mais importantes para esta evolução serão as estratégias internacionais de deslocamento de bases produtivas. O Brasil está sendo objeto de instalação de plantas novas, greenfield, cuja produção para exportação substituirá as das plantas de celulose que estão sendo fechadas em países da Europa e da América do Norte. Esses projetos estão sendo atraídos pela forte competitividade brasileira no segmento. Os custos de produção de celulose e papel, no Brasil, estão entre os mais baixos do mundo, perdendo apenas para a Indonésia.

4 Caracterização Ambiental



4 Caracterização Ambiental

4.1 Introdução

O setor industrial de celulose e papel por vários anos vem sendo notabilizado pelo impacto ambiental advindo de seus processos industriais, desde a obtenção da matéria-prima até o produto acabado. Nos últimos anos, o setor tem atuado no sentido de reverter este quadro, mudando por completo sua postura diante dos problemas ambientais decorrentes de suas atividades, tanto por pressão das comunidades, das legislações ou por pró-atividade da própria indústria, passando a se tornar exemplo dentro do setor industrial. Todavia, observa-se que o setor ainda mantém algumas unidades com tecnologias ultrapassadas e com performances ambientais precárias.

A questão ambiental influencia os mercados e propicia o surgimento de organizações não governamentais, alimentando *lobbies poderosos* e, principalmente, afeta positivamente o segmento de celulose e papel através da promoção de mudanças significativas em sua cadeia produtiva. Estas mudanças se impõem de modo rápido a processos e produtos, fazendo com que padrões rigorosos do ponto de vista ambiental, sejam alcançados. O segmento de celulose e papel brasileiro tem sido afetado por este fenômeno globalizado. Percebe-se, por exemplo, uma tendência à valorização de recursos antes considerados inesgotáveis e uma maior atenção na obtenção de matérias-primas. As atividades de reflorestamento e o uso de materiais reciclados na obtenção de fibras são cada vez mais constantes. Isto ocorre, prioritariamente, face à preocupação em não perder mercados, devido as exigências de certificações ambientais.

O papel é uma folha formada por fibras a qual foram adicionados produtos químicos que afetam as propriedades e a qualidade da folha. Além das fibras e dos produtos químicos, a produção de celulose e de papel exige grandes quantidades de água e de energia, esta última sob a forma de vapor e de eletricidade. Desta forma, os principais problemas ambientais observados na produção de celulose e papel são os efluentes líquidos, as emissões atmosféricas, o consumo de energia e a geração de resíduos sólidos.

Nos processos de obtenção de celulose e papel, as principais fontes de emissões de resíduos são a evaporação do licor negro, a purga contínua das caldeiras, a extração ácida e alcalina do branqueamento, o efluente das máquinas de papel, os lavadores de gases, os decantadores das estações de tratamento de água, o *boil-out* de máquinas, a drenagem e limpeza de tanques de químicos, a regeneração na desmineralização e os efluentes de processos intermediários. Entre estes, certamente os maiores contribuintes com vazão e concentração em termos de DBO_5 são os efluentes gerados pela unidade de branqueamento¹.

A pressão contra as plantas produtoras de celulose e papel, grandes consumidoras de água e geradoras de resíduos, é intensa. Na busca de soluções para estes problemas, o setor industrial de celulose e papel acelera processos de busca de novas tecnologias livres de compostos e rejeitos tóxicos.

O leque dos poluentes encontrados nas emissões brutas, ou seja, encontradas no pré-tratamento de plantas de celulose, inclui substâncias como monóxido de carbono, sulfeto de carbono, dióxido de cloro, clorofórmio, dioxinas e furanos, ácido clorídrico, óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado, fenóis, óxidos de enxofre, compostos de enxofre reduzido, resinas ácidas, alcoois 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 (FIESP/Cetesb, 2008).

¹ Demanda Bioquímica de Oxigênio (5 dias).

O consumo específico de água varia de uma planta para outra, sendo possível encontrar no setor uma faixa de valores entre 15 e 100m³/t de papel produzido. Este consumo específico 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 que 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 plantas de celulose e papel e, em alguns casos, integra-se um 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. Eles 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 maioria das plantas de celulose e papel (FIESP; CETESB, 2008).

4.2 Impactos ambientais na atividade florestal e no pátio da madeira

A origem da madeira para obtenção de fibras é um gargalo da atividade florestal deste segmento industrial. Se a madeira for originada de áreas reflorestadas, como a grande maioria atualmente, os impactos de intensas derrubadas de áreas verdes, a exaustão do solo, a interferência no ciclo de águas e a homogeneidade da biota nestas áreas são minimizados. As empresas do setor têm adotado técnicas de remanejamento de solo, intercalando culturas, com a inserção de fauna e flora em florestas nativas circunvizinhas, aproveitamento dos resíduos florestais e novas técnicas de reprodução vegetal. Todos os impactos da atividade florestal podem ser contornados por meio do emprego de práticas de manejo sustentável da floresta.

No armazenamento da madeira nos pátios, observa-se o acúmulo de pó desta madeira nos picadores, nas pilhas de cavacos e nas correias transportadoras de cavacos, com efeitos sentidos no entorno da fábrica. A emissão destas partículas pode ser minimizada com o enclausuramento dos picadores e transportadores e com estratégias de planejamento de estoques de madeira e cavacos.

4.3 Impactos ambientais associados ao consumo de água e de energia

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, vem reduzindo continuamente o consumo de água por tonelada de papel produzido. Na produção, tanto de celulose como de papel, são utilizadas práticas voltadas para o fechamento de circuito, através da reutilização de licores, condensados e águas de lavagem. Os exportadores de celulose e papel tiveram que adotar estas práticas, pressionados pelo mercado externo, enquanto que plantas direcionadas ao mercado interno reagiram preventivamente diante da Lei Federal 9433/97, que, no seu Capítulo IV artigo 5º, prevê a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Além disso, especificamente no Estado de São Paulo, a partir de dezembro de 2005, entrou em vigor a Lei Estadual nº 12.183, que dispõe sobre a cobrança pela utilização de recursos hídricos no Estado. Também é previsto o disciplinamento dos

aquíferos subterrâneos para fins de abastecimento e uso em processos industriais. Estas mudanças no gerenciamento dos processos podem ser constatadas pela comparação dos valores de consumo específico praticados nos anos 1970, quando se utilizava até 100 m³ de água por tonelada de celulose, com o final dos anos 1990, quando este consumo foi reduzido para algo na faixa de 15 a 36 m³ por tonelada produzida. Atualmente, a taxa média de recirculação de uma planta de celulose é de 1/30, ou seja, para cada metro cúbico aduzido de água, 30 m³ são recirculados ao processo (FIESP/Cetesb, 2008).

Quanto ao consumo de energia, o processo produtivo de celulose e papel pode ser considerado como enego-intensivo, devido às suas múltiplas necessidades. Como equipamentos de maior consumo aparecem as caldeiras auxiliares e a de recuperação, que queimam o próprio licor negro de processo. Este equipamento é um dos mais importantes, fornecendo por volta de 80% das necessidades energéticas da planta, tanto na forma de vapor de processo, quanto através da geração de energia elétrica. Nas plantas de celulose e integradas é comum a adoção de caldeiras a biomassa, onde é queimado o material inadequado ao processo produtivo, o 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 o gás natural passou a ser utilizado, uma 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 insumo energético importante.

4.4 Impactos ambientais de aditivos e de reagentes de processo

O processo produtivo de celulose e papel faz uso de um amplo leque de produtos químicos e de aditivos. Vários deles, descritos a seguir, apresentam um alto potencial de danos à saúde e ao meio ambiente.

A Tabela 12 ilustra alguns dos principais impactos ambientais de químicos e aditivos, em uma planta de celulose e papel.

Tabela 12
Impactos de químicos e aditivos em planta de celulose e papel

Químicos/Aditivos	Impactos Ambientais
Cloro	O cloro é utilizado no branqueamento da massa em unidades mais antigas, geralmente sob a forma líquida, dissolvido em água, sob a forma de hipoclorito de sódio, ou ácido hipocloroso. Paulatinamente, ele vem sendo abandonado, devido a uma série de fatores de risco patrimonial, ocupacional e ambiental. Os efeitos nocivos são proporcionais à concentração e ao tempo de exposição
Dióxido de Cloro	O dióxido de cloro encontra uma ampla utilização nos processos de branqueamento de polpa chamados de Isentos de Cloro Elementar, ou Tecnologia ECF. Utilizado na forma de uma solução aquosa, 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, é corrosivo, é altamente tóxico se for ingerido e é nocivo para plantas e animais. A vida aquática é particularmente sensível a seus efeitos em concentrações acima de 3%.

Químicos/Aditivos	Impactos Ambientais
Enxofre e seus compostos	<p>Na etapa de cozimento e digestão da madeira, seja em um processo contínuo ou em bateladas, observa-se que as principais emissões podem facilmente atingir comunidades vizinhas. Estas emissões são compostas de gases ricos em compostos de lignina e mercaptanas, H₂S e vapor d'água e são provenientes de vazamentos ou de processos abertos, como no caso do tanque de descarga e tanques lavadores de polpa. Estes gases possuem um odor forte, característico, uma cor parda escura e atingem todo o habitat circunvizinho à fábrica.</p> <p>A fabricação de celulose envolve o uso de grandes quantidades de sais de enxofre (no caso do processo Kraft, o mais utilizado no Brasil para a produção de celulose de fibra curta, emprega-se sulfato de sódio), que, durante o processo de digestão, sofrem reações químicas, transformando-se em compostos reduzidos de enxofre, responsáveis pelo odor característico das plantas de celulose. Isto 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 "anestesiá-lo" o olfato quando acima de certas concentrações; isso traz o potencial de acidentes com óbitos por intoxicação e sufocamento de operadores desavisados, que porventura penetrem em ambientes com concentrações proibitivas de sulfetos, como galerias subterrâneas, sistemas de tratamento e outros.</p>
Hidróxido de sódio	<p>Adicionado ao digestor para extração da lignina no processo Kraft, o hidróxido de sódio é outro agente altamente agressivo, na condição de uma 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 aerosol pode causar edema pulmonar. Casos de exposição severa podem mesmo levar à morte.</p>
Aditivos	<p>Os aditivos no processo produtivo da celulose e do papel têm a função de conferir a cada tipo de produto as propriedades necessárias, além de ajudar a melhorar a eficiência do próprio processo. Entre os principais aditivos, podem ser destacados os detergentes, destintantes, polímeros aniônicos e catiônicos, corantes e matizantes de papel, antiespumantes e resinas, entre outros. Essas 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.</p>

4.5 Impactos ambientais na etapa de branqueamento

A etapa de branqueamento na produção da celulose depende das exigências de mercado e da natureza da massa utilizada. A reciclagem de papéis brancos não prescinde da etapa de branqueamento. Nesta etapa, a maioria das indústrias utiliza o cloro molecular e seus derivados e a soda cáustica. Tais produtos emitem gases tóxicos, como é o caso do hipoclorito de sódio, ou mesmo o cloro molecular. Existe a tendência, por força de circunstâncias, para a substituição parcial ou total do cloro e seus compostos na produção de celulose. Já se encontram em uso, em algumas plantas instaladas no Brasil, novos processos de branqueamento que tendem a eliminar o cloro molecular e seus compostos. O processo Elementar Chlorine Free – ECF, que elimina o uso de cloro elementar é utilizado, por exemplo, nas plantas da Bahiasul e da Aracruz e o processo Total Chlorine Free – TCF, é empregado pela Aracruz. O peróxido de hidrogênio, o ozônio e o oxigênio molecular são os substitutos dos compostos clorados nestes dois processos. Pesquisas mais recentes apontam para o uso de fungos e enzimas nas operações de branqueamento da celulose.

Os impactos ambientais do branqueamento com cloro e do branqueamento através dos processos ECF e TCF são apresentados a seguir.

4.5.1 Branqueamento com cloro

A reação entre os compostos clorados e a polpa dá lugar a uma série de reações químicas, gerando compostos organoclorados. Alguns deles são os chamados poluentes orgânicos persistentes - POP's, altamente nocivos e objeto de legislação internacional – a Convenção de Estocolmo de 2001 visa o seu

banimento. Alguns organoclorados 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 causam danos 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, incluindo humanos, acabam excretando quase que a totalidade desses organoclorados através do leite materno com que alimentam seus bebês.

4.5.2 Branqueamento através das tecnologias ECF e TCF

Uma grande variedade de processos TCF vem sendo desenvolvida, utilizando derivados de oxigênio 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 em usos menos exigentes. 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 e sua relação com as alterações climáticas, conforme a FIESP/Cetesb, (2008), não foi notada nenhuma diferença entre os dois processos na literatura avaliada.

Outra alternativa de branqueamento é com o peróxido de hidrogênio, que tem grande aplicação no processo de produção de polpa mecânica, na qual costuma ser adicionado durante a fase de cozimento prolongado. Seu efeito fortemente alvejante ajuda a remover o excesso de lignina na massa. É muito utilizado na produção de papéis reciclados branqueados.

Têm-se, também, os chamados “processos oxidantes de branqueamento alternativos”, compostos por vários outros processos que se encontram em desenvolvimento, como os de oxigênio ativo - combinação de oxigênio nascente e peróxido - e o de ozônio.

Outra alternativa em estudo utiliza ácido peracético, mais um agente quelante.

De uma forma geral, as alternativas tecnológicas para um braqueamento isento de cloro envolvem o emprego de substâncias bioativas, oxidantes fortes que demandam uma série de precauções e cuidados de armazenamento e manuseio, a fim de evitar o contato dessas substâncias, extremamente hostis, com o meio ambiente.

4.6 Impactos ambientais das emissões atmosféricas

As emissões atmosféricas potenciais são bastante significativas, envolvendo tanto os produtos de combustão quanto as emissões fugitivas, que podem incluir materiais particulados, dióxido de enxofre, mercaptanas e as perigosas dioxinas e furanos. A natureza dos impactos depende do tipo de processo e equipamento utilizado.

As emissões associadas aos processos de geração de vapor são normalmente gasosas e dependem muito da qualidade do combustível utilizado, podendo ser ricas em SO₂, CO, CO₂, NO_x, materiais particulados e vapor de água. Uma peculiaridade do setor industrial de celulose e papel é o uso de caldeiras de recuperação de reagentes químicos, que utilizam como insumo energético a lixívia, rica

em compostos inorgânicos a serem recuperados e substâncias orgânicas (compostos e subprodutos da lignina) que são queimadas. Neste caso, as emissões gasosas também podem conter compostos derivados da lignina e mercaptanas, tanto nos gases da caldeira como nos evaporadores. A utilização de caldeiras de recuperação teve como principal atrativo o aumento de produtividade e a economia de reagentes no processo de digestão da madeira para a produção de celulose. Sua utilização, entretanto, propiciou ganhos consideráveis na autoprodução de eletricidade e na redução do consumo de outros energéticos, que até então não faziam parte dos objetivos principais. Além disso, solucionou outro problema ambiental referente ao descarte de um efluente, a lixívia, que, até então, era descartada in natura nos rios, causando uma verdadeira degradação para o meio ambiente.

A emissão de poluentes gasosos pode ser minimizada através de medidas preventivas, como, por exemplo, o uso de óleos combustíveis de baixo teor de enxofre, ou por medidas corretivas, quando a geração é inerente ao processo. Neste caso, os gases poluentes podem ser direcionados para equipamentos que buscam reduzir ou controlar a sua liberação na atmosfera, como os lavadores de gases, os precipitadores eletrostáticos e chaminés com altura superior a 100 metros. Na realidade, tais procedimentos normalmente transferem um poluente da fase gasosa para as fases sólida ou líquida, obrigando a realização de um tratamento posterior.

Faz parte do processo Kraft para a produção de celulose o forno de calcinação, ou de cal, geralmente queimando óleo combustível, com um alto potencial de emissão de material particulado e outras substâncias.

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 queimam combustíveis contendo substâncias cloradas, caso das caldeiras de recuperação e fornos de cal. Dioxinas e furanos se formam sempre que ocorrem condições propícias para isto, como temperatura de queima demasiado baixa e problemas na mistura ar/combustível. Também há a possibilidade de sua migração, via cinzas, por exemplo, para o efluente do sistema de tratamento, o que deve ser monitorado frequentemente, 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 aos seus receptores e impedindo seu funcionamento natural. Além disso, são cancerígenos e causam danos aos sistemas imunológico e reprodutor.

De uma forma geral, as emissões atmosféricas, normalmente, estão sendo controladas através do uso de precipitadores eletrostáticos, lavadores de gases e filtros. 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. Este tratamento 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.

4.7 Impactos ambientais de efluentes líquidos

A cor demonstra uma das características mais ofensivas dos efluentes líquidos das plantas. Por exemplo, em uma planta de celulose a cor tem origem nos licores escuros resultantes do processo de cozimento. Nas plantas de papel reciclado, a cor pode ser um indicativo de problemas derivado do destintamento das aparas. Os efluentes líquidos de fábricas de papel e celulose podem conter poluentes tensoativos, resíduos de cloro, resíduos de soda cáustica e metais pesados.

Os poluentes 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 e alteram o equilíbrio da biota.

Os resíduos de cloro tendem a aparecer em certa quantidade no efluente, até mesmo quando a planta não utiliza branqueamento a cloro, pois a presença de matérias-primas como celulose ou aparas branqueadas é quase que uma garantia da sua existência no efluente, em um certo teor.

Os resíduos de soda cáustica, quando presentes em quantidades significativas, sem que haja neutralização, apresentam efeitos corrosivos e biocidas pronunciados. A soda cáustica altera o equilíbrio ecológico através da alteração do pH dos corpos d'água.

Os metais pesados são oriundos de aditivos empregados na produção do papel. Eles podem promover efeitos tóxicos e tendem a se acumular nos organismos. Normalmente, estes compostos 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.

4.8 Impactos ambientais de resíduos sólidos

A geração de resíduos sólidos nos processos produtivos de celulose e papel varia de acordo com as particularidades de cada planta industrial e do tipo de produto final. Por exemplo, no processo Kraft as principais fontes de resíduos são:

- (I) *grits*, gerados no processo de apagamento do cal para produção de licor branco;
- (II) *dregs*, gerados na clarificação do licor verde (carbonato de sódio + sulfeto de sódio);
- (III) lama de cal, gerada nos filtros de lama de cal (carbonato de cálcio);
- (IV) casca suja, oriunda do pátio de madeira;
- (V) serragem, oriunda dos picadores;
- (VI) cinzas, oriundas dos precipitadores das caldeiras de biomassa e do forno de cal;
- (VII) lodo da estação de tratamento de efluentes (ETE).

Outros resíduos são resultantes das sobras de aditivos e reagentes químicos de processo, da manutenção da caldeira, borras oleosas, cinzas, estopas sujas, embalagens de combustíveis, resíduos de serviços de saúde, resíduos de varrição e de fins sanitários.

De acordo com suas características e composição, os resíduos são classificados segundo os critérios estabelecidos na Norma ABNT – NBR10004/2004.

4.9 Impactos da reciclagem de aparas

A reciclagem é um processo de aprimoramento com reais ganhos para o empreendedor, comunidade e meio ambiente.

Os processos de reciclagem vêm ganhando muita visibilidade, sendo hoje uma dos aspectos de maior proeminência de várias iniciativas de consumo sustentável.

A maior parte do papel reciclado é reutilizado em pequenas empresas fabricantes de papel, que, muitas vezes, não possuem sistemas de tratamento adequados e estão localizadas próximas a córregos pequenos. Nestes casos, normalmente os corantes e outros poluentes são jogados ali mesmo.

Apesar dos processos de reciclagem contribuírem muito para a sustentabilidade da indústria de papel e celulose como alternativa ao uso da fibra virgem, também apresentam limitações. 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.

Na atividade de reciclagem, um dos principais aspectos ambientais 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 uma 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. Em seguida, são submetidas à uma 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 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 subterrâneas, emissões de gases estufa e outros. Por outro lado, a contaminação de aparas por agentes estranhos também pode prejudicar o processo industrial de reciclagem, tornando-o mais oneroso e aumentando o volume de resíduos gerados na reciclagem.

4.10 Gestão ambiental na indústria de celulose e papel

A sustentabilidade ambiental na indústria de celulose e papel tem sido buscada através de um amplo espectro de medidas, que incluem algumas específicas para um dado tipo de planta e outras de aplicação generalizada. O Guia Ambiental P + L, elaborado pela FIESP/Cetesb (2008), propõe a adoção dos melhores processos disponíveis (Best Available Technologies – BAT’s), em conjunto com tecnologias de mitigação e gestão ambiental.

Entre as principais sugestões de aplicação generalizada para a otimização ambiental de operações unitárias e de processos, em uma planta de celulose e papel, destacam-se:

- (I) Fechamento dos ciclos produtivos de cada unidade ou operação, com balanço de materiais indicando geração mínima de resíduos sólidos e líquidos;
- (II) Substituição de insumos perigosos;
- (III) Otimização do controle dos processos, on-line, 24h/dia, com alto grau de automatização, amostragens on-line e modelagem matemática.

Propostas específicas do Guia Ambiental para a atividade florestal, pátio da madeira, cozimento da madeira, branqueamento, emissões atmosféricas e odores, e resíduos sólidos são descritas a seguir.

4.10.1 Atividade florestal e pátio da madeira

A etapa de descascamento das toras e separação de todas as partes que não são utilizadas no processo, ou seja, cascas, folhas, galhos finos e outros, deve ser feita antes do transporte para a unidade industrial. 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; como o material tende a se decompor com certa rapidez, ele proporciona 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. Os resíduos florestais e do pátio da madeira devem ser utilizados em caldeiras de biomassa. 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 nas caldeiras de biomassa. No entanto, esse processo também aumenta a carga orgânica das águas residuais geradas.

4.10.2 Cozimento da madeira

O pré-aquecimento dos cavacos com vapor antes de 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 sulfidez. O controle do cozimento é feito, considerando o controle do residual de lignina ou número $kappa^2$. 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. Na deslignificação com oxigênio, devido à baixa solubilidade do oxigênio no licor, a 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.

4.10.3 Branqueamento

O branqueamento, ao lado do cozimento, são os processos mais críticos em termos de impactos ambientais. Conforme o Guia Ambiental da FIESP/Cetesb (2008), a melhor alternativa em termos de P+L é o branqueamento da massa através de processos livres de cloro elementar (ECF), ou, preferivelmente, os totalmente livres de cloro (TCF), que utilizam agentes oxidantes, casos do peróxido de hidrogênio e ozônio, já citados anteriormente. 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 de alguns papéis que vem sendo utilizados para escrita. Neste contexto, algumas medidas para redução do impacto do branqueamento ganham espaço, como por exemplo:

(I) 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;

(II) aumento da eficiência de lavagem da massa digerida não branqueada (brown stock) e sua seleção em circuito fechado;

² O número kappa é utilizado na determinação do grau de deslignificação da polpa celulósica.

(III) viabilização de processos alternativos de branqueamento de celulose que hoje se encontram em fase experimental, como o que utiliza ácido peracético e agentes quelantes.

De acordo com alguns fabricantes de celulose e papel, a ECF é uma tecnologia comprovada de prevenção da poluição e contribui para um sistema ecologicamente sustentável. Esta afirmação parece ser verdadeira, na medida em que os Estados Unidos e a União Européia desenvolveram recomendações e procedimentos para a fabricação de celulose e papel baseadas no branqueamento ECF como a melhor tecnologia disponível (BAT), assegurando cumprimento à Convenção Internacional de Estocolmo de Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's).

4.10.4 Emissões atmosféricas e odores

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 deve produzir licor para queima com a maior concentração possível, elevando-o a aproximadamente 70%, a fim de garantir a eficiência de queima na caldeira de recuperação. A energia adicional obtida com a queima dos licores deverá ser utilizada para cogeração de calor/energia elétrica, sempre que a relação calor/potência permita. Uma boa prática tem sido a elevação da temperatura da fornalha da caldeira de recuperação, favorecendo o aumento do teor de sólidos do licor para 75%, melhorando, desta forma, as condições de queima e reduzindo a emissão de compostos de enxofre em até 80%.

As emissões de enxofre total reduzido (*TRS - total reduced sulfur*) da caldeira de recuperação podem ser minimizadas através de um controle eficiente (on-line) da combustão e monitoramento da concentração de monóxido de carbono nos gases. 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, devem 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 SOx.

Por outro lado, o aumento de temperatura da fornalha da caldeira de recuperação favorece o aumento das emissões de NOx. Estas emissões são dependentes do conteúdo de nitrogênio no licor negro e do controle do excesso de ar na combustão. O controle do fornecimento de ar e a otimização das condições de queima têm impacto direto na redução dessas emissões.

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 TRS 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.

No forno de cal, caldeira de recuperação e caldeiras auxiliares é considerado essencial o uso de precipitadores eletrostáticos no controle da emissão de material particulado.

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

Nas caldeiras de biomassa que apresentam temperaturas de operação relativamente baixas quando comparadas às caldeiras de recuperação, a emissão de NOx pode ser controlada através do controle do excesso de ar.

4.10.5 *Resíduos sólidos*

É possível fazer uma gestão do uso de aditivos e produtos químicos visando minimizar a quantidade de resíduos. Os principais resíduos sólidos 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 o 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.

Quando se trata de plantas de reciclagem de aparas, tem-se uma situação especial relacionada 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, 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, visando reduzir o grau de contaminação do papel reciclado e contribuindo para a minimização dos impactos com a disposição de resíduos sólidos.

5 Caracterização Energética



5 Caracterização Energética

5.1 Consumo energético da indústria química brasileira como um todo

A indústria de papel e celulose foi a 3ª maior consumidora de energia em 2006, responsável por 10,4% do consumo energético industrial do País (vide Figura 2). Naquele ano, ela respondeu pelo 6º maior consumo industrial de energia elétrica (8,4%), segundo a Figura 3.

Esta indústria gera muito vapor, que é utilizado, nas plantas integradas, entre outras aplicações menores, no cozimento e no branqueamento da celulose, na concentração da lixívia, na secagem do papel e na autoprodução de energia elétrica. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2007, a indústria de papel e celulose foi responsável, em 31/12/2006, por 20% da capacidade instalada em unidades termelétricas autoprodutoras da indústria nacional. A maior parte destas unidades é constituída por plantas de cogeração.

5.2 Consumo de energia

O processo de produção, principalmente de celulose e de alguns tipos de papel com acabamento melhor, consome uma grande quantidade de energia. Alterações no perfil de produção desta indústria podem afetar sensivelmente sua estrutura de consumo de energia e produção de eletricidade. O comportamento do mercado externo influencia bastante a produção de celulose no País, fazendo com que o consumo de energia varie com o volume de exportações desta commodity. Por outro lado, as condições econômicas internas determinam a estrutura de consumo de papéis, afetando também, o consumo de energia.

Conforme indicado na Tabela 13, os principais combustíveis consumidos no segmento industrial de celulose e papel são a lixívia ou licor negro (um resíduo oriundo da produção de celulose pelo processo químico Kraft), lenha, gás natural e óleo combustível, nesta ordem.

Tabela 13
Consumo de eletricidade e de combustíveis, de 1995 a 2006, na indústria de celulose e papel

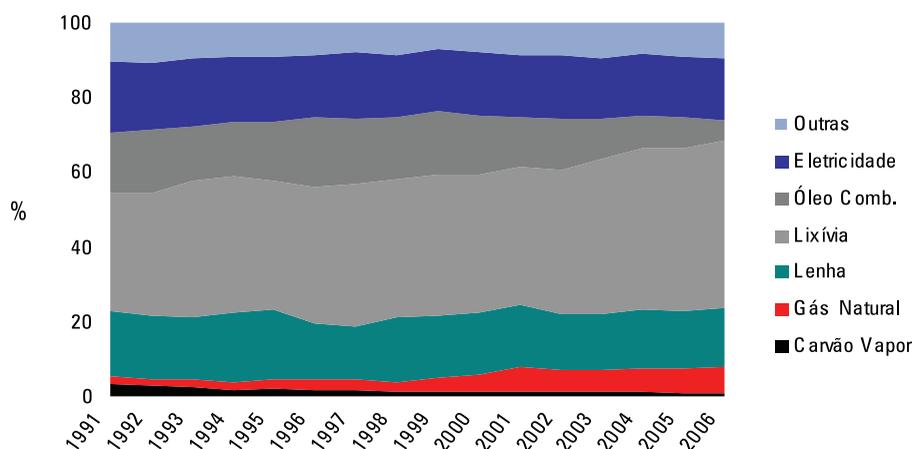
Ano	Eletricidade		Combustíveis						Consumo total (PJ)
	TWh	PJ	Lixívia (PJ)	Lenha (PJ)	Ó.Comb (PJ)	Gás natural (PJ)	Outros (PJ)	Total (PJ)	
1995	9,7	35	70	38	32	5	23	168	203
1996	10,0	36	78	31	40	6	22	177	213
1997	10,6	38	81	30	38	6	21	176	214
1998	10,8	39	87	41	39	6	23	196	235
1999	11,7	42	94	42	43	9	21	209	251
2000	12,2	44	96	44	41	11	24	216	260
2001	11,7	42	95	43	34	16	27	215	257
2002	13,1	47	107	41	37	17	28	230	277
2003	13,6	49	125	44	32	18	32	251	300
2004	14,1	51	132	48	27	19	30	256	307
2005	14,8	53	140	49	27	22	31	269	322
2006	15,5	55	151	53	18	24	36	282	337

Fonte: Elaboração própria, a partir de (EPE, 2007a)

O Gráfico 9 mostra as participações dos principais combustíveis e da eletricidade no consumo energético total da indústria de celulose e papel, no período de 1970 a 2006.

Desde 1984, quando terminou, com grande sucesso, o acordo da Associação Brasileira de Celulose e Papel – Bracelpa com o governo federal, visando a substituição de óleo combustível por lenha e resíduos industriais, o combustível cuja parcela de mercado tem crescido mais é a lixívia.

A lixívia é utilizada para gerar vapor de processo e eletricidade em plantas de cogeração. Produzida e utilizada somente em plantas integradas e produtoras de celulose, o seu poder calorífico é relativamente baixo, de modo que grandes volumes de lixívia geram uma quantidade de energia relativamente baixa. O crescimento do consumo de lixívia acompanha o ritmo de produção de celulose, de modo que alterações no perfil desta produção induzem alterações no consumo de lixívia.



Fonte: Elaboração própria, a partir de (EPE, 2007a)

Gráfico 9
Evolução, de 1991 a 2006, das participações dos principais energéticos e da eletricidade no consumo energético total da indústria de celulose e papel

A lenha está fortemente inserida na indústria de papel e celulose, tanto como matéria-prima como combustível. O consumo de lenha tem crescido menos que o aumento da produção de celulose e papel.

O gás natural foi introduzido nesta indústria em 1987 e sua participação no consumo energético total tem crescido desde então, à custa da parcela de mercado do óleo combustível. A continuação deste processo de substituição irá depender dos preços relativos futuros destes energéticos e da confiabilidade do suprimento futuro do gás natural.

O óleo combustível, largamente utilizado principalmente em plantas integradas e de celulose, está perdendo, paulatinamente, espaço nesta indústria em razão de ser um combustível bastante poluente, apesar de relativamente barato. Ele tem sido gradativamente deslocado pelo gás natural, sobretudo por razões ambientais.

5.3 Intensidade energética, intensidade elétrica e intensidade de energia térmica

A Tabela 14 mostra a evolução, de 1995 a 2005, do valor adicionado e das intensidades energética, elétrica e de energia térmica da indústria de celulose e papel brasileira.

Pode-se observar, nesta tabela, que o comportamento cíclico do desempenho econômico desta indústria, já destacado no relatório de caracterização econômica dos setores industriais (Bajay et alii, 2008b), afeta fortemente estes três indicadores de intensidade e que as suas variações anuais mantem, durante todo o período representado na tabela, uma correlação positiva.

Tabela 14

Valor adicionado (VA), em 10^6 R\$ de 2005, e intensidade energética (IE), intensidade elétrica (IEL) e intensidade de energia térmica (IET) da indústria de celulose e papel brasileira, em $GJ/10^3$ R\$ de 2005, de 1995 a 2005

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
VA	19.795	17.462	16.461	15.446	18.757	27.332	24.069	23.452	26.268	28.513	24.775
IE	10,3	12,2	12,9	15,2	13,3	9,5	10,6	11,8	11,4	10,8	13,0
IEL	1,8	2,1	2,2	2,5	2,2	1,6	1,7	2,0	1,9	1,8	2,1
IET	8,5	10,1	10,7	12,7	11,1	7,9	8,9	9,8	9,5	9,0	10,9

Fontes: Elaboração própria, com dados da Tabela 15 e de www.ibge.gov.br

5.4 Consumos energéticos específicos

A produção física total (PF) da indústria de celulose e papel brasileira é representada pela produção de papel mais as exportações de celulose. Dividindo-se o consumo total de energia e os consumos de energia elétrica e energia térmica, na Tabela 13, por PF, obtém-se os consumos específicos representados na Tabela 15.

O consumo específico médio de energia da indústria de celulose e papel brasileira diminuiu 13,9% entre 1995 e 2005, ou seja, uma diminuição modesta em 11 anos. Por outro lado, a diminuição do consumo específico médio de energia elétrica desta indústria, no mesmo período, foi maior – 17,4%, refletindo mais progresso tecnológico, ganhos de escala e, possivelmente, maiores preocupações com eficiência energética nos equipamentos que consomem este energético.

Tabela 15

Produção de papel e exportações de celulose (PF), em 10^6 t, e consumos específicos de energia (CESPE), energia elétrica (CESPEL) e energia térmica (CESPET) da indústria de celulose e papel brasileira, em GJ/t , de 1995 a 2005

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
PF	7,637	8,416	9,023	9,394	10,063	10,117	10,692	11,111	12,380	13,341	14,038
CESPE	26,6	25,3	23,7	25,0	24,9	25,7	24,0	24,9	24,2	23,0	22,9
CESPEL	4,6	4,3	4,2	4,2	4,2	4,3	3,9	4,2	4,0	3,8	3,8
CESPET	22,0	21,0	19,5	20,8	20,7	21,4	20,1	20,7	20,2	19,2	19,1

Fontes: Elaboração própria, com dados da Tabela 13 e da Bracelpa (2006)

A preocupação menor dos empresários da indústria de celulose e papel com o consumo específico de calor pode ser explicada pelo elevado uso de resíduos como a lixívia, cavacos de lenha e cascas das árvores, e um uso relativamente pequeno de combustíveis como o gás natural e óleo combustível. Os baixos preços, sob a ótica dos produtores de celulose e papel, que têm sido praticados na venda da eletricidade excedente de autoprodutores para a rede pública, não tem estimulado maiores esforços para gerar tais excedentes nas unidades de cogeração desta indústria. Por outro lado, tarifas crescentes da energia elétrica, sobretudo para os grandes consumidores industriais, têm motivado, nos últimos anos, um crescimento no nível de autoprodução neste setor industrial.

Conforme descrito no relatório de caracterização técnica dos setores industriais (Bajay et alii, 2008a), papel pode ser produzido através da reciclagem de papel “velho”, as chamadas aparas. Estas podem constituir a única matéria-prima celulósica na fabricação deste papel, ou, então, elas podem ser misturadas com celulose “virgem”, dependendo das características físicas desejadas do produto. Os consumos específicos de energia, neste caso, são bem menores. Em uma visita técnica a uma fábrica que produz papéis com uso exclusivo de papéis velhos, foram constatados consumos específicos de energia térmica de 6,3 GJ/t na produção de papelão e 3,1 GJ/t na fabricação de White Top Liner; os consumos específicos de energia elétrica variam de 1,44 a 1,62 GJ/t.

A utilização de fibras secundárias, além de vantajosa em termos de um menor consumo de energia, do ponto de vista ambiental desloca o consumo de celulose de mercado, eliminando etapas intensivas no uso de produtos químicos como as de branqueamento, polpação e digestão, apesar da necessidade de destintamento. O consumo de combustíveis e energia elétrica diminui com a eliminação de etapas e determinados equipamentos que consomem muita energia térmica ou elétrica. Cabe salientar que, na medida em que o ciclo produtivo da reciclagem se repete, as fibras vão se tornando menores em consequência das operações de refino, tornando-se, assim, cada vez mais fracas. A operação tende a exaurir-se na quinta reciclagem.

5.5 Autoprodução de eletricidade

Em 31/12/2006 haviam 148,1 MW instalados em usinas hidrelétricas e 1.131,9 MW instalados em usinas termelétricas, essencialmente na forma de unidades de cogeração, na indústria de celulose e papel brasileira, perfazendo um total de 1.280 MW de capacidade de autoprodução de energia elétrica (EPE, 2007a).

Em capacidade total das usinas hidrelétricas, 60,8% se localizava na região Sul (Paraná e Santa Catarina), 36,5% na região Centro-Oeste (Mato Grosso) e só 2,7% na região Sudeste (São Paulo).

Em compensação, 55,7% da capacidade das usinas termelétricas situava-se na região Sudeste (São Paulo, Espírito Santo e Minas Gerais), 19,8% na região Sul (Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul), 19,7% na região Nordeste (Bahia) e 4,9% na região Norte (Pará).

Em 2006, a indústria de celulose e papel gerou 7.822,1 GWh de energia elétrica - 592,1 GWh em usinas hidrelétricas e 7.230,0 GWh em usinas termelétricas, que representou 50,6% do consumo deste energético naquele ano. Os combustíveis utilizados nas termelétricas foram: lixívia, responsável por 71,9% desta geração; lenha (10%); derivados de petróleo (7,6%); gás natural (4,3%); outras fontes (3,6%); carvão mineral (1,9%); e bagaço de cana (0,3%) (EPE, 2007).

A maior parte das unidades de cogeração da indústria de celulose e papel queima lixívia e outros resíduos da biomassa em suas caldeiras (Tabela 16). É viável, no entanto, buscar uma complementariedade entre o consumo destes resíduos e a utilização de combustíveis fósseis como o gás natural nestas unidades, como demonstra o caso da planta da Votorantim Celulose e Papel em Jacareí, SP. Esta iniciativa ganhou o prêmio nacional de conservação e uso racional de energia, edição de 2007, na modalidade derivados de petróleo e gás natural.

Os processos desta planta demandam, em média, 700 t/h de vapor e 107 MWh de energia elétrica. A unidade de cogeração a gás natural é composta por um turbogerador com capacidade de 31 MW, integrado a uma caldeira de recuperação queimando lóxívia concentrada, com a capacidade para 75 t vapor/h. Obteve-se, nesta configuração, uma redução de 65% na compra de energia elétrica da rede pública, equivalente a 7.700 MWh/mês, e uma redução de 52% no consumo de óleo combustível para geração de vapor, equivalente a 1.380 tep/mês (Disponível em: <<http://www.eletrabras.gov.br>>). Houve, também, um saldo líquido favorável quanto a emissões atmosféricas.

5.6 Distribuição do consumo de energia por usos finais e rendimentos de conversão

A Tabela 17 apresenta as estimativas das distribuições percentuais dos consumos dos energéticos utilizados na indústria de celulose e papel brasileira, por usos finais, em 2004., segundo o Balanço de Energia Útil (BEU) do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005a).

Tabela 16

Usinas termelétricas autoprodutoras ou produtores independentes da indústria de celulose e papel no Brasil em setembro de 2008

Usina	Combustível	Capacidade (kW)	Proprietário	Município
Aracruz	lixívia	210.400	Aracruz Celulose S/A	Aracruz, ES
Bahia Pulp (Ex Bacell)	lixívia	13.100	Bahia Pulp S/A	Camaçari, BA
Bahia Sul	lixívia	92.000	Bahia Sul Celulose S/A	Mucuri, BA
Celulose Irani	lixívia	4.900	Celulose Irani S/A	Vargem Bonita, SC
Klabin Otacílio Costa (Ex Igaras)	lixívia	33.745	Klabin S/A	Otacílio Costa, SC
Jari Celulose	lixívia	55.000	Jari Celulose S/A	Almeirim, PA
Aracruz Unidade Guaiaba (Riocell)	lixívia	47.000	Aracruz Celulose S/A	Guaíba, RS
Celucut	lixívia	37.822	Klabin S/A	Lages, SC
Klabin	lixívia	113.250	Klabin S/A	Telêmaco Borba, PR
Cenibra	lixívia	100.000	Celulose Nipo-Brasileira S/A	Belo Oriente, MG
Nobrecel	lixívia	3.200	Nobrecel S/A Celulose e Papel	Pindamonhangaba, SP
Lençóis Paulista	lixívia	21.700	Lwarcel Celulose e Papel Ltda.	Lençóis Paulista, SP
Veracel	lixívia	126.600	Veracel Celulose S/A	Eunápolis, BA
Ripasa	resíduos de madeira	49.630	Ripasa S/A – Celulose e Papel	Limeira, SP
Rigesa	resíduos de madeira	7.500	Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda	Três Barras, SC

RELATÓRIO SETORIAL – SETOR PAPEL E CELULOSE

Usina	Combustível	Capacidade (kW)	Proprietário	Município
Irani	resíduos de madeira	9.800	Celulose Irani S/A	Vargem Bonita, SC
Suzano	gás natural	38.400	Suzano Bahia Sul Papel e Celulose S/A	Suzano, SP
Celpav IV	gás natural	139.424	International Paper do Brasil Ltda.	Jacareí, SP
Celpav II	óleo combustível	32.600	Celpav Celulose e Papel Ltda.	Luís Antonio, SP
Cogeração International Paper (Fases I e II)	óleo combustível	50.500	International Paper do Brasil Ltda.	Mogi Guaçu, SP
Orsa	óleo combustível	4.500	Orsa Celulose, Papel e Embalagens S/A	Nova Campina, SP
Monte Dourado	óleo diesel	5.475	Jari Celulose S/A	Almeirim, PA
Munguba	óleo diesel	8.000	Jari Celulose S/A	Almeirim, PA

Fonte: Elaboração própria, com dados de <http://www.aneel.gov.br>

Aplicando-se as distribuições da Tabela 17 aos consumos finais destes energéticos em 2006 (EPE, 2007a), obtém-se os resultados expressos no Gráfico 10. Esta figura mostra que o principal uso final da energia na indústria de celulose e papel brasileira, em 2006, foi o calor de processo (83%), na forma de geração de vapor, seguido pela força motriz (16%) e aquecimento direto (1%).

Os rendimentos médios de conversão, segundo o BEU de 2004, para o consumo dos energéticos utilizados na indústria de celulose e papel brasileira estão indicados na Tabela 18.

A aplicação dos rendimentos da Tabela 18 aos consumos finais dos energéticos da indústria de celulose e papel nacional em 2006 permite estimar a distribuição, por usos finais, do consumo total de energia útil desta indústria naquele ano, conforme representado na Figura 14.

Comparando nos Gráficos 10 e 11, observam-se poucas diferenças entre as duas distribuições por usos finais: a do consumo energético final e a de energia útil. Na segunda houve uma diminuição de um ponto percentual nas participações do calor de processo e do aquecimento direto, compensado pelo aumento de dois pontos percentuais na participação da força motriz.

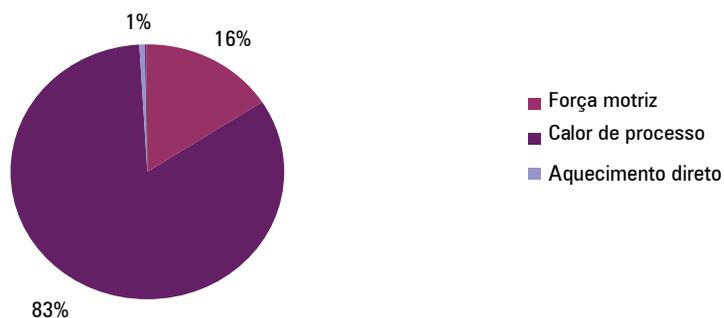
Tabela 17
Distribuição percentual do consumo dos energéticos utilizados na indústria de celulose e papel brasileira por usos finais, em 2004

Energético	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Iluminação	Refrigeração
Gás natural	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Carvão vapor	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Lenha	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Bagaço da cana	0,0	99,9	0,1	0,0	0,0
Outras fontes primárias	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Óleo diesel	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0
Óleo combustível	0,7	94,4	4,9	0,0	0,0
GLP	8,5	8,2	83,3	0,0	0,0
Eletricidade	94,8	3,0	0,0	1,6	0,6

Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005a)

Os usos finais da energia considerados neste trabalho foram os mesmos do BEU:

- Aquecimento direto: energia usada em fornos, fornalhas, radiação, aquecimento por indução, condução e micro-ondas;
- Calor de processo, na forma de vapor gerado: energia usada em caldeiras e aquecedores de água ou circulação de fluidos térmicos;
- Força motriz: energia usada em motores estacionários ou de veículos de transporte individual ou coletivo, de carga, tratores, etc;
- Refrigeração: energia usada em geladeiras, freezers, equipamentos de refrigeração e ar condicionado tanto de ciclo de compressão ou de absorção;
- Iluminação: energia utilizada em iluminação de interiores e externa.



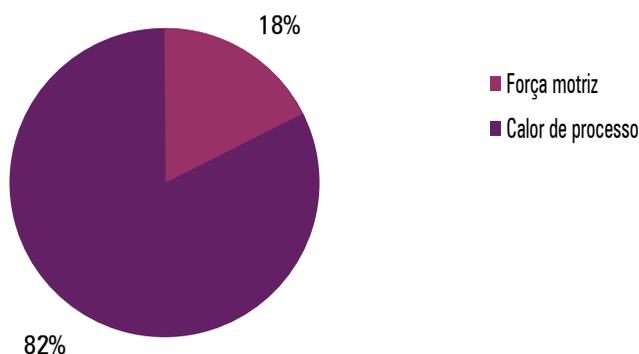
Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005a)

Gráfico 10
Distribuição percentual, por usos finais, do consumo final de energia da indústria de celulose e papel brasileira em 2006

Tabela 18
Rendimentos médios de conversão, em %, estimados para 2004, dos energéticos consumidos na indústria de celulose e papel brasileira

Energéticos	Força motriz	Calor de processo	Aquecimento direto	Refrigeração	Iluminação
Gás natural	48,0	88,0	52,0	-	-
Carvão vapor	-	77,0	32,0	-	-
Lenha	-	77,0	32,0	-	-
Produtos da cana	-	77,0	32,0	-	-
Outras fontes primárias	-	77,0	32,0	-	-
Óleo diesel	48,0	88,0	52,0	-	-
Óleo combustível	48,0	88,0	52,0	-	-
GLP	28,0	88,0	52,0	-	0,2
Elettricidade	90,0	97,0	55,0	60,0	24,5

Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005a)

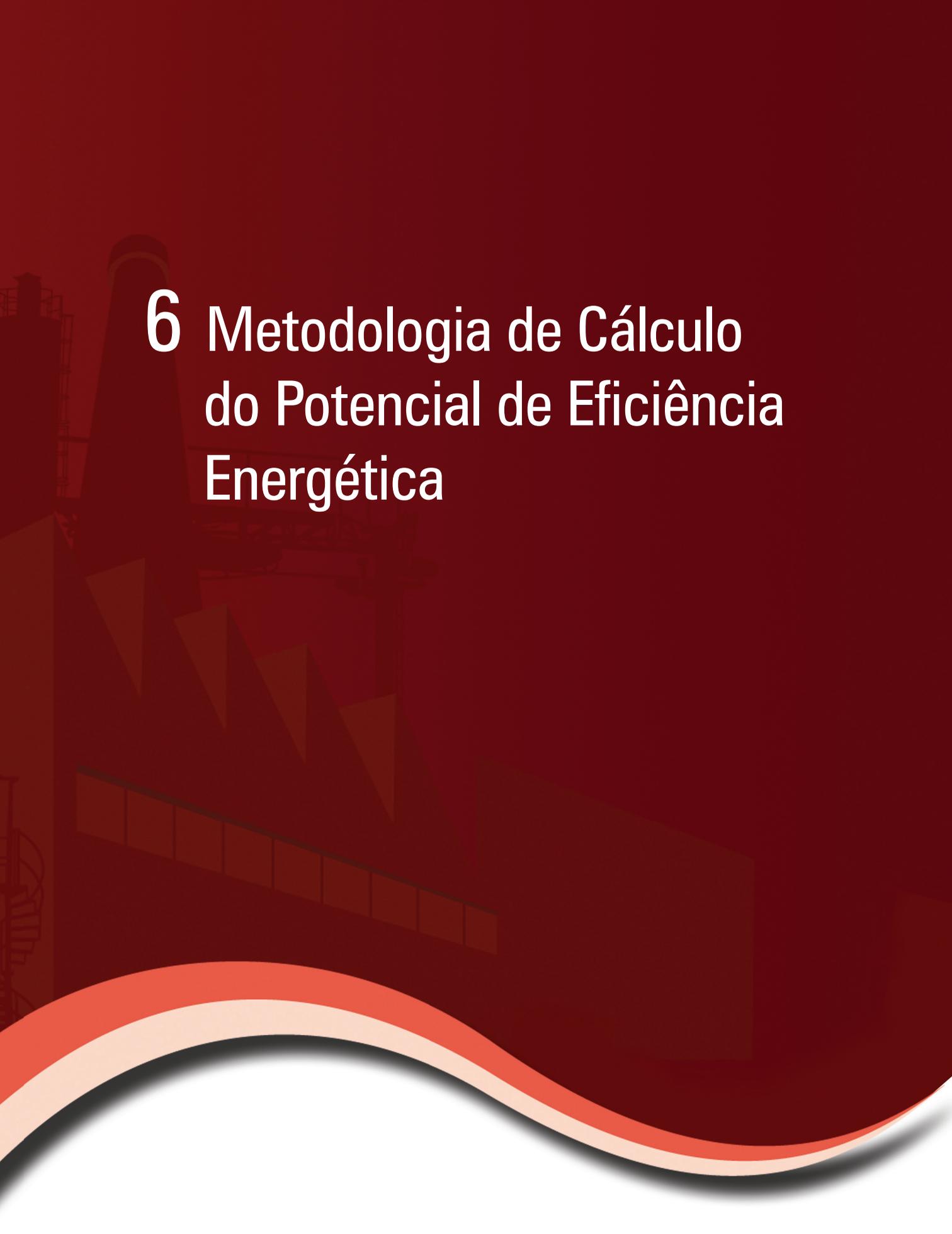


Fonte: Elaboração própria, com base em (MME, 2005a)

Gráfico 11
Distribuição percentual, por usos finais, do consumo total de energia útil da indústria de celulose e papel brasileira, em 2006

16 empresas responderam ao questionário do MME que deu origem aos valores da Tabela 17. Valores levantados na pesquisa de 1994 foram utilizados para os energéticos não contemplados nesta amostra.

6 Metodologia de Cálculo do Potencial de Eficiência Energética



6 Metodologia de Cálculo do Potencial de Eficiência Energética

A metodologia adotada para calcular o potencial de eficiência energética está descrita a seguir. Na seção 7, são apresentados os resultados das simulações para ilustrar os ganhos sistêmicos passíveis de serem capturados com a metodologia empregada, comparativamente ao potencial de conservação de energia calculado a partir da base de dados do Balanço de Energia Útil – BEU, publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME, 2005).

A metodologia de cálculo dos potenciais técnicos de conservação de energia tem como principal balizadores os consumos, médio e mínimo, de energia térmica e energia elétrica de cada produto principal ou de cada etapa produtiva, sendo calculados multiplicando-se a produção física anual nacional pelos consumos energéticos específicos, médio e mínimo, de energia térmica e eletricidade.

O consumo específico médio representa a média nacional da energia consumida por unidade física de produto dentro de um processo industrial. Por outro lado, o consumo específico mínimo representa a quantidade de energia que seria consumida pelas empresas industriais se todas elas adotassem tecnologias que correspondem ao estado da arte, em termos de eficiência energética.

As diferenças entre os consumos, médio e mínimo, das energias térmica e elétrica fornecem os correspondentes potenciais técnicos de conservação de energia. Tanto os consumos específicos, como os dados de produção física para cada produto ou etapa produtiva foram obtidos da literatura técnica, de anuários estatísticos e de visitas técnicas a algumas plantas industriais.

7 Comparações dos resultados do Potencial Técnico de Conservação de energia

7 Comparação dos Resultados do Potencial Técnico de Conservação de Energia

7.1 Consumos específicos de energia térmica e eletricidade

As plantas de celulose e papel podem ser classificadas em fábricas de celulose, fábricas integradas, que produzem tanto celulose como papel, fábricas que produzem papel a partir de celulose adquirida de outras fábricas e plantas de reciclagem, que produzem papel a partir de aparas.

As Tabelas 19 e 20, mostram, respectivamente, os coeficientes de distribuição de energia e os dados de produção e consumos energéticos específicos, para os quatro tipos de plantas citadas acima, para 2006.

Os valores médios dos consumos específicos de energia térmica e de energia elétrica foram estimados a partir de: dados de consumo de energia do Balanço Energético Nacional (EPE, 2007); dados de produção do anuário estatístico da Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA, 2007); resultados de levantamentos de consumo energético na indústria brasileira de papel e celulose, por tipo de fábrica, efetuados pela Bracelpa, de 1989 a 1996, e processados/analizados por Bajay et alii (1998); dados fornecidos em uma publicação recente da FIESP/CETESB/BRACELPA (2008); e valores médios de consumos energéticos específicos fornecidos pelas empresas Votorantim, Rigesa e Sulamericana.

Tabela 19
Coeficientes de distribuição de energia, em %

Coeficientes de distribuição de energia					
Energia térmica		Energia elétrica			Planta
Aq. direto Fornos	Vapor de Processo	Força. Motriz	Eletrólise	Iluminação	
0,0500	0,9500	0,9300	0,0600	0,0100	Celulose
0,0300	0,9700	0,9350	0,0500	0,0150	Integrada
0,0000	1,0000	0,9700	0,0000	0,0300	Papel
0,0000	1,0000	0,9700	0,0000	0,0300	Reciclagem

Tabela 20
Produção e consumos energéticos específicos

Planta	Produção (t)	Consumo específico de energia (tep/t)			
		Energia térmica		Energia elétrica	
		Médio	Mínimo	Médio	Mínimo
Celulose	6.328.527	0,2866	0,2388	0,0600	0,0516
Integrada	7.243.484	0,4000	0,3344	0,1000	0,0946
Papel	2.987.540	0,2522	0,1136	0,0680	0,0467
Reciclagem	3.345.053	0,1530	0,1287	0,0400	0,0387

Os consumos específicos mínimos de energia térmica e de eletricidade, correspondentes às melhores tecnologias atualmente disponíveis no mercado (Best Available Technologies – BAT's), foram estimados com base em informações obtidas em publicações recentes da Agência Internacional de Energia (IEA, 2006; IEA, 2007; IEA, 2008) e no estudo da FIESP/CETESB/BRACELPA (2008).

As estimativas dos coeficientes de distribuição de energia, por tipo de planta, foram elaboradas utilizando as informações disponíveis nos levantamentos do BEU feitas em 1984, 1994 e 2004, além de outros levantamentos de consumos energéticos por usos finais nesta indústria, feitos nas décadas de 1980 e 1990, por outras instituições (BAJAY et al., 1998).

7.2 Potenciais técnicos de conservação de energia

Os potenciais técnicos de eficiência energética são de 16,2% para plantas de celulose, 14,2% para plantas integradas. Para plantas de papel a partir de celulose adquirida de outras fábricas o potencial técnico é de 49,9% e de 13,3% para plantas de reciclagem. Maiores detalhes da distribuição desse potencial podem ser vistos na tabela 12 abaixo.

Em termos de números absolutos (em TEP), do potencial total de conservação, as fábricas integradas respondem por 35,9%, as plantas que fabricam papel 33,3% e as fábricas de celulose, por 24,8%. As plantas de reciclagem de aparas são as que menos consomem energia e possuem o menor potencial de conservação.

Na Tabela 21 estão indicados tais potenciais e, nos gráficos 12 e 13, os resultados obtidos para os diferentes tipos de fábricas de papel e celulose podem ser comparados.

O potencial técnico total de conservação de energia dos produtos aqui analisados, como porcentagem de seu consumo energético, é de 19,3%.

Tabela 21

Potenciais técnicos de conservação de energia na indústria de papel e celulose brasileira em 2006, estimados por tipo de planta

Plantas	Potencial de Conservação de Energia (tEP)					Total
	Energia térmica		Energia elétrica			
	Aquecimento direto	Vapor de processo	Força motriz	Eletrólise	Iluminação	
	Fornos					
Celulose	15.125	287.378	49.438	3.190	532	355.663
Integrada	14.255	460.917	36.572	1.956	587	514.287
Papel	0	414.073	61.726	0	1.909	477.708
Reciclagem	0	81.285	4.218	0	130	85.633

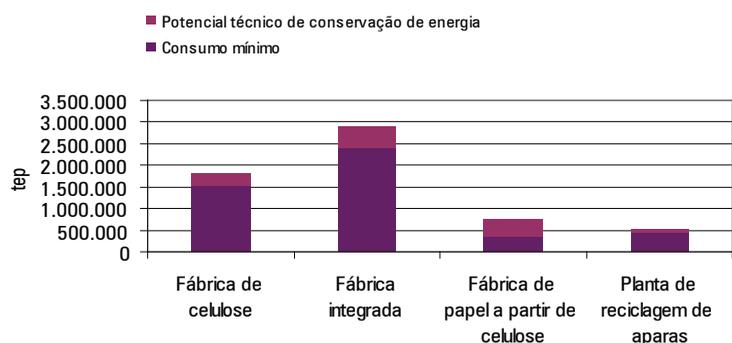


Gráfico 12

Consumos e potenciais de conservação de energia térmica na indústria de papel e celulose no Brasil em 2006, por tipo de fábrica

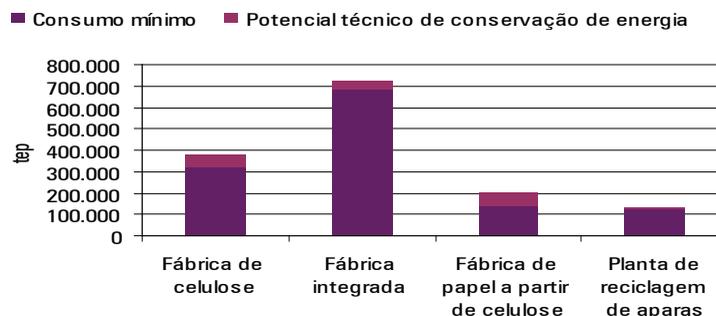


Gráfico 13

Consumos e potenciais de conservação de energia elétrica na indústria de papel e celulose no Brasil em 2006, por tipo de fábrica

7.3 Potencial de conservação de energia segundo o BEU

A base de dados do Balanço de Energia Útil (MME, 2005) permite calcular um potencial técnico de conservação de energia de 424.848 tEP em 2006 para a indústria de papel e celulose. Neste trabalho, chegou-se a um potencial técnico de conservação de energia de 1.433.292 tEP, ou seja, um valor 3,4 vezes maior do que o estimado a partir do BEU, por conta dos ganhos sistêmicos que a metodologia empregada pelo BEU não contempla. Esta diferença pode ser visualizada no Gráfico 14.

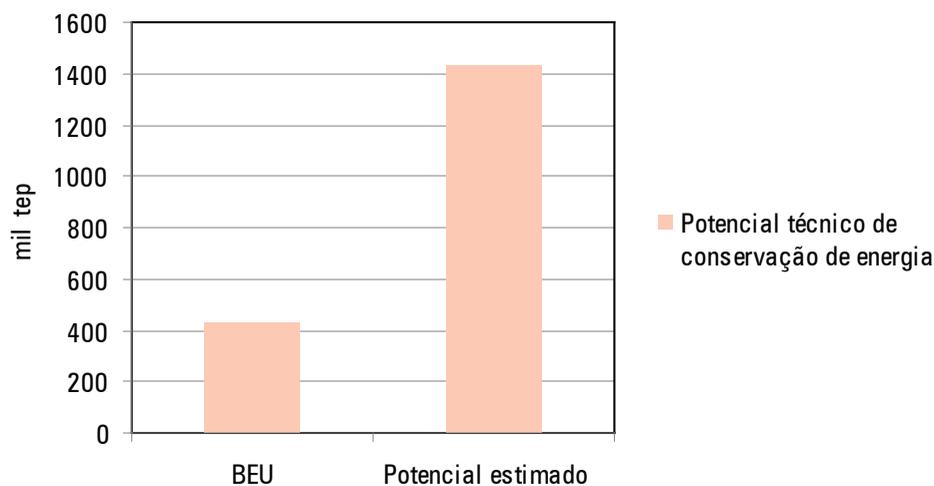
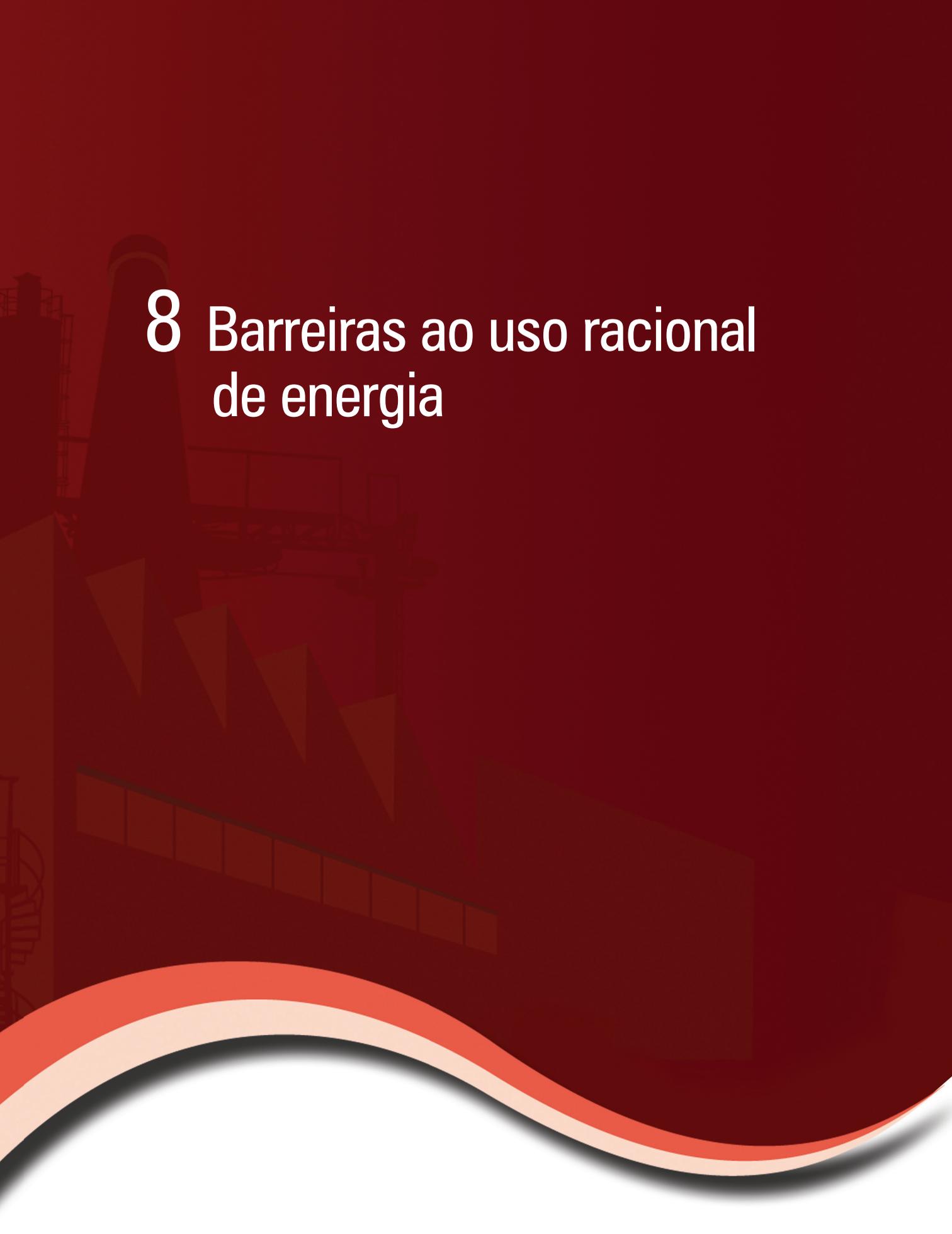


Gráfico 14

Comparação entre os potenciais técnicos de conservação de energia da indústria de papel e celulose no Brasil em 2006, calculados segundo a metodologia adotada neste trabalho e segundo a metodologia do BEU

8 Barreiras ao uso racional de energia



8 Barreiras ao uso racional de energia

Ofato dos resultados de programas voltados ao uso racional de energia serem inferiores aos potenciais existentes ocorre em função da existência de barreiras diversas, que em sua maioria não podem ser apenas explicadas pela teoria econômica. Uma barreira pode ser entendida como toda restrição de investimentos, que são ao mesmo tempo tecnicamente possíveis e economicamente viáveis. Portanto, do ponto de vista da racionalidade econômica, não haveria razões para a não viabilização desses investimentos. No setor industrial de celulose e papel, coexistem diversas visões sobre barreiras a programas de eficiência energética, tendo em vista explicar as razões pelas quais o potencial de mercado da racionalização do uso da energia é menor do que o potencial econômico associado.

As indústrias produtoras de celulose, e as indústrias integradas de produção de celulose e papel são, em geral, de grande porte, e tem forte influência de grupos internacionais (muitas empresas, na verdade, são multinacionais). Em adição, há forte competição no segmento de celulose e papel, o que justifica a preocupação com eficiência energética e redução de impactos ambientais. Entretanto, no chamado chão de fábrica, ou seja, no dia a dia da operação dos complexos industriais, a eficiência do uso da energia não é prioridade.

No contato foram mencionadas as seguintes barreiras à racionalização do uso da energia com técnicos e dirigentes das empresas do setor:

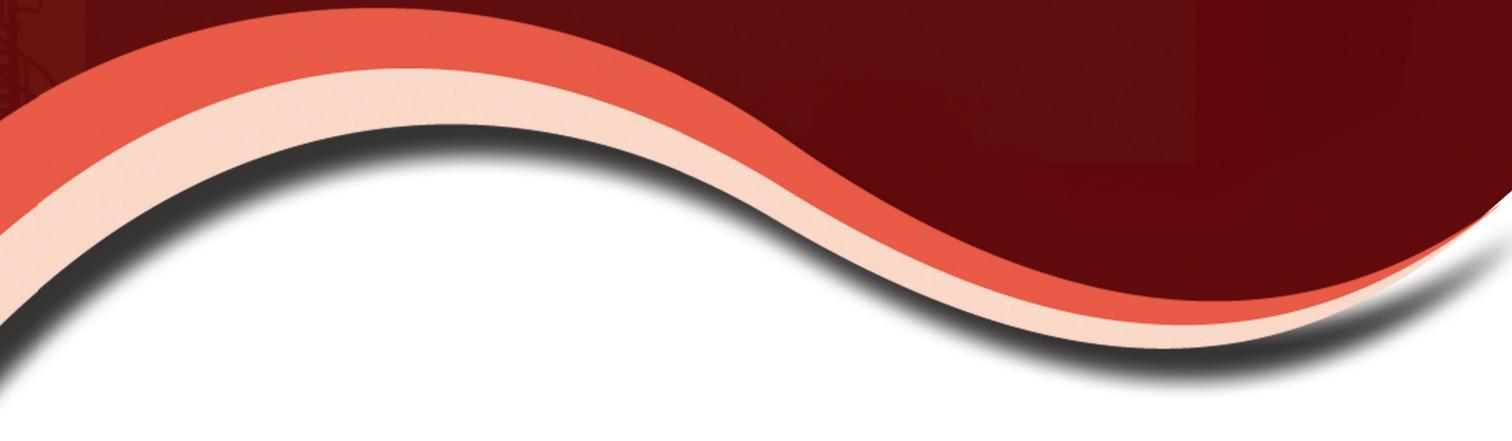
- No caso das unidades menor porte, há desconhecimento sobre as tecnologias mais eficientes e de seus potenciais benéficos;
- Há percepção de riscos toda vez que novas tecnologias são consideradas;
- Investimentos envolvem tempo de retorno alto. Nesses horizontes de tempo os ganhos de eficiência não são facilmente identificados e por vezes não são considerados nas análises de investimentos.
- Há restrição associada à capacidade de investimento no caso das empresas de menor porte, mas mesmo nas grandes empresas a prioridade de investimentos (quando os recursos são limitados, o que é usual) dificilmente é posta no uso racional de energia;
- Há dificuldade de acesso à linhas de financiamento, principalmente por parte das pequenas empresas;
- Os longos períodos de retorno dos investimentos são fatores adicionais a inibir os investimentos em racionalização do uso da energia;
- Dificuldades de mão de obra especializada, notadamente em empresas de pequeno e médio porte.

De uma forma geral, pode-se inferir que a questão de conservação de energia com a adoção de programas de eficiência energética, tem surgido como resultado de forças de mercado, face a sustentabilidade ambiental e sobrevivência das empresas no mundo globalizado. Neste contexto, ganham destaque desde os aspectos organizacionais, até as melhorias de processos com a diversificação das fontes de energia, com ênfase nas renováveis, refletindo-se na consequente atenuação da intensidade energética devido a promoção de medidas de eficiência energética e a adoção de novas tecnologias. Com a adoção de novas tecnologias e ênfase em energias renováveis e aproveitamentos de resíduos ou sub-produtos gerados na planta, ganham destaque a produção de energia com base na co-geração, as reduções substanciais do consumo de água, energia e das emissões de poluentes associadas à sua conversão.

Ultrapassar barreiras como as citadas, requer a implementação de ações efetivas de ordem regulatória visando a promoção da conservação de energia. Em particular no consumo de eletricidade e no uso final de força motriz, faz-se necessário, programas de informação técnica e de formação; facilidades para atuação de Escos em auditorias e nas ações de diagnóstico; programas de demonstração de novas tecnologias; facilidades creditícias e/ou incentivos financeiros a fundo perdido, envolvendo centro de excelência e empresa de gestão energética (Escos) e a indústria de forma descentralizada. Medidas macros devem ser acompanhadas pela avaliação de Associações Industriais no âmbito municipal e

estadual, bem como de Confederações para o atendimento do País de forma global. Finalmente cabe destacar, que para este setor, trabalhos internacionais, também, demonstram barreiras similares àquelas encontradas no âmbito nacional, que interferem negativamente na penetração de ações de conservação de energia, tais como: (I) tecnológicas, (II) econômicas, e (III) institucionais, passando pelo custo da tecnologia, infra-estrutura de fornecimento de equipamentos limitada, problemas de qualidade e dimensionamento de equipamentos, informação e treinamento, falta de financiamento, barreiras de preços e tarifas, barreiras regulatórias, barreiras empresariais e obstáculos políticos.

9 Considerações Finais



9 Considerações Finais

A indústria brasileira de papel e celulose tem um bom indicador de eficiência energética no consumo de eletricidade. O mesmo já não acontece em relação ao seu consumo de energia térmica, que possui um potencial de melhoria em relação às melhores tecnologias atualmente disponíveis, selecionadas pela Agência Internacional de Energia, e, conseqüentemente, com suas emissões de CO₂. Mesmo sendo uma indústria energo-intensiva e apresentando emissão de gases precursores de efeito estufa, o desempenho das plantas instaladas no Brasil é satisfatório e, em alguns casos, muito bom, vis-à-vis os congêneres para os quais se obteve dados junto à Agência Internacional de Energia.

A indústria de papel e celulose possuía em 2004, segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), um potencial técnico global de conservação de energia primária de 15 a 18% (IEA, 2007). Decompondo o consumo energético entre energia térmica e energia elétrica, a Agência encontrou potenciais técnicos médios de economia de energia de 14% e 16%, respectivamente.

A fabricação de papel envolve quatro etapas básicas: a preparação da massa, na qual é adicionada água à matéria-prima celulósica utilizada, a secagem mecânica, em prensas, a secagem evaporativa, através da passagem da folha de papel por uma série de 40 a 50 cilindros aquecidos por vapor, e o acabamento do papel (*Bajay et alii*, 2008). O papel sai da máquina com uma consistência de 90 a 95% de sólidos. A etapa mais energo-intensiva é a secagem evaporativa. Algumas novas técnicas estão em desenvolvimento visando reduzir, ou, até mesmo, eliminar o consumo de energia nesta etapa. Para tanto, estas técnicas atuam nas etapas de preparação da massa ou durante a secagem mecânica.

Na técnica denominada pasta de alta consistência, a massa entra na mesa formadora da folha de papel com uma consistência mais elevada que a usual, economizando energia na retirada de água da folha. A outra técnica que atua na preparação da massa envolve a formação a seco da folha de papel, com a água sendo substituída por ar.

As prensas de sapatas (*shoe presses*), também conhecidas como *long-nip presses*, constituem hoje a tecnologia “estado-da-arte” na secagem mecânica de papel. Na técnica de secagem por impulso (*impulse drying*), a folha de papel é pressionada contra um rolo girante muito quente e uma sapata côncava estática convencional. A pressão é cerca de dez vezes superior à das prensas de sapatas atuais. Consegue-se, com esta técnica, que o teor de umidade da folha de papel seja 38%, ou menos, antes dela entrar na seção de secagem evaporativa (IEA, 2006).

Na mais nova técnica, conhecida pela designação *condebelt*, a folha de papel é seca em uma câmara de secagem, em contato com uma tira de aço quente, aquecida por vapor ou gás quente. O condensado é retirado por pressão e sucção. Esta tecnologia trabalha com taxas de secagem de 5 a 15 vezes mais elevadas do que as convencionais e pode substituir completamente a secagem com cilindros aquecidos.

O uso destas novas técnicas pode propiciar economias de energia de 20 a 30% na secagem do papel. Segundo a AIE, estas técnicas deverão ser testadas na forma de plantas pilotos até 2015; em plantas de demonstração e as primeiras plantas comerciais até 2030; em 2050 já serão tecnologias consagradas e amplamente utilizadas em escala comercial (IEA, 2006).

Diversos levantamentos realizados na indústria canadense de celulose e papel detectaram potenciais técnicos de economia de vapor que variam na faixa de 40 a 96% e potenciais de economia de energia elétrica de 20 a 30%, dependendo dos tipos de planta e de papel (IEA, 2007).

A AIE estimou potenciais de conservação de energia térmica na indústria de celulose e papel chinesa entre 14 e 27%; os potenciais de conservação de energia elétrica encontrados se situaram na faixa de 23 a 33% (IEA, 2007).

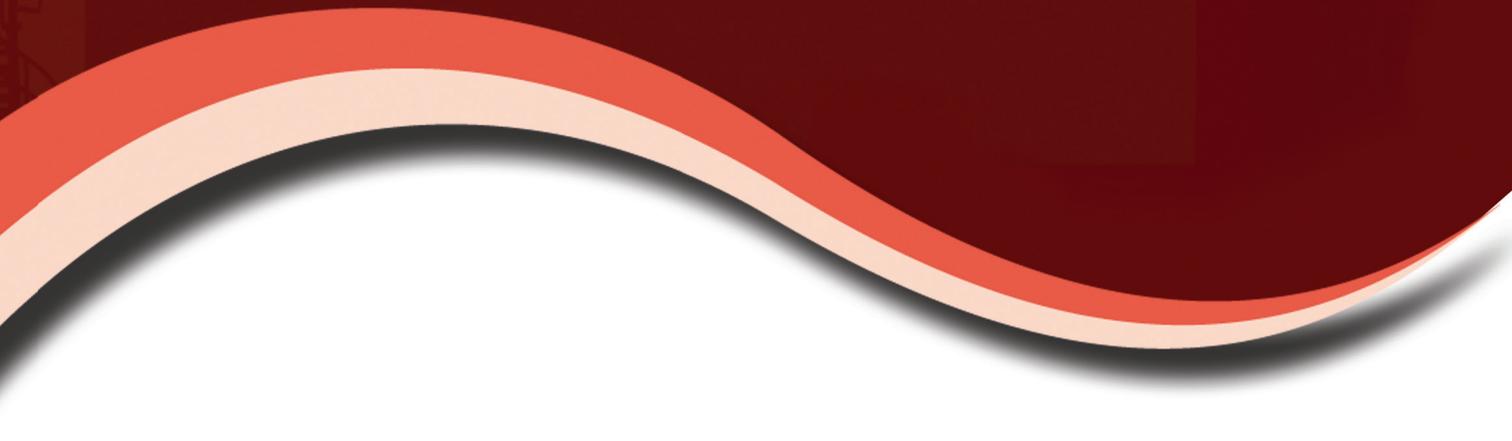
Mellado e Cerda (2008) e Maldonado (2008) reportaram um potencial de conservação de energia de 2,2% na indústria de papel e celulose chilena em 2008.

Em 2006, a Abesco estimou um potencial de conservação de energia de 6% na indústria de papel e celulose brasileira (Moura, 2006).

O Plano Nacional de Energia 2030 projeta potenciais de economia de energia elétrica de 4 a 11% na indústria de celulose e papel no Brasil em 2030, conforme o cenário adotado para o crescimento da economia (EPE, 2007a).

Segundo o Balanço de Energia Útil do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005), só a troca por equipamentos mais eficientes disponíveis no mercado possibilitaria uma economia de energia de 5,3% nesta indústria no Brasil em 2006; 85,7% desta economia ocorreriam no uso final “calor de processo”.

Referências



REFERÊNCIAS

AREA, M.C. Tecnologias Limpas para La Producción de Pulpa Y Papel de Eucalyptus. In: SEMINÁRIO CUENCA FOREST-INDUSTRIAL: modelo, visión y perspectivas, 2005. Buenos Aires: Universidade de Nacional de Misiones, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). **Informativo Mensal**, Ano XII, n.624. São Paulo, 2007.

_____. **Relatório anual 2005/2006**. São Paulo, 2006.

_____. **Relatório estatístico florestal**. São Paulo, SP, 2004

_____. **Site**. Disponível em: <www.bracelpa.org.br>.

BAJAY, et. al. **Comparação de índices de eficiência energética e do nível de emissões de segmentos industriais energo-intensivos no brasil e em outros países**. Campinas, SP, 2007. (IV PDPETRO).

BAJAY, S. V. et. al. **Análise e desenvolvimento de metodologia visando a implementação de projetos de eficiência energética na indústria**. Brasília, 2008. Em elaboração.

_____. **Relatório técnico final parte II: medidas de conservação de energia e modulação de carga, potenciais de conservação, banco de dados sobre consumo energético e cenário de desenvolvimento setorial com programas institucionais de conservação**. Campinas, SP: Unicamp, 1998.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **A década de 90: mercado mundial de papéis**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **Visão do Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 19, 10 nov. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Site**. Disponível em: <www.mct.gov.br>. Acesso em: 10 fev. 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Site**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balço energético nacional 2006**. Brasília, DF, 2006.

_____. **Balço energético nacional 2006: sumário executivo**. Brasília, DF, 2006.

_____. **Balço energético nacional 2007**. Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Planalto. **Site**. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em: 12 fev. 2008.

ELETOBRAS. **Site**. Disponível em: <www.eletobras.gov.br>

CENTRO DE TECNOLOGIA EM CELULOSE E PAPEL (CETCEP). **Curso de tecnologia de papel**. Paraná, 2004.

COUTINHO, L.G. et al. **Estudo da competitividade de cadeias integradas no Brasil**: impactos das zonas de livre comércio, cadeia de papel e celulose. Campinas, SP: UNICAMP, 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano nacional de energia 2030**: eficiência energética. Rio de Janeiro, 2007.

FIESP; CESTESB; BRACELPA. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose**. São Paulo, 2008. 50 p. (Série P + L).

FOLHA DE SÃO PAULO, São Paulo, Caderno-Dinheiro, B8, 17 JUN. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Site**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jun. 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy technology perspectives 2006**: scenarios and strategies to 2050. Paris, 2006.

_____. **Indicators for industrial energy efficiency and co2 emission**: a technology perspectives. Paris, 2007.

_____. **Tracking industrial energy efficiency and co2 emissions**. Paris, 2007.

_____. **Worldwide trends in energy use and efficiency**. Paris, 2008.

MALDONADO, P. Uso eficiente de la energía en Chile, una tarea pendiente: industria e minería. In: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA: contribuições de países latinoamericanos para o global energy assessment (GEA), Campinas, SP. Ago. 2008. **Apresentação**. Campinas, SP, 2008

MELLADO, P; CERDA, C. Energy efficiency in industry: the Chilean experience. In: SEMINAR ON INTERNATIONAL ENERGY MANAGEMENT SYSTEM STANDARDS, São Paulo, SP, Augu. 2008. **Anais...** São Paulo: ABNT, 2008.

MOURA, R. C. Resultado de eficiência energética na indústria: Visão da ABESCO, In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, Campinas, SP, 2006. **Anais**. Campinas, SP, 2006.

PERECIN, L. O Processo de recuperação ganha força no setor. **Revista O Papel**, Ano LXVII, n. 5, 36-45 p.maio 2006.

VALOR ECONÔMICO. **Análise setorial:** a indústria de papel e celulose. Disponível em: <<http://setorial.valor.com.br>>. Acesso em: 2007.

VOTORANTIM. **Site.** Disponível em: <www.vcp.com.br/losango/ptb/fabrica_tratamento_egluentes.asp>. Acesso em: 1 fev. 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Unidade de Competitividade Industrial – COMPI

Wagner Cardoso
Gerente de Infraestrutura

Equipe Técnica
Francine Costa Vaurof
Rafaella Sales Dias
Rodrigo Sarmiento Garcia

Adriana Ribeiro
Produção Editorial

SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC

Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

Renata Lima
Normalização

Consultores

Carlos Roberto Rocha
Sérgio Bajay
Filipe Debonzi Gorla

Equipe Técnica

ELETROBRAS / PROCEL

PROCEL INDÚSTRIA

Alvaro Braga Alves Pinto
Bráulio Romano Motta
Carlos Aparecido Ferreira
Carlos Henrique Moya
Marcos Vinícius Pimentel Teixeira
Roberto Ricardo de Araujo Goes
Rodolfo do Lago Sobral

Colaboradores

George Alves Soares
Humberto Luiz de Oliveira
Marília Ribeiro Spera
Roberto Piffer
Vanda Alves dos Santos

Cristine Bombarda Guedes
Revisão Gramatical

Kelli Mondaini
Revisão Gráfica

CT Comunicação
Projeto Gráfico/Editoração



Ministério de
Minas e Energia

