

GUILHERME DE PAULA GALDIANO

**INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO PAPEL OFFSET
PRODUZIDO NO BRASIL**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia.**

**São Paulo
2006**

GUILHERME DE PAULA GALDIANO

**INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO PAPEL OFFSET
PRODUZIDO NO BRASIL**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Engenharia Química**

**Orientador:
Prof. Livre-Docente
Gil Anderi da Silva**

**São Paulo
2006**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 10 de outubro de 2006.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Galdiano, Guilherme de Paula

**Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil / G. de P. Galdiano. -- São Paulo, 2006.
280 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

**1.Papel offset – Brasil 2.Avaliação do ciclo de vida (ACV)
3.Inventário 4.Gestão ambiental 5.Desenvolvimento sustentável
6.Poluição industrial (Prevenção) I.Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.**

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta da gestão ambiental que identifica os aspectos ambientais e avalia os impactos ambientais associados aos produtos, durante todo o seu ciclo de vida, em outras palavras, “do berço ao túmulo”. O ciclo de vida inicia-se quando todos os recursos requeridos (sejam eles materiais ou energéticos) para a manufatura de determinado produto são extraídos da natureza e finaliza-se após o cumprimento da função pelo produto, retornando ao meio ambiente.

Devido à quantidade de dados que necessita ser coletada, um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida somente torna-se viável caso exista a disponibilidade de um banco de dados nacional constituído por inventários do ciclo de vida dos principais insumos empregados pela sociedade - matérias primas, energia, etc. Estes inventários possuem caráter de regionalidade e representatividade, podendo tornar novos estudos mais completos, confiáveis e fáceis de serem concluídos.

A ACV vem assumindo uma importância a nível global, o Brasil vem se aprimorando na capacitação e uso desta técnica. O GP2 - Grupo de Prevenção da Poluição do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, tem como seu principal objetivo a contribuição para o aprimoramento de recursos humanos necessários e consolidação do uso da ACV no Brasil. Desse modo, as atividades do GP2 têm se concentrado na construção de um banco de dados que deve ser adequado, obrigatoriamente, às condições regionais.

O presente estudo está inserido nessa linha de pesquisa e tem como propósito a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) para o papel offset produzido no Brasil. O papel offset pertence a categoria de papéis de imprimir e, atualmente, representa o tipo de papel mais produzido no país.

O resultado deste estudo consiste em um inventário consolidado dos aspectos ambientais considerados significativos para a produção da madeira, a extração da celulose, a fabricação do papel offset e outros subsistemas associados, sob as condições tecnológicas típicas dominantes no Brasil.

A qualidade do estudo está intrinsecamente ligada à cadeia produtiva do papel offset, que se baseou primordialmente em dados primários. Os resultados do estudo mostraram-se coerentes com um estudo parcial realizado no Chile.

Uma análise mais apurada para os resultados encontrados no estudo, com base em pesquisas internacionais, não se fez necessária, considerando as diferenças tecnológicas e de matérias-primas empregadas no ciclo de vida do papel de outros países.

ABSTRACT

The life cycle assessment (LCA) is a tool for the environmental management which identifies its aspects and evaluates its environmental impacts related to the products during its whole life cycle. In other words, a cycle that goes from cradle to grave. The life cycle begins when all the required resources (material or energetic) to manufacture a certain product are extracted from the nature and it ends after accomplishing its function, returning to the environment.

Due to the amount of data to be collected, a study of the life cycle assessment is only viable in case there is a national data base available formed by inventories of the main input used by the society, such as raw material, energy, and so on. These inventories have a regional and representative character, allowing new studies to be fuller, more reliable and easier to be concluded.

The LCA has taken on a world wise importance. Brazil has been improving its competence and usage of such technique. The GP2 – Preventing Pollution Group from the Chemical Engineering Department of Escola Politécnica at USP – has as its primal objective the contribution to an improvement of necessary Human Resources and the consolidation of the LCA usage. In this manner, GP2 activities have to be focused on a data base construction, which should be compulsorily adequate to the regional conditions.

The present study is inserted in such line of research and has as its purpose the elaboration on a Life Cycle Inventory (LCI) for the offset paper made in Brazil. The offset paper belongs to the printing paper category and, lately, represents the most used type of paper in this country.

The result of such study consists in a solid inventory of the environmental aspects considered meaningful for wood production, cellulose extraction, offset paper manufacture and other related subsystems under typical predominant technological conditions in Brazil.

The quality of this study is significantly related to the production chain of the offset paper, which was based mainly on primary data. The results of this study showed to be coherent to the ones achieved in a Chilean study, even though they were partial results. A more refined analysis on the pursued results in the study,

based on international researches, isn't necessary, considering the technological differences and raw material used in the paper life cycle in other countries.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Gil Anderi da Silva, orientador deste estudo, não apenas pelo seguro norte, mas também pela oportunidade, incentivo e confiança depositada na minha pessoa e na realização do meu projeto de estudo.

À Cia Suzano de Papel e Celulose, representada pelos Srs. Marcos A. Cordeiro, Augusto F. Milanez, Jose Luiz Gava e José Luciano Batista Ungari; à International Paper do Brasil Ltda, representada pelos Srs. Flavio Tesser, Wanderlei Perón, Luis C. Pereira, Wanderlei Perón, Robson Laprovitera, Edson Eduardo e Sra. Marina Freitas; à Votorantin Celulose e Papel S.A., representada pelos Srs. Paulo Cassim e Paulo Rogério Camargo, pela colaboração com o fornecimento de informações técnicas necessárias à realização do presente estudo.

Aos funcionários das empresas e institutos que gentilmente colaboraram com seus conhecimentos: Srs. Mario Seixas, Justino M. Rufino e Sérgio Luiz Zegaib da Imerys do Brasil Mineração Ltda.; Sras. Marcela Trecenti Capoani e Danielle C. Polowski da Lwarcel Celulose e Papel Ltda.; Sra. Regina Kawai e Sr. César Leporini da Degussa Brasil; Sras. Cristiane Neri Boaventura, Simoni de Almeida Pinotti, Srs. Antonio L. Monteiro e Wagner Rodrigues da Carbocloro S.A. Inds. Químicas; Sra. Mirna Miyoco Bartilotti da Solvay Química Ltda.; Sr. João Humberto Sumere da CESTESB - unidade de Limeira, Sr. Reginaldo Campos de Souza da CADAM - Caulim da Amazônia S.A. e Sra. Silvana Porto da ABAM - Associação Brasileira de Produtores de Amido de Mandioca.

Ao amigo Prof. Dr. Luis Alexandre Kulay, pela atenção, comentários e sugestões que contribuíram muito para a melhoria deste estudo.

À Sra. Marlene Aparecida do Centro de Informações da BRACELPA, pelo interesse pelo tema e prestatividade em colaborar.

Aos membros do GP2 - Grupo de Prevenção da Poluição do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pelo incentivo e valioso apoio durante todo o período de trabalho, principalmente aos amigos: Marcelo Viana, Rita de Cássia, Fúlvia Borges, Paulo Henrique, André Camargo, Fernanda Vianna, Alexandre Yokote, Flávio Miranda e Yuki Kabe.

À bibliotecária Sra. Maria Lucia Adamo Attar pelo auxílio durante todo meu período no departamento.

À todos os professores e funcionários do departamento, em particular à Prof.^a Dr.^a Patrícia Helena Lara dos Santos Matai e Prof.^a Dr.^a Isabel Correia Guedes, pela amizade, colaboração e simpatia. Aos colegas de trabalho: Paulo Renato, Isabella Pacífico, Rocio Bendezú, Luis Palomino pelo companheirismo.

À minha família, em especial à minha querida mãe Irene Gouvêa e irmãos pelo apoio incondicional.

À todos que tenham um sonho e acreditem em sua realização, por mais complicado que se possa parecer.

Esta pesquisa foi viabilizada pelo suporte financeiro, ainda que parcial, do:



CNPq

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

“Quando plantamos novas árvores, plantamos também as sementes da paz.”

Wangari Maathai

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
LISTA DE ELEMENTOS E COMPOSTOS QUÍMICOS	

1. INTRODUÇÃO	0
2. OBJETIVO	5
3. REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1. Estado da arte da avaliação do ciclo de vida	6
3.1.1. Conceitos	6
3.1.2. História da avaliação do ciclo de vida	7
3.1.3. Os usos da ferramenta de avaliação do ciclo de vida	10
3.1.4. Abordagem holística	12
3.1.5. Padronização internacional	13
3.1.6. Softwares para avaliação do ciclo de vida	15
3.1.7. Metodologia	16
3.1.7.1. Definição de objetivo e escopo	17
3.1.7.1.1. Objetivo do estudo	17
3.1.7.1.2. Escopo do estudo	17
3.1.7.2. Análise do inventário do ciclo de vida	28
3.1.7.2.1. Preparação para coleta de dados	31
3.1.7.2.2. Coleta de dados	31
3.1.7.2.3. Tratamento dos dados	32
3.1.7.3. Avaliação do impacto do ciclo de vida	33
3.1.7.4. Interpretação dos Resultados	37
3.2. Cenário atual do setor florestal	37
3.2.1. As florestas no Brasil	37
3.2.2. A importância do setor florestal	40
3.3. Panorama geral do setor de papel e celulose	42
3.3.1. A indústria de papel e celulose	42
3.3.1.1. Produtos e tipos de fábricas	42
3.3.1.2. O eucalipto e o projeto genolyptus	44
3.3.1.3. O setor de papel e celulose brasileiro	46
3.3.1.4. A indústria brasileira no contexto mundial	52
3.3.2. As categorias de papel fabricadas	55
3.4. O papel offset	59
3.4.1. Processos de extração da celulose e produção do papel	62
3.4.2. Subsistema produção da madeira	65
3.4.2.1. Subsistema transporte da madeira	73
3.4.3. Subsistema extração da celulose	73
3.4.3.1. Processos de preparação de pasta celulósica	74
3.4.3.2. Branqueamento de pastas químicas	87
3.4.4. Subsistema recuperação química	93
3.4.5. Subsistema fabricação do papel	105
3.4.6. Subsistema tratamento de efluentes	113

3.4.7. Principais aspectos ambientais.....	117
3.4.7.1. Cultura do eucalipto.....	117
3.4.7.2. Produção do papel.....	119
3.4.8. Subsistema energia.....	137
3.4.9. Subsistema carbonato de cálcio precipitado.....	139
3.4.10. Subsistema clorato de sódio.....	145
3.4.11. Subsistema dióxido de cloro.....	148
3.4.12. Subsistema soda cáustica.....	153
3.4.13. Subsistema peróxido de hidrogênio.....	164
3.4.14. Subsistema ácido sulfúrico.....	168
4. ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO.....	171
4.1. Metodologia.....	171
4.1.1. Objetivo do estudo.....	171
4.1.1.1. Critérios empregados na escolha do tipo de papel a ser inventariado.....	172
4.1.2. Escopo do estudo.....	174
4.1.2.1. Sistema de produto.....	174
4.1.2.2. Função do produto.....	175
4.1.2.3. Unidade funcional.....	175
4.1.2.4. Sistema de produto.....	175
4.1.2.5. Fronteiras do sistema de produto.....	178
4.1.2.6. Procedimentos de alocação.....	181
4.1.2.7. Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada.....	181
4.1.2.8. Requisitos da qualidade dos dados iniciais.....	181
4.1.2.9. Tipo de análise crítica.....	182
4.1.3.0. Tipo e formato do relatório requerido para o estudo.....	182
4.1.3. Análise do inventário do ciclo de vida.....	182
4.1.3.1. Inventário para o subsistema produção da madeira.....	184
4.1.3.1.1. Inventário para o subsistema transporte da madeira.....	187
4.1.3.2. Inventário para o subsistema extração da celulose.....	189
4.1.3.3. Inventário para o subsistema recuperação química.....	194
4.1.3.4. Inventário para o subsistema fabricação de papel offset.....	196
4.1.3.5. Inventário para o subsistema tratamento de efluentes.....	198
4.1.3.6. Inventário para o subsistema energia.....	199
4.1.3.7. Inventário para o subsistema carbonato de cálcio precipitado.....	203
4.1.3.8. Inventário para o subsistema clorato de sódio.....	206
4.1.3.9. Inventário para o subsistema dióxido de cloro.....	208
4.1.4.0. Inventário para o subsistema soda cáustica.....	210
4.1.4.0.1. Inventário para o subsistema transporte do sal marinho.....	212
4.1.4.1. Inventário para o subsistema peróxido de hidrogênio.....	216
4.1.4.2. Inventário para o subsistema ácido sulfúrico.....	218
4.1.4. Inventário consolidado para o ciclo de vida do papel offset.....	223
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	228
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	229
ANEXOS.....	233
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	268
GLOSSÁRIO.....	281

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Metodologia da ACV (NBR ISO 14040, 2001)	17
Figura 2: Exemplo de um conjunto de unidades de processo em um sistema de produto (adaptado da NBR ISO 14041, 2004).....	18
Figura 3: Fronteira de um sistema de produto, representada pela linha escura que delimita o sistema de produto do meio ambiente e de outros subsistemas (adaptado de CURRAN, 1996).....	20
Figura 4: Procedimentos simplificados para a etapa de análise do inventário (adaptado da NBR ISO 14041, 2004)	30
Figura 5: Fluxograma simplificado da avaliação de impacto do ciclo de vida (adaptado de ECOBILAN, 2004).....	36
Figura 6: Uso do solo brasileiro (ABIMCI, 2003).....	38
Figura 7: Áreas de florestas de eucaliptos e pinus no Brasil (ABIMCI, 2003)	39
Figura 8: Oferta mundial de celulose de eucalipto de mercado (NUNES, 2004).....	53
Figura 9: Produção brasileira de papel por categorias em 2002 (BRACELPA, 2002)	56
Figura 10: Destino da produção brasileira de papel offset em 2002 (adaptado de BRACELPA, 2002)	62
Figura 11: Fluxograma simplificado da extração da celulose e fabricação de papel da Cia. Suzano de Papel e Celulose S.A. (adaptado de CIA. SUZANO DE PAPEL E CELULOSE S.A.,1998 <i>apud</i> VELÁZQUEZ e STORTINI, 2000).....	64
Figura 12: Produção brasileira de pastas por categoria em 2002 (adaptado de BRACELPA, 2002)	74
Figura 13: Estrutura proposta para a macromolécula da lignina de <i>Eucalyptus grandis</i> (PILO-VELOSO; NASCIMENTO; MORAES, 1993 <i>apud</i> QUIMICA NOVA, 2001)	77
Figura 14: Produção brasileira de pastas químicas por processos em 2002 (adaptado de BRACELPA, 2002).....	78
Figura 15: Estágios da preparação da madeira (adaptado de PECE/USP, 2005).....	80
Figura 16: Digestão dos cavacos da madeira no processo de polpação Kraft da celulose (adaptado de PECE/USP, 2005)	83
Figura 17: Balanço de massa consolidado para algumas unidades de processo da polpação Kraft (adaptado de PECE/USP, 2005).....	84
Figura 18: Balanço de massa consolidado para a primeira lavagem (adaptado de PECE/USP, 2005)	85
Figura 19: Balanço de massa para a pré-deslignificação da celulose com oxigênio e da segunda etapa de lavagem (adaptado de PECE/USP, 2005).....	86
Figura 20: Depuração, lavagem da polpa e seu pré-branqueamento com oxigênio (adaptado de PECE/USP, 2005).....	87
Figura 21: Balanço de massa da etapa de branqueamento ECF (adaptado de PECE/USP, 2005)	91
Figura 22: Sequência típica de branqueamento ECF da celulose de eucalipto (adaptado de PECE/USP, 2005).....	92
Figura 23: Fluxograma da unidade de recuperação química do Processo Kraft (adaptado de CPRH e GTZ, 1998).....	94

Figura 24: Balanço de massa da etapa de evaporação (adaptado de PECE/USP, 2005)	96
Figura 25: Balanço de massa na caldeira de recuperação e tanque de smelt (adaptado de PECE/USP, 2005)	98
Figura 26: Concentração e queima do licor negro (PECE/USP, 2005)	99
Figura 27: Balanço de massa consolidado para algumas unidades de processo da caustificação (adaptado de PECE/USP, 2005)	102
Figura 28: Balanço de massa para o subsistema constituído pelo forno de cal e precipitador eletrostático (adaptado de PECE/USP, 2005)	103
Figura 29: Recuperação química, com destaque para a caustificação e a recuperação da cal (PECE/USP, 2005)	105
Figura 30: Balanço de massa para o subsistema fabricação de papel offset (adaptado de PECE/USP, 2005)	110
Figura 31: Energia elétrica consumida pelos fabricantes nacionais de pasta de celulose e papel em 2000 (adaptado de BARBELI, 2003 <i>apud</i> BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)	138
Figura 32: Origem dos diferentes tipos de carbonato de cálcio (RUFINO, 2005)	139
Figura 33: Fluxograma simplificado do processo de produção de PCC (RUFINO, 2005)	143
Figura 34: Processo de manufatura do clorato de sódio (adaptado de BARBIERI, 2005)	146
Figura 35: Processo SVP-LITE de produção do dióxido de cloro (EKA CHEMICALS, 2002a)	151
Figura 36: Processos de produção de cloro e soda cáustica, no Brasil (ABICLOR, 2004)	155
Figura 37: Consumo setorial de soda cáustica em 2001 (ABICLOR, 2004)	156
Figura 38: Processo de Produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de diafragma (IPPC, 2001)	158
Figura 39: Processo de Produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de mercúrio (IPPC, 2001)	161
Figura 40: Processo de Produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de membrana (IPPC, 2001)	163
Figura 41: Produção de peróxido de hidrogênio pelo processo de auto-oxidação da antraquinona (KAWAI, 2004) ¹⁷	164
Figura 42: Produção de peróxido de hidrogênio pelo processo de auto-oxidação da antraquinona (ULMANN'S, 1989)	166
Figura 43: Diagrama do processo de dupla adsorção (DA) para produção de ácido sulfúrico (KULAY, 2004)	170
Figura 44: Fronteira estabelecida para o sistema de produto em estudo	179
Figura 45: Fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes de um fabricante nacional de papel offset	198
Figura 46: Cogeração de energia em turbina a vapor em ciclo combinado	201
Figura 47: Modelo adotado para o carbonato de cálcio precipitado consumido pelos fabricantes nacionais de papel offset	205
Figura 48: Modelo adotado para a soda cáustica consumida pelos fabricantes nacionais de papel offset	212
Figura 49: Modelo adotado para o ácido sulfúrico consumido pelas indústrias brasileiras de papel offset	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de bancos de dados do ICV, por situação dos projetos e classes controladoras (adaptado de NORRIS e NOTTEN, 2002).....	8
Tabela 2: Estrutura ISO consensualmente aceita para a ACV (adaptado de MENDES, 2004)	14
Tabela 3: Principais Softwares disponíveis para a realização de ACV (adaptado de CURRAN et al., 2003 e PÅLSSON, 1998)	16
Tabela 4: Tipos de fibras (ABTCP, 2002)	43
Tabela 5: Rede Nacional de Pesquisa Genômica do Eucalipto (SUGIMOTO, 2002).....	45
Tabela 6: Áreas certificadas no Brasil (SANTANA, 2004).....	46
Tabela 7: Custos de produção estimados por tonelada da celulose de mercado Kraft de fibra curta branqueada (Hawkings Wright <i>apud</i> VCP, 2002).....	48
Tabela 8: Celulose - Maiores produtores e suas participações na produção nacional (BRACELPA, 2002)	49
Tabela 9: Papel - Maiores fabricantes e suas participações na produção nacional (BRACELPA, 2002)	50
Tabela 10: Desempenho setor de celulose (BRACELPA, 2003).....	51
Tabela 11: Desempenho setor de papel (BRACELPA, 2003)	51
Tabela 12: Produção nacional de pastas celulósicas, em toneladas (adaptado de AUSTIN SETORIAL, 2003)	52
Tabela 13: Produção nacional de papel, em toneladas (adaptado de AUSTIN SETORIAL, 2003)	52
Tabela 14: Comércio internacional de celulose e pastas de mercado por regiões, em milhões de toneladas (VALENÇA e MATTOS, 2003b)	54
Tabela 15: Produção brasileira de papel offset em 2002 (BRACELPA, 2002).....	61
Tabela 16: Consumo de defensivos agrícolas por países (SINDAG, 2003)	68
Tabela 17: Quantidade média de nutrientes aplicados no plantio florestal do eucalipto (GAVA, 2004) ³	69
Tabela 18: Adubação utilizada nos plantios florestais da International Paper Ltda. (MENEGOL, 2005)	70
Tabela 19: Sistema de digestão da celulose dos fabricantes de papel offset (SUMERE, 2005; INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL Ltda., 2005 e KULAY, 2004)	82
Tabela 20: Notação dos estágios de branqueamento (adaptado de BRACELPA, 2002)	90
Tabela 21: Aspectos ambientais da produção de papel, empregando o processo Kraft (USEPA, 2002)	120
Tabela 22: As principais fontes de poluentes e as medidas de controle interno adotadas (CETESB, 1990)	122
Tabela 23: Principais emissões atmosféricas nas várias etapas do processo sulfato (UNEP, 1980 <i>apud</i> TECLIM, 2004).....	124
Tabela 24: Emissões por tipo de fonte (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)	127
Tabela 25: Composição qualitativa de emissões atmosféricas (CPRH e GTZ, 1998; CETESB, 1990)	127
Tabela 26: Emissões típicas de TRS (kgS/tsa) em fábricas com processo Kraft de polpação química (ABTCP, 1995).....	128

Tabela 27: Concentrações e fatores de emissão típicos de SO _x e NO _x por fontes no processo Kraft (CPRH e GTZ, 1998; ABTCP, 1995).....	128
Tabela 28: Valores referenciais de emissões por fontes (CPRH e GTZ, 1998).....	129
Tabela 29: Pontos de geração de efluentes líquidos (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)	130
Tabela 30: Principais tipos de resíduos por fonte (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)	136
Tabela 31: Resíduos sólidos de um fabricante de papel offset (SILVA; QUADROS, 2000 e LISBÃO, 1994)	137
Tabela 32: Geração de energia elétrica no Brasil em 2000 (MME, 2002 <i>apud</i> COLTRO; GARCIA; QUEIROZ, 2003)	139
Tabela 33: Fornecedores de carbonato de cálcio precipitado para as indústrias nacionais de papel e celulose (adaptado de ABIQUIM, 2004).....	141
Tabela 34: Matérias-primas para a produção de clorato de sódio (EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A., 2004)	148
Tabela 35: Rejeitos gerados na produção de clorato de sódio e a forma de controle adotada (EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A., 2004)	148
Tabela 36: Balanço material do processo SVP-LITE e SVP-SCW para produção de dióxido de cloro (MILANEZ, 2004).....	152
Tabela 37: Fornecedores de soda cáustica para as indústrias nacionais de papel e celulose (ABIQUIM, 2004)	155
Tabela 38: Fornecedores de ácido sulfúrico para as indústrias nacionais de papel e celulose (adaptado de ABIQUIM, 2004)	169
Tabela 39: Aplicação de critérios na escolha da categoria e tipo de papel (adaptado de BRACELPA, 2002).....	172
Tabela 40: Subsistemas considerados e excluídos na elaboração do ICV do papel offset.....	178
Tabela 41: Parâmetros típicos para o processo Kraft de polpação da celulose (PECE/USP, 2005).....	184
Tabela 42: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema produção florestal, baseado na produção de 1 tonelada de papel offset	186
Tabela 43: Distâncias médias das áreas florestais aos principais fabricantes de papel offset (CORNACCHIONI, 2003; IPAPER, 2006; VCP, 2002)	187
Tabela 44: Inventário dos aspectos ambientais do transporte da madeira de área florestal à indústria de papel offset, relativo a 7000 t.km (PRÉ CONSULTANTS, 2003)	188
Tabela 45: Sequência de branqueamento adotada pelos fabricantes de papel offset considerados no estudo (SUMERE, 2005; IPAPER, 2005; KULAY, 2004).....	189
Tabela 46: Consumos específicos de energia térmica e eletricidade dos estágios de produção de papel e celulose (EWING, 1985 <i>apud</i> BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)	191
Tabela 47: Estimativa de perdas de fibras em unidades de processo (adaptado de PECE/USP, 2005)	192
Tabela 48: Inventário dos aspectos ambientais consolidado para os subsistemas extração e branqueamento da celulose, baseado na produção de 1 tonelada de papel offset.....	193
Tabela 49: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema recuperação química do processo Kraft, baseado na produção de 1 tonelada de papel offset	195

Tabela 50: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema fabricação do papel offset.....	197
Tabela 51: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema estação de tratamento de efluentes, baseado em 1 tonelada de papel offset produzida.....	199
Tabela 52: Consumo específico de água, vapor e energia de um fabricante nacional de papel offset	199
Tabela 53: Inventário do ciclo de vida para 1.000 MJ (1GJ) de eletricidade gerada e distribuída no Brasil em 2000 (COLTRO; GARCIA; QUEIROZ, 2003)	202
Tabela 54: Fornecedores de carbonato de cálcio precipitado para os fabricantes de papel offset (adaptado de IMERYYS, 2005).....	204
Tabela 55: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de carbonato de cálcio precipitado	206
Tabela 56: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de clorato de sódio (EKA CHEMICALS/AKZO NOBEL, 2005)	207
Tabela 57: Processos comerciais para a obtenção de dióxido de cloro (adaptado de MILANEZ, 2004)	208
Tabela 58: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de dióxido de cloro, pelo processo SVP-Lite (adaptado de MILANEZ, 2004).....	209
Tabela 59: Fornecedores de soda cáustica para as indústrias de papel offset consideradas no estudo (CARBOCLORO, 2005 e SUZANO, 2005).....	211
Tabela 60: Inventário dos aspectos ambientais do transporte marítimo de 3000 t.km (adaptado de PRÉ-CONSULTANTS, 2003 <i>apud</i> BORGES, 2004).....	213
Tabela 61: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de soda cáustica pela tecnologia de diafragma (adaptado de BORGES, 2004).....	215
Tabela 62: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de soda cáustica pela tecnologia de mercúrio (adaptado de BORGES, 2004).....	216
Tabela 63: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de peróxido de hidrogênio (HISCHIER, R.; KUNST, H., 2004)	217
Tabela 64: Fornecedores de ácido sulfúrico para os principais fabricantes de papel offset (GALVANI, 2005; ELEKEIROZ, 2005; NITROQUIMICA, 2005).....	219
Tabela 65: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de ácido sulfúrico pelo processo DA/DC (KULAY, 2004).....	221
Tabela 66: Balanço energético do subsistema produção de ácido sulfúrico (KULAY, 2004)	222
Tabela 67: Inventário consolidado para a produção de 1 t de papel offset	223

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADMT	Tonelada métrica seca ao ar (air-dried metric tons)
AKD	Dímero de alquilceteno (alkyl ketene dimer)
AOX	Compostos orgânicos halogenados adsorvíveis (adsorbable organic halogen)
ASA	Anidrido de alquenil succínico (alkenyl succinic anhydride)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ECF	Livre de cloro elementar (elemental chlorine free)
GNC	Gases não-condensáveis
GP2	Grupo de Prevenção da Poluição
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	International Organization for Standardization
LB	Licor branco
LBF	Licor branco fraco
LN	Licor negro
LV	Licor verde
MP	Material particulado
NBR	Norma brasileira
ODMT	Tonelada métrica seca ao forno (oven-dried metric tons)
PCC	Carbonato de cálcio precipitado
Pré-O	Pré-branqueamento com oxigênio
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SS	Sólidos suspensos
SST	Sólidos totais sedimentáveis
TCF	Livre total de cloro (total chlorine free)
TRS	Compostos reduzidos de enxofre (total reduced sulphur)
UWF	Não revestidos à base de celulose (uncoated woodfree)
VOCs	Compostos orgânicos voláteis (volatile organic compound)

LISTA DE ELEMENTOS E COMPOSTOS QUÍMICOS

Ca	Cálcio
Ca(ClO) ₂	Hipoclorito de cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
(CH ₃) ₂ H	Dimetil sulfeto
(CH ₃) ₂ S ₂	Dimetil dissulfeto
CH ₃ SH	Metil mercaptana
CH ₄	Metano
Cl	Cloro
ClO ₂	Dióxido de cloro
ClO ₃ ⁻	Compostos clorados inorgânicos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
H ₂ O	Água
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
HClO	Ácido hipocloroso
K	Potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
Mg	Magnésio
Na	Sódio
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
Na ₂ S	Sulfeto de sódio
NaClO	Hipoclorito de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio molecular
N ₂ O	Óxido nitroso
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NPK	%N - %P ₂ O ₅ - %K ₂ O
O ₂	Oxigênio molecular
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Anidrido fosfórico
S	Enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre
SO _x	Óxidos de enxofre

1. INTRODUÇÃO

Um dos postulados básicos do pensamento econômico da sociedade industrial até pouco tempo, foi a imagem de um fluxo unidirecional, com duas extremidades: recursos infinitos em uma das pontas e um depósito de dimensões também infinitas, para receber todo o tipo de resíduos no outro extremo. Esta é a razão pela qual, não se considerava errado consumir indefinidamente os recursos, em particular os não-renováveis e produzir cada vez mais rejeitos, sejam para o ar, água ou solo.

Nas últimas décadas, a questão ambiental vem adquirindo importância crescente nas atividades realizadas pelo homem e a sociedade tem se mostrado, cada vez mais, preocupada em como tratar esta situação. Hoje, uma empresa que ignora a relevância dos danos que suas atividades podem causar ao meio ambiente, está determinando os limites de sua existência.

A conscientização de que esta forma de produção não é mais sustentável, passa a ser encarada pela sociedade como uma realidade contraditória a um modelo de desenvolvimento equilibrado, em harmonia com o meio ambiente e que respeite as necessidades das gerações futuras.

Frente a esta realidade, o homem necessita repensar seus conceitos de desempenho econômico e seu comportamento em relação ao meio ambiente, através de uma análise mais apurada dos efeitos que os produtos e seus processos de fabricação podem causar no meio ambiente, das necessidades reais dos consumidores para sua sobrevivência, além de questionar a geração de rejeitos, os desperdícios dos recursos naturais, a globalização dos danos ambientais, refletir a cerca das desigualdades sociais e encarar mudanças para poder reverter o atual e complexo quadro de degradação do meio ambiente.

Nos dias atuais, o desempenho econômico de um negócio é associado intimamente ao seu desempenho social e ambiental. O desempenho ambiental é de notável importância para as empresas, sendo representado pelas boas práticas industriais voltadas à prevenção da poluição.

A Prevenção à Poluição (*Pollution Prevention*), assim como várias outras práticas similares ou mesmo complementares, como por exemplo, a Produção mais Limpa (*Cleaner Production*), as Tecnologias Limpas (*Clean Technologies*), a Redução na Fonte (*Source Reduction*) e a Minimização de Resíduos (*Waste*

Minimization), têm sido empregadas amplamente por todo o mundo, com vistas à redução ou eliminação de rejeitos ou poluentes (em volume, concentração e toxicidade) na fonte geradora. Para que isto seja atingido, devem ser desenvolvidas ações que promovam a redução de desperdícios, a conservação e uso eficiente dos recursos naturais, a redução ou eliminação de substâncias tóxicas (presentes em matérias-primas ou produtos intermediários) e a minimização da quantidade dos rejeitos gerados por meio de seu reaproveitamento.

As interferências humanas no meio ambiente, de uma maneira geral, representadas por atividades econômicas, provocam alterações nos ciclos biogeofísicos, desencadeando impactos ambientais na geração de bens e serviços, providos por recursos renováveis ou não-renováveis do ecossistema.

O desenvolvimento sustentável requer métodos e ferramentas para auxiliar na quantificação e comparação de impactos ambientais das atividades humanas no provimento de bens e serviços para a sociedade. Estes bens e serviços podem ser resumidos pelo termo produtos, que são criados e utilizados para completar uma necessidade, atual ou apercebida, da sociedade (REBITZER et al., 2004).

Todo produto tem uma vida, que inclui a extração dos recursos naturais, passando pelo processamento, manufatura, uso ou consumo, pós-consumo (reaproveitamento e reciclagem) e disposição final. O conceito de vida de um produto, que é usualmente referido como o seu ciclo de vida, no qual se inclui a interação entre as diversas etapas de sua vida. Todas as etapas da vida de produto interagem com o meio ambiente provocando impactos ambientais, devido à extração de recursos naturais e a geração de rejeitos.

A busca por um modelo de desenvolvimento sustentável que seja capaz de conservar e proteger o meio ambiente é um desafio a ser enfrentado pela sociedade e principalmente, pelos tomadores de decisão, no momento em que a capacidade de consumo de recursos mostra-se superior à capacidade de reposição natural.

Um primeiro passo nesse sentido foi a mudança do foco das empresas com relação à sua gestão ambiental. Por meio de uma nova abordagem, o desempenho ambiental das empresas passa a considerar não só seu processo de produção, mas toda a cadeia produtiva e de suprimentos. Este novo modelo é conhecido atualmente como foco sobre o produto.

A necessidade da adoção de uma visão sistêmica sobre o ciclo de vida de um produto faz com que os processos industriais não sejam mais vistos como atividades independentes, mas representem uma cadeia produtiva interligada, cujos estágios interagem com o meio ambiente. Nesse sentido, a avaliação do desempenho ambiental de um produto deve contemplar a avaliação de todas as etapas do seu ciclo de vida.

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma das ferramentas mais empregadas para a avaliação dos potenciais impactos ambientais associados a um produto, além de ser a única ferramenta da gestão ambiental que avalia o produto por todo seu ciclo de vida, ou seja, desde a concepção dos recursos naturais à sua destinação final no meio ambiente.

As condições básicas que garantiram o estabelecimento da Avaliação do Ciclo de Vida como uma ferramenta da gestão ambiental de grande destaque foram sua capacidade de representar praticamente, quaisquer sistemas complexos e de simular cenários futuros. Esta ferramenta tem sido adotada por diversos autores internacionais como uma nova tendência mundial de orientação das práticas e políticas ambientais.

Por meio da Avaliação do Ciclo de Vida, pode-se identificar os aspectos ambientais em todos os elos da cadeia de produção e de consumo, desde a extração dos recursos naturais ao uso do produto, podendo compreender as etapas de embalagem, transporte, pós consumo e disposição final dos rejeitos.

Devido à quantidade de dados que necessita ser coletada em um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida, este somente torna-se viável caso exista a disponibilidade de um banco de dados constituído por inventários do ciclo de vida de elementos comuns ao ciclo de vida de uma grande diversidade de produtos. Estes inventários possuem caráter de regionalidade e representatividade para o modelo, podendo tornar novos estudos mais completos, confiáveis e fáceis de serem concluídos.

Os bancos de dados necessitam conter os elementos comuns ao ciclo de vida de diversos outros produtos. Esses elementos, que são usualmente chamados de bases de dados, constituem-se de materiais cerâmicos (como vidros, porcelanas), poliméricos (PVC, PE e PET), metálicos (aço e alumínio) entre outros (papel e

celulose). Neste banco também estão contemplados as fontes de energia não-renováveis (combustíveis fósseis e gás natural) e renováveis (hidroeletricidade e biocombustíveis), o modelo de transporte (ferroviário, rodoviário e marítimo) e de gerenciamento dos resíduos (reciclagem, incineração e aterro).

Num mundo competitivo e globalizado, tem-se notado no Brasil a grande importância da elaboração de um banco de dados próprio, considerando-se que os produtos nacionais podem sofrer uma perda de parcelas do mercado, em princípio externo, para os produtos de países que se anteciparam na capacitação e uso da Avaliação do Ciclo de Vida como uma ferramenta estratégica da gestão ambiental.

A adoção de uma conduta de responsabilidade ambiental, passa a fazer parte da estratégia empresarial para assegurar uma posição de destaque no mercado em que atua, ao mesmo tempo em que direciona suas atividades às práticas produtivas sustentáveis. Sob este aspecto, a Avaliação do Ciclo de Vida passa a ser de fundamental importância para toda e qualquer empresa que considere, de forma sistêmica, o ciclo de vida de seus produtos.

Diante deste cenário mundial, o Grupo de Prevenção da Poluição da Escola Politécnica do Departamento de Engenharia Química da Universidade de São Paulo instituiu a Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos como sua linha principal de pesquisa. O presente estudo está inserido nessa linha de pesquisa e tem como propósito a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) para o papel offset produzido no Brasil. O papel offset pertence a categoria de papéis de imprimir e, atualmente, representa o tipo de papel mais produzido no país.

O resultado deste estudo consiste em um inventário consolidado dos aspectos ambientais considerados significativos para a produção da madeira, a extração da celulose, a fabricação do papel offset e outros subsistemas associados, sob as condições tecnológicas típicas dominantes no Brasil.

A incorporação do inventário no banco de dados nacional deverá contribuir significativamente para a redução dos custos e recursos humanos necessários a estudos futuros de Avaliação do Ciclo de Vida no país.

A aplicação deste estudo é destinada aos trabalhos de Avaliação do Ciclo de Vida de produtos, onde o papel offset produzido no Brasil tenha uma participação significativa. Uma outra aplicação do estudo compreende o seu emprego pelo setor

de papel e celulose nacional como instrumento de apoio à tomada de decisões a longo prazo.

2. OBJETIVO

O objetivo do presente estudo é a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do papel offset produzido no Brasil. Este inventário consiste em uma base de dados nacional para compor o banco de dados brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida, projeto este que vem sendo executado pelo GP2 - Grupo de Prevenção da Poluição do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP - Universidade de São Paulo.

O ciclo de vida do papel offset consiste em uma série de estágios, que vão desde o cultivo da muda de eucalipto até a manufatura do papel, envolvendo uma série de processos que interagem com o meio ambiente. Por meio da coleta de dados, este estudo elabora um inventário consolidado dos principais aspectos ambientais dos estágios de produção da madeira de eucalipto, extração da celulose da madeira e seu branqueamento, fabricação do papel offset, recuperação química, tratamento de efluentes, entre outros estágios que se mostrarem significativos na elaboração do inventário. Os recursos naturais, os insumos químicos, a energia requerida, bem como as emissões para a atmosfera, os efluentes líquidos e resíduos sólidos gerados em todo o ciclo de vida considerado são levantados, calculados ou estimados, com base em critérios pré-definidos na metodologia do estudo.

O estudo pretende retratar a realidade nacional das etapas produtivas do papel offset e, para isto, aproxima-se das condições tecnológicas típicas em que este produto é fabricado.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Estado da arte da avaliação do ciclo de vida

3.1.1. Conceitos

Segundo CHEHEBE (1998), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para avaliação dos *aspectos ambientais* e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo).

De acordo com CURRAN (1996), a ACV avalia os efeitos ambientais de qualquer atividade desde a extração dos recursos materiais da terra (petróleo, minérios, etc) até o momento em que todos estes materiais retornam a terra.

A UNEP (1996) define a ACV como o processo de avaliação dos efeitos que um produto tem no meio ambiente sobre todo o seu ciclo de vida.

A ACV, em síntese, é uma ferramenta da gestão ambiental que identifica os aspectos ambientais e avalia os *impactos ambientais* associados aos *produtos*, durante todo o seu ciclo de vida, em outras palavras, “do berço ao túmulo” (da expressão em inglês *from cradle to grave*). O ciclo de vida inicia-se quando todos os recursos requeridos (sejam eles materiais ou energéticos) para a manufatura de determinado produto são extraídos da natureza e finaliza-se após o cumprimento da função pelo produto, retornando ao meio ambiente.

Para facilitar a leitura, as palavras apresentadas em itálico (que não forem da língua inglesa) no decorrer do estudo, foram conceituadas no glossário presente no final do documento.

3.1.2. História da avaliação do ciclo de vida

Segundo CHRISTIANSEN (1996), os primeiros estudos agora reconhecidos como Avaliação do Ciclo de Vida de produtos, mesmo que parciais, datam do final dos anos 60, período onde as questões ambientais, como eficiência energética, consumo de recursos e disposição de rejeitos começavam a ter importância.

Conforme o autor, muitos estudos realizados envolviam o uso de embalagens descartáveis versus às retornáveis, no entanto, a maioria dos estudos era executada em particular pelas companhias, não sendo disponibilizada para o público em geral. Estes estudos eram usados para fundamentar reclamações sobre produtos ou para estimular melhorias produtivas.

Em 1963, Harold Smith na Conferência de Energia Mundial (*World Energy Conference*) apresenta uma das primeiras publicações sobre análise do Inventário do Ciclo de Vida, com enfoque na energia empregada na produção de materiais de embalagens e intermediários químicos (CHRISTIANSEN, 1996).

Segundo CHRISTIANSEN (1996) e GRISEL (1996) um dos primeiros estudos de ACV foi encomendado pela companhia Coca-Cola, em 1969. O MRI - *Midwest Research Institute*, financiado pela companhia, comparou diferentes frascos de refrigerantes, determinando qual destes teriam os menores índices de extração de recursos naturais e de disposição de rejeitos no meio ambiente. Este processo de quantificação dos recursos ambientais e dos rejeitos gerados tornou-se conhecido como REPA (*Resource and Environmental Profile Analysis*). Um processo de inventário similar a este foi desenvolvido na Europa, sendo mais tarde denominado de Ecobalance.

Em 1974, um estudo subsequente para frascos de refrigerantes conduzidos pelo MRI para a EPA - Agência de Proteção Ambiental Americana passou a ser referido como o estudo modelo que marcou o início do desenvolvimento da ACV (CHRISTIANSEN, 1996).

Recentemente, muitos centros de pesquisa por todo o mundo trabalham com a ACV, contribuindo valiosamente para o desenvolvimento da metodologia e a disponibilização de seus bancos de dados.

A tabela 1 apresenta um resumo dos bancos de dados disponíveis no mundo, considerando a situação dos projetos e suas classes controladoras.

Tabela 1: Matriz de bancos de dados do ICV, por situação dos projetos e classes controladoras (adaptado de NORRIS e NOTTEN, 2002).

Situação dos projetos em 2002: Controle:	Completa (podendo ser atualizada)	Em andamento (com coleta de dados encaminhada)	Planejada (porém a coleta de dados ainda não foi encaminhada)
Nacional e multi-governamental ¹	Itália, Suíça (BUWAL)	Austrália, Canadá, Taipei Chinês, Japão, Coreia, Suécia (SPINE), Suíça (EcoInvent)	Estados Unidos da América
Consultoria e institutos de pesquisa (dados disponíveis) ²	Dinamarca (EDIP), Suécia (CPM)	Austria, Dinamarca, França, Alemanha, Suécia, Suíça, Estados Unidos da América e Reino Unido	
Industrial (dados disponíveis) ³	IISI, EAA, FEFCO, APME e PWMI, NiDI		
Acadêmico / Descentralizado ⁴		Bélgica, Brasil, Chile, China, Estônia, Finlândia, Índia, Países Baixos, Noruega, Polônia, África do Sul, Espanha e Vietnã	Argentina, Malásia e Tailândia

1 Esforços coordenados para produzir base de dados disponível e com representatividade nacional, envolvendo a colaboração de diversas organizações e com algum nível de financiamento governamental.

2 Inventários produzidos por institutos de pesquisa ou consultorias, tornados publicamente disponíveis em bases de dados (algumas vezes gratuita, por exemplo, bases de dados incluídas ao software de ACV)

3 Inventários produzidos sobre os auspícios de organizações industriais particulares, incluindo casos em que os dados são disponibilizados parcialmente (por exemplo, pelo pagamento de uma taxa ou somente para partes com motivação suficiente para requisição dos dados) Na maioria dos casos, a compilação dos dados é realizada por consultores, podendo ser também realizada internamente, ou por uma academia ou outras organizações de pesquisas.

4 Inclui os inventários realizados pela academia ou organizações de pesquisas, que se tornam em parte ou totalmente disponíveis em bases *ad-hoc* (por exemplo, em publicações em jornal) Os países podem ter algum grau de informações compartilhadas (por exemplo, uma sociedade de ACV).

Em novembro de 2002, foi criada a ABCV - Associação Brasileira de Ciclo de Vida, sociedade sem fins lucrativos que tem por objetivos a formação de recursos humanos qualificado, o intercâmbio de informações e o apoio necessário para o desenvolvimento de laboratórios, pesquisas, bancos de dados e normas técnicas, o que consiste na base tecnológica para facilitar a implantação da Avaliação do Ciclo de Vida das principais cadeias produtivas brasileiras (ANDRADE, 2003). A criação da entidade foi decidida em seminário realizado no Rio de Janeiro com a participação do Comitê Brasileiro da Gestão Ambiental¹, de empresas, de universidades e do Ministério de Ciência e Tecnologia.

¹ O Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (CB-38) é o organismo da ABNT responsável pela publicação de Normas Brasileiras sobre Gestão Ambiental, representando o país na preparação de

Como a ACV constitui-se em uma tendência mundial, as empresas brasileiras devem preparar-se para a implementação da rotulagem ambiental, baseado na Avaliação do Ciclo de Vida. A ACV vem sendo exigida aos fabricantes de produtos, bem como aos fornecedores das matérias-primas necessárias à sua fabricação, podendo provocar perda de competitividade das exportações brasileiras frente aos países que se mostram adiantados na capacitação e uso da ACV.

Os investimentos em Avaliação do Ciclo de Vida possibilitam maior compreensão e planejamento do sistema de produção e dos processos, podendo promover aumento de produtividade, além de garantir às empresas brasileiras a obtenção dos certificados e selos ambientais que assegurem a entrada de seus produtos nos mercados dos países industrializados.

Segundo a REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL (2002), os estudos brasileiros de ACV vem sendo realizados freqüentemente utilizando a estrutura existente nas universidades, os principais desafios estão na capacitação de recursos humanos necessários e o levantamento dos dados ambientais pelas empresas, sendo necessário algum estímulo público as empresas que realizarem esses investimentos.

Segundo IVENS CONSULT (2002), a Associação Brasileira de Ciclo de Vida tem como entidades fundadoras as seguintes organizações:

- empresas: Petrobrás, Furnas, Siemens, Bureau Veritas, BahiaSul, CVRD, Eletrobrás, CSN, Deten, Natura e CBL.
- órgão de classe: ABIQUIM, FIEMG, FIRJAN, FIESP, CNI, IBS, CNC e SENAI.
- universidades: USP, UFRJ, UFMG, UFBA, UFSC, COPPE-UFRJ e UFRGS.
- governo: IPT, INMETRO, Ministérios de Ciência e Tecnologia, Meio Ambiente e Educação e IBICT.
- entidades de pesquisas e ONGs: ITAL/CETEA e CEMPRE.

3.1.3. Os usos da ferramenta de avaliação do ciclo de vida

A Avaliação do Ciclo de Vida de produtos é, na realidade, uma ferramenta técnica que pode ser utilizada em uma grande variedade de propósitos. Segundo EPA (1993), a decisão de realizar uma Avaliação do Ciclo de Vida baseia-se, geralmente, em um ou alguns dos seguintes objetivos:

- estabelecimento de uma base de dados sobre o consumo de recursos e os rejeitos gerados pelo *sistema de produto*;
- identificação de etapas do ciclo de vida de um produto ou processo, onde as reduções do consumo de recursos e da geração de rejeitos possam ser alcançadas;
- comparação dos impactos ambientais, associados a produtos, processos ou atividades, que apresentam a mesma função;
- auxílio no desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades, permitindo melhorias em seu desempenho ambiental.

A condução de um exame detalhado do ciclo de vida de um produto é relativamente recente, surgindo como resposta ao aumento da consciência ambiental em parte das indústrias, governos e consumidores em geral (GDRC, 2004).

Atualmente, as indústrias têm enfrentado controles ambientais rigorosos e mudanças de mercado, onde consumidores têm se tornados mais exigentes em matéria ambiental. Encontrar soluções para se manterem à frente dessas questões não tem sido nada fácil e para isto as empresas necessitam encontrar ferramentas para a superação destes obstáculos. Na maioria dos casos, isto significa encontrar maneiras de diminuir o consumo de recursos e a geração de rejeitos, que por sua vez, podem conduzir a redução dos custos associados ao ciclo de vida do produto.

Segundo ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME (2000), muitas empresas tem utilizado a ACV e, como resultado, tem reduzido custos e melhorado o desempenho ambiental da organização e de seus produtos. Destaca-se, por exemplo, uma economia da Procter & Gamble de aproximadamente £50 milhões, em um período de cinco anos, pela redução dos custos de disposição de rejeitos e consumo de matérias-primas.

No âmbito industrial, a ACV encoraja as empresas a sistematicamente considerar as questões ambientais associadas às etapas de extração dos recursos naturais, seu processamento e a manufatura do produto, além de etapas externas ao

ambiente produtivo, como a distribuição, o reaproveitamento e a disposição final (CHEHEBE, 1998). As principais aplicações da ACV na indústria, encontram-se na avaliação do desempenho ambiental de seus produtos, nas melhorias de seus produtos e processos, no planejamento estratégico, nas negociações e na formulação de estratégias de marketing da empresa.

No âmbito governamental, a ACV tem sido usada como políticas para orientar o desenvolvimento e gerenciamento de produtos, após o cumprimento de sua função.

A eficiência e confiança depositada na ACV, como uma ferramenta de destaque dentre as outras ferramentas da gestão ambiental, pode ser comprovada por sua rápida expansão por todos os setores de serviços industriais (da agricultura aos produtos manufaturados, dos combustíveis primários aos estratégicos sistemas energéticos), envolvendo uma grande diversidade de aplicações, como em decisões de investimentos, planejamento estratégico, *ecodesign*, marketing, etc.

A ACV é uma ferramenta poderosa que pode auxiliar na formulação de legislações ambientais, na comparação e melhorias de produtos e de alguma forma permitir com que consumidores realizarem escolhas mais informadas. Percebe-se que cada vez mais os consumidores têm associado fatores, como benefícios, custos e desempenho ambiental, na escolha de determinado produto.

Como qualquer ferramenta, a ACV deve ser usada corretamente e a perspectiva atual é de que seja usada para demonstrar a superioridade de um produto sobre outro. No entanto, estudos recentes baseados na ACV, tem desmistificado a má fama de alguns setores concebidos como grandes fontes de poluição (GDRC, 2004).

Para GRISEL (1996), os estudos de ACV devem levar em conta cada vez mais aspectos relacionados à saúde humana, a biodiversidade, a ocupação do solo, as emissões atmosféricas entre outros. Estas demandas, entretanto, só podem ser satisfeitas se forem compatíveis com os princípios da ACV: a computação das entradas e saídas da fronteira estabelecida em um sistema representativo.

A maioria das empresas é responsável diretamente por pequena parte do ciclo de vida de seus produtos. No entanto, a responsabilidade do fabricante tem sido estendida, abrangendo não somente as operações de manufatura do produto, mas também a sua destinação pós-consumo. Para a UNEP (1996), a responsabilização sob

o ciclo de vida do produto, em algumas situações, tem sido formalizada como obrigação, como exemplo, o retorno do produto ao fabricante após o cumprimento de sua função (como no caso de pilhas, baterias de celulares, pneus, embalagens de agrotóxicos e em alguns outros países: carros e geladeiras).

O enfoque gerencial da ACV constitui em um importante instrumento para a administração dos aspectos ambientais de um sistema de produto, onde deve ser considerado sob a ótica do ciclo de vida, o nível tecnológico em que o produto é fabricado.

3.1.4. Abordagem holística

A ACV é empregada, freqüentemente, para comparar produtos com uma mesma função ou determinar as partes do ciclo de vida que são críticas para os impactos ambientais totais no ciclo de vida de um produto. No entanto, a ACV não tem como foco um único efeito de uma porção do produto, a realização de uma ACV tem a intenção de criar uma visão geral da complexidade total das interações entre os diferentes processos em uma sociedade industrial e os ecossistemas envolvidos.

Em um produto específico, como um microcomputador, a manufatura do papel usado como embalagem deste produto contribui com uma pequena parte de seu ciclo de vida, que tem associadas às manufaturas do plástico, do vidro, dos circuitos integrados, os quais envolvem o ciclo de vida de vários outros materiais. Após a sua manufatura, existem as etapas de transporte aos centros de comercialização, a etapa de uso, o possível reuso, reciclagem, e por final, após o cumprimento de sua função, a etapa de disposição final. Em todas estas etapas há o consumo de recursos naturais (materiais e energéticos) e geração de rejeitos (sejam emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) que contribuem para diferentes categorias de impacto ambiental.

A ACV como uma abordagem holística para o ciclo de vida de um determinado produto, considera as inter-relações entre os diversos subsistemas envolvidos e destes com o meio ambiente.

Apesar de sua abrangência, a ACV pode não ser uma ferramenta de gestão ambiental adequada para situações, como avaliação de riscos ou mesmo aspectos sociais. Embora a técnica se reporte a todo o ciclo de vida de um produto, ela deve

ser integrada a outros instrumentos para um adequado gerenciamento ambiental (CEMPRE / CETEA, 2002).

Segundo CHRISTIANSEN (1996), outras ferramentas de avaliação ambiental, por exemplo, aquelas que estão direcionadas a unidades de processo ou linhas de produção (como a avaliação da minimização da geração de rejeitos), a área de utilidades (avaliação de impactos ambientais) ou mesmo de produtos químicos (avaliação de impactos ambientais e avaliação de riscos) podem ser empregadas como fonte de dados complementares para a Avaliação do Ciclo de Vida de sistemas de produtos.

O mesmo autor acrescenta ainda que a ACV é uma compilação das diferentes metodologias para a avaliação de produtos, podendo ser usada também para o projeto ou mesmo reprojeto de produtos sem necessariamente implicar em anos de coleta de dados e análises toxicológicas, sendo uma ferramenta que incentiva o desenvolvimento de tecnologias mais limpas e a redução de impactos ambientais.

3.1.5. Padronização internacional

Um dos principais termos utilizados para nomear a ferramenta de avaliação ambiental de produtos foi a Análise do Ciclo de Vida. Mais recentemente, o termo Avaliação do Ciclo de Vida tem sido usado largamente em substituição a este. Segundo GDRC (2004), outros termos como *from cradle to grave*, *eco-balancing and material flow analysis* também têm sido empregados para designar a ACV.

Segundo GRISEL (1996), os workshops da SETAC - *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* têm estruturado os esforços na pré-padronização internacional da ACV na Europa e Estados Unidos. Por outro lado, a divulgação dos bancos de dados tem sido muito importante na disseminação do conceito e uso da ACV por todo o mundo.

A padronização internacional da série ISO - *International Organization for Standardization* - fornece uma estrutura consensualmente aceita para a ACV. Algumas destas normas foram traduzidas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Outras, no entanto, estão em processos de tradução. Na tabela 2, são apresentadas as referências normativas sobre o título e o ano de publicação pela ISO e pela ABNT.

Tabela 2: Estrutura ISO consensualmente aceita para a ACV (adaptado de MENDES, 2004)

Norma / Título	ISO	ABNT
NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura	1997	2001
NBR ISO 14041 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição do escopo, objetivos e análise do inventário	1998	2004
NBR ISO 14042 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Avaliação dos impactos do ciclo de vida	2000	2004
NBR ISO 14043 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Interpretação do Ciclo de Vida	2000	2005
ISO / DIS 14044 Environmental Management – Life-Cycle Assessment – Requirements and guidelines	NP	NP
ISO / TR 14047 Environmental Management- Life Cycle Impact Assessment – Examples of application of ISO 14.042	2003	NP
ISO / TS 14048 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Data documentation format	2002	NP
ISO / TR 14049 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	2000	NP

Nota: TR: relatório técnico, TS: especificação técnica, DIS: rascunho padrão internacional e NP significa: não publicada.

Durante a condução de uma ACV, a etapa de projeto e desenvolvimento é geralmente excluída, sendo assumido que sua contribuição aos impactos ambientais do ciclo de vida é insignificativa. No entanto, o projeto e desenvolvimento de um produto, conforme REBITZER et. al. (2004), pré-determina fortemente a geração de impactos ambientais nas subseqüentes etapas do ciclo de vida (por exemplo, o projeto e desenvolvimento de um automóvel podem determinar o consumo de combustível, as emissões atmosféricas por quilômetro rodado na etapa de uso e influenciar em práticas, como da reciclagem de seus materiais constituintes, na etapa de disposição final). A norma que pode ser aplicada a métodos, baseados na ACV, para propósitos de projeto e desenvolvimento de produtos é a NBR ISO / TR 14062 (2004).

A concessão de um certificado ambiental ou de um “selo verde” a um produto, como o papel por exemplo, geralmente requer uma análise global que contemple todo o seu ciclo de vida. O objetivo desta forma de rotulagem ambiental é mostrar ao consumidor quais produtos possuem um menor impacto ambiental em

relação a produtos comparáveis, disponíveis no mercado ou que não apresentem o selo. Desse modo, a melhoria do desempenho ambiental dos produtos pode ser promovida, através da mobilização de forças do mercado (MODL; HERMANN, 1995 *apud* BAJAY; BERNI; LIMA, 2005).

A certificação ambiental para produtos de base florestal, ou mesmo da indústria de papel e celulose, mostra-se fundamental para países como o Brasil, que são caracterizados como regiões exportadoras para países com rigorosa regulamentação ambiental e consumidores que possuem um poder de escolha orientado por critérios ambientais.

3.1.6. Softwares para avaliação do ciclo de vida

O software SimaPro é uma ferramenta de grande destaque na realização de estudos de ACV. Na etapa de inventário, a ferramenta computacional torna-se de grande utilidade, onde a quantidade de dados a ser trabalhada é muito extensa. Esta ferramenta possui bases de dados de processos e de avaliação de impacto que, quase sempre, podem ser alteradas e expandidas sem limitação, minimizando assim o tempo necessário à realização do estudo. Por meio desta ferramenta podem ser realizadas análises e comparações dos complexos ciclos de vida de produtos. O software pode rastrear a origem de qualquer resultado obtido.

As características de destaque da ferramenta incluem os métodos múltiplos de análises de impactos, as bases de dados múltiplas de processos e a conversão automática da unidade funcional. O SimaPro vem com diversos métodos bem conhecidos de avaliação de impactos, como o CML, Eco-indicator e Eco-points desenvolvidos por PRÉ CONSULTANTS (EPA, 2001).

A tabela 3 apresenta os principais softwares disponíveis para a realização de ACV, identificando as organizações representantes e seus respectivos países.

Tabela 3: Principais Softwares disponíveis para a realização de ACV (adaptado de CURRAN et al., 2003 e PÅLSSON, 1998)

Software / Versão	Organização representante	País
SimaPro 6.0	Pré - Product Ecology Consultants	Holanda
Ecoinvent 1.2	Swiss Centre for Life Cycle Inventories	Suíça
GaBi 4.0	IKP - Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung	Alemanha
Umberto 4.2	IFE - Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH Germany	Alemanha
TEAM 4.0	Ecobilan	França
ECO-it 1.1	PRé - Product Ecology Consultants	Holanda
LCAiT 4.0	CIT Chalmers Industriteknik	Suécia
EcoManager NC	Franklin Associates	Estados Unidos
LCNetBase NC	Sylvatica	Estados Unidos
IdeMat NC	Delft University of Technology	Holanda
LCAD NC	Battelle Memorial Institute	Estados Unidos
BEES NC	NIST - National Institute of Standards and Technology	Estados Unidos
EcoPro NC	EMPA Material Science and Technology	Suíça
PEMS NC	PIRA - Packaging Industry Research Association	Reino Unido
REPAQ NC	Franklin Associates	Estados Unidos

Nota: NC significa não conhecida

Com aplicação similar a ferramenta SimaPro, os softwares Gabi, Ecoinvent e Umberto também têm sido empregados pelo GP2, por um período experimental, através de parcerias estabelecidas recentemente, com as respectivas organizações representantes.

3.1.7. Metodologia

A NBR ISO 14040 (2001) estabelece que a ACV deve incluir as seguintes fases: definição do objetivo e do escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação de resultados, conforme mostrado na figura 1.

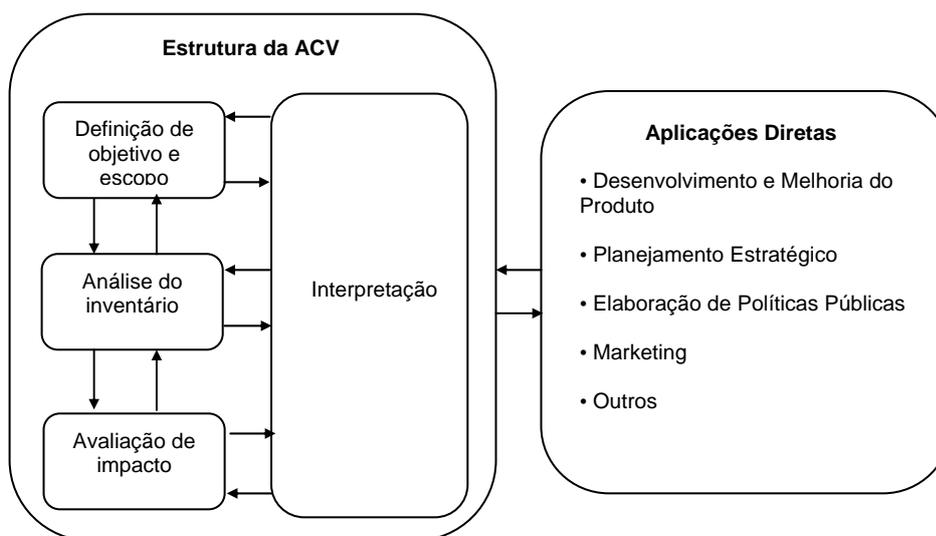


Figura 1: Metodologia da ACV (NBR ISO 14040, 2001)

Na figura 1, as setas duplas indicam a característica iterativa da metodologia, ou seja, as etapas definidas durante a execução da ACV podem ser redefinidas ao longo do estudo.

3.1.7.1. Definição de objetivo e escopo

3.1.7.1.1. Objetivo do estudo

De acordo com a NBR ISO 14040 (2001), a formulação dos objetivos de um estudo de ACV deve declarar de maneira inequívoca a aplicação pretendida, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo, isto é, para quem os resultados deste estudo devem ser disponibilizados.

3.1.7.1.2. Escopo do estudo

O escopo do estudo, segundo a NBR ISO 14040 (2001), deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a abrangência, a profundidade e os detalhes do estudo sejam compatíveis e suficientes para o atendimento dos objetivos estabelecidos.

Os objetivos e a definição do escopo é parte fundamental de uma preparação de um estudo de ACV. Muitos estudos de ACV, que a primeira vista parecem

similares, podem ter conclusões distintas, devido às diferenças na definição dos objetivos e escopo do estudo.

O escopo do estudo deve considerar os seguintes itens:

Sistema de produto

Uma das questões mais importantes da etapa de definição de objetivos e escopo é a definição do sistema de produto a ser estudado.

A NBR ISO 14041 (2004) define sistema de produto como um conjunto de unidades de processo, conectadas por fluxos de *produtos intermediários*, que desempenha uma ou mais funções definidas. Ainda segundo a norma, entende-se por unidade de processo, a menor porção de um sistema de produto para a qual devem ser coletados os aspectos ambientais na realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida.

Os sistemas de produto são subdivididos em um conjunto de unidades de processo, conforme ilustrado na figura 2.

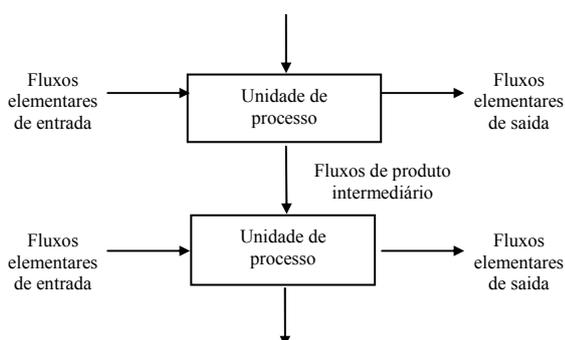


Figura 2: Exemplo de um conjunto de unidades de processo em um sistema de produto (adaptado da NBR ISO 14041, 2004)

O fluxo elementar, ou também conhecido como corrente elementar, é definido como matéria ou energia que entram no sistema, retiradas do meio ambiente sem transformação prévia ou que deixam o sistema, sendo descartadas no meio ambiente sem transformação humana subsequente (NBR ISO 14040, 2001).

Para um estudo de ACV ser completo, todos os estágios do ciclo de vida de um produto necessitam ser considerados em uma análise realizada sob a perspectiva “do berço ao túmulo”. Esta análise envolve todos os estágios das atividades de extração dos recursos naturais até a disposição final dos rejeitos. Entretanto, levando-

se em conta que um estudo de ACV pode ser demasiadamente abrangente para não se dizer interminável, mostra-se necessário adotar um modelo representativo.

O modelo representativo consiste em uma simplificação da realidade que seja passível de análise. À medida que detalhes são acrescentados ao modelo, o sistema de produto torna-se mais extenso, o que leva a um aumento da complexidade, do tempo e dos recursos necessários à realização do estudo.

Este modelo consiste em um conjunto de unidades de processo, das quais é realizado o levantamento qualitativo e quantitativo das correntes de matéria e energia que são trocadas com o meio ambiente.

Função do produto

Segundo a NBR ISO 14040 (2001), o escopo de um estudo de ACV deve especificar claramente a(s) função(ões) do produto sendo estudado.

Unidade funcional

A unidade funcional tem o propósito de fornecer uma base de referência para relacionar as entradas e saídas do sistema de produto (NBR ISO 14040, 2001).

Fronteiras do sistema de produto

Em uma ACV, as fronteiras (ou limites) do sistema de produto determinam quais unidades de processo devem ser incluídas no estudo.

Segundo NBR ISO 14040 (2001), a seleção das variáveis de entrada e saída, o nível de agregação dentro das categorias de dados e a modelagem do sistema devem ser consistentes com o escopo do estudo. O sistema deve ser modelado de tal maneira que as entradas e saídas que atravessam seus limites sejam fluxos elementares de matéria ou energia.

A fronteira de um sistema de produto está envolvida pelo meio ambiente. As entradas no sistema de produto consistem em recursos naturais (materiais e energéticos) e a saída em recursos materiais e energéticos perdidos pelo sistema de produto para o meio ambiente na forma de rejeitos, tais como emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos (CURRAN, 1996). Além do produto obtido que

após o cumprimento de sua função (durante a etapa de uso e eventual reaproveitamento) também será descartado como rejeito.

A figura 3 ilustra a fronteira de um sistema de produto.

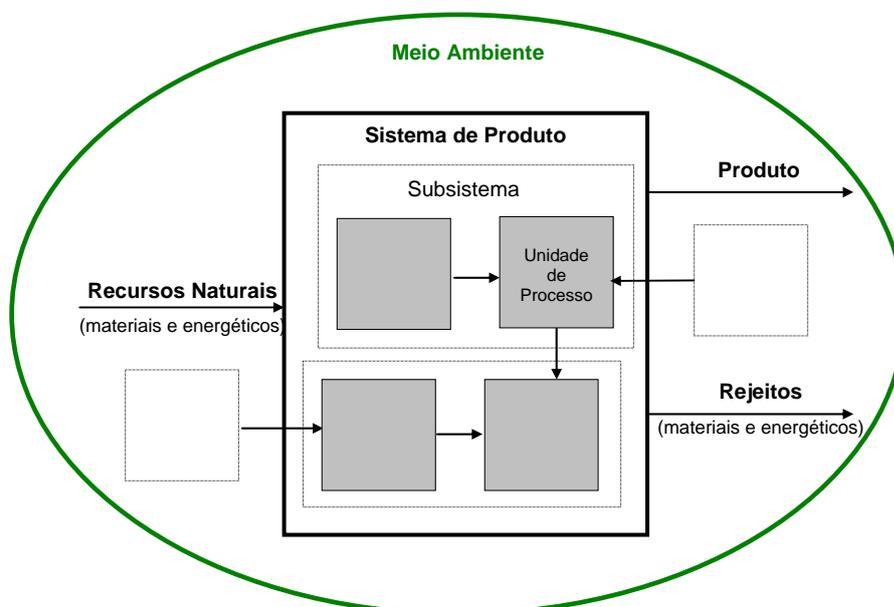


Figura 3: Fronteira de um sistema de produto, representada pela linha escura que delimita o sistema de produto do meio ambiente e de outros subsistemas (adaptado de CURRAN, 1996)

As fronteiras do estudo precisam ser definidas em diversas dimensões, como as apresentadas a seguir:

Fronteira em relação ao sistema natural

Define o início do ciclo de vida de um produto - o seu berço, onde são extraídos os recursos da natureza e o término - o seu túmulo, onde calor ou rejeitos na forma sólida, líquida ou gasosa retornam ao meio ambiente (TILLMANN e BAUMANN, 1995).

Fronteira em relação a outros sistemas

Um sistema de produto tem associada uma rede de outros sistemas, como a extração de recursos naturais, produção de insumos, geração de *subprodutos* etc. Após uma análise prévia de todo o ciclo de vida do produto, a delimitação das

fronteiras do sistema de produto pode ser realizada, determinando quais subsistemas devem ser considerados ou não no estudo. A delimitação destas fronteiras pode ser realizada com a experiência de especialistas em execução de ACV, baseando-se na contribuição de cada subsistema para os principais aspectos ambientais associados ao ciclo de vida do produto.

Fronteira geográfica

Segundo CURRAN (1996), a fronteira geográfica tem importância porque as práticas industriais, exigências da legislação e os hábitos dos consumidores variam em diferentes localidades (cidades, estados e países). A geografia é significativa em estudos de ACV, pois as realidades físicas podem ser diferentes e os efeitos destas variações podem afetar no resultado de uma ACV (por exemplo, enquanto a região Amazônica é abundante em chuvas, o semi-árido nordestino sofre com o problema da seca).

A fronteira geográfica pode ser associada às diferenças geográficas, ou seja, características que podem variar de região para região, por exemplo, podem ser representadas nas diferentes partes de um produto produzidas em diversas regiões do mundo, na infra-estrutura (a produção da eletricidade, o gerenciamento dos rejeitos, os sistemas de transporte, etc) e na sensibilidade do meio ambiente aos diversos poluentes (TILLMANN e BAUMANN, 1995).

Segundo BURGESS e BRENNAN (2001), a fronteira geográfica do sistema pode ser representada ao nível da organização, regional, nacional, continental ou mundial.

Ainda conforme os autores, a diferenciação geográfica é frequentemente questionada quanto ao uso de fatores de equivalência para algumas categorias de impacto da ACV. Enquanto esta diferenciação não é necessária para problemas mundiais, como o aquecimento global, existe a sua necessidade para problemas regionais ou locais, como a acidificação. Como exemplo, a acidificação pode resultar em praticamente nenhum efeito sobre o meio ambiente, no caso de uma capacidade de suporte alta (como no mar) ou em efeito muito significativo, quando em uma capacidade de suporte baixa (como em uma área florestal).

Alguns autores consideram que as especificações geográficas devem ser incorporadas na análise do inventário e na classificação.

Fronteira temporal

Os limites devem ser fixados não somente no espaço, mas também no tempo. Segundo CURRAN (1996), a fronteira temporal também tem importância, pois as práticas industriais, as exigências da legislação e os hábitos dos consumidores variam com o tempo. Como os estudos de ACV requerem a coleta de uma grande quantidade de dados, mostra-se necessário que os dados de cada operação sejam coletados em um período de tempo considerado representativo.

As ACVs podem avaliar impactos ambientais para situações no passado, no tempo presente ou na previsão de cenários futuros.

As limitações da fronteira temporal podem ser representadas, como exemplo, por novas tecnologias, programa de conservação de energia ou novas regulamentações para lançamentos industriais (CURRAN, 1996).

Fronteira relacionada a bens de capital e pessoais

Os bens de capital ou também chamados de bens de produção são os bens imobilizados do ativo fixo, isto é, tudo que é essencial para o funcionamento da empresa, como imóveis, ferramentas e máquinas (ANÁLISE FINANCEIRA, 2004). Os bens pessoais da atividade referem-se à alimentação, ao transporte dos funcionários, entre outros. Estudos de ACV podem abordar ou não esta fronteira, dependendo do objetivo proposto pelo estudo.

Procedimentos de alocação

Segundo BURGESS e BRENNAN (2001), a alocação é o ato de distribuir proporcionalmente a responsabilidade sobre os fluxos de consumo de recursos e geração de rejeitos de um processo em seu ciclo de vida. Quando um ou mais produtos de um sistema de produto em estudo são passíveis de comercialização ou mesmo são usados em benefício de outro sistema, a alocação precisa ser realizada para particionar suas *cargas ambientais*. A alocação de subprodutos para fluxos múltiplos de saída de um sistema de produtos tem sido adotado como uma

aproximação que reflete, tão realisticamente quanto possível, o comportamento físico de um sistema. E para cada produto e subproduto obtido atribui-se a carga ambiental que o sistema possui no momento em que é gerado.

Conforme a NBR ISO 14041 (2004) recomenda evitar a alocação sempre que possível e desse modo, a aproximação mais simples que poderia ser pensada é em atribuir todos os impactos ambientais para o produto principal, porém esta consideração não seria apropriada caso existam subprodutos e se estes forem considerados significantes contribuidores para os impactos ambientais totais do sistema de produto.

Conforme CHEHEBE (1998), a maioria dos métodos comuns para resolver os problemas de alocação tem como base o fluxo de massa, mas podem ser baseados também em outras propriedades como o volume, conteúdo energético, número de moles ou valor comercial.

Segundo BURGESS e BRENNAN (2001), na alocação por fluxo de massa, todos os fluxos do processo necessitam ter massa física mensurável. A escolha de quais propriedades físicas deve ser usada é freqüentemente arbitrária e subjetiva e os resultados da alocação são fortemente influenciados pela unidade escolhida.

A alocação por valor comercial de produtos também pode ser usada, porque é o valor econômico do produto que justifica a existência de seu processo de manufatura. Os parâmetros econômicos devem ser usados quando os valores econômicos de saída do sistema de produto forem significativamente diferentes (BURGESS e BRENNAN, 2001).

Um outro método de alocação, segundo o autor, é baseado em relações físicas e naturais de causa e efeito (casualidade), podendo envolver a identificação de fluxos associados com uma particular função do processo. Por exemplo, a emissão de mercúrio na incineração, somente pode ser alocada para fluxos de entrada no incinerador que contenham mercúrio. As relações físicas e naturais de causa e efeito não podem resolver todos os problemas de alocação dos impactos ambientais, mas algumas vezes podem solucionar parte do problema.

Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada

A avaliação de impactos do ciclo de vida é a etapa subsequente a elaboração do inventário e, desse modo, a sua realização compreende um estudo completo de ACV.

Para realizar uma avaliação de impactos é necessário que se estabeleçam critérios de avaliação dos aspectos ambientais, o que é feito pela definição de *categorias de impactos ambientais*.

A escolha das categorias de impacto ambiental para estudos de ACV tem sido realizada de forma subjetiva, devido à inexistência de padrão internacional recomendado e, deve refletir um grupo abrangente dos aspectos ambientais relativos ao sistema de produto, levando em consideração o objetivo e escopo do estudo.

No anexo A é apresentado, a título de conhecimento, as categorias de impacto ambiental recomendadas para a indústria de papel e celulose sueca.

A metodologia de avaliação de impacto e a interpretação subsequente a ser usada devem ser baseadas nas recomendações da NBR ISO 14042 (2004).

Requisitos da qualidade dos dados iniciais

Os requisitos da qualidade dos dados especificam em termos gerais as características dos dados necessários ao estudo, devendo ser definidos para possibilitar que os objetivos e o escopo do estudo de ICV (ou ACV completa) sejam alcançados.

Segundo a NBR ISO 14041 (2004), os requisitos da qualidade dos dados devem incluir os seguintes parâmetros:

- período de tempo coberto;

A idade dos dados coletados (por exemplo, dentro dos últimos 5 anos) e o período mínimo para a coleta dos dados (por exemplo, de 1 ano).

- área geográfica coberta;

A área geográfica em que os dados das unidades de processo serão coletados devem satisfazer a fronteira geográfica estabelecida no estudo, que pode ser local, regional, nacional, continental ou global.

- tecnologias cobertas;

Deve ser considerada a variação tecnológica, por exemplo, uma média dos níveis tecnológicos empregados, a melhor tecnologia disponível ou a tecnologia típica empregada.

De acordo com o nível de detalhes requerido pelo estudo, podem ser considerados também os seguintes parâmetros:

- precisão;

Medida da variabilidade dos valores de cada categoria de dados, sendo empregada, por exemplo, a variância.

- completeza;

Porcentagem de dados primários em relação ao total de dados para uma unidade de processo

- representatividade dos dados;

Avaliação qualitativa do nível em que os dados refletem o sistema real de interesse (por exemplo, período de tempo, área geográfica e tecnologias cobertas).

- consistência;

Avaliação qualitativa da uniformidade da metodologia empregada para os vários componentes analisados.

- reprodutibilidade;

Avaliação qualitativa da extensão das informações sobre a metodologia e os dados coletados, permitindo que um especialista independente reproduza os resultados obtidos no estudo.

Tipo de análise crítica

A análise crítica deve ser realizada para verificar se um estudo de ACV satisfaz os requisitos da NBR ISO 14040 (2001), deve ser definido como será conduzida e o seu responsável. A análise crítica pode ser realizada para facilitar a compreensão e aumentar a credibilidade de estudos de ACV, por exemplo, envolvendo as partes interessadas. As análises críticas devem ser conduzidas em estudos de ACV, quando os resultados são usados para apoiar *afirmações comparativas*.

Tipo e formato do relatório requerido para o estudo

Os resultados obtidos em uma ACV, segundo a NBR ISO 14040 (2001), devem ser apresentados ao público-alvo de forma fiel, completa e exata.

Categoria de dados

Segundo a NBR ISO 14041 (2004), os dados requeridos para a realização de um estudo de ACV são dependentes dos objetivos do estudo. Estes dados são coletados das unidades de processo consideradas pela fronteira do sistema de produto. Na prática, as categorias de dados podem incluir uma mescla de dados medidos, calculados ou estimados. Os principais títulos em que os dados podem ser classificados, são:

- entradas de energia, matérias-primas, materiais auxiliares e outras entradas físicas;
- produtos;
- saídas por emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos e outros aspectos ambientais.

Dentro desses títulos, as categorias de cada dados serão posteriormente detalhadas para satisfazer aos objetivos do estudo. Sob o título emissões atmosféricas, por exemplo, as categorias de dados podem ser separadamente identificadas, como em monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio etc.

Tipos de dados

Os dados primários são os dados coletados diretamente com suas fontes geradoras, que podem ser o fabricantes do produto ou mesmo seus fornecedores de matérias-primas e componentes. Os dados primários descrevem a realidade do local onde foram medidos e, em um estudo de ACV, podem ser coletados por meio de questionários ou comunicação pessoal. No caso de dados publicamente disponíveis por outras fontes, estes são considerados dados secundários.

Apesar da necessidade de que a coleta de dados seja essencialmente baseada em dados primários, nem sempre estes dados estão disponíveis. E os dados que faltam ao estudo podem ser substituídos por valores alternativos desde que os requisitos da qualidade dos dados ainda sejam garantidos. Segundo a NBR ISO 14041 (2004), os dados primários podem ser substituídos por:

- dados obtidos da literatura;
- dados estimados por balanço de massa e energia para uma determinada corrente da unidade de processo;
- dados calculados baseados em valores relatados (ou *fatores de emissão*) para unidades de processo que empregam tecnologias similares ao do estudo; ou
- atribuição do valor “zero” a *corrente* de massa ou energia, se houver justificativa;

Crítérios para a inclusão inicial de entradas e saídas

Em uma ACV completa, todos os processos seriam considerados no sistema em estudo, o que é na prática impossível devido à sua abrangência e complexidade. Conforme ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME (2000), o interesse em realizar uma ACV simplificada tem crescido e, em muitos casos, reconhece que se pode chegar a resultados tão úteis quanto aos de uma ACV completa. A ACV simplificada oferece resultados mais rápidos e menos onerosos, tendo em vista que o escopo do estudo acaba sendo reduzido.

Pelo critério da inclusão inicial de entradas e saídas (ou também conhecido como critério de corte), pode-se definir quais unidades de processo ou subsistemas ou mesmo correntes de entradas e saídas serão consideradas (ou excluídas) do sistema de produto adotado, desde que os objetivos do estudo ainda possam ser alcançados.

O critério da inclusão inicial de entradas e saídas é baseado, freqüentemente, na contribuição dos componentes do sistema para a massa total, a energia total ou a relevância ambiental.

Segundo a NBR ISO 14041 (2004), para a adoção de critérios, uma regra de decisão apropriada é a inclusão de todas as correntes de matéria (ou energia) que acumulativamente contribuam com mais do que uma porcentagem definida da massa total (ou energia total) que entra no sistema de produto que está sendo modelado.

As regras de decisão baseadas na contribuição mássica são comumente as mais usadas para exclusão de materiais auxiliares, por exemplo, materiais que contribuem com menos que 5% da massa de uma unidade de processo ou aqueles que contribuem com menos que 1% da massa total do sistema.

A adoção desses critérios, no entanto, pode ocasionar a exclusão de aspectos ambientais com significativos impactos sobre o meio ambiente. Com vista a esta observação, a tomada de decisão deve adotar também o critério de relevância ambiental. Por meio desse critério, através de uma análise mais apurada das correntes do subsistema, pode-se verificar a necessidade de que aspectos ambientais excluídos, em uma primeira análise, sejam considerados.

Na maioria dos casos, a relevância ambiental tem sido um critério de aplicabilidade limitada, pois a importância das correntes de entrada não é bem conhecida antes da coleta detalhada dos dados. E o problema básico deste critério de corte é que a escolha baseia-se em um conhecimento não muito exato do que estas correntes podem representar para o sistema de produto (SUH, 2001).

Estes três critérios, conforme a NBR ISO 14041 (2004), também podem ser empregados para identificar quais saídas para o meio ambiente devem ser consideradas.

3.1.7.2. Análise do inventário do ciclo de vida

Na etapa de definição de objetivos e escopo do estudo, pode-se providenciar um plano inicial para a condução do estudo de ACV. A etapa de análise do Inventário do Ciclo de Vida, segundo a NBR ISO 14041 (2004), envolve a coleta dos dados e procedimentos para quantificar as entradas (materiais e energéticas) e as saídas (na forma emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) ao longo do ciclo de vida do produto. O resultado obtido, até este momento, constitui-se em uma primeira etapa de um estudo completo de ACV.

A ACV é um exercício demorado e muito detalhado, a principal dificuldade em sua execução encontra-se no estágio de coleta de dados que se mostra muito trabalhoso, pois são muitas as informações necessárias para a composição do Inventário do Ciclo de Vida. Este estágio pode ser facilitado caso os limites do sistema de produto estejam claramente definidos, a metodologia do estudo seja

rigorosamente aplicada e os dados de alta qualidade estejam disponíveis. Conforme os objetivos e escopo definidos no estudo, podem ser realizadas interpretações distintas destes dados.

Ainda segundo a norma NBR ISO 14040 (2001), na medida em que os dados são coletados e maior é o conhecimento sobre o sistema, novos requisitos e limitações para os dados podem ser identificados, o que pode requerer mudanças no sistema de coleta de dados, de forma que os objetivos do estudo ainda possam ser alcançados. Nota-se que a condução da análise do Inventário do Ciclo de Vida é um processo iterativo.

Na figura 4 são ilustrados os procedimentos simplificados para a execução da análise de inventário.

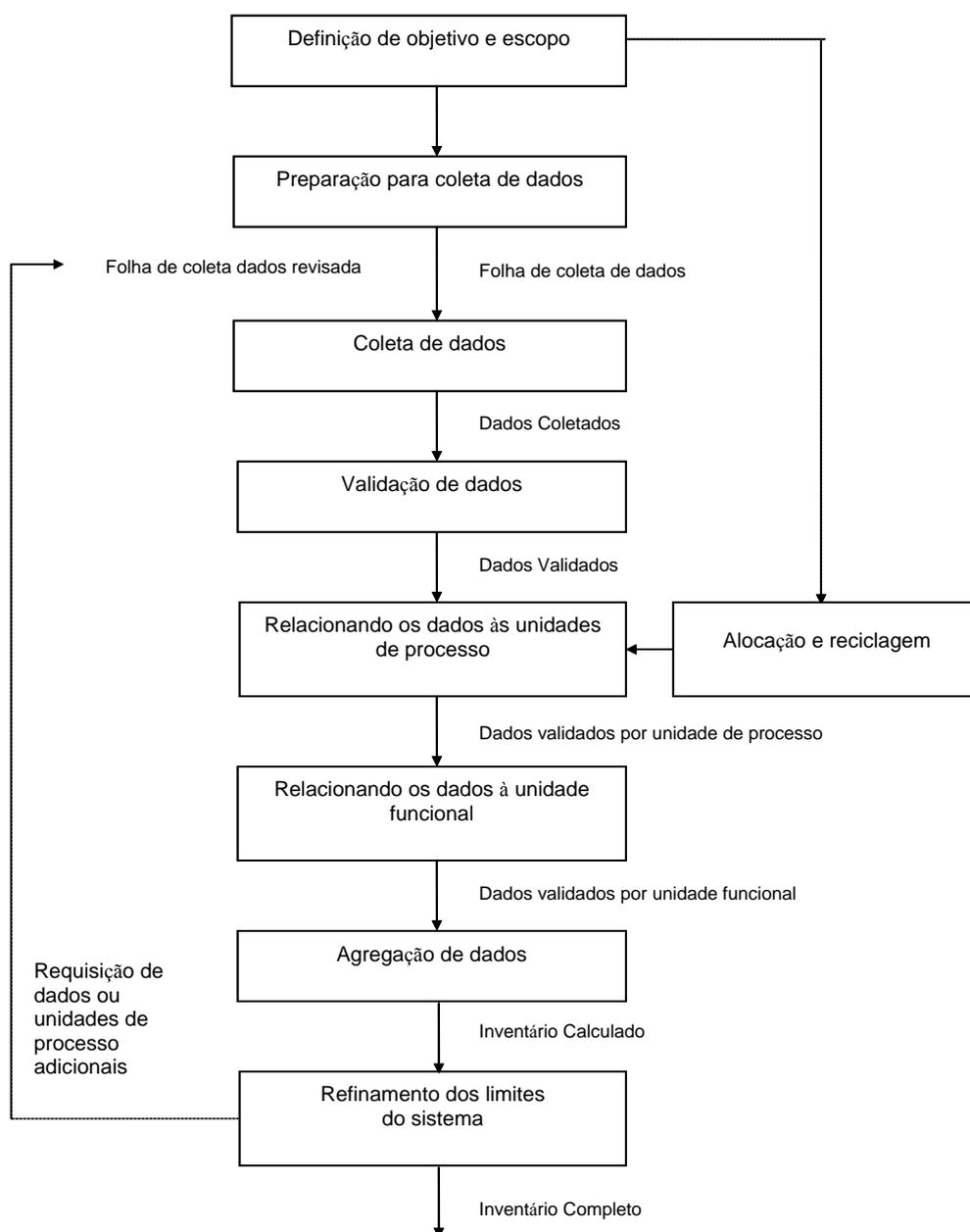


Figura 4: Procedimentos simplificados para a etapa de análise do inventário (adaptado da NBR ISO 14041, 2004)

Os dados da análise do inventário constituem a entrada para a avaliação de impacto do ciclo de vida.

3.1.7.2.1. Preparação para coleta de dados

Na preparação para a coleta de dados, conforme a NBR ISO 14041 (2004), as etapas consideradas úteis para assegurar a compreensão e a consistência do sistema de produto a ser modelado, são:

- A elaboração de um fluxograma específico para o sistema de produto considerado, incluindo as inter-relações entre as unidades de processo;
- A descrição de cada unidade de processo em detalhes, listando as categorias de dados associadas com cada uma delas;
- A descrição dos métodos de coleta de dados e de cálculo para cada categoria de dados;
- A documentação clara de qualquer caso especial ou irregularidades associadas com os dados.

3.1.7.2.2. Coleta de dados

Os procedimentos utilizados para a coleta de dados, segundo a NBR ISO 14041 (2004), variam de acordo com o sistema de produto a ser modelado em um estudo de ACV.

A coleta de dados requer conhecimento avançado do sistema de produto considerado. A descrição qualitativa e quantitativa das entradas e saídas do sistema são necessárias para determinar onde se inicia e termina o processo.

Segundo WENZEL; HAUSCHILD; ALTING (1997), a coleta de dados pode ser dividida em 4 categorias principais:

- dados não relatados (dos fabricantes, laboratórios, autoridades entre outros)
- dados da literatura (artigos científicos, relatórios públicos e de ACV)
- base de dados eletrônicas (diversas bases de dados encontram-se disponíveis)
- dados medidos ou obtidos por simuladores (para dados não existentes)

Definido o objetivo e escopo do estudo, a fase de coleta de dados primários, baseada em RIBEIRO (2004), de uma maneira geral, pode ser constituída dos seguintes procedimentos:

- a) Seleção das empresas consideradas representativas (em nível tecnológico, geográfico e temporal) para o sistema de produto em estudo;

- b) Realização de contato com as respectivas empresas;
- c) Aguardar a aprovação das empresas para a coleta de dados;
- d) Elaboração da folha de coleta de dados e a realização de sua revisão, conforme estudo preliminar do sistema em estudo;
- e) Providenciar possíveis acordos de confidencialidade com as empresas;
- f) Fornecimento da folha de coleta de dados para as empresas realizarem o seu preenchimento;
- g) Recebimento da folha de coleta de dados e tratamento dos dados coletados.

3.1.7.2.3. Tratamento dos dados

Após a coleta de dados, procedimentos de cálculo são necessários para gerar os resultados do inventário para cada unidade de processo, considerando a unidade funcional estabelecida para o sistema de produto.

As etapas operacionais necessárias para o cálculo de dados, segundo a NBR ISO 14041 (2004), envolvem:

- validação dos dados

A validade dos dados deve ser checada durante a condução da coleta de dados. A validação pode ser verificada, por exemplo, por meio de balanços de massa e de energia ou análises comparativas com fatores de emissão.

- adequação dos dados às unidades de processo

Os dados de entradas e saídas, obtidos na coleta de dados para cada unidade de processo, devem ser calculados em relação a um fluxo de referência determinado apropriadamente, por exemplo, 1 kg de material ou 1 MJ de energia.

- adequação dos dados à unidade funcional e agregação destes dados

A adequação dos dados à unidade funcional, para o sistema como um todo, é realizada pela normalização dos fluxos de todas as unidades de processo (que já foram convertidos para um mesmo fluxo de referência) para a unidade funcional adotada. O cálculo deve resultar em todos os dados de entrada e saída do sistema referenciados à unidade funcional.

Deve-se tomar algum cuidado com a agregação das entradas e saídas no sistema de produto, sendo que o nível de agregação deve ser suficiente para satisfazer os objetivos do estudo. As categorias de dados somente devem ser agregadas se relacionarem substâncias equivalentes e impactos ambientais correspondentes.

- refinamento dos limites do sistema

A decisão de quais dados devem ser incluídos deve ser baseada em uma análise criteriosa para apurar a sua importância.

As fronteiras iniciais do sistema de produto devem ser revisadas de acordo com os critérios de corte estabelecidos na definição de escopo.

O refinamento das fronteiras do sistema pode levar aos seguintes resultados:

- exclusão de estágios do ciclo de vida ou de unidades de processo que não forem significativos;
- exclusão de aspectos ambientais que se julgar insignificantes para o resultado do estudo;
- inclusão de novas unidades de processo e aspectos ambientais que se mostrarem significativos.

3.1.7.3. Avaliação do impacto do ciclo de vida

De acordo com a NBR ISO 14040 (2001), a fase de avaliação do impacto do ciclo de vida é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, empregando os resultados da análise de Inventário do Ciclo de Vida. A escolha dos impactos avaliados, o nível de detalhes, assim como as metodologias empregadas dependem dos objetivos e escopo do estudo.

A norma menciona também que uma análise crítica do objetivo e escopo do estudo de ACV pode ser realizada nesta etapa, para determinar quando os objetivos do estudo foram alcançados ou modificar o objetivo e o escopo, se a avaliação indicar que eles não podem ser alcançados.

De acordo com NBR ISO 14042 (2004) e CHEHEBE (1998), a avaliação de impacto do ciclo de vida consiste freqüentemente em três etapas distintas, representadas pela seguinte seqüência:

Seleção e definição das categorias de impacto

Realiza-se a identificação dos grandes focos de preocupação ambiental, as categorias de impactos e os indicadores necessários ao estudo.

As categorias de impacto, em geral, são estabelecidas com base no conhecimento científico e nos mecanismos ambientais referentes.

Classificação

Nesta etapa, todos os aspectos ambientais são classificados de acordo com o tipo de impactos ambientais que podem contribuir.

Algumas categorias de impactos ambientais conhecidas são: esgotamento dos recursos naturais e energéticos, aquecimento global, oxidação fotoquímica, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática, degradação da camada de ozônio etc (UNEP, 1996).

As categorias de impactos ambientais a serem empregadas para um estudo de ACV, conforme já mencionado no escopo do estudo, são adotadas arbitrariamente devido à falta de um padrão recomendado.

Caracterização

Na caracterização, a contribuição de cada impacto ambiental é quantificada. Existem diversos modelos ambientais sendo desenvolvidos para este propósito e estabelecem meios de como tratar as diferenças locais.

Estes modelos providenciam os fatores de equivalência que indicam quanto determinada substância contribui para o impacto, comparando com a substância de referência. Para o aquecimento global, por exemplo, a substância de referência é o CO₂. O efeito do aquecimento global causado pela substância CH₄ é expressa em termos equivalentes de CO₂. Para o CH₄, o valor equivalente é 11, o que significa que 1 kg de CH₄ tem o mesmo efeito de aquecimento global que 11 kg de CO₂ (UNEP, 1996).

Algumas vezes entre a caracterização e a ponderação existe a etapa de normalização.

Na etapa de normalização, os dados da caracterização são relacionados de acordo com sua contribuição para a magnitude total de cada categoria de impacto no período de um ano. Um processo, por exemplo, com a emissão atmosférica de 1 tonelada de determinado poluente, sendo a emissão global do mesmo poluente para todas as fontes de 1 milhão de toneladas no ano, o resultado desse processo para determinado impacto ambiental é equivalente a 10⁻⁶ anos ou, convertido para uma unidade de mais fácil compreensão, 32 segundos (UNEP, 1996).

Ainda segundo esta fonte, o resultado deste procedimento de normalização para cada impacto ambiental é um perfil de impactos normalizados. Desse modo pode se comparar os graus para cada tipo de impactos ambientais e mostrar quais são importantes ou não. A normalização, no entanto, não é capaz de medir a importância relativa de cada tipo de impacto ambiental.

Algumas emissões começam a serem prejudiciais sobre certas concentrações, podendo variar de região para região. De qualquer modo, não é vantagem considerar a variação regional para impactos ambientais, como aquecimento global e degradação da camada de ozônio (UNEP, 1996).

Ponderação

A última etapa da avaliação de impactos é a ponderação, esta possibilita agregar os resultados da classificação e caracterização em um índice ambiental, então validando as diferentes categorias de impactos, umas contra as outras.

O principal meio utilizado para a obtenção do índice ambiental é através da pesagem de cada impacto ambiental em termos de importância. Ainda segundo esta fonte, com a intenção de evitar a subjetividade na ponderação, devem ser adotados critérios baseados em decisões políticas (como por exemplo, objetivos em termos ambientais a serem alcançados) ou fatores econômicos (por exemplo, disposição para pagar com o fim de se evitar determinados danos ambientais).

A atenção deve-se concentrar em como a avaliação de impacto está sendo realizada na prática, pois as suposições, as escolhas das fontes de dados e dos métodos na avaliação de impacto podem influenciar o resultado final da ACV.

A figura 5 ilustra a interação entre as etapas da avaliação de impacto do ciclo de vida.

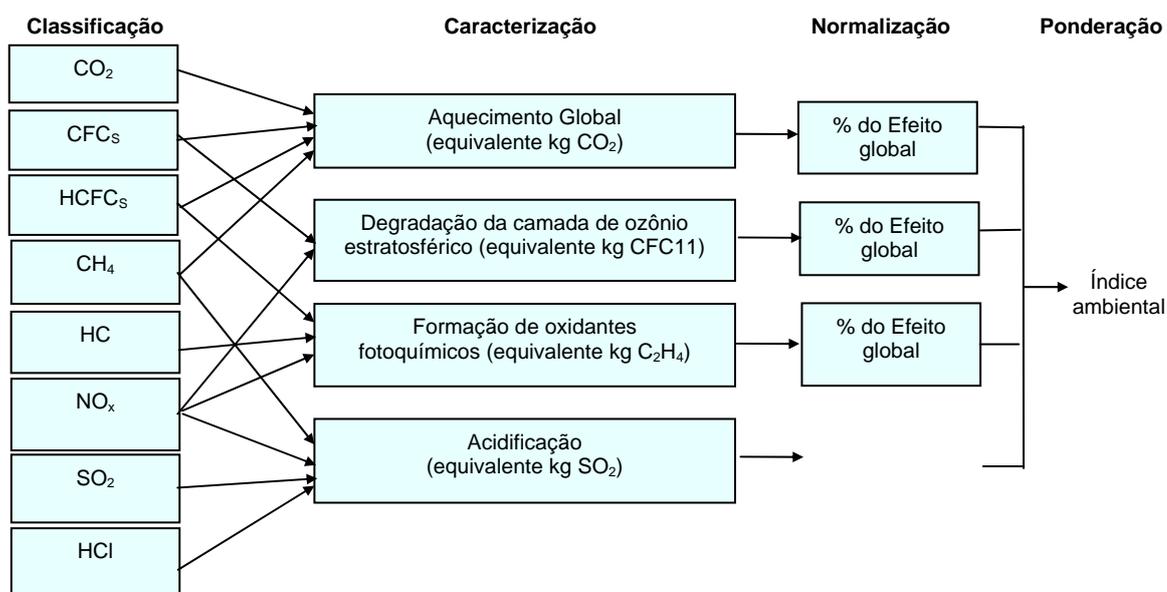


Figura 5: Fluxograma simplificado da avaliação de impacto do ciclo de vida (adaptado de ECOBILAN, 2004)

3.1.7.4. Interpretação dos Resultados

Conforme a ISO 14043 (2000), o objetivo da interpretação do ciclo de vida é analisar os resultados, apresentar conclusões, explicar as limitações e providenciar recomendações baseadas nas fases anteriores do estudo (ICV ou ACV completa).

A interpretação também tem a intenção de providenciar uma transparente, completa e consistente apresentação dos resultados do estudo, em concordância com os objetivos definidos no estudo.

3.2. Cenário atual do setor florestal

3.2.1. As florestas no Brasil

O Brasil tem a segunda maior área florestal do mundo, ficando atrás apenas da Rússia que, no entanto, possui apenas florestas temperadas e boreais. Nas áreas florestais brasileiras encontra-se a maior biodiversidade de espécies e ecossistemas do planeta e uma das mais diversas e amplas concentrações de povos e culturas indígenas (SILVA, 2003b).

A base florestal brasileira contempla florestas naturais e plantadas. A área coberta por florestas naturais corresponde a 66% do território nacional, enquanto as florestas plantadas representam apenas 0,5%. O restante, 33,5% do solo brasileiro tem seu uso na agricultura, pecuária, áreas urbanas e infra-estrutura (ABIMCI, 2003).

As florestas nativas, segundo esta fonte, correspondem às formações vegetais naturais e sua composição é dada por florestas densas, florestas abertas e outras formas de vegetação natural. As áreas cobertas por florestas densas em estimativa totalizam 412 milhões de hectares, sendo que as áreas efetivamente disponíveis para uso econômico são de 245 milhões de hectares e áreas restantes correspondem a florestas de domínio público e de preservação permanente.

A figura 6 representa o uso do solo brasileiro.

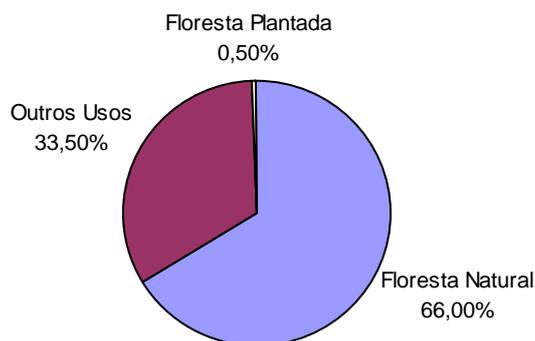


Figura 6: Uso do solo brasileiro (ABIMCI, 2003)

Conforme ABIMCI (2003), o setor florestal brasileiro mantém cerca de 4,8 milhões de hectares de florestas plantadas distribuídas em todo o território nacional. Deste montante, por volta de 3,0 milhões de hectares correspondem a plantações de eucalipto, que representa a maior área plantada de eucaliptos do mundo e 1,8 milhões de hectares pertence a plantações de pinus. O setor de papel e celulose, segundo CHARÃO e GIRARDI (2004), responde por 1,4 milhão dos hectares de florestas plantadas no país.

Os Estados que apresentam maior concentração em termos de área plantada são Minas Gerais, São Paulo e Paraná. Esta concentração de plantios decorre da vocação destes Estados na produção de papel e celulose e de produtos de madeira sólida.

Além da utilização da madeira de eucalipto ou pinus para a fabricação de papel e celulose, uma parcela destas espécies plantadas está desvinculada deste setor industrial, dando sustentação a outros consumos, como a madeira processada para a produção de compensados, aglomerados, lâminas de madeira, carvão vegetal entre outras aplicações.

As áreas de plantios de pinus concentram-se nos Estados Paraná, Santa Catarina, Bahia e São Paulo, que somam aproximadamente 73% do total plantado. Os Estados que se destacam na plantação do eucalipto são Minas Gerais e São Paulo, que respondem por cerca de 70% da plantação total (ABIMCI, 2003).

A figura 7 representa a distribuição, por Estado, das áreas de florestas de eucaliptos e pinus no Brasil.

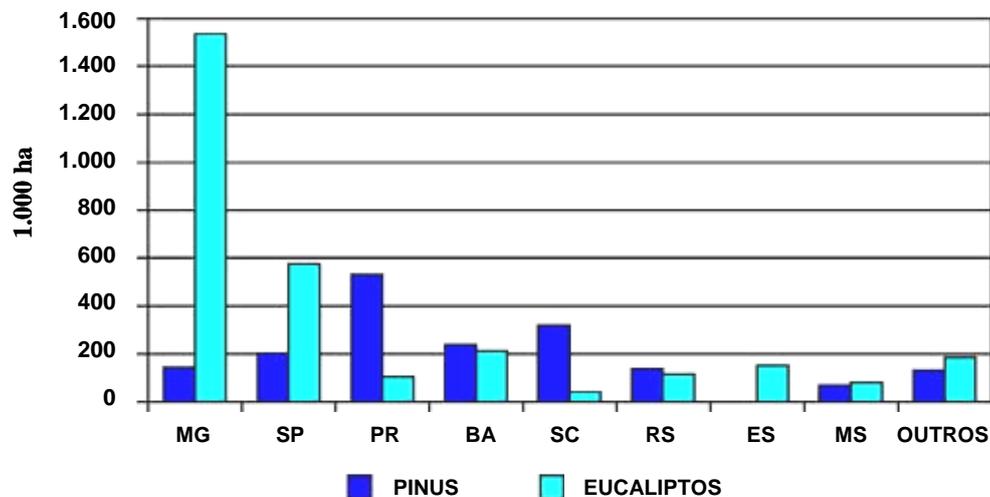


Figura 7: Áreas de florestas de eucaliptos e pinus no Brasil (ABIMCI, 2003)

Apesar do contexto apresentado, o setor tem enfrentado grandes problemas. Existe a necessidade atual de expansão da base florestal plantada, para evitar o conhecido como apagão florestal (ou seja, a queda vertiginosa na produção de madeira para o suprimento da demanda interna nacional) e assim, garantir o abastecimento das indústrias de base florestal.

Um programa de incentivos fiscais iniciado em 1967, reflorestou 6,0 milhões de hectares no Brasil, hoje reduzidos a apenas 4,8 milhões. Neste período, em Minas Gerais o plantio foi de 3,0 milhões de hectares e hoje encontra-se reduzido a cerca de 1,7 milhões de hectares (COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

Recentemente, em algumas regiões do país a crise no suprimento de madeira já é uma realidade preocupante. No Estado de Minas Gerais, por exemplo, a falta de madeira extraída de florestas plantadas (madeira esta que é usada na produção de carvão vegetal que é empregado na fabricação de ferro-gusa) tem aumentado as pressões sobre as áreas de cerrado, levando a destruição de um *bioma* estratégico e particular do Brasil.

Estudos indicam que o país necessita de plantios anuais de mais de 800 mil hectares florestais para evitar um déficit de madeira industrial da ordem de 25 milhões de metros cúbicos previstos para o ano de 2010 (ANDRADE, 2004). Em 2000, os plantios eram da ordem de 250 mil hectares florestais por ano.

Segundo URURAHY (2004), apesar da produtividade das florestas plantadas no país ser, de maneira geral, cerca de 10 vezes superior a dos líderes do mercado mundial, o ciclo de crescimento das florestas plantadas para aproveitamento industrial exige investimentos de longo prazo. Os investimentos realizados nos últimos 20 anos não vêm acompanhando o crescimento industrial, de forma que, em curto prazo, a disponibilidade da madeira para as indústrias nacionais pode se tornar insuficiente.

Ao contrário da agricultura e mesmo sendo uma atividade essencialmente agrícola, a produção florestal nacional não conta com uma política específica. Segundo SILVA (2003b) e URURAHY (2004), o Brasil já vem importando madeira da Argentina, Chile e Uruguai, países que possuem políticas institucionais de fomento florestal.

Segundo PONCE e FRANÇA (2003), um hectare de floresta plantada permite produzir trinta vezes mais produtos do que em uma floresta nativa, desde que adequadamente manejadas. Desse modo, as florestas plantadas permitem a produção de grandes volumes de madeira em prazo relativamente curtos, podendo suprir assim, praticamente, toda a demanda da indústria madeireira.

3.2.2. A importância do setor florestal

A indústria de papel e celulose representa um dos mais expressivos setores industriais do mundo, sendo de fundamental importância para a economia da América do Sul e em especial do Brasil, devido a uma série de fatores que favorecem a produção florestal nesta região.

A expressiva importância do setor florestal brasileiro para o país e para o mundo, segundo MORAES (2004c), deve-se ao cenário mundial que aponta para uma escassez crescente de madeiras e fibras.

Conforme ANDRADE (2004), a madeira é o produto de maior volume transacionado no mundo, entretanto, o Brasil tem garantido apenas 1,5% do comércio mundial de produtos florestais, estimado em US\$ 290 bilhões.

O setor florestal brasileiro, além de produzir matéria prima para importantes e estratégicos segmentos industriais nacionais, pela função que exerce no equilíbrio dos ecossistemas naturais e como fonte de biodiversidade, também contribui

significativamente para o desenvolvimento econômico e social do país. A demanda dos produtos florestais causa aumentos na produção e na geração de empregos com reflexos mais significativos. Portanto, estimular o plantio de madeira reflorestada e a exportação de produtos madeireiros é primordial para um setor que, segundo VILLELA (2004), já movimenta 4,5% do PIB nacional.

O país possui implantada uma das tecnologias mais avançadas para o desenvolvimento de florestas plantadas, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (SILVA, 2003b). Estudos indicam que apenas no território capixaba há cerca de 600 mil hectares de terras degradadas (ocupadas em sua maioria por pastagens e samambaias), as quais podem, através da adoção de plantios florestais, aumentar a renda da propriedade rural, além de possibilitar a recuperação do solo (ANDRADE, 2004).

As áreas reflorestadas pelo setor, nos Estados Brasileiros, são apresentadas no anexo B.

O país possui excelentes condições naturais para a implementação de plantações florestais, além de grandes áreas desflorestadas, tecnologia silvicultural avançada e mão-de-obra qualificada.

Estudos indicam que a criação de um posto de trabalho no setor florestal requer investimentos da ordem de US\$ 600,00, montante bem menor que no setor industrial, que é de cerca de US\$ 17 mil. A atividade florestal utiliza mão-de-obra durante todo o ano, portanto representa uma oportunidade de geração de empregos e fixação do homem no campo (URURAHY, 2004).

O modelo de desenvolvimento baseado na conversão de florestas e extração predatória de recursos naturais mostra-se insustentável, com custos ambientais muito elevados, na forma de perda da biodiversidade e emissão de carbono.

Recentemente, os plantios sustentáveis começam a serem usados em lugar de árvores centenárias no uso industrial e residencial. Por enquanto, apenas 14% de toda a madeira consumida no mundo são provenientes de plantios florestais. O Brasil tem aptidão para tornar-se uma potência mundial de produtos florestais sustentáveis. A compatibilização do desenvolvimento e a conservação ambiental com a inclusão social devem ser implantadas através de planos de manejo florestal sustentável em escala comercial, uma experiência que já vem sendo notada na região Amazônica.

3.3. Panorama geral do setor de papel e celulose

3.3.1. A indústria de papel e celulose

3.3.1.1. Produtos e tipos de fábricas

O papel é um depósito aquoso de fibras vegetais em forma de folha. Estas fibras vegetais são formadas, essencialmente, por celulose, oriunda principalmente da madeira (BAJAY; BERNI; LIMA; 2005).

Segundo ABTCP (1999), a celulose é um composto natural existente nos vegetais, de onde é extraída, podendo ser encontrada nas raízes, tronco, folhas, frutos e sementes.

A celulose é um dos principais componentes das células vegetais que, por terem forma alongada e de pequeno diâmetro (finas), são freqüentemente chamadas “fibras”. Os outros componentes encontrados, entre os principais, são a lignina e hemiceluloses.

As fibras de celulose são separadas pelo processo de polpação da madeira, podendo ser clareadas até que se alcance uma coloração branca desejada. As fibras obtidas por este processo são conhecidas como pasta de celulose.

No preparo da pasta de celulose, para a subsequente etapa de fabricação de papel, faz-se necessária a separação das fibras dos demais componentes vegetais, em particular a lignina, que atua ligando as células entre si, proporcionando rigidez à madeira.

As pastas de celulose, quase que em sua totalidade, são obtidas a partir da madeira, uma pequena parte pode ser derivada de outras fontes como sisal, linho, algodão, bambu, bagaço da cana etc. A existência destas diferentes fontes e de seus processos distintos de preparação leva a produção de pastas celulósicas com características diversas.

Segundo CNP, FINEP e IPT (1985), alguns tipos de madeira como pinho, araucária, abeto entre outros, possuem fibras longas (3,0 a 5,0 mm), enquanto que as do eucalipto, acácia, álamo, carvalho, gmelina etc, possuem fibras mais curtas e finas (0,8 a 1,2 mm). As madeiras integrantes do primeiro grupo são denominadas coníferas ou *softwood*, as do segundo são conhecidas por folhosas ou *hardwood*.

Existe ainda um terceiro grupo de celulose cujas fibras não são obtidas da madeira, como no caso do:

- algodão (semente); ou
- linho, juta, kenaf, cânhamo, rami, crotalária etc (caule); ou ainda
- sisal, fórmio, pita etc (folhas).

As fibras extraídas desses vegetais são muito longas e por isso mesmo denominadas fibras têxteis, amplamente utilizadas na indústria de tecelagem. Ainda dentro deste grupo, porém com fibras de menor comprimento, temos o bambu e o bagaço de cana.

Na tabela 4 é apresentado o tipo de fibras provenientes de florestas folhosas, florestas coníferas ou de outros vegetais.

Tabela 4: Tipos de fibras (ABTCP, 2002)

Fibras curtas - Folhosas	eucalipto acácia álamo	carvalho gmelina bétula
Fibras longas - Coníferas	pinho araucária abeto	cipreste spruce
Fibras muito longas - Têxteis	algodão linho juta kenaf cânhamo	rami crotalária sisal fórmio

No Brasil, as empresas de papel e celulose basicamente consomem a fibra curta, proveniente de florestas plantadas, essencialmente de eucalipto.

A madeira de fibra curta contém entre 16 e 24% de lignina e a de fibra longa contém entre 27 e 33% de lignina (CNP, FINEP e IPT, 1985). Quanto maior o teor de lignina e de extrativos na madeira, menor será o rendimento em celulose e a qualidade do papel produzido.

As propriedades físicas e químicas também definem a qualidade da madeira para a produção de pasta celulósica. As espécies cultivadas no Brasil apresentam madeira cuja massa específica, a 15% de umidade, varia de 600 a 1.600 kg/m³ para o eucalipto e de 400 a 520 kg/m³ para o pinus (AMBIENTE BRASIL, 2004).

No setor de papel e celulose, existem fábricas que produzem apenas a pasta de celulose como produto final e são usualmente conhecidas como de “celulose de

mercado”. Há fábricas que produzem papel e papelão, através da celulose adquirida de outras empresas e, cada vez mais, incorporam papel reciclado em seu processo. Existem também, as fábricas integradas de papel e celulose, que possuem uma vantagem significativa nos custos de fabricação frente às empresas que produzem somente papel (BAJAY; BERNI; LIMA, 2005). Esta vantagem deve-se ao processamento contínuo da pasta de celulose na produção do papel, eliminando a etapa de secagem da celulose e de seu transporte, na forma de fardos, para outras fábricas de papel.

3.3.1.2. O eucalipto e o projeto genolyptus

Segundo a REVISTA REFERÊNCIA (2003), o eucalipto é uma espécie nativa originada da Austrália e Indonésia que chegou ao Brasil, em 1825, como planta ornamental. A partir de 1904, o eucalipto teve seu plantio intensificado pelas mãos do Engenheiro Florestal Edmundo Navarro de Andrade, considerado o “pai” da Silvicultura no país. O eucalipto, assim como o pinus (espécie nativa dos Estados Unidos), adaptaram facilmente as condições climáticas e ao solo brasileiro, mesmo em ambientes secos e áreas pouco férteis. Em todo o mundo existem aproximadamente 600 espécies diferentes de eucaliptos, presentes em países como Chile, Estados Unidos e China, com climas e solos tão diversos quanto ao do Brasil.

Durante um tempo, o eucalipto foi empregado na produção de dormentes em linhas férreas que se instalavam pelo país, como lenha para as maria-fumaças e mais tarde como postes para eletrificação. Por volta de 1920, as siderúrgicas mineiras começaram a aproveitar a madeira do eucalipto, transformando-o em carvão vegetal utilizado no processo de fabricação de ferro-gusa.

Em meados do século passado, o eucalipto passou a ser utilizado na produção de fibra celulósica branqueada nas indústrias de papel e celulose. Além desta, várias outras aplicações foram desenvolvidas, por exemplo, de suas folhas é extraído o óleo essencial, empregados em produtos de limpeza, de sua casca extrai-se o tanino, utilizado no curtimento do couro, de seu tronco obtêm-se a madeira para usos diversos.

O eucalipto tem sido a espécie florestal mais plantada no território brasileiro, não só por seu crescimento rápido, mas pela variedade de usos que este pode

oferecer. Atualmente, o eucalipto brasileiro se destina basicamente à produção de celulose e papel e ao carvão que abastece as siderúrgicas.

Em 2002, a EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária juntamente com 12 empresas de papel e celulose e 7 universidades, oficializaram o Projeto Genolyptus, considerado o maior experimento florestal do mundo, com o propósito de melhorar a competitividade comercial da madeira de eucalipto produzida no país. O Projeto Genolyptus terá R\$ 12 milhões para seu custeio ao longo de cinco anos, cabendo à iniciativa privada 30% do total.

O Genolyptus é um projeto de longo prazo. Considerando que o eucalipto é uma espécie perene, os resultados de parte dos estudos de cruzamentos somente serão obtidos após os sete anos. Durante este período, uma série de atividades serão realizadas, como a avaliação de qualidade da madeira, do metabolismo da planta, de genômica, expressão gênica etc (SUGIMOTO, 2002).

Os integrantes desta rede nacional de pesquisa genômica do eucalipto são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Rede Nacional de Pesquisa Genômica do Eucalipto (SUGIMOTO, 2002)

Rede Genolyptus	
Aracruz Celulose	Bahia Sul Celulose
Celmar Indústrias de Celulose e Papel	Celulose Nipo-Brasileira
Embrana	International Papel do Brasil
Jarcel Celulose	Klabin/Riocell
Lwarcel Celulose e Papel	Rigesa Celulose, Papel e Embalagens
Universidade Católica de Brasília	Universidade Estadual de Campinas
Universidade Estadual de Santa Cruz	Universidade Federal de Goiás
Universidade Federal de Lavras	Universidade Federal de Viçosa
Universidade Federal do R.G. do Sul	Veracel Celulose
Votorantim Celulose e Papel	Zanini Florestal

Este projeto deve resultar em um mapeamento genético que, somado ao método tradicional, permitirá correlacionar qualidade, quantidade e dados bioquímicos e genômicos. Esta avaliação continuada das características da madeira e crescimento das árvores, em diferentes regiões brasileiras, pretende obter eucaliptos de melhor qualidade e densidade, resistentes a doenças e de maior adaptabilidade ao solo e variações climáticas (SUGIMOTO, 2002).

3.3.1.3. O setor de papel e celulose brasileiro

A matéria-prima fundamental de todo ciclo produtivo da fabricação de celulose e papel é a madeira, que provém exclusivamente de florestas planejadas, uma vez que o consumo de florestas nativas já se mostrou inviável, quanto à produtividade e qualidade. As fábricas geralmente administram suas próprias áreas florestais, entretanto parte da madeira pode vir de terceiros, por intermédio de fomento florestal.

De acordo com a lei societária brasileira, pelo menos 20% das terras das indústrias de papel e celulose devem ser cobertas por florestas nativas ou cultivadas com espécies indígenas de árvores no lugar de eucalipto ou pinheiro (VCP, 2002). Os programas de cultivo, implantados pelos maiores fabricantes nacionais, incluindo os de papel offset, procuram preservar a saúde das florestas e, geralmente, excedem a exigência da lei.

Por pressão do mercado consumidor, nos últimos anos foram desenvolvidos vários sistemas de certificação florestal, visando creditar e reconhecer manejos sustentáveis. Atualmente, os principais sistemas desenvolvidos são o Conselho de Manejo Florestal - FSC (sigla em inglês para *Forest Stewardship Council*) e o Sistema Nacional de Certificação Florestal - CERFLOR, que se filiou, em 2002, ao Conselho Pan-Europeu de Certificação Florestal - PEFCC (sigla em inglês para *Pan European Forest Certification Council*). O CERFLOR consiste um importante instrumento para que o setor de papel e celulose brasileiro mantenha seu ritmo de crescimento no mercado, atendendo ao crescimento da demanda mundial por produtos certificados.

Na tabela 6, são apresentadas as áreas certificadas no Brasil.

Tabela 6: Áreas certificadas no Brasil (SANTANA, 2004)

FSC		CEFLOR
Florestas Plantadas	1,1 milhão de ha	216 mil ha (Inpacel Agroflorestal Ltda. e Aracruz Celulose S/A)
Floresta Amazônia	1,3 milhão de ha	
Floresta Atlântica	69 ha	

De acordo com a AUSTIN SETORIAL (2003), o setor de papel e celulose brasileiro corresponde a 220 empresas instaladas em 450 Municípios de 16 Estados e

está presente nas 5 regiões do País. No entanto, a produção de celulose é representada principalmente pelos Estados de São Paulo, seguido pelo Espírito Santo, Santa Catarina, Minas Gerais, Paraná e Bahia. O país possui cerca de 180 fábricas de papel. A produção de papel é mais concentrada, destacando-se os Estados de São Paulo, seguido pelo Paraná e Santa Catarina, conforme pode ser observado nas tabelas do anexo C.

No Brasil, a presença dos grandes conglomerados estrangeiros tem sido modesta em face aos grupos nacionais. Os exemplos mais relevantes da participação estrangeira em alguns setores são: em celulose de mercado - Cenibra: Japan Brazil Paper and Pulp Resources Development Co. / Japão; em papel de imprimir e escrever - International Paper / EUA; em embalagens - Rigesa - Mead Westvaco Corporation / EUA e em papel de imprensa - Norske Skog PISA / Noruega (SILVA, 2003a).

Segundo VALENÇA e MATTOS (1999), a indústria brasileira de papel, com algumas exceções, apresenta plantas de pequena escala produtiva e tecnologicamente defasadas, o que as tornam mais vulneráveis e pouco atrativas para eventuais adquirintes ou potenciais novos sócios, devido a sua pouca expressividade produtiva e mercadológica. No segmento de celulose, a situação é mais confortável, devido à sua liderança como produtor de celulose de eucalipto.

A indústria nacional tem investido na modernização de suas instalações, redução de custos e em novos produtos, em vista da expansão de oportunidades do mercado global. Mesmo assim, com plantas industriais mais competitivas, os autores consideram que a maioria das companhias não possui escala empresarial suficiente para crescer no mercado mundial, desta forma poucos grupos tem condições de participar de um processo de reestruturação da indústria nacional.

A importância do país na fabricação de celulose de fibra curta, derivada do eucalipto, produto para o qual a indústria nacional ainda não encontra competidor à altura, com os mais baixos custos entre todos os concorrentes mundiais, decorre de uma combinação de fatores: tempo de crescimento das árvores, condições climáticas favoráveis, eficiência obtida no manejo florestal e vasta extensão territorial para plantio. A celulose de fibra curta é produzida por fábricas integradas à produção de papel e por fábricas independentes que destinam ao mercado externo a maior parte de sua produção.

No final da década de 80, o Brasil obteve posição de relativo destaque no cenário mundial de papel e celulose, no entanto, só se fez notar no segmento de celulose.

As empresas brasileiras, de menores portes, apresentam as mesmas características de conservadorismo que as suas congêneres mundiais, com alguns agravantes: a defasagem tecnológica existente na maioria das empresas e os altos custos de investimento e de capital. Apesar dessa situação desconfortável, um grande número de empreendimentos de pequeno porte vêm sobrevivendo, em condições de competitividade cada vez menores (VALENÇA e MATTOS, 1999).

A perspectiva do surgimento de grandes projetos de celulose de mercado é um desafio a ser enfrentado nos próximos anos, o Brasil não deixa de ser o alvo das atenções, já que parte desses investimentos deve ser aplicada no hemisfério sul. Os principais produtores brasileiros possuem o menor custo de produção de celulose, em larga escala, em todo o mundo, vantagem que lhe tem permitido passar por longos períodos com preços muito deprimidos, sem maiores contratemplos (BRACELPA, 1998).

Na tabela 7 são apresentados os custos de produção à vista estimados por tonelada da celulose de mercado Kraft de fibra curta branqueada pré-vendida na Europa do Norte, Brasil e Estados Unidos para o segundo trimestre de 2002, para produtores nas regiões indicadas.

Tabela 7: Custos de produção estimados por tonelada da celulose de mercado Kraft de fibra curta branqueada (Hawkings Wright *apud* VCP, 2002)

	Custos de Produção (US\$)
Brasil	140
Indonésia	213
Suécia	269
França	277
Portugal	297
Espanha	297
Leste do Canadá	264
Finlândia	275
Sul dos EUA	300

No caso da celulose, destacam-se cinco empresas que colocam sua produção principalmente no mercado externo, além da produção de papel por um bom número de empresas integradas. Na tabela 8, são mostrados os maiores produtores de celulose e suas respectivas participações na produção nacional.

Tabela 8: Celulose - Maiores produtores e suas participações na produção nacional (BRACELPA, 2002)

Produtores	Produção (t)		Participação (%)	
	2001	2002	2001	2002
1 Aracruz Celulose S/A	1.272.388	1.656.048	16,93	20,38
2 Klabin S/A ⁽¹⁾	1.450.242	1.581.215	19,30	19,46
3 Suzano Bahia Sul	996.254	1.012.530	13,25	12,46
4 Celulose Nipo Brasil S/A - Cenibra	792.344	830.813	10,54	10,22
5 Votorantim Celulose e Papel S/A	800.705	804.749	10,65	9,90
6 International Paper do Brasil Ltda	416.571	426.882	5,54	5,25
7 Ripasa S/A Celulose e Papel	303.238	305.505	4,03	3,76
8 Jari Celulose S/A	326.310	290.365	4,34	3,57
9 Rigesa Celulose, Papel e Embs Ltda	200.608	205.339	2,67	2,53
10 Norske Skog Pisa Ltda	154.054	147.286	2,05	1,81
11 Lwarcel Celulose e Papel Ltda	91.323	106.584	1,22	1,31
12 Iguazu Celulose, Papel S/A	91.128	91.072	1,21	1,12
13 Orsa Celulose e Papel S/A	76.211	85.412	1,01	1,05
14 Celulose Irani S/A	72.676	77.611	0,97	0,95
15 Nobrecel S/A - Celulose e Papel	49.048	58.537	0,65	0,72
16 Itapagé S/A Celulose, Papéis e Artefatos	48.786	53.821	0,65	0,66
17 Cocelpa – Cia de Celulose e Papel do Paraná	50.282	47.658	0,67	0,59
Subtotal	7.192.168	7.781.427	95,69	95,74
Demais	323.896	346.088	4,31	4,26
Total ⁽¹⁾	7.516.064	8.127.515	100,00	100,00

⁽¹⁾ Inclui celulose solúvel

A oferta brasileira de papel concentra-se em onze empresas, que disputam clientes internos e externos, tornando o mercado bastante competitivo. Na tabela 9, são apresentados os maiores fabricantes de papéis e suas respectivas participações na produção nacional.

Tabela 9: Papel - Maiores fabricantes e suas participações na produção nacional (BRACELPA, 2002)

Fabricantes	Produção (t)		Participação (%)	
	2001	2002	2001	2002
1 Klabin S/A	1.531.032	1.609.230	20,58	20,70
2 Suzano Bahia Sul	739.585	768.787	9,94	9,89
3 International Paper do Brasil Ltda	578.054	591.017	7,77	7,60
4 Votorantim Celulose e Papel S/A	554.937	569.558	7,46	7,33
5 Ripasa S/A Celulose e Papel	410.245	386.797	5,52	4,98
6 Rigesa Celulose, Papel e Embs Ltda	289.994	297.144	3,90	3,82
7 Orsa Celulose e Papel S/A	251.948	267.682	3,39	3,44
8 Trombini Embalagem Ltda	188.960	200.762	2,54	2,58
9 Norske Skog Pisa Ltda	165.708	172.960	2,23	2,22
10 Celulose Irani S/A	120.850	134.880	1,62	1,74
11 Santher - Fábrica de Papel Santa Therezinha S/A	135.261	126.223	1,82	1,62
12 Indústria de Papel e Papelão São Roberto S/A	70.508	79.924	0,95	1,03
13 Santa Maria - Cia de Papel e Celulose	62.157	77.680	0,84	1,00
14 Inpa - Indústria de Embalagens Santana S/A	71.405	76.304	0,96	0,98
15 Papyrus Indústria de Papel S/A	65.415	68.980	0,88	0,89
16 Paraibuna Papéis S/A	64.945	68.092	0,87	0,88
17 Madereira Miguel Forte S/A	64.559	67.425	0,87	0,87
18 Adami S/A Madeiras	62.187	66.797	0,84	0,86
19 Melhoramentos Papéis Ltda	57.802	61.860	0,78	0,80
20 Itapagé S/A Celulose Papéis e Artefatos	61.203	61.840	0,82	0,80
21 Cocelpa - Cia de Celulose e Papel do Paraná	55.407	59.517	0,74	0,77
22 MD Papéis Ltda	58.463	59.418	0,79	0,76
Subtotal	5.660.625	5.872.877	76,11	75,55
Demais	1.777.142	1.901.036	23,89	24,45
Total	7.437.767	7.773.913	100,00	100,00

Em 2003, a produção brasileira de celulose deverá alcançar 9 milhões de toneladas e de papel 7,9 milhões de toneladas, registrando um crescimento sobre 2002 de 12,2% e 1,6%, respectivamente, conforme é mostrado nas tabelas 10 e 11 a seguir.

Tabela 10: Desempenho setor de celulose (BRACELPA, 2003)

CELULOSE	Em mil toneladas		
	2002	Previsão 2003	Varição (%)
.Produção	8.021	9.000	12,2
.Importação	373	380	1,9
.Exportação	3.450	4.500	30,4
.Consumo Aparente	4.944	4.880	-1,3

Tabela 11: Desempenho setor de papel (BRACELPA, 2003)

PAPEL	Em mil toneladas		
	2002	Previsão 2003	Varição (%)
.Produção	7.774	7.900	1,6
.Importação	560	500	-10,7
.Exportação	1.455	1.650	13,4
.Consumo Aparente	6.879	6.750	-1,9
.Consumo Per Capita (kg/hab.)	39,5	38,2	

Em 2003, segundo BRACELPA (2003); VALENÇA e MATTOS (2003b), os principais mercados para celulose foram a Europa com 44% das exportações, seguida da Ásia com 28% e da América do Norte com 27%, enquanto as importações tiveram como origem os Estados Unidos (44%), Argentina (32%) e Canadá (6%). Para papel, os principais mercados foram a América Latina com 43% das exportações, seguida da Europa com 21% e da América do Norte com 18%.

De acordo com VALENÇA e MATTOS (2003b), as empresas Aracruz, Cenibra, Bahia Sul, Jarcel, Votorantim e Klabin são responsáveis pela quase totalidade das exportações brasileiras de celulose de eucalipto, sendo que parte da produção destas empresas está voltada ao mercado interno, liderado pela VCP, seguida da Lwarcel também produtor não integrado.

Os números do setor de papel e celulose, segundo MORAES (2004b), impressionam, considerando as produções anuais de 8,0 milhões de toneladas de celulose e 7,7 milhões de toneladas de papel (conforme mostradas nas tabelas 8 e 9), resultado de um investimento anual de US\$ 1 bilhão entre 1989 e 2001.

Em 2002, o Brasil elevou sua produção de celulose de eucalipto em 9,30%, mas não conseguiu destinar todo esse aumento à exportação, dada a expansão maior do consumo interno. No caso da fibra longa o incremento da produção foi de 4,88%, enquanto para as pastas de alto rendimento, a produção foi acrescida em 5,73%, conforme é apresentado na tabela 12 (AUSTIN SETORIAL, 2003).

Ainda segundo essa tabela, a celulose de fibra curta em 2002, representou 75% da produção nacional de celulose de mercado e pastas, a celulose de fibra longa contribuiu com 19% do total produzido e o restante de 6% correspondeu à pasta de alto rendimento.

Tabela 12: Produção nacional de pastas celulósicas, em toneladas (adaptado de AUSTIN SETORIAL, 2003)

Produtos	2001	2002	Variação (%)
Fibra Curta	5.504.971	6.016.969	9,30
. Branqueada	5.292.351	5.751.391	8,67
. Não Branqueada	212.620	265.578	24,91
Fibra Longa	1.438.495	1.508.728	4,88
. Branqueada	70.985	88.208	24,26
. Não Branqueada	1.367.510	1.420.520	3,88
Pasta de Alto Rendimento	468.561	495.398	5,73
Total	7.412.027	8.021.095	8,22

A tabela 13 mostra que, em 2002, a evolução dos papéis para fins sanitários (acréscimo de 8,4%) seguido do papel cartão (8,0%) não foram suficientes para um melhor desempenho da produção, haja vista que os papéis de imprimir e escrever registraram pequena evolução (1,7%) e as cartolinas uma regressão da produção (-6,5%) (AUSTIN SETORIAL, 2003).

Tabela 13: Produção nacional de papel, em toneladas (adaptado de AUSTIN SETORIAL, 2003)

Categoria de papéis	2001	2002	Variação (%)
Papel de imprensa	232.800	247.708	6,4
Papel de imprimir e escrever	2.126.771	2.163.201	1,7
Papel de embalagens	3.526.277	3.715.634	5,4
Fins sanitários	619.012	670.788	8,4
Papel cartão	504.618	544.785	8,0
Cartolinas	65.989	61.714	-6,5
Outros	362.300	370.083	2,1
Total	7.437.767	7.773.913	4,5

3.3.1.4. A indústria brasileira no contexto mundial

Segundo VALENÇA e MATTOS (2003a), o Brasil mantém-se na posição de 11° produtor e consumidor mundial de papel, participando com cerca de 2% da produção e consumo mundiais. O País é responsável por 1,3% das exportações

mundiais de papel, correspondendo, principalmente, aos excedentes de papel cartão, embalagens e papéis de imprimir e escrever.

Os autores destacam que, na década de 90, o consumo de papéis no Brasil apresentou média de crescimento da ordem de 5% ao ano, bastante superior a média mundial de 3,2%. No entanto, a demanda interna praticamente se estabilizou no período de 2000 à 2002.

De acordo com os autores, ao longo dos últimos dez anos, o Brasil evoluiu da 10ª para a 8ª posição entre os maiores consumidores mundiais de fibras virgens, com 2,5% do volume global consumido. O País é o 7º produtor mundial de celulose, contribuindo com 4% da produção mundial, sendo o terceiro fabricante, em termos de celulose e pastas de mercado e o maior produtor mundial de celulose de eucalipto (respondendo por aproximadamente 57% da produção mundial, conforme figura 8).

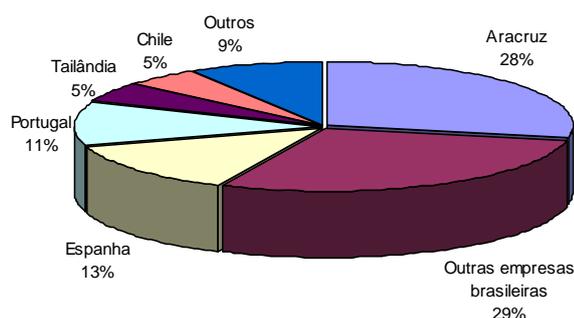


Figura 8: Oferta mundial de celulose de eucalipto de mercado (NUNES, 2004)

A empresa brasileira Aracruz Celulose S/A é líder mundial de celulose de fibra curta (com uma produção em torno de 2,4 milhões de toneladas anuais destinada quase que em sua totalidade ao mercado externo) e a segunda maior produtora de celulose de mercado no mundo, perdendo apenas para a empresa americana *Weyerhaeuser* (DAVID, 2006).

Em 2005, com o início da operação da fábrica celulose Veracell, empreendimento de alta tecnologia da Aracruz Celulose e a sueco-finlandesa Stora Enso localizado em Eunápolis/BA, há previsão de obter-se o menor custo de produção de celulose branqueada de eucalipto de mercado no mundo. A Aracruz é a primeira empresa brasileira a ser listada no índice Dow Jones de Sustentabilidade

2006. O índice Dow Jones de Sustentabilidade é atribuído a um grupo de companhias composto pelas 10% mais capacitadas no mundo em cada um dos setores definidos (ARACRUZ, 2005b).

A maior produtora de papel do mundo é a empresa sueco-finlandesa Stora Enzo, com capacidade produtiva de 15 milhões de toneladas de papel e papelão ao ano (MORAES, 2004b).

Em celulose, o país é um dos principais *players* mundiais, produzindo e abastecendo o mercado mundial com fibra curta de eucalipto com vantagens comparativas amplamente reconhecidas. O setor de celulose, em específico, tem conseguido manter as conquistas de mercado com investimentos constantes.

No mercado de papel, a expansão da capacidade produtiva tem se mostrado limitada, sendo basicamente proveniente da modernização das máquinas de papel já existentes, principalmente, nas categorias de papel de imprimir e escrever, de embalagem e de papel cartão.

No comércio internacional, além de se caracterizar como principal exportador de celulose de fibra curta de eucalipto, o Brasil é um importante fornecedor de papéis de imprimir e escrever não revestidos. Com relação às importações brasileiras, destacam-se o papel de imprensa e papéis de imprimir e escrever revestidos.

Ao longo dos últimos dez anos, a procura por fibras de eucalipto tem sido mais vigorosa que a por fibras longas.

A Europa e Ásia são regiões importadoras enquanto a América do Norte e a América Latina caracterizam-se como exportadoras, como pode ser visto na tabela 14.

Tabela 14: Comércio internacional de celulose e pastas de mercado por regiões, em milhões de toneladas (VALENÇA e MATTOS, 2003b)

	Importação	%	Exportação	%
Europa	15,3	49,2	9,0	29,1
América do Norte	4,5	14,7	14,6	47,0
África/Ásia/Oceania	10,4	33,5	2,9	9,3
América Latina	0,8	2,6	4,5	14,6
Total	31,0	100,0	31,0	100,0

A BRACELPA - Associação Brasileira de Papel e Celulose anunciou um plano de intenções de investimentos para o setor que prevê investimentos no período de 2002 até 2011, capazes de aumentar a produção de celulose e papel para 12 milhões de toneladas/ano, com a expansão das exportações de celulose para 6 milhões de toneladas/ano e as de papel para 2,7 milhões de toneladas/ano. Para isto o setor demandaria inversões anuais de US\$ 1 a US\$ 2 bilhões, comparável ao investimento médio realizado pelo setor na década de 90 (VALENÇA; MATTOS, 2003a).

O setor tem programado investimento superior a US\$ 14,4 bilhões, o qual irá permitir duplicar, ou mesmo triplicar, a produção de celulose branqueada de eucalipto, além de garantir o crescimento das cadeias produtivas secundárias ao setor. Desse investimento, a parcela de US\$ 1,9 bilhões já está reservada para a ampliação das áreas florestais no país (MORAES, 2004b, c). Tendo em vista que a atividade florestal sequestra carbono da atmosfera e considerando os esforços mundiais para a redução do efeito estufa, as indústrias brasileiras podem posicionar-se em um papel pró-ativo no cenário internacional contribuindo com este aspecto.

As perspectivas atuais são positivas para o mercado mundial de celulose e papel. A China deverá continuar como a grande balizadora do mercado, devido os elevados volumes de celulose e de papel que tem absorvido.

3.3.2. As categorias de papel fabricadas

O setor papelheiro nacional tem 66% de sua produção concentrada em um grupo principal de onze produtores, contando com fábricas dos mais diferentes portes. O segmento é dividido em seis categorias de papéis, agrupadas por uso final (VALENÇA e MATTOS, 2003a).

A figura 9 mostra a produção brasileira de papel por categorias em 2002.

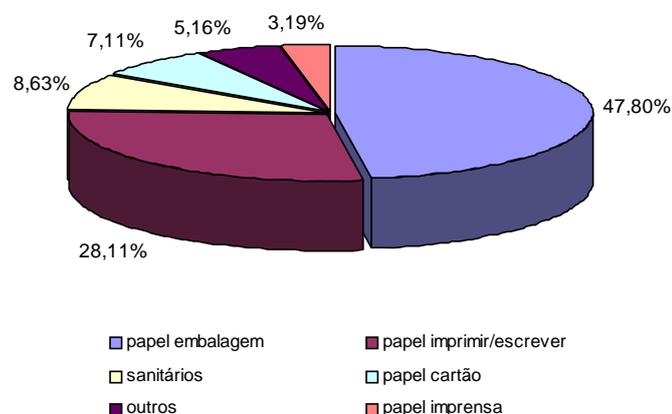


Figura 9: Produção brasileira de papel por categorias em 2002 (BRACELPA, 2002)

A evolução do consumo aparente por categorias de papéis é apresentada no anexo D.

Na seqüência é apresentada uma breve caracterização do mercado por categorias de papéis, segundo VALENÇA e MATTOS (2003a).

Papéis de embalagem

Os papéis de embalagem são empregados principalmente na produção de caixas de papelão ondulado, utilizadas no transporte de diferentes produtos. O Brasil é o maior fabricante, contribuindo com 2,8% da produção mundial dessa categoria de papel. É a categoria de papel mais consumida e produzida, representando cerca de 48% do volume total de papel fabricado e de 47% do total consumido.

As cinco maiores empresas - Klabin, Rigesa, Orsa, Trombini e Irani - concentram aproximadamente 58% da produção e apresentam-se integradas desde a floresta até as unidades de produção de caixas de papelão ondulado.

Papéis de imprimir e escrever

É a segunda categoria de papel mais produzida e consumida, participando, em 2002, com cerca de 28% da produção total de papel e de 25% do volume total consumido.

O País é o 12º maior fabricante mundial de papel de imprimir e escrever, participando com 2,3% da produção mundial.

Quatro grupos empresariais - International Paper, Suzano, Votorantim e Ripasa - concentram 79% da produção.

Os papéis de imprimir e escrever são classificados em dois grandes grupos: os revestidos e os não revestidos. Cada um destes grupos, por sua vez, subdivide-se em “à base de pasta de madeira” (*woodcontaining*) ou “à base de celulose” (*woodfree*), conforme o maior ou menor nível de utilização de pasta de madeira na sua composição fibrosa.

Os papéis mais fabricados são os “não revestidos à base de celulose” (UWF do inglês *uncoated woodfree*). Observa-se, contudo, que esses grupos vêm incrementando a produção de papéis revestidos, atendendo à crescente demanda do mercado interno e substituindo, em parte, o volume importado.

O recente aumento produtivo de papéis revestidos deve-se mais à entrada em operação dos *coaters* das fábricas de papel “revestido à base de celulose” (*coated woodfree*), do que aos “revestidos à base de pasta” (*coated woodcontaining*), cujo incremento foi concentrado na International Paper.

Papel cartão

Essa categoria de papéis tem seu uso final concentrado no atendimento da embalagem de produtos de limpeza; alimentos em geral; produtos farmacêuticos; cosméticos; produtos congelados; leite e produtos lácteos; sucos e bebidas em geral etc.

A produção de papel cartão representou, em 2002, cerca de 7% do volume total de papel produzido. O País é o 15º produtor mundial de papelcartão, com participação de 1,9% no volume mundial fabricado. As cinco maiores empresas produtoras - Klabin, Suzano, Ripasa, Papyrus e Itapagé - concentram mais de 80% da produção e a indústria gráfica representa seu maior cliente.

A utilização dessa categoria de papel está muito ligada aos hábitos dos consumidores, e o seu incremento acompanha as exigências do mercado por embalagens mais sofisticadas e com maior apelo visual. A Klabin teve ampliada sua capacidade de produção; Suzano e Ripasa investiram na modernização e ampliação

de suas plantas e a Ibema construiu nova máquina que começou a operar no final de 2002.

Papéis para fins sanitários

Essa categoria de papéis tem seu uso principalmente em papéis higiênicos, toalhas, guardanapos e lenços, além da chamada "linha institucional" para atendimento a consumidores maiores, como redes de *fast-food*, hospitais, escritórios, indústrias etc. Em 2002, essa categoria correspondeu a 8,6% do total de papéis produzidos.

O Brasil contribui com 2,8% da produção mundial, participação que vem se mantendo desde 1990. Além disso, o País é o 9º produtor mundial de papel sanitário.

As cinco maiores empresas produtoras - Klabin Kimberly, Santher, Melhoramentos, Manikraft e Mili - concentram 54% do volume total produzido e tem sido observado um movimento de aquisições, associações e modernizações implicando no aumento de capacidade e modificações de *market-share*.

Papéis de imprensa

Essa categoria de papéis é empregada, principalmente, para a impressão de jornais e periódicos. O papel de imprensa no Brasil é produzido apenas pela Norske Skog, segunda maior produtora mundial. Sua chegada ao Brasil deu-se com a aquisição da Fletcher Challenge, então proprietária da Pisa.

A máquina em funcionamento (Norske Skog Pisa) atende a menos de 1/3 do consumo nacional. Do volume total de importações de papéis no Brasil, 45% correspondem a essa categoria de papel.

No Brasil, o aumento da demanda desta categoria de papel é esperado, devido ao potencial de melhoria na distribuição de renda, mas seu consumo deverá em médio prazo, seguindo as tendências mundiais, ser mais afetado pela mídia eletrônica. O País é o 14º entre os maiores consumidores mundiais desta categoria de papel. Tendo em vista o grande déficit de oferta interna de papel de imprensa, a Norske Skog estuda a viabilidade para a instalação de uma nova máquina, com capacidade de 350 mil toneladas/ano.

Papéis especiais / outros

Essa categoria se caracteriza por elevado valor agregado e nichos específicos de mercado, englobando diferentes papéis, como os termocopiativos; papéis para fax, papéis de segurança, papéis para filtro, para cigarros etc.

A empresa Votorantim e a MD Papéis têm participação em aproximadamente 26% na produção do segmento.

A importação desse tipo de papel, em 2002, representou cerca de 14% do volume total importado pelo setor papelero.

A classificação por tipos de papéis, baseadas na nomenclatura da BRACELPA (2002), é apresentada no anexo E.

3.4. O papel offset

Segundo BRACELPA (2002), o papel offset é o papel usado geralmente para impressão offset, fabricado essencialmente com pasta química branqueada com elevada resistência da superfície.

A impressão offset originou-se da evolução do sistema de impressão litográfica, esta que foi descoberta por Alois Senefelder no ano de 1798, na cidade de Munique na Alemanha. O termo litografia origina-se do grego, onde *litos* significa pedra e *grafe* escrever. Naquela época, usava-se uma pedra porosa, onde as letras ou figuras eram marcadas a lápis ou pincel, aplicava-se graxa ou óleo de linhaça sobre as imagens e depois se umedecia a pedra. A água aderiu-se às partes não cobertas pela graxa e óleo, protegendo essas partes de modo a impedir que a tinta se espalhasse por toda a pedra quando aplicada. Em seguida colocavam-se folhas de papel sobre a pedra decalcando a imagem, em impressão direta (SOUZA, 2004).

A impressão offset, conforme CCE (2004), é o resultado da evolução da litografia, porém a um fator diferenciador e importante é que se trata de uma forma de impressão indireta. Na impressão litográfica, o papel recebe a imagem diretamente da pedra ou da chapa de zinco através de um cilindro de pressão. Já na impressão offset, o suporte recebe a imagem de uma borracha intermediária (blanqueta) entre o cilindro porta chapas e o cilindro contra pressão. O seu uso

tornou-se popular, pois sendo um processo rotativo contínuo, permite altas velocidades de impressão.

O sistema offset é um dos mais utilizados pelas gráficas, devido à alta qualidade e ao baixo custo que oferece, principalmente para grandes quantidades. A utilização de uma blanqueta para a transferência da tinta possibilita o uso dos mais diferentes tipos de superfícies de papel.

Segundo CCE (2004), o offset foi descoberto casualmente pelo norte-americano Rubel em 1904, quando admirado, observou a nitidez do repinte no verso de uma folha de papel produzida pelo padrão de borracha de uma impressora litográfica, quando inadvertidamente rodou a máquina sem papel.

De acordo com SOUZA (2004), a impressora é constituída basicamente de três cilindros:

- um grande cilindro no qual está colocada a chapa de impressão (cilindro porta-chapa), que entra em contato com os rolos de umedecimento de tintagem, recebendo uma fina camada de tinta - a parte gravada da chapa retém a tinta, ao contrário da parte não gravada.

- cilindro de blanqueta também conhecido como cilindro porta-cauchu, constituído de um lençol de borracha que receberá a imagem da chapa tintada;

- cilindro impressor (ou cilindro contra-pressão) que pressiona o papel sobre o cilindro de blanqueta, transferindo a imagem deixada na blanqueta pela chapa tintada.

A impressão offset é feita em folhas planas de papel ou filmes especiais (PVC-vinil). O processo offset permite o uso de várias cores, de modo que as cópias obtidas podem ser de alta qualidade.

As máquinas offset podem ser planas para tiragens menores ou rotativas que servem para grandes tiragens (geralmente acima de 20.000 cópias).

Segundo CCE (2002), existem impressoras offset que imprimem apenas uma cor e aquelas que imprimem até seis cores automaticamente: ciano, magenta, amarelo, preto e mais duas cores especiais.

O sucesso de uma boa impressão, ainda segundo esta fonte, depende igualmente de arquivos digitais bem construídos, fotolitos e chapas de impressão de qualidade, além de um rígido controle do funcionamento da máquina offset. As mais

modernas possuem ajustes totalmente digitais e computadorizados. Atualmente, existe um sistema que dispensa o uso dos fotolitos, também chamado de processo direto na chapa (do inglês *direct to plate*).

A produção de papel offset está concentrada, praticamente, em 4 empresas no Estado de São Paulo e 1 na Bahia. Estas empresas são, em termos de maior produção, a International Paper do Brasil Ltda., a Votorantim Celulose e Papel S.A., a Cia Suzano de Papel e Celulose, a Bahia Sul Celulose S.A. e a Ripasa S.A. Celulose e Papel.

Na tabela 15, é apresentada a produção brasileira de papel offset, por Estados, no ano de 2002.

Tabela 15: Produção brasileira de papel offset em 2002 (BRACELPA, 2002)

Papel Offset	Produção (t)
São Paulo	1.255.298
International Paper do Brasil Ltda	398.995
Votorantim Celulose e Papel SA	365.673
Cia Suzano de Papel e Celulose	274.598
Ripasa SA Celulose e Papel	188.482
Cia Santista de Papel	24.394
Arjo Wiggins Ltda	2.064
Nobrecel SA - Celulose e Papel	1.092
Bahia	
Bahia Sul Celulose SA	226.917
Rio Grande do Sul	
Riocell SA	46.907
Paraná	
Sta Maria - Cia de Papel e Celulose	37.968
Rio de Janeiro	
Filiperson Papéis Especiais Ltda	1.800
Total	1.568.890

O papel offset produzido no Brasil tem como destino, principal o mercado doméstico (63,87%), seguido do mercado externo (35,45%), como pode ser observado na figura 10.



Figura 10: Destino da produção brasileira de papel offset em 2002 (adaptado de BRACELPA, 2002)

3.4.1. Processos de extração da celulose e produção do papel

A polpação química é, basicamente, uma deslignificação da madeira em digestores por meio de reagentes químicos não-oxidantes, tais como soda, sulfato, sulfito, sulfeto, sendo acelerada por temperatura e pressões elevadas (IPT e SENAI, 1988).

A polpação química não é um processo seletivo e juntamente com a remoção da lignina podem ocorrer a solubilização e degradação da celulose e hemiceluloses, o que conseqüentemente leva a um menor rendimento e deterioração das propriedades físicas da pasta celulósica produzida. Este inconveniente geralmente é contornado com a interrupção da polpação química antes do término da deslignificação e, o uso de reagentes mais seletivos em condições de trabalho mais brandas (IPT e SENAI, 1988).

Segundo OSSES (1991, *apud* MOURA; FOELKEL; FRIZZO, 2002), no processo de polpação Kraft da celulose, utiliza-se uma solução quente (cerca de 170°C), denominada licor branco, rica em hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), para a deslignificação da madeira.

Como resultado do cozimento da madeira, tem-se a celulose e um licor negro, rico em álcali e matéria orgânica dissolvida da madeira. Esse licor deve passar por

um processo de recuperação, em que, ao final, é convertido novamente em licor branco e reutilizado no processo de digestão.

A celulose extraída vai ao processo de fabricação de papel, sendo a ela incorporada diversos outros materiais não fibrosos para conferir ao papel as características desejadas.

Na figura 11 é apresentado um fluxograma geral do processo de extração da celulose e fabricação de papel da Cia Suzano de Papel e Celulose S.A.. Este fluxograma foi adaptado às condições tecnológicas atuais da empresa.

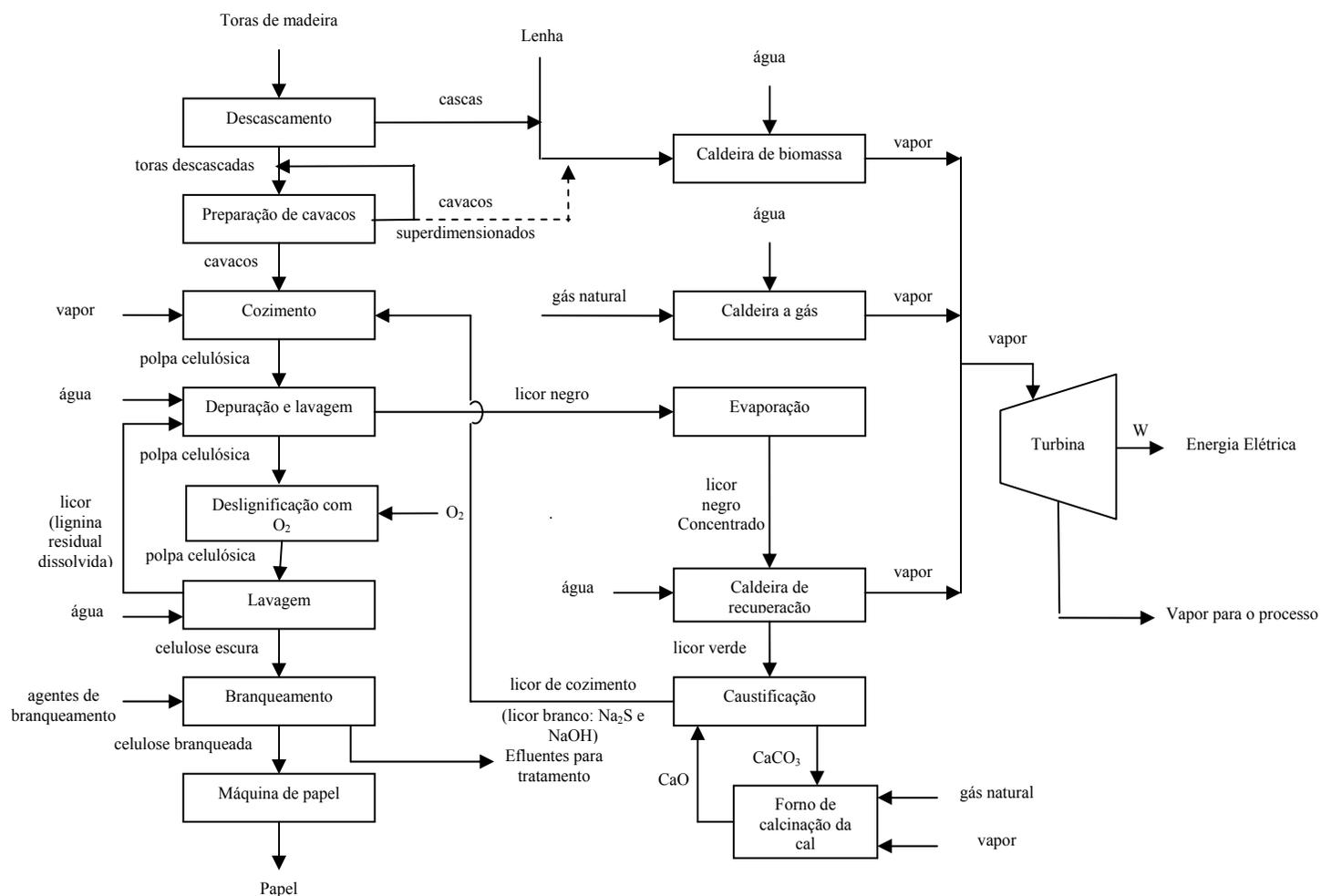


Figura 11: Fluxograma simplificado da extração da celulose e fabricação de papel da Cia. Suzano de Papel e Celulose S.A. (adaptado de CIA. SUZANO DE PAPEL E CELULOSE S.A., 1998 *apud* VELÁZQUEZ e STORTINI, 2000)

3.4.2. Subsistema produção da madeira

O subsistema produção da madeira é representado pelas atividades florestais voltadas ao fornecimento da madeira de eucalipto à indústria integrada de papel e celulose. Segundo BAJAY; BERNI; LIMA (2005), essas atividades florestais podem ser agrupadas basicamente nos seguintes fases: implantação, manejo, colheita e transporte, que devem ser cuidadosamente planejadas com o objetivo de reduzir os seus custos e impactos ambientais e sociais

Para a implantação de reflorestamento de eucalipto, é muito importante a escolha da espécie que se adapte ao local e aos objetivos pretendidos. Segundo AMBIENTE BRASIL (2004), as espécies mais adequadas para a produção de papel e celulose é o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e o *Eucalyptus urophylla*, que apresentam cerne branco e macio.

O Brasil utiliza a madeira do *Eucalyptus grandis* para a produção de celulose e papel (COSTA, 2004).

As práticas comuns no viveiro de mudas incluem a seleção cuidadosa do local, melhoria genética, controle de pragas e doenças, adição de nutrientes e irrigação controlada adequadamente.

Uma boa qualidade das mudas aumenta a sobrevivência das mudas após sua transferência do viveiro para o campo, proporcionando uma diminuição dos tratos culturais de manutenção dos plantios florestal além de poder influenciar na produtividade florestal.

No País, as árvores de eucalipto têm ciclos de crescimento curtos de aproximadamente 7 anos, comparado com a rotatividade da colheita de aproximadamente 10 a 12 anos no Chile e 25 anos para os Estados Unidos (VCP, 2002).

A produção de mudas, segundo COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO (2005), pode ser de duas maneiras: via sexuada, por meio da utilização de sementes ou via assexuada, por propagação vegetativa (estaquia, miniestaquia ou microestaquia).

Muitas empresas têm adotado a técnica de propagação vegetal de mini e microestaquia para produção de mudas clonais (COUTO e DUBÉ, 2001 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

Em 2002, cerca de 95% das atividades de plantio da empresa Votorantim Celulose e Papel S.A. foram conduzidas através de propagação vegetativa e os 5% restantes utilizando-se sementes. A propagação vegetativa resulta em árvores com fibras de madeira que são extremamente homogêneas e permite a propagação de árvores com as características genéticas mais favoráveis para a produção de celulose. Essas características incluem a taxa de crescimento rápida, a boa qualidade das fibras da madeira, resistência a doenças, árvores com menos galhos, que se “auto-podam”, e bem menos casca de árvore por metro cúbico (VCP, 2002).

Nas estufas climatizadas, as mudas obtidas por processo de clonagem permanecem por um período de 90 dias, onde cada muda consome cerca de 10 litros de água, antes de serem transportadas e transferidas para o campo (VCP, 2004).

Conforme GAVA (2004)², no viveiro de mudas, têm sido empregados basicamente os seguintes nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, boro, zinco, cobre, manganês, molibdênio e ferro. Os fungicidas raramente são utilizados no viveiro de mudas.

Preparo do solo

O preparo do solo para fins de cultivo do eucalipto tem apresentado uma ampla evolução com o passar dos anos, passando do mais esmerado ao cultivo mínimo, que tem sido adotado amplamente pelo setor florestal.

Até meados da década de 1990, o plantio de pinus e eucaliptos era precedido da queima dos resíduos do solo, como na agricultura. Segundo o IPEF - Instituto de Estudos e Pesquisas Florestais, a queima dos resíduos disponibiliza os nutrientes: cálcio, nitrogênio, fósforo, potássio e carbono para o solo em um primeiro momento, mas causa o seu empobrecimento a longo prazo e o torna suscetível à erosão (VCP, 2004).

Atualmente, o trato com o solo é realizado com o mínimo de agressão possível, para isso o uso de tratores ou máquinas pesadas é dispensado, a não ser que seja imprescindível (FESSEL, 2003).

² Informação obtida com o Eng. José Luiz Gava, coordenador de P&D em Manejo, Solos e Nutrição Florestal da Companhia Suzano de Papel e Celulose, através de contato pelo e-mail jgava@suzano.com.br, em 03 set. de 2004.

A realização da limpeza do terreno, para evitar a competição de água, luz e nutrientes pelo mato e por ervas daninhas, pode ser realizada por vários métodos, seja manual, mecânico e/ou químico, este último por meio da aplicação de herbicidas. Na época de crescimento das mudas ou sempre que houver competição por mato ou ervas daninhas, a limpeza deve ser realizada.

Define-se preparo do solo como o rompimento periódico da massa contínua do solo, objetivando facilitar a operação de plantio. Para isto, pode se utilizar os equipamentos: arados para a inversão de camadas, grades para o deslocamento lateral-horizontal, subsoladores para a desagregação superficial e enxadas rotativas para o revolvimento do solo. A função da subsolagem é o rompimento das camadas compactadas de solo em profundidades maiores que 0,40 m para que as raízes das espécies plantadas possam absorver mais água e nutrientes, quando esta desagregação é superficial, até 0,35 m de profundidade, este processo é denominado escarificação. Durante a subsolagem é realizada a primeira etapa da adubação, que consiste na aplicação de fosfato (VCP, 2004 e FESSEL, 2003).

O cultivo mínimo, ou também conhecido como cultivo reduzido do solo, é realizado apenas nas linhas de plantio, trabalhando-se em uma largura e uma profundidade menores que 0,5 m. Com este sistema, a maior parte dos resíduos culturais são mantidos sobre a superfície do solo (GONÇALVES et. al., 2000 *apud* FESSEL, 2003). Este sistema de cultivo tem sido considerado um método conservacionista desde que se mantenha os resíduos culturais em, pelo menos, 30% da superfície do solo ou em 1 t/ha (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 2001, BRADY e WEIL, 1999 *apud* FESSEL, 2003).

Atualmente, os subsoladores e escarificadores vêm substituindo com grandes vantagens os arados e grades e no sistema de cultivo mínimo, os subsoladores são os principais implementos utilizados.

No sistema de cultivo mínimo do solo, o plantio é realizado nas entre linhas do povoamento anterior, com o espaçamento de 3,0 m entre linhas e de 2,0 m de uma planta para a outra (FESSEL, 2003), perfazendo 6,0 m² de área por árvore, com cerca de 1666 plantas por hectare. Como não se realiza a queima dos resíduos neste sistema de cultivo, as folhas, galhos e cascas são mantidos nas entrelinhas de plantio, servindo como fonte natural de nutrientes.

Consumo de defensivos agrícolas

O consumo de defensivos agrícolas na silvicultura, ou plantio de árvores, é bastante reduzido quando comparado ao da agricultura. O uso de defensivos agrícolas em culturas agrícolas, como a soja, a cana-de-açúcar, o algodão, o milho e frutas cítricas pode ser bem maior que o praticado em plantios florestais.

Conforme tabela 16, o Brasil possui um consumo de defensivos agrícolas da ordem de 3,2 kg/ha/ano, considerado baixo quando comparado com os países mais avançados na agricultura (como é o caso da Holanda em que o consumo é de cerca de 17,5 kg/ha/ano).

O consumo de defensivos nos plantios florestais brasileiros, segundo SINDAG (2003) e ARACRUZ (2005a), é de cerca de 2 kg/ha/ano e em geral utilizam-se produtos de classe toxicológica IV (de tarja verde - pouco tóxicos), como formicidas (princípio ativo sulfluramida) e herbicidas (princípio ativo glifosato).

A aplicação dos defensivos mostra-se necessária no primeiro ano, quando as ervas daninhas ainda competem com as mudas por água, luz e nutrientes; após o fechamento da copa (copagem), não se faz mais necessário o seu uso (VCP, 2004).

Tabela 16: Consumo de defensivos agrícolas por países (SINDAG, 2003)

Países	kg/ha/ano
Holanda	17,5
Bélgica	10,7
Itália	7,6
Grécia	6,0
Alemanha	4,4
França	4,4
Reino Unido	3,6
Brasil	3,2
Luxemburgo	3,1
Espanha	2,6
Dinamarca	2,2
Irlanda	2,2
Portugal	1,9

Antes do plantio das mudas (cerca de 5 dias), são distribuídos micros portais no terreno para o controle de formigas e logo após o plantio é realizada outra aplicação.

Consumo de fertilizantes

De acordo com a espécie cultivada e análise da composição do solo, a realização de uma adubação correta pode melhorar as condições dos solos empobrecidos ou compactados, favorecendo o crescimento das mudas, a resistência das plantas contra insetos, fungos e doenças, por meio da disponibilização dos nutrientes necessários.

Para VCP (2004), a adubação das mudas de eucalipto, pela adição de fósforo, nitrogênio e potássio, deve ser realizada a cada três meses e apenas no primeiro ano da árvore. Após a copagem, a adubação torna-se desnecessária, pois a ciclagem de nutrientes é feita de forma natural.

Segundo GAVA (2004)³, nos plantios de eucalipto, podem ser empregados os seguintes nutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, boro, zinco e cobre. Conforme esta fonte, as quantidades de nutrientes usados podem variar muito de ano para ano. Na tabela 17, é apresentado os valores médios aplicados até o 3º ou 4º ano de idade dos plantios, considerando que o corte da madeira é realizado no 7º ano.

Tabela 17: Quantidade média de nutrientes aplicados no plantio florestal do eucalipto (GAVA, 2004)³

Nutriente	Quantidade
Potássio	180 kg de K ₂ O/ha
Nitrogênio	150 kg de N/ha
Fósforo	80 kg P ₂ O ₅ /ha
Boro	3 kg de B/ha
Zinco	2 kg de Zn/ha
Cobre	1 kg de Cu/ha

A fertilização mineral varia muito conforme as condições físicas e químicas do solo, mas geralmente é recomendada a dosagem de 120 a 150 g de NPK por planta (COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

A importância de cada nutriente nos plantios florestais é apresentada no anexo F.

³ Informação obtida com o Eng. José Luiz Gava, coordenador de P&D em Manejo, Solos e Nutrição Florestal da Companhia Suzano de Papel e Celulose, através de contato pelo e-mail jgava@suzano.com.br, em 03 set. de 2004.

Na tabela 18, é apresentada a adubação média realizada pela empresa International Paper do Brasil Ltda. para a produção de madeiras destinada à produção de celulose e papel.

Tabela 18: Adubação utilizada nos plantios florestais da International Paper Ltda. (MENEGOL, 2005)⁴

UM3	kg/ha	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	B	Cu	Zn	Época	Aplicação
calcário	2.200				660	264					0-5 meses	Área total
8:32:16	250	20	80	40	3		4			1,5	plantio	Localizado
0:0:54	180			97				1,8			5-9 meses	Filete contínuo
0:0:54	180			97				1,8			12-16 meses	Área total

Nota: NPK (8:32:16): elementos usados: MAP (fosfato de monoamônio), sulfato de amônia, superfosfato simples, cloreto de potássio e zincobor e NPK (0:0:54): elementos usados: cloreto de potássio e bórax.

Plantio do eucalipto

Após a adoção das medidas silviculturais (como, o preparo do solo e sua fertilização mineral em doses apropriadas), o plantio das mudas em campo pode ser realizado, respeitando as épocas apropriadas para a espécie (início de período de chuvas, entre os meses de setembro e novembro).

As mudas dos viveiros são transplantadas para o campo com um tamanho médio de 20 cm, o plantio destas pode ser manual, semi-mecanizado ou mecanizado. O método escolhido para o plantio deve ser condicionado à topografia do terreno, extensão da área de plantio e aos custos associados.

O plantio mecanizado, em geral, pode ser realizado em áreas planas enquanto o plantio manual em áreas com topografia acidentada. No Brasil, o principal método usado é o sistema manual devido ao baixo custo da mão-de-obra, embora grandes plantadores, como a VCP, Ripasa e Aracruz Celulose já utilizem equipamentos adaptados para essa operação. As ferramentas utilizadas para o plantio manual são o cucho e a transportadora de acionamento manual e no plantio mecanizado pode ser realizado com as semeadoras, as plantadoras ou as transplantadoras (FESSEL, 2003 e VCP, 2004).

Segundo FESSEL (2003), as semeadoras são equipamentos destinados ao plantio de sementes, as plantadoras empregadas no plantio de culturas que se

⁴ Informação obtida com o Sr. Osmar Menegol da empresa International Paper do Brasil Ltda., através de contato pelo e-mail (sac@ipaperbr.com), em 22 set. de 2005.

reproduzem por órgãos vegetativos (como raízes, colmos, tubérculos) e as transportadoras de acionamento mecânico (acopladas a um trator) são utilizadas para plantio de mudas, podendo realizar a fertilização e irrigação de forma intermitente.

Um mês após o plantio são realizados monitoramentos de campo para avaliar a necessidade de replantio das mudas que não resistiram. O replantio das mudas não deve ultrapassar, em condições ideais, o índice de 10% (VCP, 2004).

Para o início de seu desenvolvimento no campo, cada muda necessita de aproximadamente 6 litros de água distribuídos em três irrigações (ABTCP, 2004). Atualmente, encontram-se disponíveis os géis absorventes pré-hidratados para o uso juntos os pés das mudas, que disponibilizam de forma paulatina a água e assim, reduz os intervalos entre as irrigações, que de 5 dias passaram ter uma periodicidade de 20 dias (VCP, 2004).

De acordo com A CULTURA DO EUCALIPTO NO BRASIL (2000, *apud* CHARÃO e GIRARDI, 2004), uma plantação de eucalipto possui, em média, 1.500 árvores por hectare e estas árvores produzem aos 7 anos de idade por volta de 200 m³ de madeira sem casca. A produção de 1 tonelada de celulose consome por volta de 4 m³ da madeira de eucalipto. Para a produção de 1 tonelada de papel utiliza-se cerca de 0,92 tonelada de celulose, acrescida de matérias-primas não-fibrosas, como amido, caulim, cola e tinta, que proporciona melhores características ao produto final.

Manejo florestal

Os tratamentos silviculturais têm por objetivo eliminar a competição entre indivíduos, árvores e ervas daninhas invasoras, até que a floresta em formação seja capaz de dominar esta competição. Os principais tratamentos silviculturais são a desrama e o desbaste, outras atividades comuns nesta fase, segundo BAJAY, BERNI, LIMA (2005), são a capina manual, mecânica ou química, a manutenção de estradas de acesso, aceiros e terraços, aplicação de defensivos etc.

A poda de galhos ou ramos, também conhecida como desrama, é empregada para melhorar a qualidade da madeira pela obtenção de toras desprovidas de nós. Segundo SIMÕES (1989 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005), para a espécie de *Eucalyptus sp.*, a primeira desrama normalmente é realizada aos 12 ou 18

meses ou quando o diâmetro médio do povoamento tiver alcançado 10 cm, removendo-se até 30% da copa viva (a remoção pode chegar em até 50% da copa viva para povoamentos mais densos).

Os desbastes são cortes parciais realizados em povoamentos ainda precoces, com o objetivo de estimular o crescimento das árvores remanescentes através de uma nova redistribuição que se estabelece, aumentando a produção da madeira utilizável. Nesta operação, são removidas as árvores excedentes, para que se possa concentrar o potencial produtivo do povoamento num número limitado de árvores selecionadas (AMBIENTE BRASIL, 2004).

Corte do eucalipto

O corte do eucalipto normalmente é raso e realizado no 7º ano quando se objetiva quantidade de toras; a brotação da próxima cultura pode ser orientada para a rotação e a próxima colheita deve ser realizada em idade semelhante.

Conforme a espécie cultivada, a altura do corte (com relação ao solo) define a percentagem de sobrevivência das brotações. A fertilização mineral, para SIMÕES (1989 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005), pode ser empregada para aumentar a sobrevivência e vigor das brotações e, normalmente, emprega uma formulação de 150 g por cepa, aplicada em sulco nas entrelinhas ou a lanço, antes do corte.

A talhadia foi um sistema de regeneração florestal muito usado para manejar plantios de eucalipto no Brasil. Atualmente, este sistema não tem sido muito empregado pelas empresas, devido ao decréscimo da produtividade observado nas rotações posteriores e a disponibilidade, no mercado, de material genético de alta qualidade.

Segundo COUTO e DUBÉ, (2001 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005), o replantio da cultura, após o primeiro corte, tem sido empregado pelas empresas, preferencialmente, a brotação da cultura.

A partir da década de 90, as intensificações das operações de colheita mecanizada da madeira aumentou a preocupação com a compactação dos solos. A compactação pode ser definida como um novo arranjo e aproximação das partículas do solo, apresentando redução da macroporosidade e aumento da densidade do solo.

O processo de compactação dos solos provoca uma redução das taxas de infiltração da água e da aeração do solo, além de um aumento da resistência a elongação radicular das plantas. Avaliando os efeitos da colheita mecanizada de eucalipto na compactação do solo, foi observado, segundo FESSEL (2003), uma redução significativa da produtividade do eucalipto aos 7 anos de idade.

O corte manual da madeira de eucalipto deve ser chanfrado ou em bisel, podendo ser realizado com o emprego de machado ou motosserra.

3.4.2.1. Subsistema transporte da madeira

Todo o sistema envolvido no transporte da madeira de eucalipto das áreas florestais para o suprimento das fábricas de papel offset é 100% rodoviário.

De acordo com IPAPER (2006)⁵, o tipo de transporte adotado compreende dois tipos de composição:

1° tipo: caminhão plataforma 6x4 com julieta acoplada, conhecido como Romeu e Julieta, com composição total de 07 eixos, utilizado em distâncias curtas.

2° tipo: caminhão cavalo mecânico 6x2 com 02 trallers acoplado, conhecido como B-Trem, com composição total também de 07 eixos, utilizado em distâncias mais longas.

Os dois tipos caminhões (com potência média de 380 CVs) admitem um peso bruto total da composição (PBTC) de 57 toneladas e carga líquida média transportada de 35 t de madeira. A madeira transportada por esta empresa possui dimensão de 2,25 m de comprimento.

3.4.3. Subsistema extração da celulose

A madeira utilizada na fabricação de pastas celulósicas é formada por fibras dispostas em múltiplas camadas, sujeitas a forças que atuam entre as fibras além da lignina (um dos principais componentes da madeira) que atua como ligante.

As características, qualidade e utilizações da pasta a ser produzida envolvem a quantidade e tipo de energia (química ou mecânica) empregada no processo de separação destas fibras (CNP, FINEP e IPT, 1985).

⁵ Informação obtida com o Serviço de Atendimento ao Consumidor da empresa International Paper do Brasil Ltda. (www.internationalpaper.com.br), em 23 de jun. de 2006.

3.4.3.1. Processos de preparação de pasta celulósica

Existem muitos métodos diferentes para a preparação de pasta celulósica, desde os puramente mecânicos até os químicos, nos quais a madeira é tratada com produtos químicos, sob pressão e aquecimento (temperaturas maiores que 150° C), para dissolver a lignina, havendo inúmeras variações entre os dois extremos.

Em 2002, como observado na figura 12, a produção da pasta química representou mais que 93% do total das pastas produzidas.

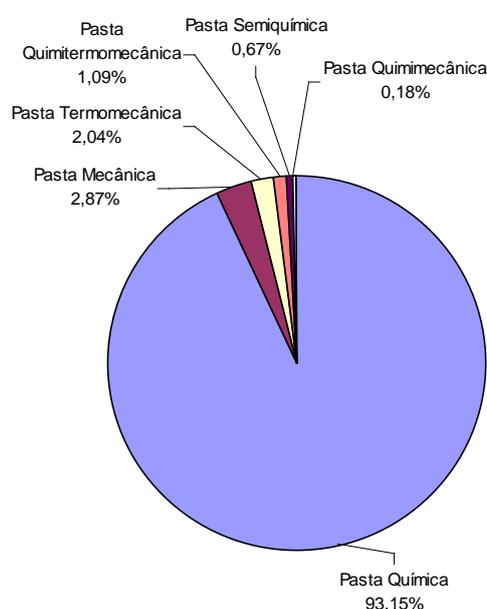


Figura 12: Produção brasileira de pastas por categoria em 2002 (adaptado de BRACELPA, 2002)

Na seqüência, de acordo com CNP, FINEP e IPT (1985), é apresentado um breve relato dos processos de preparação de pasta celulósica.

Processo Mecânico - MP

As toras de madeira, neste caso preferencialmente coníferas, são prensadas à úmido, contra um rolo giratório cuja superfície é coberta por um material abrasivo, reduzindo-as a uma pasta fibrosa denominada “pasta mecânica” (*groundwood*), alcançando um rendimento que varia de 93 a 98 %.

Neste processo não ocorre uma separação completa das fibras dos demais constituintes do vegetal, obtendo-se então uma pasta barata cuja aplicação é limitada, pois o papel produzido com ela tende a escurecer com certa rapidez, mesmo depois de passar pela etapa de branqueamento, devido à oxidação da lignina residual.

A pasta mecânica pura ou em composição com outra, é muito usada para a fabricação de papel para jornal, revistas, embrulhos, toalete etc.

Processo Termomecânico - TMP

A madeira, sob forma de cavacos, sofre um aquecimento com vapor (em torno de 140° C) que provoca na madeira e na lignina uma transição do estado rígido para um estado plástico, seguindo para o processo de desfibramento em refinador a disco.

A pasta obtida desta forma tem um rendimento um pouco menor do que no processo mecânico (92 a 95 %), mas resulta em celulose para a produção de papéis de melhor qualidade, pois proporciona maior resistência mecânica e melhor imprimabilidade, entre outras características.

No processo mecânico e termomecânico o rompimento das ligações entre as fibras é resultante de forças intensas de cisalhamento aplicadas à madeira, conseqüentemente é obtido um rendimento elevado, pois os materiais perdidos, geralmente, são finos e solúveis em água. A pasta obtida é constituída de fibras, feixes de fibras e fibras danificadas.

Processo Semiquímico

Os processos semiquímicos empregam condições mais brandas na digestão que os processos químicos: menor carga de reagentes químicos, ou redução do tempo e temperatura de cozimento.

Neste caso, acrescentam-se produtos químicos em baixas porcentagens, para facilitar ainda mais a desfibragem, contudo, sem reduzir demasiadamente o rendimento (60 a 90 %).

Porém, vem ganhando muito interesse um tipo de pasta derivado da TMP, onde um pré-tratamento com sulfito de sódio ou álcali é feito antes da desfibragem, no refinador a disco. Esta pasta é denominada pasta quimiotermomecânica - CTMP.

Nos processos semiquímico e quimiotérmicomecânico observa-se alguma remoção de lignina e de hemicelulose e devido a menor influência do processo mecânico, as fibras apresentam-se melhor separadas e menos danificadas que no processo mecânico convencional.

Processo Químico - Sulfato ou Kraft

O Processo Kraft envolve o cozimento da madeira com uma solução contendo hidróxido e sulfeto de sódio. O sulfeto de sódio promove um considerável aumento da velocidade de polpação e da qualidade da pasta (CNP, FINEP e IPT, 1985). Ainda segundo esta fonte, a denominação do processo sulfato (como também é conhecido o processo Kraft) não é muito conveniente, pois se faz pensar que o agente ativo de cozimento seja o sulfato quando na realidade são o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio. O sulfato de sódio é a substância adicionada ao processo para suprir as perdas do ciclo de recuperação dos reagentes do cozimento.

É um processo químico que visa dissolver a lignina, preservando a resistência das fibras, obtendo-se dessa maneira uma pasta forte (Kraft significa forte em alemão), com rendimento entre 50 a 60 %.

No Brasil, o processo de produção de polpa química mais difundido é o processo Kraft, usado para a obtenção de pastas químicas com *hardwood*, em especial o eucalipto. Durante esse processo, é possível remover grande parte da lignina presente na madeira (figura 13). No entanto, a polpa obtida apresenta uma coloração escura, tornando necessária a realização do branqueamento para atingir critérios de qualidade da celulose para as mais diversas aplicações requeridas.

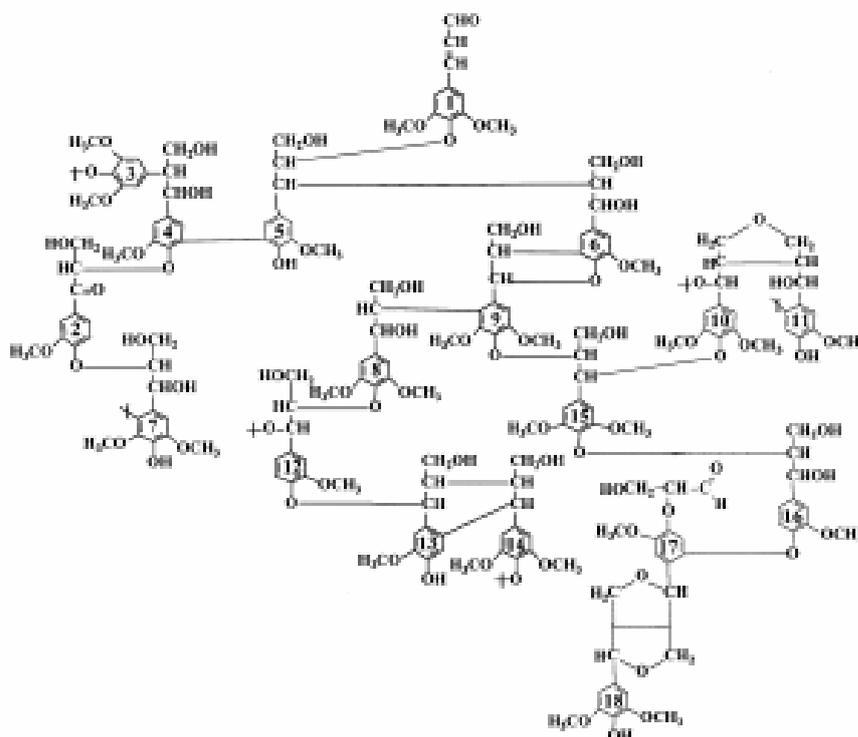


Figura 13: Estrutura proposta para a macromolécula da lignina de *Eucalyptus grandis* (PILO-VELOSO; NASCIMENTO; MORAES, 1993 *apud* QUIMICA NOVA, 2001)

A celulose obtida por esse processo não apresenta nenhuma restrição ao uso. É muito empregada para a produção de papéis cuja resistência seja o principal fator, como para as sacolas, sacos para cimento etc.

Na figura 14, pode se verificar que mais de 96% da pasta química produzida no país, em 2002, foram obtidas pelo processo Kraft, seguida pelo processo soda e sulfito.

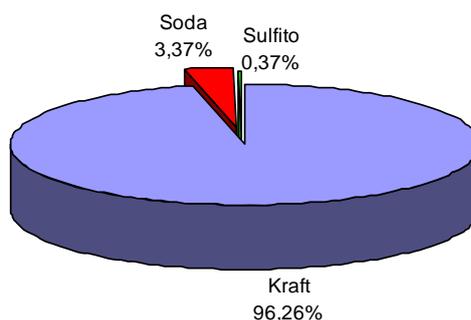


Figura 14: Produção brasileira de pastas químicas por processos em 2002 (adaptado de BRACELPA, 2002)

Processo Químico - Sulfito

É um processo onde os cavacos são cozidos em digestores com um licor ácido, preparado com compostos de enxofre (SO_2) e uma base $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NaOH , NH_4OH etc.

A pasta obtida desta maneira tem um rendimento entre 40 e 60 % e é de branqueamento muito fácil, apresentando uma coloração clara que permite o seu uso mesmo sem ser branqueada.

Este processo, que era muito utilizado para a confecção de papéis para imprimir e escrever, tem sido substituído pelo processo Kraft (principalmente após a introdução do dióxido de cloro no branqueamento), devido à dificuldade de regeneração dos produtos químicos e os conseqüentes impactos ambientais, decorrente da poluição das águas.

Processo Químico - Soda

No processo soda, o licor de cocção é constituído apenas pelo hidróxido de sódio, diferentemente do processo Kraft que emprega o licor com hidróxido de sódio e sulfeto de sódio na polpação celulósica.

O processo Kraft é superior ao soda, em rendimento, qualidade e custo de produção (CPRH e GTZ, 1998).

No anexo G é apresentada a produção brasileira de pastas químicas por tipo de processo.

Preparo da madeira

A madeira, matéria-prima utilizada na fabricação de celulose é cortada após atingir certa idade, para o eucalipto no Brasil 7 anos em média.

A madeira recebida das florestas, de maneira geral, encontra-se na forma de toras sem cascas, mas a retirada de sua casca pode ser realizada também na fábrica. As toras descascadas têm dimensões em torno de 2,2 a 2,8 m de comprimento e diâmetro variável de 7 a 40 cm. O transporte da região florestal até a fábrica é realizado por meio de rodovias.

Após a chegada à fábrica, a madeira pode ser processada imediatamente ou então, ser mantida em estoque, na forma de toras ou cavacos, para utilização futura. O armazenamento da madeira em clima quente e úmido provoca, em poucas semanas, a perda de fibras e de sua qualidade devido à formação de manchas pela ação de fungos (CETESB, 1990).

Mas antes de ser enviada ao processo de polpação é submetida a uma série de operações com o objetivo de fornecer a madeira de forma e pureza desejadas e em quantidade suficiente e constante. Estas operações envolvem um considerável consumo de energia elétrica.

Nos pátios de madeira, realiza-se o descascamento da madeira, pois a casca, além de possuir fibras utilizáveis em quantidade relativamente pequena, consome maior quantidade de reagentes na polpação e no branqueamento, resultando possivelmente em maior degradação das fibras e menor rendimento do processo, além de afetar negativamente as propriedades físicas do produto, aumentando o teor de impurezas na pasta. Se o descascamento for realizado na floresta, a casca servirá para enriquecimento do solo, pela formação de húmus, caso contrário as cascas podem ser utilizadas como combustível nas caldeiras para geração de vapor necessário ao processo.

Segundo CETESB (1990), o descascamento pode ser executado por uma das seguintes vias:

- mecânica: em que descascadores de faca ou fricção são utilizados, um mecanismo de baixa eficiência, alto consumo de energia, podendo também ter um alto consumo de água.

- hidráulica: o descascamento da madeira pode ser realizado por jatos de água a alta pressão. A grande quantidade de água consumida, entretanto, pode ser reciclada.

No processo de picagem, as toras descascadas são reduzidas em fragmentos denominados cavacos em picadores, que consistem em discos rotativos de facas múltiplas.

Em geral, os cavacos são cortados na dimensão de 20x20x40 mm para facilitar a penetração do licor de cozimento no processo subsequente. Os cavacos demasiadamente pequenos podem resultar em cozimento excessivo, enquanto que os cavacos grandes podem não receber um cozimento interno adequado (CETESB, 1990).

Os cavacos obtidos são classificados em peneiras vibratórias com o objetivo de separar do material aceito, os cavacos superdimensionados que vão para o processo de repicagem e retornam para a classificação.

O material fino produzido durante o corte da madeira é queimado na caldeira de biomassa produzindo vapor para o processo.

Os estágios da preparação da madeira para o processo de polpação celulósica podem ser representados pela figura 15.

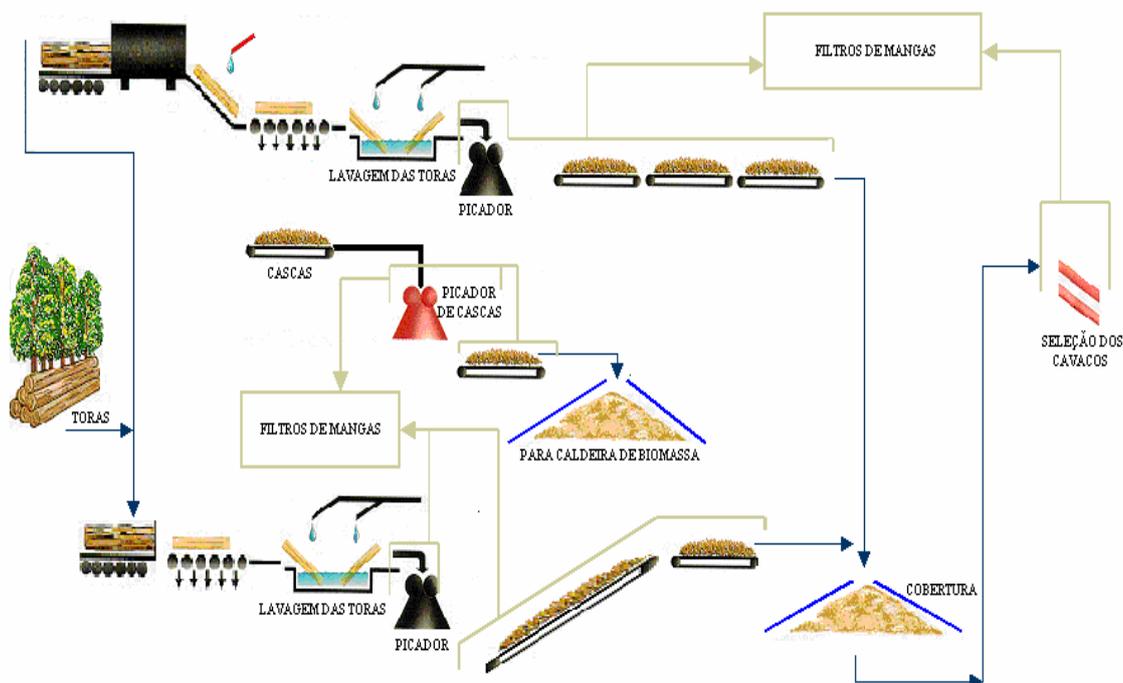


Figura 15: Estágios da preparação da madeira (adaptado de PECE/USP, 2005)

A polpação da madeira é constituída de várias unidades de processo, cujo objetivo principal é o isolamento das fibras celulósicas. No Brasil, o processo predominante para produção de polpa química, como já apresentado anteriormente, é o processo Kraft, em que a madeira é submetida a um processo de cozimento com uma solução de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio. Através deste processo, é possível remover grande parte da lignina presente na madeira.

A polpação da madeira resulta em complexas descargas que podem conter milhares de substâncias orgânicas e inorgânicas, encontradas na forma solúvel ou insolúvel (IIED, 1996). A polpa resultante do processo apresenta uma coloração escura, fazendo necessário a realização da etapa de branqueamento, com o objetivo de atingir níveis de alvuras aceitáveis para as mais variadas categorias de papéis, principalmente, para a de imprimir e escrever.

No processo de branqueamento convencional são usados reagentes químicos a base de cloro, como cloro molecular, gás cloro, dióxido de cloro e hipoclorito de sódio, em uma série de etapas estabelecidas com o propósito de alcançar o grau de alvura desejado.

Digestão da celulose

O cozimento da madeira tem por objetivo a dissolução das substâncias que ligam suas fibras celulósicas constituintes, tais como: lignina, hemicelulose e outras substâncias não-celulósicas, para a obtenção de uma polpa formada de fibras individuais (CETESB, 1990). Durante o cozimento ocorre a geração de licor negro e dos gases de digestão.

O cozimento pode ser realizado em digestores contínuos ou por bateladas (conhecidos também por descontínuos ou *Batch*), que são grandes recipientes de cocção a pressão. No entanto, as grandes empresas de papel e celulose, assim como os principais fabricantes de papel offset, têm se modernizado tecnologicamente e substituído seus digestores descontínuos existentes em operação por digestores contínuos.

A utilização do digestor contínuo pode trazer ganho ambiental, notadamente quanto à emissão de odores (TRS), pois a operação considerada contínua e selada,

não possui abertura para carga e descarga como nos digestores descontínuos. Após a digestão, a massa é continuamente descarregada em um tanque (*blow tank*) com temperatura inferior a dos digestores descontínuos (LOPES, 2003a).

Na tabela 19, são apresentados os sistemas de digestão da celulose empregados por alguns fabricantes de papel offset.

Tabela 19: Sistema de digestão da celulose dos fabricantes de papel offset (SUMERE, 2005⁶; INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL Ltda., 2005⁷ e KULAY, 2004⁸)

Fabricantes de papel offset	Sistema de digestão da celulose
International Paper	contínuo
Cia Suzano de Papel e Celulose	parte contínuo e parte descontínuo
Ripasa	contínuo

No digestor, os cavacos selecionados são introduzidos pela parte superior do equipamento, junto com o licor de cocção, que no processo Kraft, consiste em sulfeto de sódio e hidróxido de sódio, podendo-se existir ainda carbonato de sódio e pequenas quantidades de sulfato e sulfito de sódio (CETESB, 1990). O licor de cocção é preparado a partir do licor branco proveniente da planta de recuperação química.

Na sequência, realiza-se o aquecimento do conjunto até uma temperatura em torno de 170° C. Esta temperatura é mantida até o tempo necessário para a solubilização da lignina, permitindo a separação das fibras. No entanto, para que se alcance a temperatura desejada, como o licor de cozimento à temperatura atmosférica é uma solução aquosa com ponto de ebulição próximo de 100° C, faz-se necessário o aumento de pressão sob o conjunto (IPT, 1988).

Segundo CETESB (1990), o aumento de pressão e temperatura na fase de cozimento é realizado pela introdução de vapor aquecido. Geralmente, utilizam-se de 2 a 4 horas à pressão de 7,0 a 7,7 kg/cm² e a temperatura por volta de 170° C.

⁶ Informação obtida com o Sr. João Humberto Sumere, analista de Controle da CETESB - Agência Ambiental de Limeira, em 10 fev. de 2005.

⁷ Informação obtida com o Serviço de Atendimento ao Consumidor da empresa International Paper do Brasil Ltda. (www.internationalpaper.com.br), em 14 mar. de 2005.

⁸ Informação obtida com o Prof. Dr. Luiz Alexandre Kulay, pós-doutorando do Depto. de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, em 05 jun. de 2004.

Após o cozimento, reduz-se a pressão no digestor a aproximadamente 5,5 kg/cm², antes de se fazer a descarga. No caso de digestores descontínuos, a descarga é realizada abrindo-se uma válvula no fundo do tanque e por diferença de pressão ocorre a transferência da carga total do digestor para o tanque de descarga. Esta passagem brusca faz com que os cavacos cozidos se desfaçam em fibras individuais, obtendo-se uma polpa. Nesta etapa, ocorre a liberação de vapores para atmosfera, o uso de separador ciclônico pode ser uma alternativa para a retenção destes vapores, que podem ser enviados a trocadores de calor, dando origem a um condensado (CETESB, 1990).

No tanque de descarga, têm-se a polpa e o licor negro constituído de remanescentes do cozimento, lignina e outros sólidos extraídos da madeira.

A polpa e o licor negro são diluídos com licor negro fraco (proveniente da lavagem da polpa), permitindo o seu bombeamento para a etapa seguinte de lavagem.

A figura 16 ilustra a etapa da digestão dos cavacos no processo de polpação Kraft da celulose.

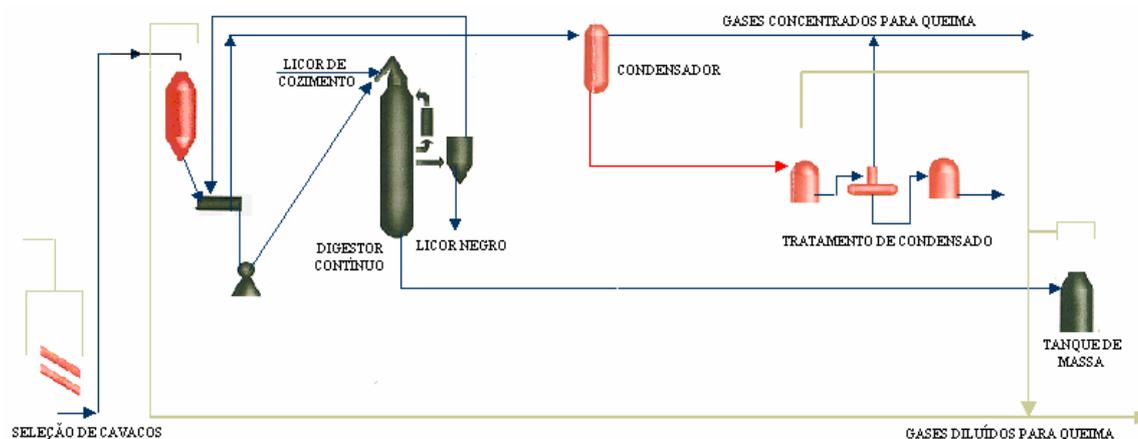


Figura 16: Digestão dos cavacos da madeira no processo de polpação Kraft da celulose (adaptado de PECE/USP, 2005)

Antes do início da lavagem da polpa, em alguns casos, realiza-se previamente uma depuração grosseira para a separação dos nós e palitos, com a vantagem da formação de uma massa densa, uniforme e mais facilmente lavável (CETESB, 1990).

Os nós podem retornar ao digestor para que sejam recozidos e os palitos constituem-se em resíduo, podendo ser reaproveitados ou não.

Na figura 17, é apresentado um balanço de massa consolidado para algumas unidades de processo da polpação Kraft.

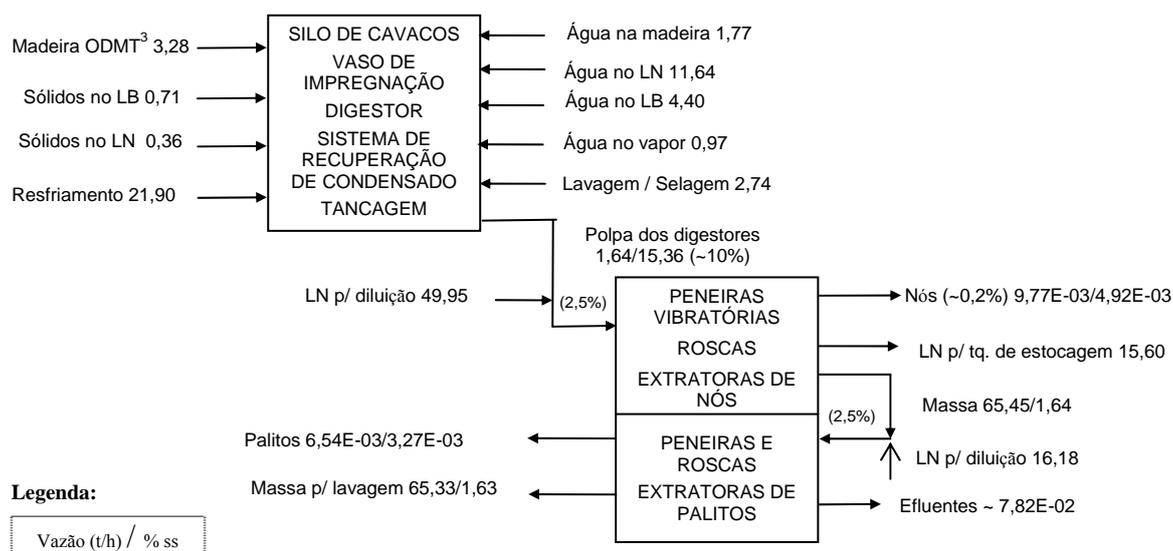


Figura 17: Balanço de massa consolidado para algumas unidades de processo da polpação Kraft (adaptado de PECE/USP, 2005)

Lavagem Alcalina

A lavagem tem por objetivo separar, da melhor maneira possível, a polpa celulósica do licor negro. Segundo CETESB (1990), sob o ponto de vista ambiental, é de fundamental importância lavar o máximo possível a celulose, antes que ela vá para o branqueamento, onde o efluente gerado não poderá ser recuperado, sendo então enviado à estação de tratamento de efluentes.

A adição de água à lavagem da polpa celulósica deve ser bem controlada, uma vez que o filtrado final obtido (licor negro fraco) deve ser evaporado, queimado e os sais de sódio recuperados. Uma quantidade maior de água necessitará de maior energia para a evaporação do licor. Por outro lado, uma lavagem insuficiente

⁹ ODMT é a sigla para tonelada métrica seca ao forno (tradução do inglês *oven-dried metric tons*), refere-se a celulose com “zero” (0%) de umidade (ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND et. al., 1995).

implicará em perda de licor negro impregnado na celulose, afetando o balanço térmico e químico da etapa de recuperação química (CETESB, 1990).

Os equipamentos normalmente utilizados para a lavagem, na grande maioria das indústrias, têm sido os filtros rotativos à vácuo, operados em série, em número de 2, 3 ou mais elementos, com lavagem em contracorrente (CETESB, 1990; CPRH e GTZ, 1998).

A massa entra no filtro 1 e no último filtro da série é adicionado o condensado mais limpo, oriundo das etapas da evaporação no processo de recuperação química. O filtrado obtido neste filtro é utilizado como líquido de lavagem no penúltimo filtro e assim por diante.

Geralmente a lavagem consiste em 6 filtros seqüenciais. Após o filtro 3 da lavagem alcalina, realiza-se uma dosagem de soda cáustica para acerto do pH e, em seguida, a massa é aquecida numa rosca com vapor direto e oxidada com oxigênio no estágio conhecido como Pré-O.

Na figura 18, é apresentado um balanço de massa consolidado para algumas unidades de processo da polpação Kraft.

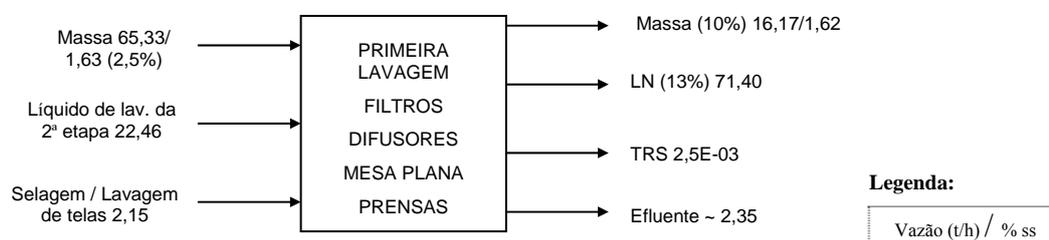


Figura 18: Balanço de massa consolidado para a primeira lavagem (adaptado de PECE/USP, 2005)

Pré-branqueamento com oxigênio

O oxigênio tem sido utilizado em várias etapas dos processos de branqueamento ECF e TCF, bem como na pré-deslignificação oxidativa em um único ou duplo estágio, devido ao seu baixo custo e eficiência.

A realização da pré-deslignificação (Pré-O) após a polpação Kraft é hoje uma tecnologia estabelecida. Muitos estudos sobre a pré-deslignificação com oxigênio têm sido feitos visando, por exemplo, a redução do consumo de reagentes no

branqueamento, da toxicidade dos efluentes e a melhoria da viscosidade da polpa branqueada (ABTCP-TAPPI, 2000).

Ainda segundo esta fonte, a deslignificação ou pré-branqueamento com oxigênio tem por objetivo alvejar a polpa, remover extrativos saponificáveis em meio alcalino e principalmente degradar e dissolver fragmentos de lignina residual ainda presentes após a polpação Kraft.

A pré-deslignificação com oxigênio tem-se tornado cada vez mais aceita na medida em que se consegue minimizar a degradação indesejada de carboidratos e a perda da viscosidade da polpa, com seus possíveis reflexos nas propriedades dos papéis (IPT e SENAI, 1988 e ABTCP-TAPPI, 2000).

Lavagem

Após a etapa de pré-branqueamento com oxigênio, onde é dissolvido o licor impregnado nas fibras, uma segunda lavagem das fibras é realizada para a remoção do licor negro. No primeiro filtro da série, o filtrado é coletado e armazenado, constituindo-se no licor negro fraco que é enviado à recuperação, sendo também utilizado na diluição do licor de cozimento e no tanque de descarga (CETESB, 1990).

O balanço mássico dos subsistemas pré-deslignificação da celulose com oxigênio seguido da segunda etapa de lavagem é apresentado na figura 19.

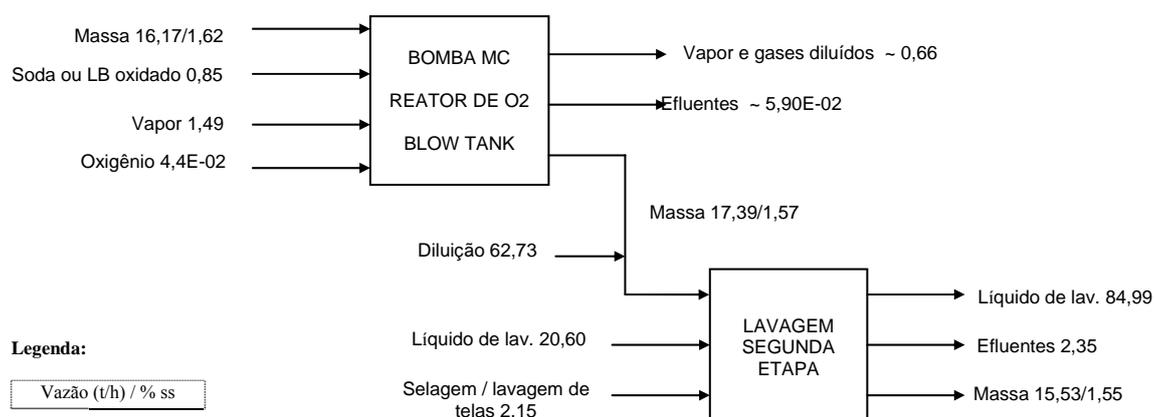


Figura 19: Balanço de massa para a pré-deslignificação da celulose com oxigênio e da segunda etapa de lavagem (adaptado de PECE/USP, 2005)

Ainda segundo CETESB (1990), a polpa é enviada a etapa de branqueamento químico com redução da cor em torno de 70%, DBO em 50%, além de uma significativa redução nos compostos organoclorados.

Na figura 20 é apresentado o subsistema que integra a depuração, a lavagem da polpa e o pré-branqueamento da polpa com oxigênio.

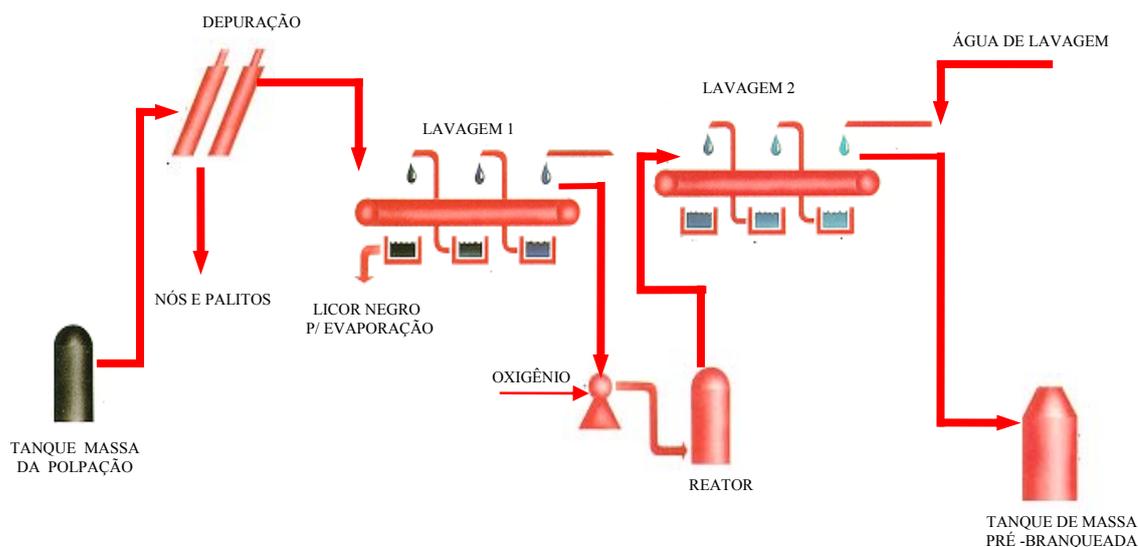


Figura 20: Depuração, lavagem da polpa e seu pré-branqueamento com oxigênio (adaptado de PECE/USP, 2005)

3.4.3.2. Branqueamento de pastas químicas

O Brasil, segundo COSTA (2004), utiliza-se da madeira de *Eucalyptus grandis*, perfazendo uma produção da ordem de 6 milhões de toneladas de polpa por ano, dos quais 98% são branqueadas.

O branqueamento é a etapa mais controversa em termos ambientais do processo de manufatura de papel e celulose. O principal problema desta etapa deve-se aos sérios danos que podem ser causados ao meio ambiente, provenientes principalmente do descarte de seus efluentes nos corpos hídricos receptores.

O ponto crítico da produção de papel acontece quando as polpas são branqueadas por compostos clorados. Os efluentes gerados pelo setor papelero no Brasil estão entre 30 e 100 metros cúbicos por tonelada de polpa (ASSESSORIA DE IMPRENSA DA UNICAMP, 2004).

Os processos convencionais de branqueamento de polpas celulósicas utilizam reagentes químicos a base de cloro (como o próprio cloro, dióxido de cloro e hipoclorito de sódio), em série de etapas que depende do grau de alvura desejado. O grande inconveniente desses processos está na formação de compostos organoclorados, especialmente dioxinas e furanos, de elevada toxidez (QUÍMICA NOVA, 2001).

Os mais sérios problemas do setor de papel e celulose constituem o grande volume de água utilizado no branqueamento da polpa celulósica e o descarte das águas residuárias contendo organoclorados. De acordo com VESOVIC et. al. (1998), estes efluentes respondem pela maior carga ambiental das águas residuárias finais e por conterem compostos clorados, a sua queima na caldeira de recuperação torna-se inconveniente devido, entre outros aspectos, ao seu efeito corrosivo.

Atualmente, as legislações mais rígidas e demandas crescentes do mercado por polpas branqueadas sem compostos à base de cloro têm levado as indústrias do setor adotarem processos alternativos de branqueamento.

Nos dias atuais, existe uma tendência mundial pela adoção de processos de branqueamento da celulose livres de cloro elementar, conhecidos como ECF (do inglês *Elemental Chlorine Free*), ou mesmo isentos de qualquer insumo clorado, os TCF (do inglês *Totally Chlorine Free*) em substituição ao processo de branqueamento químico convencional baseado no uso de cloro elementar.

De um modo geral, para o branqueamento TCF são empregadas substâncias químicas, como oxigênio, peróxido de hidrogênio, ozônio e, mais recente, devido ao seu elevado poder oxidante, os perácidos. Enquanto que o branqueamento ECF é utilizado o dióxido de cloro, dentre outros produtos químicos livres de cloro elementar.

Segundo POLJAK, ANGEW (1948); MCEWEN, SHELDON (1949) *apud* QUÍMICA NOVA (2001), um dos perácidos mais estudados é o ácido peracético (CH_3COOOH) que, desde a década de 40, vem sendo investigado como reagente de branqueamento e deslignificação de polpas químicas, em particular para as polpas TCF.

A etapa de branqueamento tem por objetivo a remoção de impurezas, tais como íons metálicos, resinas e lignina residual presente na pasta celulósica lavada e

limpa. O branqueamento é realizado em vários estágios diferentes, cuja seqüência e condições de operação dependem da unidade industrial. Os estágios do branqueamento são condicionados pelas variáveis: tipo e quantidade de reagente empregado, consistência da polpa, tempo de retenção, temperatura e pH (CNP, FINEP e IPT, 1985).

É possível considerar o branqueamento como sendo uma continuação da deslignificação, iniciada no cozimento, empregando, por exemplo, o cloro e seus compostos (como o dióxido de cloro), a soda caustica, oxigênio e peróxido de hidrogênio.

Conforme IPT e SENAI (1988), na prática a remoção de toda a lignina por uso de reagentes químicos, além de ambientalmente inviável, torna-se extremamente dispendiosa, então é comum o uso de substâncias oxidantes que modificam os grupos cromóforos dando origem a derivados não coloridos.

A técnica desenvolvida de branqueamento por oxigênio tem sido amplamente empregada sendo de grande importância na prevenção da poluição gerada por compostos derivados do cloro.

Em resumo, o objetivo do branqueamento é a obtenção de pastas químicas com grau de alvura elevada e estável (que não se altere com o tempo), com um consumo mínimo de reagentes, sem comprometer as características físicas do produto final. A combinação de reagentes em vários estágios, alternando processos oxidativos e de solubilização em álcalis, é utilizada para que se alcance mais facilmente o objetivo.

Normalmente, o branqueamento começa com um tratamento da pasta com reagentes a base de cloro, seguido por uma extração alcalina com soda caustica, sendo aplicado, depois disso, uma série de combinações ou seqüências em que se alternam o dióxido de cloro, o hipoclorito e a soda cáustica. No final de cada estágio desta seqüência, a celulose é lavada em filtros rotativos a vácuo para remover os compostos coloridos oxidados.

A tabela 20 apresenta a notação dos estágios de branqueamento e seus respectivos reagentes empregados.

Tabela 20: Notação dos estágios de branqueamento (adaptado de BRACELPA, 2002)

Estágio	Notação	Reagente
Cloração	C	Cloro (Cl_2)
Cloração-Dioxidação (adição seqüencial)	D/C C/D	Cloro (Cl_2) e dióxido de cloro (ClO_2)
Cloração-Dioxidação (adição simultânea)	(D+C)	Cloro (Cl_2) e dióxido de cloro (ClO_2)
Extração Alcalina	E	Hidróxido de sódio (NaOH)
Extração Alcalina com hipoclorito	E_H	Hidróxido de sódio (NaOH) e hipoclorito de sódio (NaClO)
Extração Alcalina com oxigênio	E_O	Hidróxido de sódio (NaOH) e oxigênio (O_2)
Extração Alcalina com peróxido	E_P	Hidróxido de sódio (NaOH) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2)
Extração Alcalina com oxigênio e peróxido	E_{op}	Hidróxido de sódio (NaOH), oxigênio (O_2) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2)
Hipoclorito	H	Hipoclorito de sódio (NaClO) ou de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
Dióxido	D	Dióxido de cloro (ClO_2)
Peróxido	P	Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)
Oxigênio (pré-branqueamento)	O	Oxigênio (O_2) e hidróxido de sódio (NaOH)
Ozônio	Z	Ozônio (O_3)
Tratamento ácido	A	Dióxido de enxofre (SO_2)
Ditionito ou hidrossulfito	Di	Ditionito de zinco (ZnS_2O_4) ou ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)

Segundo ABTCP-TAPPI (2000), o oxigênio devido ao seu baixo custo e eficiência deve ser usado cada vez mais nas etapas de branqueamento, seja na pré-deslignificação da celulose em único estágio (O) ou em dois estágios (OO), na extração oxidativa com oxigênio (E_O) e com peróxido de hidrogênio (E_{op}), ou mesmo, no branqueamento com peróxido pressurizado (PO).

No anexo H são apresentados os potenciais de redução de alguns oxidantes usados para a deslignificação e branqueamento de polpas.

Na figura 21, é apresentado um balanço de massa para a etapa de branqueamento da celulose.

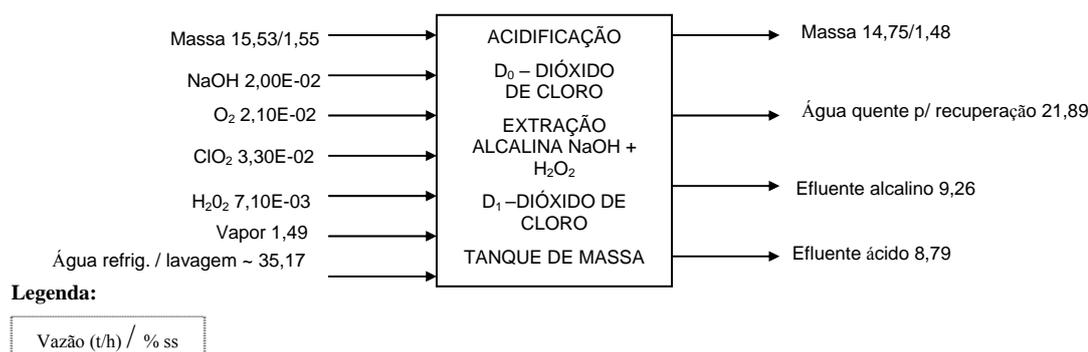


Figura 21: Balanço de massa da etapa de branqueamento ECF (adaptado de PECE/USP, 2005)

A tecnologia de branqueamento ECF aplicada a polpas químicas domina atualmente o segmento de polpa branqueada de alta alvura. A produção mundial de polpas químicas branqueada por esta tecnologia é de cerca de 75% e no Brasil já ultrapassa a barreira dos 50% (ABTCP, 2002). Existe uma forte tendência de seu crescimento, tendo em vista a conversão para a tecnologia ECF no Brasil e Japão.

De acordo com IIED (1996), os efluentes da polpação Kraft com branqueamento convencional, a base de cloro, podem conter mais de 300 compostos organoclorados diferentes. Destes, duas famílias de compostos conhecidos como dioxinas e furanos são as que geram uma preocupação especial, dentre os quais o 2,3,7,8 - tetracloro - dibenzo - p-dioxina (TCDD) e o 2,3,7,8 - tetracloro - dibenzo - furano (TCDF) que são os considerados de maior toxicidade. A estimativa da presença dos compostos organoclorados é realizada pelos parâmetros AOX (medida de organoclorados que podem ser absorvidos em carvão ativado, do inglês *adsorbable organo-halogens*) ou TOCL (total de organoclorados, do inglês *total organic chlorine*). No entanto, alguns estudos indicam que a toxicidade dos efluentes da indústria papelreira não é função exclusiva do teor de AOX, assim branqueamento que possibilite níveis de AOX próximos de zero nos efluentes ainda podem ter toxicidade significativa.

Na figura 22, é apresentada uma seqüência típica de branqueamento ECF.

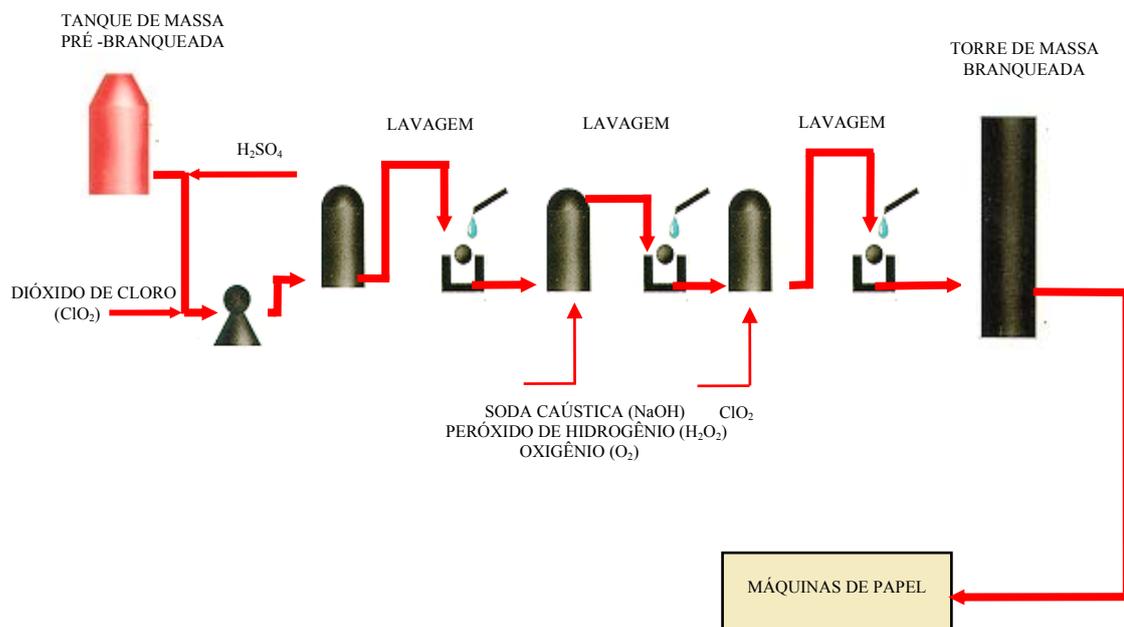


Figura 22: Sequência típica de branqueamento ECF da celulose de eucalipto (adaptado de PECE/USP, 2005)

O peróxido de hidrogênio tem obtido uma posição de destaque nos processos de branqueamento de polpas de eucalipto, podendo ser usado no pré-branqueamento, na extração e no branqueamento final da celulose.

De acordo com SIQUEIRA e SILVA (2003), em meio ácido o peróxido de hidrogênio é protonado gerando o íon hidroxônio (H_3O^+), um eletrólito fraco que pouco reage com a lignina ou a celulose. No branqueamento, o peróxido de hidrogênio é aplicado em meio alcalino gerando o ânion peridroxila (HOO^-), um oxidante forte e seletivo, que branqueia a celulose sem causar danos a sua estrutura. No entanto, alguns compostos, como íons metálicos, principalmente manganês e ferro, presentes na madeira, na água ou em outros compostos coadjuvantes do processo, quando em quantidades consideráveis, podem decompor cataliticamente o peróxido de hidrogênio, levando a formação de radicais hidroxilas que atacam as fibras danificando sua estrutura e diminuindo suas propriedades físicas.

Ainda segundo os autores, atualmente, a maneira mais eficiente para o branqueamento de polpas celulósicas empregando a tecnologia ECF tem sido a

combinação do peróxido de hidrogênio e o dióxido de cloro, enquanto para polpas TCF, o uso combinado de ozônio e oxigênio.

3.4.4. Subsistema recuperação química

O sistema de recuperação química é uma etapa complexa da polpação química da celulose e é responsável por uma variedade de regulamentações ambientais em vários países. A recuperação química é um componente crucial do processo de polpação química, que não consiste unicamente em retornar os reagentes ao digestor com um mínimo de perda. O processo de recuperação química tem importantes benefícios econômicos e ambientais para a indústria de papel e celulose.

Os benefícios econômicos incluem a economia no custo de compra de matérias-primas, devido à taxa de recuperação química do processo que pode chegar a aproximadamente 98%, e a geração de vapor para diversas operações, tais como cozimento, branqueamento e secagem (IPT e SENAI, 1982). O benefício ambiental é referente à reciclagem dos produtos químicos, eliminando parte dos efluentes com potencial poluidor.

Todos os processos de polpação, sejam o Kraft, sulfito e semi-químico, usam sistema de recuperação química de alguma forma. Embora novas tecnologias estão sempre sendo desenvolvidas, o processo Kraft de recuperação química não tem sido fundamentalmente mudado desde que foi patenteado em 1884 (IPT e SENAI, 1982).

Atualmente, grandes avanços nas reações químicas têm sido desenvolvidos por alguns países, como por exemplo, o emprego do processo de gaseificação do liquor negro em fase experimental.

A unidade de recuperação química do processo Kraft consiste nas seguintes unidades de processo apresentadas na figura 23.

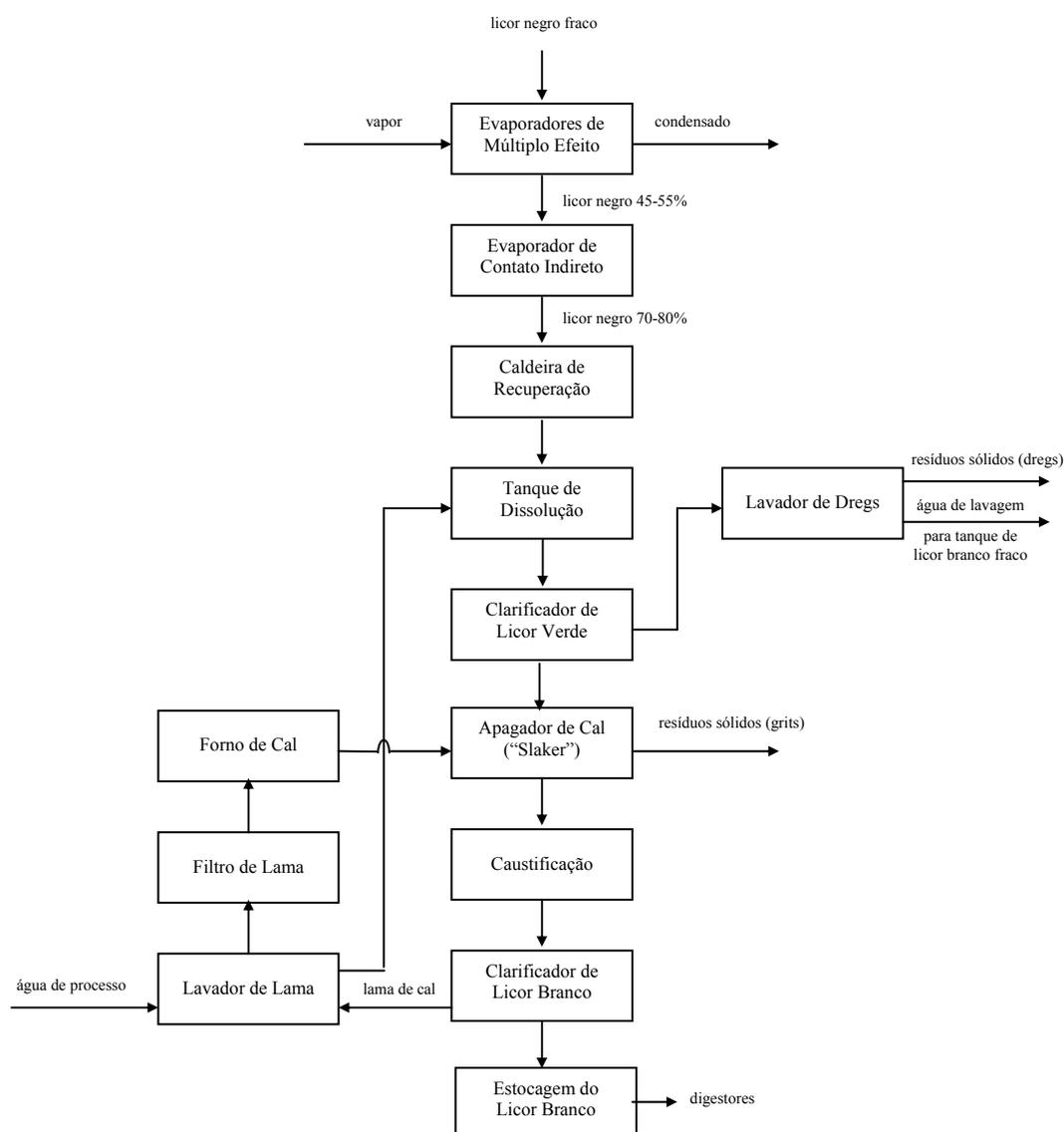


Figura 23: Fluxograma da unidade de recuperação química do Processo Kraft (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)

Concentração do liquor negro

Nos evaporadores de múltiplo efeito, o licor negro fraco, proveniente da etapa de lavagem da polpa marrom com um conteúdo de sólidos totais em torno de 12% a 18%, é concentrado para posteriormente ser queimado na caldeira de recuperação. Geralmente, são empregadas 6 unidades de evaporação interligadas, onde o licor circula entre placas em contra-corrente com o vapor gerado no efeito anterior. No último efeito, aplica-se vácuo e, normalmente, a concentração final obtida nos evaporadores de múltiplo efeito é de 45 a 55% de sólidos totais. Em uma segunda

fase, o licor negro passa por evaporadores de contato indireto, onde sua concentração aumenta para 70% a 80% de sólidos totais (CPRH e GTZ, 1998).

Segundo MORAES (2002), os evaporadores a placas ganharam o mercado brasileiro, substituindo os evaporadores tubulares, pois apresentam elevada capacidade de evaporação, oferecem maior estabilidade às operações, sem contar com os aspectos mais importantes, que são os de segregar os condensados e captar os gases para tratamento, de modo a evitar a formação de odores nas indústrias.

Os condensados gerados em cada um dos efeitos são despejos industriais importantes, conforme poderá ser visto mais à frente.

A massa negra viscosa resultante não apresenta todos os componentes inorgânicos originais do licor branco, devido às perdas mecânicas e à impossibilidade de se retirarem todos os íons inorgânicos na lavagem. Portanto, há necessidade de se compensar a perda pela adição de produtos químicos. Geralmente, o sulfato de sódio é adicionado em quantidade equivalente à perda. A mistura é feita antes da fornalha, onde os compostos orgânicos são queimados, liberando calor e produzindo dióxido de carbono, que pode ser absorvido pelo resíduo de caráter alcalino, formando carbonato de sódio.

O calor da fornalha pode ser utilizado para gerar vapor superaquecido para as turbinas geradoras de energia, como também vapor para o processo.

Em algumas instalações mais antigas, empregavam-se evaporadores de contato direto onde o licor é concentrado pela passagem dos gases quentes provenientes da caldeira de recuperação. O contato dos gases de combustão com o licor contendo sulfeto de sódio, leva a formação e liberação significativa de H_2S para a atmosfera. Para reduzir este problema, o licor negro que saía dos evaporadores de múltiplo efeito, era oxidado num tanque de oxidação (através da passagem de ar) antes de ir para o evaporador de contato direto. Desse modo, o sulfeto de sódio do licor negro transforma-se em tiosulfato de sódio, que é mais solúvel e não evolui a H_2S quando da redução do pH do licor, causado pelo contato com os gases de combustão da caldeira (CETESB, 1990).

Quase todas as fornalhas de recuperação instaladas desde 1968 têm o processo de evaporação de contato indireto que evita este problema. Atualmente, o

processo de oxidação não tem sido visto em fábricas com modernas caldeiras de recuperação.

O balanço mássico do subsistema de evaporação é apresentado na figura 24.

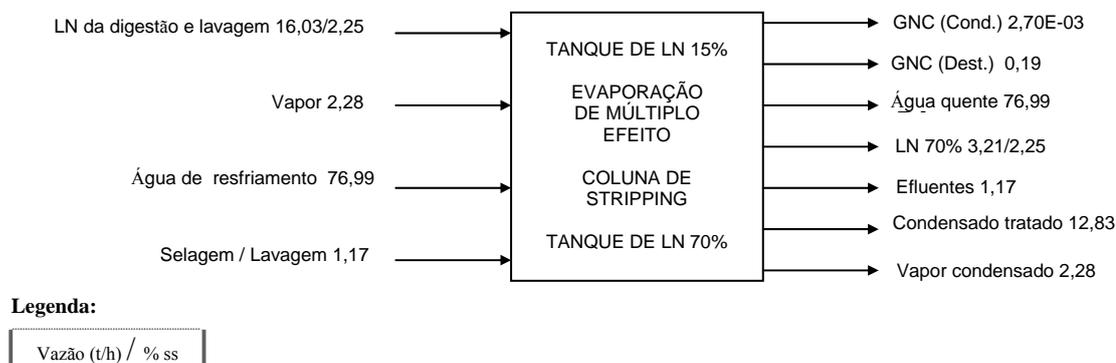


Figura 24: Balanço de massa da etapa de evaporação (adaptado de PECE/USP, 2005)

Incineração do licor concentrado

Embora o sistema de recuperação como um todo dependa economicamente da retirada de água do licor, o núcleo efetivo do sistema é composto da caldeira e da fornalha de recuperação. A caldeira de recuperação tem três funções básicas:

- recuperar os reagentes inorgânicos, em forma apropriada para reutilização;
- recuperar a energia, em forma de vapor;
- abater ou minimizar a poluição, tanto do ar como das águas.

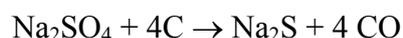
Apesar da recuperação dos reagentes mostra-se como a função mais importante do sistema, a produção de vapor adquiriu significado comparável. As unidades de recuperação modernas consistem em uma fornalha vertical completamente resfriada à água por um arranjo de tubos (no fundo e nas paredes) ligados ao sistema de circulação de água de uma caldeira associada. O fundo da unidade, na maioria das vezes, é forrado com material refratário especial, à base de cromita, de alta resistência ao álcali fundido. O poder calorífico dos sólidos no licor de eucalipto gira em torno de 9.500 kcal/kg, o que caracteriza este material como combustível pobre, quando comparado com o carvão ou petróleo. O licor negro concentrado para ser queimado apresenta cerca de 50% de massa de madeira seca utilizada no cozimento (BAJAY; BERNI; LIMA, 2005).

O aquecimento na caldeira de recuperação é iniciado, na maioria das vezes, com lenha ou óleo combustível e somente após atingir certa temperatura, começa-se a queima do licor negro.

Na fornalha, a lignina e outros constituintes da madeira presentes no licor negro concentrado mantêm a combustão.

As reações mais importantes realizadas na fornalha são a conversão dos compostos orgânicos de sódio em carbonato de sódio e a redução do sulfato a sulfeto. Assim, a massa fundida formada é composta, principalmente, de carbonato de sódio e sulfeto de sódio, contendo impurezas em pequenas quantidades.

O sulfato de sódio introduzido na caldeira através do licor negro é reduzido pelo carbono da matéria orgânica para sulfeto de sódio, como mostra a reação:



Os gases de combustão do licor negro deixam a fornalha a aproximadamente 980°C, e passam por dispositivos de troca de calor, produzindo vapor superaquecido para a geração de energia e vapor de processo (CESTEB, 1990).

Os fundidos (conhecidos em inglês como *smelt*) fluem através de uma bica resfriada com água, sendo seu fluxo contínuo quebrado com jatos de vapor em pedaços menores que são, a seguir, dissolvidos em um tanque de dissolução munido de agitador, parcialmente cheio com licor fraco de lavagem da área de caustificação. O líquido resultante, o licor verde, tem coloração esverdeada devido a presença de pequenas quantidade de sais ferrosos. A falta de agitação ou fragmentação da corrente de fundidos pode resultar em violentas explosões. O calor é transferido para o licor verde formado, vapor e gases são expelidos para a atmosfera carregando apreciáveis quantidades de reagentes. Por esse motivo, tornou-se comum a prática da instalação de algum tipo de coletor nesta tubulação, para diminuir os níveis de emissões de poluentes.

Nas caldeiras equipadas com evaporadores de contato indireto, observa-se na saída dos gases, quantidade de sais de sódio arrastados. Por motivos econômicos e com o fim do abatimento da poluição, as maiores empresas de papel e celulose, assim como os principais fabricantes de papel offset, instalam equipamento para coleta e retorno desse material ao sistema. O precipitador eletrostático é a unidade mais adotada para a finalidade de captação destas partículas arrastadas, isto é

realizado de acordo com as seguintes etapas: fornecimento de carga negativa às partículas arrastadas pelo gás por meio de íons gasosos ou elétrons; transporte das partículas carregadas através do gás para o eletrodo coletor; descarga das partículas e remoção do material precipitado nos eletrodos.

Na figura 25, é apresentado o balanço mássico nas unidades de processo caldeira de recuperação e tanque de smelt.

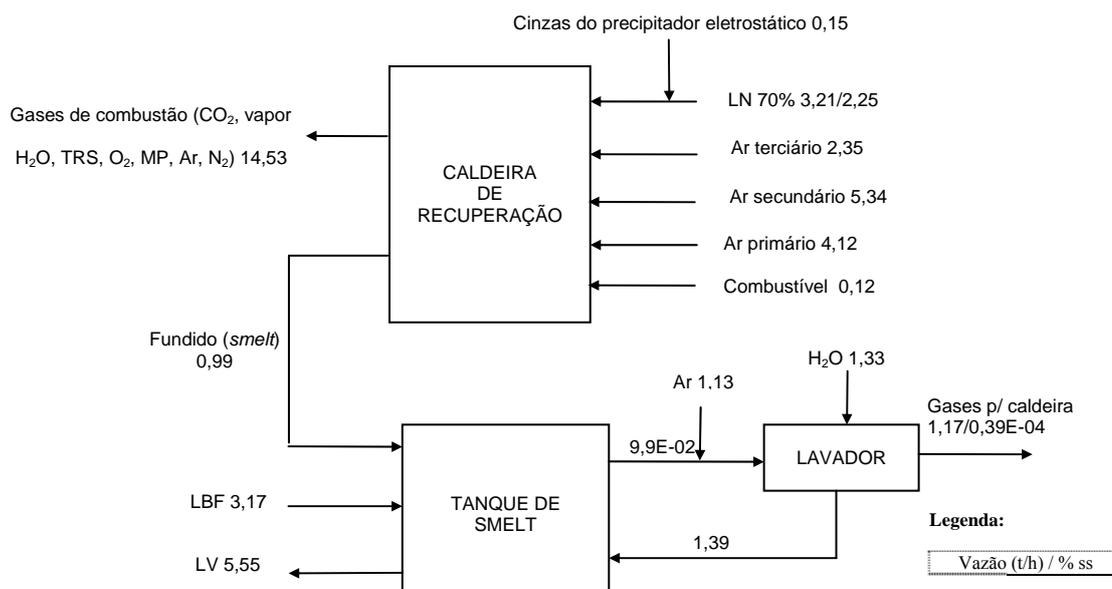


Figura 25: Balanço de massa na caldeira de recuperação e tanque de smelt (adaptado de PECE/USP, 2005)

A caldeira de recuperação gera ainda material particulado, gases odoríferos, além de gases oxidados de enxofre e nitrogênio.

A geração de energia da caldeira de recuperação é frequentemente insuficiente para a necessidade da planta geral da indústria. Algumas indústrias de papel e celulose utilizam celulose, casca, outros resíduos da fabricação de papel e, em alguns casos, o bagacilho da cana-de-açúcar (resíduo proveniente de usinas de açúcar e álcool), para suprir uma parcela da energia requerida no processo.

Na figura 26, são apresentados os subsistemas de concentração do licor negro em evaporadores e sua queima em caldeira de recuperação.

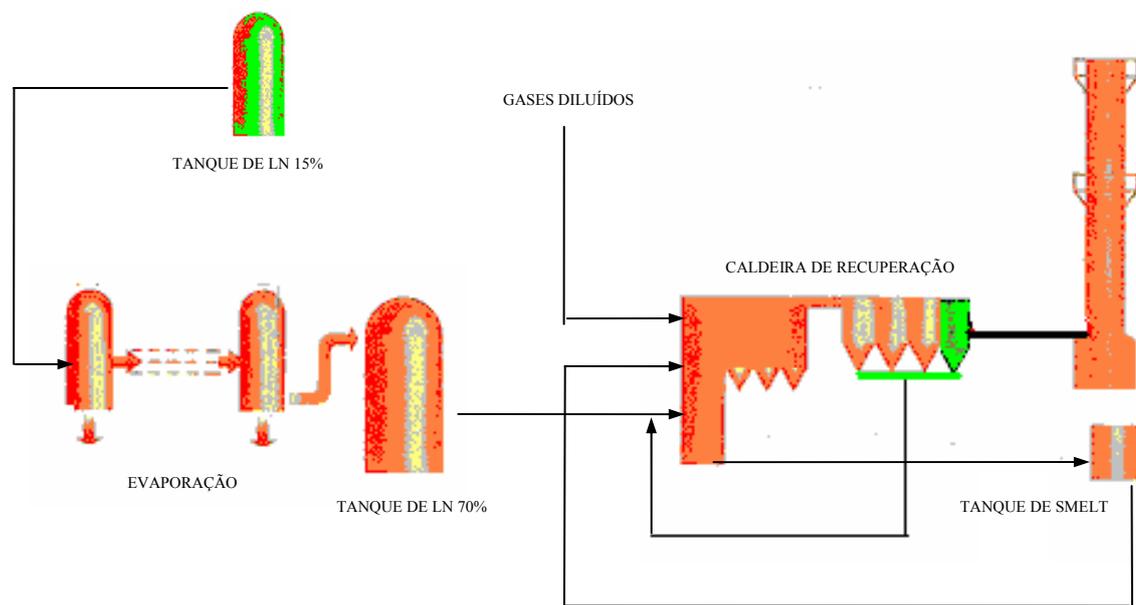


Figura 26: Concentração e queima do licor negro (PECE/USP, 2005)

Clarificação do licor verde

O licor verde vindo do tanque de dissolução de fundido é conservado em um tanque de armazenamento de entrada, até ser bombeado ao clarificador de licor verde. O licor verde é clarificado para remover substâncias em suspensão, conhecidas por *dregs* (lama ou borra). Esta borra é constituída em 50% de material com carbono vindo da caldeira de recuperação e acompanhado por sílica, sulfetos metálicos e outros compostos. A remoção da borra melhora a eficiência da caustificação e da lavagem nos estágios seguintes (CNP, FINEP e IPT, 1985).

Ainda segundo esta fonte, o clarificador constitui-se em uma unidade de decantação com várias bandejas operando em paralelo. Os sólidos sedimentados no fundo são retirados por bombeamento para posterior lavagem. A unidade é operada em temperatura na faixa de 80 a 95°C, pois a temperatura acelera a decantação. A unidade é altamente eficiente, fornecendo um licor verde praticamente livre de sólidos em suspensão. O licor limpo deixa o equipamento pelo topo de cada compartimento, sendo bombeado para o tanque de armazenagem e, em seguida, para o apagador ou extintor de cal (*slaker*).

Lavagem da borra de licor verde

As substâncias insolúveis obtidas na clarificação do licor verde são denominadas borra que, embora ocorram em pequena quantidade (5,5 kg/t de pasta seca), são bombeadas do fundo do decantador com uma consistência de 10%. Portanto, levam muitos sais de sódio dissolvidos em seu fluxo e para a recuperação destes sais é empregado o lavador.

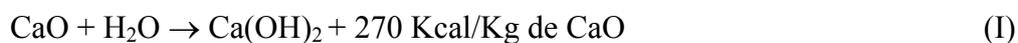
A borra é bombeada ao primeiro compartimento superior, juntamente com o licor decantado no segundo compartimento. O licor é fortificado pela dissolução de parte dos sais de sódio dissolvidos na corrente da borra e, em seguida, é enviado ao sistema de lavagem do lodo de cal. Os sólidos decantados no primeiro compartimento fluem por gravidade para o segundo compartimento, para onde também é enviado o licor decantado do terceiro compartimento e assim por diante. A água de diluição é admitida no compartimento, e assim por diante. A água de diluição é admitida no compartimento do fundo. No decantador, há um fluxo em contracorrente de sólidos e líquidos. A água introduzida pelo fundo torna-se cada vez mais carregada com os sólidos dissolvidos, até sair pelo topo. Os sólidos carregados pelo topo são lavados sucessivamente no percurso de descida, até deixarem o decantador pelo fundo. Os sólidos lavados, ou borra, são bombeados para fora do sistema e, normalmente, dispostos em aterro industrial.

Caustificação do licor verde

Como o carbonato de sódio é um reagente inativo no cozimento, a etapa final do ciclo de recuperação, conhecida como caustificação, envolve a adição de óxido de cálcio (CaO) ao licor verde para converter o carbonato de sódio (Na₂CO₃) em hidróxido de sódio (NaOH), produzindo o licor branco.

A reação de caustificação, segundo IPT e SENAI (1988), se processa em duas etapas:

- o óxido de cálcio, inicialmente, reage com água para formar o hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ com liberação de calor, sendo denominado apagamento ou extinção de cal (*slaking*), correspondente a:



A cal é adicionada a partir dos silos de cal queimada ou de cal nova para a reposição de perdas, no apagador, em quantidade correspondente ao carbonato de sódio presente no licor verde. O licor verde deve chegar no apagador com temperatura entre 85°C e 95°C, pois se a temperatura fosse baixa, haveria um atraso da hidratação da cal e diminuição da eficiência da reação.

O equipamento de caustificação possui uma seção cilíndrica onde se dá a mistura auxiliada por agitador e o apagador de cal constitui-se de um canal inclinado onde há um classificador com raspadores para retirar os sólidos não dissolvidos (como areia, pedregulho, calcário e outras impurezas que não reagiram de acordo). Estes resíduos conhecidos por *gritts* são precipitados, removidos e, geralmente, dispostos em aterro industrial.

No apagador de cal, ocorrem as reações de hidratação da cal e cerca de 90% da caustificação. A qualidade da cal, medida pelo seu teor em óxido de cálcio ativo, influi, consideravelmente, na extinção e, portanto, no processo em geral. Após o apagador de cal, a suspensão passa para os caustificadores. Embora o ciclo de caustificação comece no apagador de cal, uma máxima conversão exige um tempo de reação, com agitação moderada, de aproximadamente 90 minutos à temperatura de 100 a 105°C. Normalmente, para melhorar a eficiência, são empregadas três unidades em série.

- o hidróxido de cálcio reage com o carbonato de sódio para formar o hidróxido de sódio, sendo essa reação denominada caustificação (*causticizing*) ou, simbolicamente:



Como esta reação é reversível, não se consegue, mesmo sob as condições mais favoráveis, uma conversão maior que de 85 a 90%.

Embora apresentada em dois estágios, as reações, na realidade, sobrepõem-se, partes da caustificação ocorrem simultaneamente com a hidratação da cal.

A eficiência da caustificação depende da concentração dos compostos de sódio no licor verde, soluções mais diluídas promovem conversões relativamente maiores. O uso de licores muito diluídos para se maximizar a conversão significa, entretanto um aumento do custo da evaporação.

O balanço mássico de unidades de processo da caustificação é apresentado na figura 27.



Figura 27: Balanço de massa consolidado para algumas unidades de processo da caustificação (adaptado de PECE/USP, 2005)

Clarificação do licor branco

O lodo dos caustificadores é enviado ao clarificador do licor branco, para a separação do carbonato de cálcio precipitado (conhecido como lama, lodo de cal, ou do inglês *lime mud*) do licor, agora chamado licor branco. Este licor clarificado é bombeado para o tanque de armazenagem de licor branco, de onde passa para os digestores.

O equipamento usado nesta operação é o decantador por gravidade com várias bandejas. A lama de cal é retirada do fundo por bombas de fluxo ajustável para controlar sua consistência, o que é importante para sua lavagem em seguida.

As demais unidades da área de caustificação são as unidades de lavagem, cujo propósito é chegar á máxima eficiência na recuperação do sódio e no sistema de regeneração de cal.

Lavagem da lama de cal

A lama de cal que sai do clarificador do licor branco com teor de sólidos entre 35% e 40% é bombeada ao lavador de lama de cal. O objetivo desta lavagem é recuperar todo o hidróxido de sódio do lodo de cal, antes de enviá-lo ao forno de calcinação. O líquido sobrenadante, obtido neste estágio, é conhecido por licor fraco, e será utilizado na dissolução de fundidos. A soda recuperada no licor fraco retorna ao processo de caustificação do licor verde (IPT e SENAI, 1988).

Segundo esta fonte, a água usada na lavagem da lama de cal pode vir dos condensados do 2º, 3º, 4º, 5º e do 6º evaporador, neste último, após esta passar por uma cisterna de evaporação (*hotwell*) e por um processo de destilação (*stripping*).

A figura 28 apresenta o balanço mássico para o subsistema forno de cal e precipitador eletrostático.



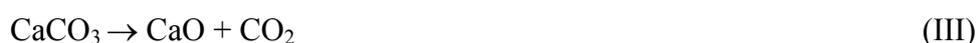
Figura 28: Balanço de massa para o subsistema constituído pelo forno de cal e precipitador eletróstático (adaptado de PECE/USP, 2005)

Filtração da lama de cal

A lama de cal lavada e com teor de sólidos entre 35% e 45% é concentrada em filtro a vácuo de tambor rotativo, até atingir um teor de sólidos entre 55% e 75%. A torta assim obtida alimenta o forno de cal, onde o carbonato de cálcio será convertido em óxido de cálcio. É desejável obter um teor alto de sólidos na torta, tendo em vista a economia de combustível no forno de cal.

Recuperação de cal

O forno rotativo (do inglês *rotary kiln*) consiste em um cilindro revestido com material refratário, aberto nas extremidades, inclinado do extremo de alimentação ao extremo de descarga, girando em torno de seu eixo longitudinal. A lama de cal do filtro, junto com o calcário de reposição, alimenta o forno, passando pelas zonas de eliminação da umidade, de aquecimento e de calcinação, onde o carbonato de cálcio precipitado (Equação II) é convertido em óxido de cálcio, conforme a equação:



Os fornos de cal, atualmente, consomem gás natural em substituição ao óleo combustível. O óxido de cálcio (cal virgem) formado é apagado, fornecendo o hidróxido de cálcio usado em seguida na caustificação do licor verde, como foi mostrado na equação I.

Portanto, o hidróxido de cálcio perdido no processo pode ser compensado, tanto por reposição do óxido de cálcio, como do carbonato de cálcio.

O hidróxido de sódio formado, conforme equação II, é enviado aos digestores como licor de cozimento, completando, deste modo, o ciclo de recuperação. A solução de hidróxido de sódio (licor branco) contém, também, o sulfeto de sódio formado na fornalha de recuperação. O licor branco produzido pelo sistema de recuperação é misturado nos digestores com parte do licor negro, visando atingir a relação licor/madeira apropriada, sem precisar adicionar água. Isso resulta em um aumento na concentração de materiais orgânicos no licor negro que vai para os evaporadores.

O forno de cal é grande fonte de emissão de material particulado e compostos reduzidos de enxofre.

Na figura 29 são apresentados alguns subsistemas da recuperação química, com destaque principal para a caustificação e a recuperação da cal.

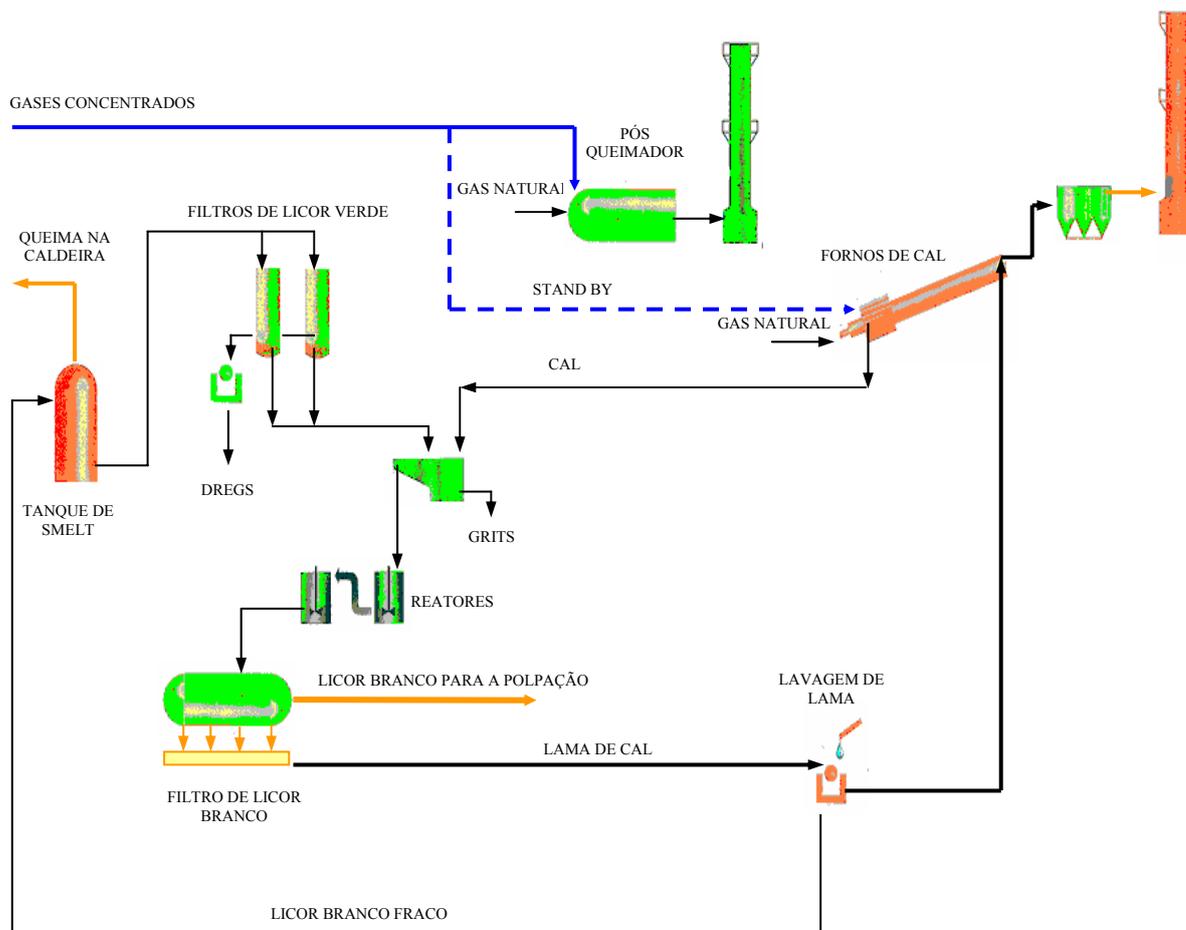


Figura 29: Recuperação química, com destaque para a caustificação e a recuperação da cal (PECE/USP, 2005).

3.4.5. Subsistema fabricação do papel

Um papel produzido contendo exclusivamente fibras celulósicas não satisfaz determinadas características para as mais diversas aplicações que o mercado tem solicitado para o produto. Uma folha produzida exclusivamente com fibras de celulose é porosa, apresenta uma superfície pouco lisa, pouco resistente, com opacidade insatisfatória, entre outros aspectos indesejáveis.

Os papéis existentes atualmente no mercado exigem características que lhes conferem versatilidade nas aplicações. Para isto, a indústria papelreira tornou-se grande consumidora de produtos químicos, que são adicionados para melhoria das propriedades do papel ou para eliminar determinados problemas de operação (IPT e SENAI, 1982).

Ainda segundo esta fonte, uma relação geral dos produtos químicos empregados na fabricação de papéis é a seguinte:

- agentes de colagem interna;
- adesivos para melhoria das propriedades mecânicas do papel em condições secas;
- adesivos para melhoria das propriedades mecânicas do papel em condições úmidas;
- flocculantes de fibras;
- cargas;
- corantes e agentes branqueadores fluorescentes;
- auxiliares de retenção;
- auxiliares de drenagem;
- agentes tensoativos;
- microbiocidas;
- controladores de *pitch*;
- controladores de espuma;
- inibidores de corrosão;
- conservadores de telas;
- ácidos, sais, bases etc.

A manufatura do papel requer grande quantidade de água na diluição da celulose e de outros materiais não fibrosos (pigmentos e produtos químicos) usados para a formação da folha de papel.

As etapas básicas da fabricação de papel e papelão são: a preparação da massa, a formação da folha e a secagem.

Preparação da massa

Nas fábricas integradas, a celulose chega ao sistema de preparação de massa na forma de uma suspensão em água, com consistência de 3 a 6%, ou até 12%. Quando a fábrica de celulose não é integrada a de papel, a celulose pode ser recebida na forma de blocos ou rolos, sendo desfeitos em tanques desagregadores.

No Brasil, os principais fabricantes de papel offset são integrados a de produção de celulose.

O primeiro passo consiste em formar uma suspensão de fibras em água, com consistência adequada, e realizar a adição dos demais componentes fibrosos e não-fibrosos (IPT e SENAI, 1982).

Refinação

Segundo IPT e SENAI (1982), a refinação é um processo complexo, que apesar de muitos estudos realizados neste campo, existem ainda dúvidas e teorias não aceitas totalmente.

Não se atendo ao que ocorre dentro da fibra e a influência de uma série de variáveis, o que mais interessa ao fabricante de papel são os efeitos do processo sobre o produto acabado.

Na refinação, as fibras recebem tratamento mecânico em máquinas denominadas holandesas e modernamente nos refinadores (cônico e de discos), com a finalidade de prepará-las para dar um papel com boa formação e resistência mecânica adequada. O principal efeito da refinação da celulose é a fibrilação interna. (IPT e SENAI, 1982)

A fibrilação interna, de uma maneira geral, significa a ação de esgarçamento total ou parcial das camadas mais externas das fibras, o que durante fabricação de papel proporciona uma maior área de contato entre estas, permitindo a formação de ligações por pontes de hidrogênio entre as fibras vizinhas.

Depuração

Esta operação que consiste em fazer a massa diluída atravessar um depurador, para eliminação de aglomerados de fibras ou impurezas das matérias primas e das diversas fases do processo de fabricação, como nós, estilhas, areia, partículas metálicas e outros materiais estranho. A depuração é realizada imediatamente antes da caixa de entrada da máquina de papel. Dependendo da matéria prima empregada (especialmente quando são empregadas aparas sujas), a depuração pode ser feita também em outras seções da preparação da massa. (IPT e SENAI, 1982)

Os métodos mais empregados são as peneiras (planas, rotativas e pressurizadas) e os limpadores centrífugos para retirar partículas com alto peso

específico, cuja remoção seria muito difícil, ou mesmo impossível, pelo emprego apenas das peneiras.

Formação da folha e secagem

Quando a polpa chegar à caixa de entrada da máquina de papel, seu conteúdo de água excede 97%. A mistura é lançada sob a forma de um jato fino e uniforme sobre uma tela móvel chamada de tela formadora. A ação filtrante desta tela formadora, combinada com um sistema de vácuo, extrai a maior parte da água de diluição da polpa formando assim a folha de papel uniforme e com gramatura pré-estabelecida. A folha é prensada entre rolos para remover mais água. A folha então atravessa a seção de secagem onde entra em contato com cilindros enormes que estão geralmente aquecido com vapor (temperatura de cada cilindro pode atingir 120° C), extraindo a maior parte da água restante através da evaporação.

A remoção da água da celulose em suspensão e a secagem da folha necessitam de um alto consumo energético. Algumas empresas possuem duas seções de secagem, antes da segunda seção de secagem, a folha passa por um banho de amido.

Uma prensa faz aplicação do amido, que pode ser de mandioca ou de milho, nos dois lados da folha. O amido proporciona a folha uma resistência adequada ao bom desempenho nos processos de impressão gráfica.

O segundo conjunto de secadores retira a água que a folha adquiriu durante a aplicação do amido, de forma a controlar a umidade final do papel dentro das especificações desejadas.

Revestimento do papel

É o nome mais usado dentro da indústria de papel e na literatura internacional, para designar a operação tecnicamente chamada de revestimento do papel com pigmentos, que consiste em cobrir o papel de um ou dois lados com uma camada de adesivo, pigmento e outros ingredientes secundários, denominada tinta de revestimento. Em nosso país, usam-se também os termos cobertura do papel, pintura do papel ou mesmo as formas estrangeiras *coating* e *couché*. A operação de revestimento pode ser feita na máquina de papel, ou em uma instalação

complementar em separado. Depois de revestido o papel passa normalmente pela fase de acabamento. Em nosso país, usa-se em revestimento de papel, principalmente amido modificado, caseína e resinas sintéticas (CELULOSE ON LINE, 2004).

No final da máquina, o papel é enrolado em enormes mandris (rolo jumbo com peso de 6 a 20 toneladas), que são rebobinados e segmentados em rolos menores, seguindo para a seção de conversão ou de acabamento.

Acabamento

O acabamento é o setor da fábrica responsável pela conversão em folhas cortadas e pela embalagem de todos os produtos acabados. Para este processo dispõe de modernos equipamentos que são responsáveis pelo corte, empacotamento e paletização dos papéis de expediente. Hoje em dia devido ao alto grau de tecnologia na maioria das fábricas toda a produção é realizada, automaticamente, sem contato manual.

O papel de impressão e de escrever é vendido em bobinas ou em embalagens com folhas pré-cortadas, chamadas tamanho padrão (VCP, 2002).

Na figura 30 é apresentado o balanço mássico da fabricação de 1 t de papel offset. No Anexo I são apresentados o fluxograma original da produção de papel offset (PECE/USP, 2005) e a metodologia de cálculo empregada para relacionar as entradas e saídas das unidades de processo que integram a cadeia produtiva do papel.

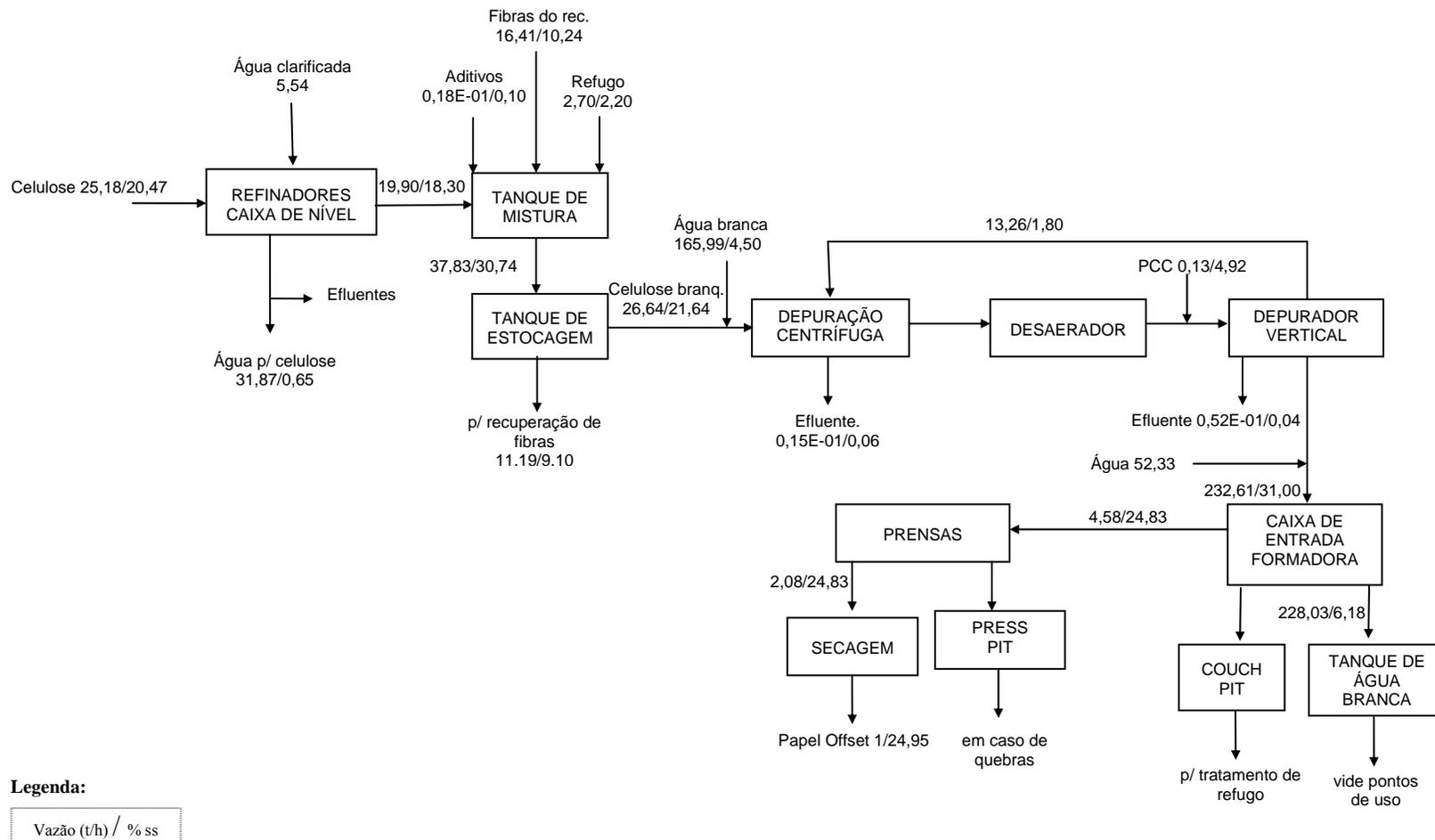


Figura 30: Balanço de massa para o subsistema fabricação de papel offset (adaptado de PECE/USP, 2005)

Materiais não fibrosos

As cargas, incorporadas à suspensão de fibras celulósicas durante a formação do papel, são compostas de materiais minerais, dentre os quais, os mais empregados são caulim, carbonato de cálcio, talco etc.

Como uma técnica muito antiga, o emprego de cargas tornou-se atualmente imprescindível para a obtenção de papéis com usos cada vez mais específicos. A carga é utilizada com a finalidade básica de propiciar maior uniformidade à superfície, melhorar as características, tais como alvura, lisura e opacidade, fornecendo condições para uma boa impressão, além de poder baratear o custo do papel. Num papel com carga inorgânica, a calandragem produz melhores resultados, fazendo com que o papel adquira melhores condições para boa impressão (IPT e SENAI, 1982).

A escolha do tipo de pigmento mineral natural ou sintético a ser utilizado depende de suas características e do papel que se deseja produzir.

Segundo IPT e SENAI (1982), as cargas podem ser adicionadas diretamente nos refinadores, durante a fase de preparação da massa, sob a forma sólida ou em suspensão aquosa. Algumas fábricas podem adicionar as cargas em outros diversos pontos, no entanto, estudos vêm sendo realizados com o objetivo de determinar o melhor local, onde se obtenha maior retenção na massa e menores perdas nos efluentes.

Caulim

O caulim é uma rocha constituída de material argiloso, granulometria fina, que apresenta, em geral, cor branca ou quase branca, devida ao baixo teor de ferro. É considerado um dos mais sofisticados minerais industriais por suas propriedades química e física, apresentando assim, um vasto campo de utilização.

É um dos minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre, formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita. O caulim contém também outras substâncias, sob a forma de impurezas (40-50% em volume), como areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio etc. Embora o mineral caulinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) seja o principal

constituente do caulim, outros elementos além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio acham-se geralmente presentes (SILVA, 2001 e IPT / SENAI, 1982).

Não existem caulins suficientemente puros que possam ser usados sem beneficiamento, o que além das características intrínsecas do caulim, é o que determina sua qualidade. Sua purificação pode ser realizada por flotação a ar seco, resultando em material de carga bem econômico, com alvura de 79 a 81° GE (IPT e SENAI, 1982).

O caulim possui uma ampla variedade de usos, como na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana, indústria de borracha, plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes e outros. A partir de 1920 teve início a aplicação do caulim na indústria de papel.

Segundo SILVA (2001), as reservas mundiais de caulim são bastante abundantes e de ampla distribuição geográfica. Porém, apenas quatro países detêm cerca de 95% de um total de 14,2 bilhões de toneladas: Estados Unidos (53%), Brasil (28%), Ucrânia (7%) e Índia (7%). Em nosso país, quanto à origem, são encontrados caulins de natureza primária ou residual (quando resultantes da alteração de rochas in situ) e secundária ou sedimentar (quando resultantes da deposição de materiais transportados por corrente de água doce).

A indústria de papel responde por 45% do consumo mundial de caulim, usado como carga na produção de papel para imprimir e escrever e como revestimento na de papéis para impressão (*light weight coated* - LWC), couchê e de papel cartão (GOMES; FERNANDES; VALENÇA, 2004).

No Brasil, os principais Estados caracterizados por grandes reservas de caulim do tipo sedimentar e com propriedades para diversas aplicações industriais, principalmente em revestimentos de papel (*coating*), são o Amazonas, o Pará e o Amapá, participando, respectivamente, com 63,4%, 18,9% e 8,9% do total das reservas. Nas demais Unidades da Federação há uma predominância do caulim primário, originado tanto da alteração de pegmatitos como do intemperismo de granitos, com destaque para os Estados de São Paulo, Goiás, Santa Catarina e Paraná (SILVA, 2001 e DNPM, 2000).

Conforme CETEM (2000), é um pigmento de baixo custo, sendo bastante utilizado na manufatura do papel, atuando como um extensor, pois diminui o uso de

materiais mais caros (como o TiO_2 - dióxido de titânio), ou utilizado como cobertura para tornar a superfície do papel macia, ou ainda, como carga funcional, visando melhorar a aparência do papel, opacidade, receptividade a tinta e impermeabilidade.

Talco

O talco é um silicato hidratado de magnésio, insolúvel em água e quimicamente inerte. Geralmente, o talco é extraído de depósitos naturais por processos mecânicos.

Para CGEE, 2000, o talco brasileiro não apresenta competitividade no comércio internacional, e no país está muito vulnerável a substituições por importações da China e minerais de melhor desempenho técnico e econômico.

Este pigmento é usado freqüentemente como agente controlador de *pitch* em celulose e papel, sendo considerado o mercado de mais alto valor agregado para o talco, que é abastecido integralmente por talco importado (CGEE, 2000; IPT e SENAI, 1982).

Carbonato de Cálcio Precipitado

Atualmente, o carbonato de cálcio talvez seja o mineral mais amplamente disponível e utilizado no diversificado mercado de aditivos.

Maiores considerações sobre esse insumo empregado no processo de fabricação do papel offset será visto no item: subsistema carbonato de cálcio precipitado.

3.4.6. Subsistema tratamento de efluentes

Segundo STEPHENSON et. al. (1996); REIS et. al. (1999) *apud* RODRIGUES et. al. (2004), os efluentes gerados no processo Kraft contêm grandes quantidades de sólidos em suspensão, resultante de pequenas fibras de celulose que são arrastadas para o meio, e também material orgânico dissolvido, constituídos principalmente de polissacarídeos e compostos lignocelulósicos. Os compostos lignocelulósicos, derivados da lignina, são de difícil biodegradação e exercem significativo efeito tóxico à comunidade biológica, conferindo cor e altas cargas de matérias orgânicas aos efluentes.

As empresas de produção de papel e celulose nacionais utilizam semelhantes práticas de tratamento de efluentes, que são divididas, normalmente, em 4 grupos distintos: pré-tratamento, tratamento primário, secundário e terciário.

Pré-tratamento

No primeiro estágio são removidos os sólidos, como areia, detritos, cinzas inorgânicas, pedregulhos entre outros. Este tipo de operação é feita por tanques de sedimentação ou sistema de peneiramento.

Normalmente, no pré-tratamento é realizado o ajuste de temperatura, pois temperaturas acima de 40°C podem interferir no tratamento secundário por alterar as condições do processo de oxidação biológica. Este ajuste pode ser feito por torres de resfriamento, tanques providos por aspersores, sistemas de cascatas ou por tanques de homogeneização.

Realiza-se também o ajuste de pH do despejo líquido, que deve ficar entre 6 e 9, para um adequado tratamento secundário.

Tratamento primário

A principal função do tratamento primário é a remoção dos sólidos em suspensão que pode ser obtida por decantação e/ou flotação.

Antes da decantação primária, pode ser empregada a floculação, pois a quantidade de matéria coloidal e substâncias químicas dispersas nos despejos podem inibir a sedimentação.

Após a floculação, realiza-se a decantação ou flotação com ar dissolvido.

Nas modernas instalações tem sido empregado decantadores mecanizados em substituição as lagoas de sedimentação. Os decantadores com remoção mecanizada do lodo podem atingir valores de 80 - 90% de remoção de sólidos suspensos e total de sólidos sedimentáveis, com tempo de detenção de 3 a 4 horas (CETESB, 1990).

Segundo esta fonte, os lodos produzidos nos decantadores mecanizados devem ser submetidos a processos de tratamento antes da disposição final. Algumas técnicas para redução de seu volume tem sido adotadas, como a secagem em filtros à vácuo, filtros prensa, centrífugas ou prensas.

Na falta de disponibilidade física, a flotação pode ser uma alternativa empregada pelas empresas para a remoção de sólidos suspensos, no entanto, o processo é de grande consumo energético e químico, além de um alto custo dos equipamentos.

Entre o tratamento primário e secundário, normalmente, são empregados tanques de homogeneização que atuam também como tanque de equalização da vazão dos despejos líquidos da indústria.

Tratamento secundário

O tratamento secundário tem como principal objetivo reduzir a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) por meio de processos de oxidação biológica, considerando que o tratamento primário tem pouca influência sobre este aspecto do despejo.

Antes do início do tratamento biológico, devem ser adicionados nutrientes, na forma de nitrogênio e fósforo, que são essenciais para a existência e balanceamento dos organismos biológicos necessários a oxidação e estabilização do material orgânico do despejo (FONSECA et. al., 2003). Os sistemas biológicos mais empregados são as lagoas de estabilização, lagoas aeradas e lodos ativados.

- lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são utilizadas tanto para regularizar as descargas no corpo receptor como também para reduzir a carga de DBO.

Entre as principais vantagens das lagoas de estabilização, estão: baixo investimento e custo operacional, relativa eficiência, corresponder favoravelmente ao tratamento e boa flexibilidade operacional. Suas desvantagens devem se ao elevado tempos de detenção requeridos (cerca de 10 a 30 dias) e a grande extensão territorial necessária (FONSECA et. al., 2003 e CETESB, 1990).

- lagoas aeradas

Face as maiores vazões das indústrias de grande porte, as lagoas aeradas surgiram para melhorar o desempenho das lagoas de estabilização, que se encontravam sobrecarregadas.

Os tempos de detenção nestas unidades variam de 5 a 10 dias e na grande maioria dos sistemas é necessário realizar a adição de nutrientes (N e P). A aeração é quase sempre feita por aeradores mecânicos superficiais.

As lagoas aeradas possuem como vantagens: necessita de menores áreas que as lagoas de estabilização, no entanto maiores que os lodos ativados e custo de implantação, operação normalmente menores que estes.

O lodo biológico produzido nas lagoas aeradas é menor do que o proveniente de outros processos biológicos de alta taxa, que em geral variam entre 0,1 a 0,2 kg de lodo por kg de DBO removida (FONSECA et. al, 2003).

- lodos ativados

O sistema de lodos ativados é empregado principalmente em fábricas onde não exista área suficiente para a implantação de lagoas de estabilização. Neste processo biológico, o influente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados. Parte do lodo separado por sedimentação, do efluente tratado, retorna ao processo e o restante em excesso é retirado do sistema via desaguadoras e encaminhado para a destinação final.

Este processo possui taxas de remoção de DBO superiores a 80% e tempos de detenção que variam entre 4 e 8 horas (CETESB, 1990).

As vantagens desse sistema estão relacionadas a excelente qualidade do efluente obtido, flexibilidade operacional, volume pequeno do reator, estabilidade e segurança do processo.

As maiores desvantagens deste processo, comparada aos outros, são o maior custo, pouca resistência a cargas de choque e a formação de grandes quantidades de lodo (em torno de 0,75 kg lodo/kg de DBO₅ removida), que devem ser destinadas adequadamente (CETESB, 1990).

Tratamento terciário

O tratamento terciário pode ser empregado quando o objetivo é conseguir remoções adicionais de poluentes das águas residuárias, antes de seu lançamento no corpo receptor, este processo é também conhecido por polimento.

Os processos de tratamento terciário em estudo compreendem: filtração para remoção de DBO e DQO, cloração ou ozonização para remoção de bactérias, absorção por carvão ativado, processo da pasta de cal e outros processos de absorção química para redução de cor, redução de espuma e remoção de sólidos inorgânicos através da eletrodialise, da osmose reversa e da troca iônica (GRIECO, 1995 *apud* FONSECA et. al., 2003).

3.4.7. Principais aspectos ambientais

3.4.7.1. Cultura do eucalipto

Na década de 60, novos projetos florestais foram implantados no país, visando o aumento da produtividade do povoamento, sem que houvesse uma preocupação com os seus aspectos ambientais. Alguns desses projetos resultaram em experiências negativas, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, que levaram ao surgimento de uma corrente “anti-eucalipto”, condenando a prática da silvicultura e principalmente da monocultura desta espécie.

A argumentação empregada para esta rotulagem negativa do setor é que a espécie promove a degradação e empobrecimento do solo, assoreamento dos mananciais hídricos e diminuição da infiltração da água no solo. Estes aspectos seriam de grande importância e necessitariam serem considerados para COUTO e DUBÉ (2001 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005), naquele período, quando o preparo do solo era realizado da mesma maneira que as práticas agrícolas convencionais, o que compreendia a movimentação extensiva do solo por maquinários pesados e a queima dos resíduos orgânicos deixados sob o solo após a etapa de colheita.

Para EVANS (1992, *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005), a absorção de água do solo em plantios de eucalipto é frequentemente maior do que em outros tipos de uso da terra, devido ao seu alto metabolismo e capacidade de produzir sistema radicular muito bem desenvolvido. Entretanto, essa característica não é comum a todas as espécies de eucalipto (COUTO e DUBÉ, 2001 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

Segundo LIMA (1993, *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO 2005), a extração de nutrientes para o eucalipto é bem menor quando comparado com as culturas agrícolas, assim como comentado anteriormente.

Ainda segundo KOSCINSKI (1938), em uma plantação florestal, o solo não é esgotado pela floresta, tão pouco pela queimada. O que ocorre é o contrário a fertilidade aumenta constantemente, embora as árvores retirem as substâncias orgânicas indispensáveis ao seu desenvolvimento, fornecem simultaneamente uma quantidade muito maior em volume destas substâncias, sob a forma de folhas e galhos caídos. A ação da sombra das copas das árvores favorece a decomposição desta matéria orgânica e forma, desse modo, o húmus que é um excelente adubo natural.

Quanto ao aspecto de alteração da biodiversidade do uso da terra, esta promovida com a implantação da monocultura do eucalipto, devem ser adotadas medidas de manejo adequadas tanto das áreas florestais plantadas quanto das florestas nativas preservadas (BERNDT, 1992 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

De acordo com SBS (2005), estudos de conservação de solo atestam que áreas plantadas com eucaliptos por vários anos, quando direcionadas para outras lavouras, não interferem na produtividade, existindo até evidências de que culturas agrícolas plantadas em áreas anteriormente ocupadas por eucaliptos podem produzir acima da média verificada em lavouras locais. Mais recentemente, estudos indicam que a microbiologia do solo (ou seja, seus componentes vivos) ganha complexidade nas florestas plantadas, quando comparadas aos demais cultivos agropecuários.

O efeito mais significativo das plantações de eucalipto na hidrologia local é o mesmo causado por qualquer outro tipo de cobertura florestal, o da interceptação de copa. A interceptação de copa em plantios de eucalipto com idade de 7 anos, apresenta valores entre 12 e 15 % o que é igual ou menor do que os valores observados em plantios de outras espécies ou mesmo na mata nativa (LIMA, 1993 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

Alguns estudos científicos indicam que para cada tonelada de matéria seca produzida em florestas plantadas, são retirados do ar 1,8 t de CO₂ e liberados 1,3 t de O₂ para a atmosfera (GUT, 1998 *apud* COUTO; MÜLLER; TSUKAMOTO, 2005).

3.4.7.2. Produção do papel

Historicamente, a indústria de papel e celulose tem sido considerada a maior consumidora de recursos: naturais (água) e energéticos (combustíveis fósseis e eletricidade), incluindo a madeira e, uma contribuidora significativa para descargas poluentes, no que se trata dos resíduos sólidos, emissões atmosféricas e principalmente efluentes líquidos, que podem impactar, de maneira adversa, o meio ambiente (IPPC, 2001).

A preocupação com o meio ambiente vem aumentando e o setor de papel e celulose nacional tem sido um dos alvos da atenção pública, devido à repercussão de casos, mesmo que isolados, de contaminação de corpos hídricos com o vazamento de tanques contendo efluentes industriais. Segundo CPRH e GTZ (1998), o elevado potencial poluente do setor está relacionado às volumosas descargas de matéria orgânica e substâncias tóxicas geradas no processo produtivo.

Estatísticas relativamente recentes indicam que a produção mundial de polpas de madeira corresponde a aproximadamente 50 milhões de toneladas, o que implica na geração diária de mais de 62 milhões de metros cúbicos de efluentes, um volume equivalente ao consumo doméstico de água de aproximadamente 200 milhões de pessoas (UFPR, 2004). Estudos vêm sendo realizados e técnicas implementadas pelas indústrias com o interesse na diminuição do consumo de água e da toxicidade dos efluentes da indústria de papel e celulose. Mesmo assim, os efluentes da indústria de papel e celulose tem sido o foco da preocupação pública, industrial e política nas últimas décadas.

Na tabela 21, são apresentadas as entradas e as saídas do processo, incluindo micro-poluentes, para as indústrias norte-americanas de papel e celulose que empregam o processo Kraft de polpação química e o branqueamento convencional à base de cloro. Os parâmetros apresentados nesta tabela foram adaptados e vêm sendo empregados pelo Governo Australiano em seu Inventário Nacional de Poluentes (NPI, 1998), como uma base de referência dos aspectos ambientais para a manufatura do papel.

Tabela 21: Aspectos ambientais da produção de papel, empregando o processo Kraft (USEPA, 2002)

Etapa do processo	Entradas materiais	Saídas do processo	Principais poluentes de saída ^a	Forma de poluição
Preparação dos cavacos	Madeira Cavacos Serragem	Cavacos da madeira	Poeira, areia, fibra, casca	Resíduo sólido
			DBO SST	Efluente líquido
Processo Kraft de Polpação Química	Cavacos da madeira	Licor negro (para recuperação química) e celulose (para processo de branqueamento)	Resina, ácidos graxos	Efluente líquido
			Cor	
			DBO	
	DQO			
Digestão química: sulfeto de sódio (Na ₂ S), hidróxido de sódio (NaOH), licor branco (para recuperação química)			AOX	Emissão atmosférica
			VOCs (terpenos, álcoois, fenóis, metanol, acetona, clorofórmio, metil-etil-cetona)	
			VOCs (terpenos, álcoois, fenóis, metanol, acetona, clorofórmio, metil-etil-cetona)	
			Compostos reduzidos de enxofre (TRS)	
			Compostos organoclorados (por exemplo: 3,4,5 - tricloriguaiacol)	
Branqueamento ^b	Polpa química	Polpa branqueada	Lignina e carboidratos dissolvidos	Efluente líquido
			Cor	
			DQO	
	AOX			
			Compostos clorados inorgânicos (por exemplo: (ClO ₃) ^c)	
	Hipoclorito (HClO, NaOCl, Ca(OCl) ₂)		VOCs (acetona, cloreto de metileno, clorofórmio, metil-etil-cetona, clorometano, tricloroetano)	Emissão atmosférica / Efluente líquido
	Dióxido de cloro (ClO ₂)			
Fabricação do papel	Aditivos, Polpa Branqueada / Polpa não branqueada	Papel / papelão	Resíduos particulados	Efluente líquido
			Compostos orgânicos	
			Tintas inorgânicas	
			DBO	
			acetona	
Sistema de Tratamento de Águas Residuárias	Águas residuárias do processo	Efluente tratado	Lodo	Resíduo sólido
			VOCs (terpenos, álcoois, fenóis, metanol, acetona, clorofórmio, metil-etil-cetona)	Emissão atmosférica
			DBO	Efluente líquido
			SST	
			DQO	
			Cor	
			Clorofenólicos	
			VOCs (terpenos, álcoois, fenóis, metanol, acetona, clorofórmio, metil-etil-cetona)	
Caldeira de energia	Carvão Madeira Resíduos de madeira	Energia	Cinza de fundo: fibras incombustíveis	Resíduo sólido
			SO ₂ , NO _x , cinzas volantes e partículas grosseiras	Emissão atmosférica
<i>Sistema de Recuperação Química</i>				
Evaporadores	Licor negro	Licor negro forte	Não-condensáveis do evaporador (TRS, compostos orgânicos voláteis: álcoois, terpenos, fenóis)	Emissão atmosférica
			Condensáveis do evaporador (DBO, sólidos em suspensão)	Efluente líquido
Caldeira de Recuperação	Licor negro forte	Fundido Energia	Partículas finas, TRS, SO ₂ , NO _x	Emissão atmosférica

Etapa do processo	Entradas materiais	Saídas do processo	Principais poluentes de saída ^a	Forma de poluição
Cautificação	Fundido	Licor branco recuperado	Dregs	Resíduo sólido
		Lama de cal	Resíduos sólidos da lama	Efluente líquido / Resíduo sólido
		Grits do apagador de cal (Slaker)	sólidos	Resíduo sólido
Calcinação (Forno de cal)	Lama de cal	Lama	Partículas finas e grosseiras	Emissão atmosférica

Notas:

^a Poluentes de saída podem diferir significativamente conforme o processo industrial e as entradas materiais (por exemplo: conteúdo de resina nos cavacos da madeira).

^b Lista de poluentes baseada na tecnologia de branqueamento ECF (livre de cloro elementar)

^c Clorato somente é produzido significativamente em indústrias que consumam altos níveis de dióxido de cloro.

SST: sólidos totais sedimentáveis

Apesar deste inventário de aspectos ambientais não ser característico da espécie de madeira predominante no Brasil, é empregado como uma base de referência, na ausência de outros estudos nacionais disponíveis. No entanto, mudanças tecnológicas têm sido implementadas com vista a melhoria do desempenho ambiental do processo como um todo. Atualmente, é verificada uma larga substituição do processo de branqueamento convencional à base de cloro pelo branqueamento com dióxido de cloro.

Os principais aspectos ambientais, para alguns subsistemas do ciclo de vida do papel, são apresentados a seguir.

Consumo de água

A água é um recurso muito importante no processo de fabricação de papel e celulose, sendo de modo geral, obtido dos rios que passam próximos às fábricas.

No Brasil, o consumo de água em uma indústria de papel e celulose, considerando as grandes diferenças na capacidade produtiva das empresas, pode variar de 40 a 150 metros cúbicos por tonelada de pasta seca ao ar, sendo que a etapa de branqueamento responde por 50% a 60% desse valor (ABTCP, 1999).

As empresas vêm adotando várias técnicas com a finalidade de reduzir o consumo de água e a carga lançada nos corpos d'água. Com a recente legislação que dispõem sobre a cobrança pelo uso da água e criação dos comitês (responsáveis pela implementação das leis) das bacias hidrográficas do Rio Paraíba do Sul, Piracicaba/Capivari/Jundiaí e Alto Tietê, as empresas do setor de papel e celulose devem se adaptar a esta nova realidade nacional.

Além das modificações de processo, a reciclagem de água no próprio processo ou o seu reuso em outros processos são medidas de controle interno adotadas, visando à redução do consumo de água e do potencial poluidor da indústria, conforme é apresentado na tabela 22.

Tabela 22: As principais fontes de poluentes e as medidas de controle interno adotadas (CETESB, 1990)

Reaproveitamento de água em indústrias Kraft	
Fonte	Reciclagem / Reuso
1. Cozimento, lavagem, depuração e espessamento · condensados do tanque de descarga e dos trocadores de calor do digestor, após tratamento por stripping; · condensados dos gases de alívio do digestor, após tratamento por stripping.	· lavagem da polpa, água de chuveiros dos filtros, dissolução do fundido, preparação da madeira; · diluição da polpa, água dos chuveiros do filtro de lodo.
2. Branqueamento · águas de lavagem do filtrado, excessos de água dos lavadores do selo hidráulico e águas de refrigeração.	· diluição da polpa, águas de diluição nas torres de branqueamento.
3. Recuperação de produtos químicos · condensados dos evaporadores de múltiplo efeito.	· lavagem da polpa, lavagem dos sedimentadores de licor verde, lavagem do lodo calcário, chuveiros do filtro de cal, preparação da madeira e lavagem dos gases do forno de cal.
4. Máquinas de papel · águas brancas.	· água brancas; · máquina de papel, preparação da massa, preparação da madeira, branqueamento.
5. Casa de força e água de refrigeração · águas de refrigeração da casa de força e águas de refrigeração em geral	· água de processo.

Consumo energético

O consumo de energia nas indústrias de papel e celulose, em geral, ocorrem em dois níveis: a energia térmica proveniente da biomassa e derivados de petróleo e a energia mecânica para acionamento, proveniente da eletricidade comprada de concessionárias.

Os grandes consumidores de energia mecânica nas plantas de papel e celulose, de acordo com BAJAY S. V.; BERNI, LIMA (2005), são os refinadores de massa, os depuradores, as bombas de vácuo e o acionamento da máquina de papel. A energia térmica, entretanto, é consumida basicamente nas operações de secagem. A indústria tem utilizado a biomassa obtida como subproduto do processo, assim como

o licor negro, na geração de energia. Existe também a possibilidade da indústria de produzir energia por cogeração.

O setor de papel e celulose, assim como o de açúcar e álcool, estão entre os maiores consumidores de biomassa e de energia do setor industrial. Em geral, as indústrias de celulose produzem energia a partir do licor negro do processo e da biomassa.

Apesar do potencial de geração de energia com a introdução de tecnologias mais eficientes e com menor impacto ambiental, a dificuldade na implantação dos sistemas de cogeração está no custo da energia auto-gerada em relação à fornecida pelas concessionárias.

Por outro lado, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (*Clean Development Mechanisms*) previstos pelo Protocolo de Kyoto, podem ser uma maneira de países subdesenvolvidos efetivarem acordos com os países que necessitam reduzir suas emissões de carbono para a atmosfera. A auto-suficiência energética desse segmento industrial e mesmo a geração de excedentes para venda podem ser uma oportunidade importante para investimento de capital estrangeiro (VESLÁZQUEZ e STORTINI, 2000).

O licor negro sendo um resíduo inevitável do processo de fabricação de celulose, altamente tóxico e poluente, existem inúmeras vantagens em sua recuperação. O licor negro apresenta todos os produtos químicos empregados no processo Kraft de polpação da celulose e seu uso como combustível na caldeira de recuperação, além de recuperar estes produtos químicos e gerar vapor, previne os potenciais impactos ambientais de seu descarte em corpos hídricos.

Emissões atmosféricas

As emissões atmosféricas da indústria de papel e celulose constituem-se basicamente de material particulado, de compostos reduzidos de enxofre e nas caldeiras de geração de vapor, de emanações dependentes do combustível utilizado (CPRH E GTZ, 1998).

As principais emissões atmosféricas, em termos de significância, em fábricas de celulose são apresentadas na tabela 23.

Tabela 23: Principais emissões atmosféricas nas várias etapas do processo sulfato (UNEP, 1980 *apud* TECLIM, 2004)

Fontes de emissão	Compostos reduzidos de enxofre	Dióxido de enxofre	Óxido de nitrogênio	Partículas
Cozimento	S	NS	NS	NS
Lavagem	S	NS	NS	NS
Evaporação do licor	S	NS	NS	NS
Caldeira de recuperação	S	S	S	S
Caustificação	S	NS	NS	S
Forno de cal	S	S	S	S

Nota: S = significativa e NS = não significativa.

Nas cadeiras e fornos da indústria de papel e celulose, tem-se a principal emissão atmosférica, como de SO₂, CO, CO₂, NO_x, compostos reduzidos de enxofre e de material particulado.

A emissão de compostos reduzidos de enxofre (gases mal cheirosos) é o maior problema de poluição do ar no processo Kraft de polpação química (TECLIM, 2004). Algumas características destes compostos são apresentadas no anexo J.

Emissões gasosas

A utilização de produtos à base de enxofre na composição do licor de digestão, leva a ocorrência de reações secundárias com alguns componentes orgânicos presentes na matéria-prima, dando origem a materiais gasosos com odor desagradável, os organossulfurados.

Sob o aspecto da poluição do ar, esses materiais gasosos são uma mistura dos gases de sulfeto de hidrogênio, metil mercaptana, sulfeto de dimetila e dissulfeto de dimetila, emitidos durante o processo Kraft de polpação. Todos esses gases são chamados de compostos reduzidos de enxofre (TRS), sendo que os três últimos também podem ser classificados também como compostos orgânicos de enxofre (CETESB, 1990).

Segundo OSSES (1991, *apud* MOURA; FOELKEL; FRIZZO, 2002) os compostos reduzidos de enxofre são severos poluentes atmosféricos, mesmo a níveis de partes por bilhão, podendo causar desde irritação nas vias respiratórias até a morte. Independentemente da matéria-prima e do processo utilizado para a produção de celulose, existem inúmeras possibilidades para a geração destes gases odoríferos,

em fábricas de celulose, as quais precisam ser bem conhecidas, monitoradas e aperfeiçoadas para prevenir esta forma de poluição.

Os gases típicos encontrados em um processo de polpação Kraft, segundo CETESB (1990), são:

- sulfeto de hidrogênio - H_2S

O sulfeto de hidrogênio constitui uma das principais emissões gasosas do processo Kraft.

As emissões do sulfeto de hidrogênio são provenientes da quebra do sulfeto de sódio, base fraca presente no licor de cocção, podendo ser encontrado também quando na má operação da caldeira de recuperação, conforme os compostos contendo enxofre são volatilizados e reduzidos nas seções mais baixas da fornalha. Na operação normal da fornalha, o sulfeto de hidrogênio se oxida, transformando-se em dióxido de enxofre (SO_2) nas regiões de combustão, antes dos gases de exaustão saírem da fornalha. Na evaporação, o sulfeto de hidrogênio pode se desprender do licor negro nas saídas de vapor (CETESB, 1990).

- metil mercaptana - CH_3SH

A metil mercaptana é formada durante o processo de cozimento pela reação do íon hidrossulfeto com a lignina da madeira. As emissões deste gás são advindas do alívio do digestor, no tanque de descarga em processo de digestão descontínua e no tanque de lavagem da polpa. Sua emissão diminui à medida que decresce a sua concentração residual no licor.

- dimetil sulfeto - $(CH_3)_2S$

O sulfeto de dimetila é formado pela reação de íons metil mercaptídicos (formados pela dissociação da metil mercaptana em solução aquosa) com a metoxilignina da madeira. Este gás é altamente volátil a temperaturas normais do licor, da ordem de 50 a 80°C.

- dimetil dissulfeto - $(CH_3)_2S_2$

O dissulfeto de dimetila é formado pela oxidação da metil mercaptana através do sistema de recuperação, especialmente nas torres de oxidação.

- dióxido de enxofre - SO₂

Suas fontes principais são as caldeiras de geração de vapor e a fornalha de recuperação. Na caldeira de geração de energia, sua emissão é dependente do tipo de combustível e de sua porcentagem de enxofre. Outra fonte de sua emissão é a caldeira de recuperação, onde os TRS podem ser oxidados na fornalha, transformando-se em dióxido de enxofre.

Na polpação, lavagem da celulose, concentração do licor negro nos evaporadores de múltiplos efeitos e queima da lixívia nas caldeiras de recuperação são formados gases poluentes ricos em compostos da lignina, que usualmente, são coletados e descartados em um incinerador de gases (BAJAY; BERNI; LIMA, 2005).

Emissões de particulados

A emissão de particulados ocorre principalmente na caldeira de recuperação, mas outras fontes podem ser os fornos de cal, os tanques de fundentes, a caldeira de geração de vapor e respiradouros.

Na caldeira de recuperação, a queima do licor negro concentrado resulta em apreciável quantidade de particulados. A composição dos sólidos arrastados pelos gases de exaustão depende das condições de operação da fornalha e da composição do licor. O maior constituinte químico das partículas emitidas pela caldeira é o sulfato de sódio (Na₂SO₄), além de quantidades menores de carbonato de sódio (Na₂CO₃) e cloreto de sódio (NaCl). No tanque de dissolução, o fundido recuperado é dissolvido em água, podendo gerar desprendimento de vapor d'água contendo compostos de sódio dissolvidos.

Outras fontes de emissão de particulados são as caldeiras alimentadas, de forma parcial ou total, com cascas. Os particulados provenientes destas fontes são constituídos principalmente por cinzas (CETESB, 1990).

Na tabela 24, é apresentado um resumo das emissões atmosféricas da indústria de celulose pelo processo Kraft, por tipo de fonte.

Tabela 24: Emissões por tipo de fonte (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)

Fonte	Emissões
Digestor	Vapor de água e gases odoríferos
Depuradores e tanques de lavagem	Névoas e gases odoríferos
Armazenamento de licor negro Torre de oxidação de licor negro Evaporadores de múltiplos efeitos	Gases odoríferos
Caldeira de recuperação	Particulados, gases odoríferos, SO _x , NO _x
Tanque de dissolução de fundidos	Névoas, SO ₂ e gases odoríferos
Forno de cal	Particulados, gases odoríferos, SO ₂ , NO _x
Tanque de caustificação	Névoas e gases odoríferos
Caldeira para geração de energia	Particulados, SO ₂ , NO ₂ , CO e CH ₄

A composição qualitativa de algumas categorias de emissões atmosféricas pode ser resumida na tabela 25.

Tabela 25: Composição qualitativa de emissões atmosféricas (CPRH e GTZ, 1998; CETESB, 1990)

Categoria	Composição qualitativa
Particulados	Carbonato de sódio, sulfeto de sódio, cal, óxido de sódio, carbono e cinzas
Gases odoríferos	Sulfeto de hidrogênio, metil mercaptana, sulfeto de dimetila, dissulfeto de dimetila, etil mercaptana, isopropil mercaptana, n-propil mercaptana, sulfeto de etila e outros
Outros gases	Monóxido de carbono, dióxido de enxofre, cloro, dióxido de cloro, dióxido de carbono, álcool metílico, álcool etílico e acetona

Na tabela 26, são apresentados valores típicos de emissões de compostos reduzidos de enxofre para uma planta Kraft.

Tabela 26: Emissões típicas de TRS (kgS/tsa) em fábricas com processo Kraft de polpação química (ABTCP, 1995)

Fonte de emissão	H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂	Total
Digestor Batch					
- gases do Blow tank	0,0 - 0,1	0,0 - 1,0	0,0 - 2,5	0,0 - 1,0	0,0 - 4,6
- gases de alívio	0,0 - 0,1	0,0 - 0,3	0,1 - 0,8	0,1 - 1,0	0,2 - 1,3
Digestor contínuo	0,0 - 0,1	0,5 - 1,0	0,1 - 0,5	0,1 - 0,4	0,7 - 2,0
Tanque de filtrado do lavador	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4
Evaporadores	0,1 - 1,5	0,1 - 0,8	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0	0,4 - 4,3
Tanque de licor negro oxidado	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4	0,0 - 0,3	0,0 - 0,9
Caldeira de Recuperação	0,0 - 25	0,0 - 2,0	0,0 - 1,0	0,0 - 0,3	0,0 - 28,3
Tanque de dissolução (Smelt)	0,0 - 1,0	0,0 - 0,8	0,0 - 0,5	0,0 - 0,3	0,0 - 2,6
Forno de cal	0,0 - 0,5	0,0 - 0,2	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,9
Apagador de licor verde	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4

Nota: kgS/tsa - kilograms de enxofre por tonelada de celulose seca ao ar

As emissões de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio por fontes do processo Kraft são apresentadas na tabela 27.

Tabela 27: Concentrações e fatores de emissão típicos de SO_x e NO_x por fontes no processo Kraft (CPRH e GTZ, 1998; ABTCP, 1995)

Fonte	Concentração (ppm por volume)			Fator de emissão (kg/t celulose seca ao ar)		
	SO ₂	SO ₃	NO _x (como NO ₂)	SO ₂	SO ₃	NO _x (como NO ₂)
Caldeira de recuperação:						
• sem combustível auxiliar	0-1.200	0-100	10-70	0-40	0-4	0,7-5
• com combustível auxiliar	0-1.500	0-150	50-400	0-50	0-6	1,2-10
Forno de cal	0-200	-	100-260	0-1,4	-	10-25
Tanque de dissolução	0-100	-	-	0-0,2	-	-
Caldeira de força	-	-	161-232	-	-	5-10 ^(b)

(b) kg/t óleo combustível

Segundo CPRH e GTZ (1998), um resumo dos valores referenciais de emissão levantados para vários projetos de indústrias brasileiras de celulose e papel (novas e ampliações) é mostrado na tabela 28. Esta tabela representa uma informação importante que demonstra a diversidade de valores ainda adotados.

Tabela 28: Valores referenciais de emissões por fontes (CPRH e GTZ, 1998)

Fontes	Material particulado	Dióxido de enxofre	TRS
Caldeira de recuperação	125 mg/Nm ³ , (8% O ₂) 107 mg/Nm ³ , base seca, 8% O ₂ 100 mg/Nm ³ , (8% O ₂) 80 mg/Nm ³ , base seca, 8% O ₂	200 mg/Nm ³ , (8% O ₂)	5,0 ppm, (8% O ₂) 3,0 ppm, base seca, (8% O ₂) 2,0 ppm, base seca, (8% O ₂) 1,5 ppm, base seca, (8% O ₂) 1,0 ppm, base seca, (8% O ₂)
Fornos de cal	150 mg/Nm ³ , (10% O ₂) 143 mg/Nm ³ , base seca, (10% O ₂) 100 mg/Nm ³ , (10% O ₂)		8,0 ppm, base seca (10% O ₂) 3,0 ppm, base seca (10% O ₂)
Tanque de dissolução de fundidos	0,1 g/kg de sólidos secos do licor negro 200 mg/Nm ³ , (10%O ₂) 100 mg/Nm ³ , (10%O ₂)		0,0084 g/kg de sólidos secos do licor negro
Caldeira de biomassa	200 mg/Nm ³ 100 mg/Nm ³		

Nota: os valores não guardam correspondência nas linhas.

Efluentes líquidos

Os efluentes líquidos gerados na produção de papel e celulose são extremamente variáveis, tanto em características qualitativas quanto em quantidade por unidade de processo.

Na produção de papel e celulose, é essencial o uso de grande quantidade de "águas tratadas", que são utilizadas em várias etapas do processo, como o descascamento da madeira, o cozimento, a lavagem da polpa, o branqueamento, a dissolução ou mistura de reagentes e o emprego como veículo de transporte de fibras através de depuradores, refinadores e máquinas de papel. A água utilizada geralmente é proveniente de águas superficiais e ocasionalmente de águas subterrâneas (CETESB, 1990).

Os pontos de geração dos principais efluentes líquidos são apresentados na tabela 29.

Tabela 29: Pontos de geração de efluentes líquidos (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)

Fonte	Efluente Líquido
Pátio de madeira	• Águas de lavagem
Obtenção da polpa <ul style="list-style-type: none"> • Blow tank (tanque de descarga) • Lavagem da massa • Espessador • Depuração • Refrigeração 	<ul style="list-style-type: none"> • Condensados dos recuperadores de calor • Águas de lavagem • Águas de prensagem • Águas de diluição • Águas de refrigeração
Branqueamento <ul style="list-style-type: none"> • Pré-deslignificação (oxigenação) • Extração Alcalina 	<ul style="list-style-type: none"> • Águas ácidas de lavagem • Águas alcalinas de lavagem
Recuperação de produtos químicos <ul style="list-style-type: none"> • Evaporadores de múltiplo efeito • Clarificador de licor verde • Forno de cal • Caldeira de recuperação 	<ul style="list-style-type: none"> • Condensados • Águas de lavagem de dregs • Águas de lavagem de gases • Águas de lavagem, se houver lavagem dos gases antes do precipitador eletrostático
Fabricação do papel <ul style="list-style-type: none"> • Tanque de água branca filtrada (falta de capacidade) • Centrífugas (centricleaners) • Depuração • Seção de prensagem da máquina de papel 	<ul style="list-style-type: none"> • Água branca filtrada • Água de centrifugação • Água contendo finos • Água branca

A quantidade de água utilizada nos processos é relativamente próxima daquela lançada aos corpos hídricos de origem, como águas residuárias, sendo uma pequena parte (menos que 5% do volume) perdida por evaporação (CPRH e GTZ, 1998).

As características dos efluentes líquidos de cada etapa da produção de papel e celulose serão, a seguir, melhor descritas.

Efluentes líquidos na preparação da madeira

Nesta etapa, os efluentes líquidos são gerados nas operações de lavagem e descascamento da madeira, apresentando pouca cor, valores de pH da ordem de 7, DBO e sólidos em suspensão constituídos, em sua maioria, por areia e restos florestais (CETESB, 1990).

Efluentes líquidos na obtenção da polpa celulósica

Segundo CETESB (1990), na obtenção da polpa celulósica, os efluentes líquidos gerados são provenientes dos:

- gases de alívio do digestor, condensados;

Os condensados de alívio do digestor contêm em sua composição água, metanol (composto orgânico presente nos condensados em maior porcentagem e que contribui com a maior parcela para a carga de DBO total desses efluentes) e compostos orgânicos de enxofre (mercaptanas e dimetil sulfeto).

- condensados do tanque de descarga; e

Os condensados do tanque de descarga possuem composição qualitativa idêntica aos do digestor, no entanto, as concentrações de compostos que apresentam odor é menor.

- despejos da lavagem, depuração e espessamento (licor negro diluído).

O licor negro diluído possui uma cor café avermelhado, sua composição é baseada em complexos de lignina e álcalis, na forma predominante de carbonatos e sulfatos.

Efluentes líquidos do branqueamento

No branqueamento, o número de estágios utilizados e os tipos de reagentes é que vão distinguir a carga poluidora de seus efluentes líquidos.

Os despejos do branqueamento, de uma forma geral, podem ser divididos em dois tipos: os despejos fortemente alcalinos, provenientes do estágio de extração alcalina e os despejos fortemente ácidos originados da etapa do uso de compostos clorados. Os despejos ácidos são distinguidos pela sua alta concentração de DBO, baixa cor e elevado volume, ao passo que os despejos alcalinos possuem elevada DBO e cor, mas seu volume é menor (CETESB, 1990).

O efluente alcalino, mesmo apresentando baixa concentração de sólidos dissolvidos passa por decantadores para redução do pH e então, é combinado com o efluente ácido. A combinação dessas águas residuárias geralmente produz um despejo de reação ácida (pH em torno de 6,5 a 7,5), que é enviado ao tratamento biológico. Os sólidos decantados constituem-se resíduos que são condicionados em aterro industrial.

Os efluentes do branqueamento são os que contribuem com maior parcela nos despejos totais de uma fábrica de celulose branqueada e também no que condiz a sua cor e carga de DBO.

Efluentes líquidos na recuperação de produtos químicos

Nesta etapa, os efluentes líquidos consistem nos condensados dos evaporadores e os despejos alcalinos da caustificação.

Os condensados dos evaporadores não contêm sólidos em suspensão, nem cor elevada, no entanto, possuem alta temperatura, alta DBO dependendo do estágio em que são coletados e podem ser reaproveitados conforme seu grau de contaminação. Os condensados de maior grau de contaminação poderão ser reusados, desde que previamente tratados em uma coluna de stripping (CETESB, 1990).

Ainda segundo esta fonte, os condensados de superfície e os dois últimos efeitos dos evaporadores têm apresentado maiores concentrações em metanol e a águas de selo da bomba de vácuo em compostos orgânicos de enxofre.

Efluentes líquidos da fabricação do papel

Os efluentes líquidos da fabricação do papel têm origem principalmente na máquina de papel, refinadores, caixas de regulagem de consistência e mistura da massa e nas peneiras depuradoras. Esses efluentes podem conter fibras finamente divididas, cola ou amido, material de enchimento (carga), tinta, corante, graxa, óleo, cloro residual entre outros materiais (CETESB, 1990).

Estes efluentes possuem carga poluidora dependente do tipo de papel manufaturado e da realização ou não da recirculação da água-branca.

Ainda segundo esta fonte, quando realizada a recuperação da água branca, a matéria orgânica dissolvida nos efluentes é relativamente pequena e facilmente decomposta por ação aeróbica ou anaeróbica. Quando não se faz a recuperação da água-branca, as fibras e os materiais de carga nela presentes podem ser carreados aos corpos receptores, constituindo não somente na perda de materiais, mas também em um fator de poluição dos cursos d'água.

Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos da indústria de papel e celulose, de um modo geral são classificados como não perigosos e cerca de 50% são de natureza orgânica. Os

resíduos sólidos gerados são dependentes das características do processo e das técnicas de reaproveitamento empregadas (CPRH e GTZ, 1998).

Os principais constituintes dos diferentes resíduos sólidos do processo de polpação Kraft são Ca, K, Na, S, Mg, Cl e P. Isto significa que, mesmo realizando a reciclagem destes resíduos, o retorno econômico é bastante baixo (STFI, 2002). Os resíduos sólidos representam, de qualquer modo, uma quantidade significativa e, conseqüentemente, requerem soluções adequadas para seu gerenciamento, seja em sua perspectiva econômica ou ambiental.

Os principais resíduos sólidos gerados na fabricação de papel e celulose são:

Cascas e refugos

As cascas são produzidas no descascamento das toras de eucalipto. Se o descascamento for realizado na floresta, a casca servirá para enriquecimento do solo, pela formação de húmus; caso contrário, as cascas podem ser utilizadas como combustível nas caldeiras para geração de vapor necessário ao processo.

Algumas práticas de reaproveitamento dos resíduos sólidos são muito comuns nas indústrias de papel e celulose, como por exemplo, a queima dos refugos de cavacos das peneiras classificatórias na caldeira de biomassa e reciclagem no digestor dos rejeitos (nós) da depuração de massa (CETESB, 1990).

Cinzas

As cinzas são resíduos provenientes do processo de queima das caldeiras, que se dividem em cinzas pesadas e finamente divididas. As cinzas pesadas não são arrastadas pelos gases das caldeiras, depositando-se no fundo do equipamento, já as cinzas finamente divididas são arrastadas pelos gases de exaustão e passam pelo precipitador eletrostático e multiciclone que as removem (BARCELLOS, 1998).

As cinzas, proveniente da queima de cascas na caldeira de biomassa, face as suas características orgânicas, uma vez que são ricas em nutrientes do solo (especialmente em potássio) podem ser utilizadas como condicionadores de solos ácidos (STFI, 2002).

As cinzas coletadas pelo precipitador eletrostático depositam-se no fundo deste equipamento de controle de poluição, devendo ser retiradas continuamente por

um sistema de transporte pneumático para posterior disposição final, normalmente, em aterro industrial.

Lodos

Os lodos provenientes das estações de tratamento de águas residuárias, como resultado final dos sistemas de remoção de sólidos e oxidação biológica da matéria orgânica, representam o maior volume de resíduos sólidos gerados na fabricação de papel e celulose (BARCELLOS, 1998).

No passado, a disposição do lodo em depósitos ao ar livre ou lagoas foram práticas bastante usuais, desconsiderando os impactos ambientais desta forma de disposição, com resultados danosos, seja pela contaminação das águas subterrâneas e do solo, da geração de odores etc.

Atualmente, o lodo destas estações vai, juntamente com os gritz e dregs, ser disposto em aterros industriais projetados e mantidos de forma ambientalmente segura. Na Suécia, segundo STFI (2002), estes resíduos juntamente com as cinzas da caldeiras vão suprir a necessidade de adubo e corretivo de pH do solo de áreas de reflorestamento ou mesmo serem dispostos em aterro.

Existem diversas opções de gerenciamento do lodo da indústria de papel e celulose, incluindo soluções térmicas ou não.

Tradicionalmente, a destinação do lodo em aterro tem sido preferida como forma de disposição final. De qualquer modo, os aterros são soluções não totalmente confiáveis e muito questionáveis do ponto de vista ambiental, tendo em vista que podem representar grandes riscos de contaminação do solo e da água, além de seu imprevisível custo necessário para sua manutenção pós-fechamento.

Quando se compara com outras formas de disposição do lodo, assim como a cobertura direta do solo, o condicionamento de solo ou o aterramento, a incineração apresenta muitas vantagens, como a redução da massa sólida, o baixo custo de disposição (devido à redução do volume de resíduos), destruição ou redução da matéria orgânica presente no lodo e o potencial de recuperação energética que pode ser também um caminho para a obtenção de incentivos econômicos para geração de energia elétrica. No entanto, o seu uso para geração de energia, por meio da técnica de incineração, envolve um custo de investimento relativamente alto, além da

necessidade de considerar-se a disposição das cinzas geradas e avaliação do potencial das emissões poluentes.

Uma avaliação cuidadosa da melhor forma a ser considerada para dispor um rejeito é imprescindível para a adoção de um modelo estratégico de gerenciamento, que leve em conta o custo econômico e as variáveis ambientais associadas.

Gritz

Segundo BARCELLOS (1998), os grits são resíduos do preparo da cal hidratada, utilizada no processo de caustificação do licor que será empregado no cozimento da madeira. Para HANSEN (2004), os grits são materiais não calcários que foram arrancados junto com a rocha calcária.

Dregs

De acordo com BARCELLOS (1998), os dregs são resíduos de cor escura, sedimentados e removidos na clarificação do licor verde. Tem sua formação pronunciada na queima do licor negro no processo de recuperação dos licores residuais gerados no polpeamento da madeira. Já para HANSEN (2004), os dregs são pedras calcárias que não foram convertidas em cal.

Resíduos Perigosos

Os resíduos perigosos gerados na indústria de papel e celulose não representam quantidades significativas. Suas fontes típicas principais, conforme CPRH e GTZ (1998), são resíduos de manutenções, como em serviços de desengraxamentos e pinturas.

Na tabela 30 são apresentados os principais resíduos sólidos, suas respectivas fontes e sua classificação de acordo com seu grau de periculosidade.

Tabela 30: Principais tipos de resíduos por fonte (adaptado de CPRH e GTZ, 1998)

Resíduos	Fonte	Classificação
Cascas, serragem e areia	Beneficiamento da madeira	Classe II
Cinzas	Caldeira de vapor (carvão e biomassa)	Classe II
Nós e palitos	Depuração de massa	
Refugos de cavacos	Peneiras Classificatórias	
Dregs	Clarificador de licor verde	Classe II
Grits	Apagador de cal (Slaker)	Classe II
Lama de cal (quando não há forno de cal)	Clarificador de licor branco	Classe II
Lodos primários (físico-químicos)	Sistemas de tratamento de águas residuárias	Classe II
Lodos secundário (biológicos)		
Diversos	Escritórios, refeitório, etc	

O resíduo sólido em maior volume na indústria de papel e celulose é proveniente dos lodos do sistema de tratamento de águas residuárias. Em função dos problemas ambientais causados pelas práticas antigas de disposição deste resíduo em lagoas ou depósitos ao ar livre, técnicas mais recentes vêm sendo empregadas. Como já comentado, de um modo geral, os lodos são desidratados e dispostos em aterros ou incinerados, talvez devido às incertezas quanto às características do resíduo (como a presença de metais pesados e a estabilidade no meio ambiente), mas estudos têm indicado que, em certos casos, podem ser adotadas técnicas visando o seu reaproveitamento, como seu acondicionamento no solo.

A tabela 31 apresenta os resíduos sólidos do Processo Kraft, suas características; o manuseio, tratamento e disposição final na Bahia Sul Celulose S/A.

Tabela 31: Resíduos sólidos de um fabricante de papel offset (SILVA; QUADROS, 2000 e LISBÃO, 1994)

Resíduos Sólidos	Fonte	Caracterização	Manuseio, Tratamento e Disposição Final
Cascas	Pátio de madeira (descascador)	- quantidade: 5-10 kg/tsa - material orgânico, impurezas (areia)	- compostagem (condicionador de solos) - incineração (caldeira de biomassa) - aterro industrial
Grits	Apagador de cal (caustificação)	- quantidade: 2-5 kg/tsa - impurezas de cal, CaCO ₃ e SiO ₂	- consistência de 20-30% - aterro industrial
Dregs	Clarificador de licor verde (caustificação)	- quantidade: 10-15 kg/tsa - impurezas de CaO, Fe e Si	- consistência de 20-30% - aterro industrial
Cinzas	Caldeira de biomassa	- quantidade: 5-10 kg/tsa - material inerte, produto da combustão de cavacos, cascas, etc	- condicionador de solos (rico em potássio)
Lodo Primário	Sistema primário de tratamento de efluentes	- quantidade: 40-60 kg/tsa - 50-60% material orgânico (fibras)	- consistência de 20-30% - compostagem (condicionador de solos) - incineração (caldeira de biomassa) - aterro industrial
Lodo Secundário	Sistema secundário de tratamento de efluentes	- quantidade: 5-15 kg/tsa - material orgânico (biomassa)	- consistência de 20-30% - compostagem (condicionador de solos) - incineração (caldeira de biomassa) - aterro industrial
Outros	Restaurantes, escritórios, sanitários e oficinas	- quantidade: 1-3 kg/tsa - material orgânico, material de escritório, etc.	- reciclagem - aterro industrial

3.4.8. Subsistema energia

O consumo de energia pelas indústrias de papel e celulose é constituído em parte pela energia auto-gerada (pela recuperação química, queima da biomassa ou de outros combustíveis) e pela energia elétrica (eletricidade) comprada da rede distribuidora.

A indústria de papel e celulose tem grandes perspectivas para a produção combinada de energia elétrica e calor útil, considerando sua demanda de eletricidade e vapor de média e baixa pressão e disponibilidade de resíduos proveniente de seus processos industriais, como a lixívia e os resíduos da biomassa.

Atualmente, a produção de eletricidade, a partir da biomassa nas fábricas integradas de papel e celulose brasileiras, baseia-se em plantas de co-geração de ciclo a vapor, empregando principalmente turbinas de contrapressão e, menos frequentemente, turbinas de extração-condensação, ambas operando em paridade térmica¹⁰ (BAJAY; BERNI; LIMA, 2005).

¹⁰ Paridade térmica é a forma de operação em que a quantidade de eletricidade gerada é definida a partir do consumo de vapor do processo (VELÁZQUEZ, 2000).

O processo Kraft, como já apresentado, é a tecnologia mais difundida no Brasil para a extração da celulose, empregando para isto, a soda cáustica e o sulfeto de sódio na separação da celulose da matéria-prima lenhosa. Na operação de digestão, mais da metade da madeira solubiliza-se na forma de uma lixívia escura, o licor negro. Este efluente, por imposição do processo necessita ser concentrado até uma concentração de sólidos de 60%, sendo então, queimado em caldeira de recuperação química, o que leva a geração de vapor e energia elétrica.

Como se pode depreender da leitura das seções anteriores, a cadeia produtiva do papel consome grandes quantidades de energia elétrica e vapor. De todo modo, a produção de pastas de celulose fornece uma quantidade de resíduos significativa, que pode ser queimada em caldeiras.

A figura 31 ilustra melhor a composição da energia elétrica consumida pelos fabricantes de pasta de celulose e papel no país em 2000.

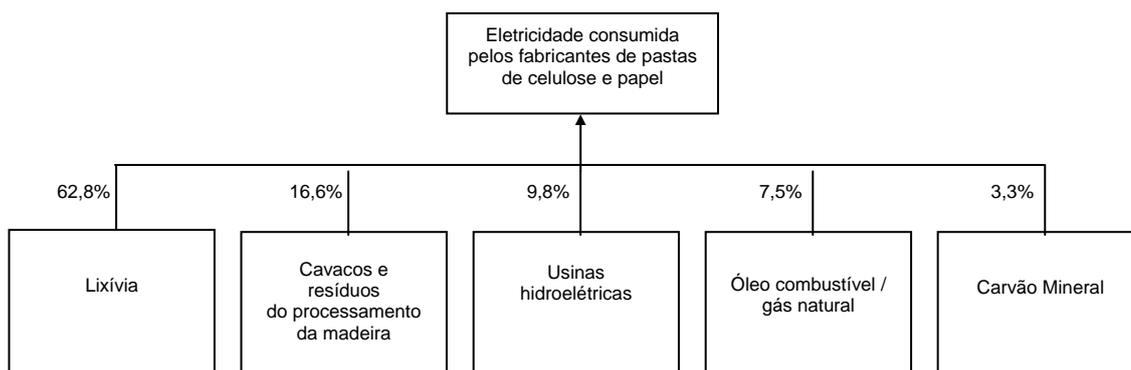


Figura 31: Energia elétrica consumida pelos fabricantes nacionais de pasta de celulose e papel em 2000 (adaptado de BARBELI, 2003 *apud* BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)

No país, cerca de 99,95% da energia elétrica produzida é proveniente das hidroelétricas, termoelétricas e usinas nucleares.

Em 2000, conforme mostrado na tabela 32, 89% da energia elétrica gerada no país foi produzida pela conversão da energia hidráulica em estações hidroelétricas.

Tabela 32: Geração de energia elétrica no Brasil em 2000 (MME, 2002 *apud* COLTRO; GARCIA; QUEIROZ, 2003)

Fonte	Geração (1000 tep ^a)	Porcentagem (%)
Hidroelétrica	87.404	77,3
Hidroelétrica - (energia elétrica recebida de Itaipu - Paraguai)	11.525	11,0
Hidroelétrica - energia elétrica recebida de fornecedores independentes	1.804	1,6
Total hidroelétrica	100.733	89,0
Termelétrica	7.234	6,4
Termelétrica - energia elétrica recebida de fornecedores independentes	4.400	3,9
Energia elétrica recebida da Argentina	765	0,7
Energia disponível	113.132	100,0
Consumo total	96.162	-
Consumo industrial	42.288	-
Perdas de energia (transmissão e distribuição)	-16.970	15,0

^a tep = tonelada de óleo equivalente

3.4.9. Subsistema carbonato de cálcio precipitado

O carbonato de cálcio precipitado (PCC) tem sido, recentemente, um dos pigmentos mais utilizados na fabricação do papel. Este pigmento apresenta melhores características de alvura, opacidade do que o caulim, podendo ser obtido diretamente do calcário por processos mecânicos ou por precipitação, através de reações químicas de diversas matérias-primas (IPT e SENAI, 1982).

A origem dos diferentes tipos de carbonato de cálcio é mostrada na figura 32.

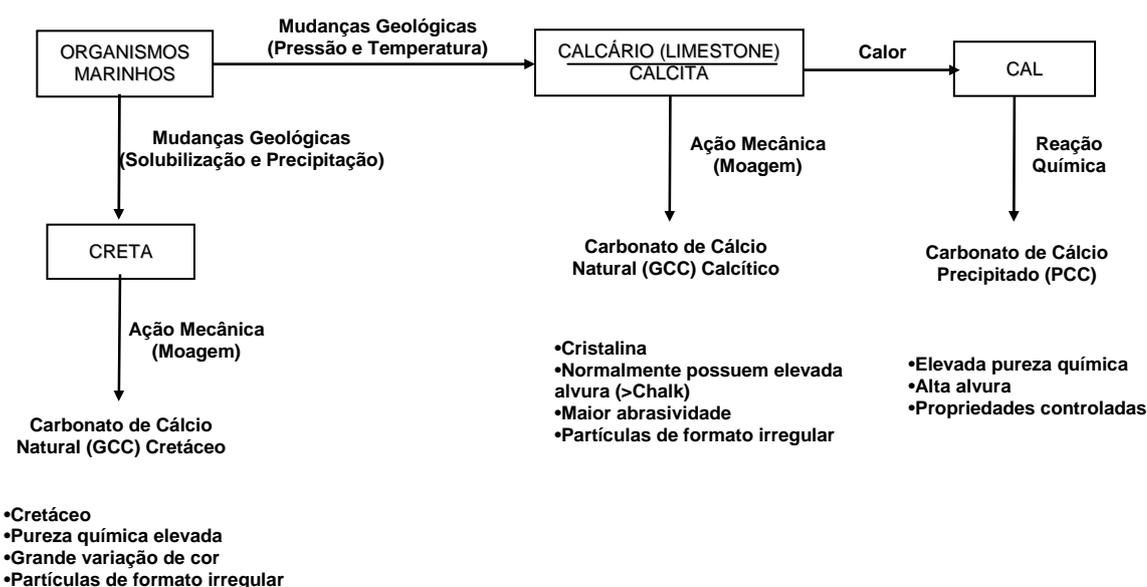


Figura 32: Origem dos diferentes tipos de carbonato de cálcio (RUFINO, 2005)¹¹

¹¹ Informação obtida com Sr. Justino M. Rufino da empresa Imerys do Brasil Comércio de Extração de Minérios Ltda., através de contato pelo e-mail jrufino@imerys.com, em 08 fev. de 2005.

O desenvolvimento dos papéis de colagem alcalina (produzidos em pH 7 ou acima deste valor) fez com que o carbonato de cálcio precipitado conquistasse o mercado de cargas minerais, com grande vantagem econômica para o fabricante e melhoria da qualidade final de seu produto.

Segundo SEIXAS (2005)¹², o PCC é utilizado como carga, junto com os agentes de colagem (ou *sizing*), como as resinas ASA ou AKD. A colagem alcalina propicia um papel final de maior brancura e maior durabilidade quando comparado ao processo ácido.

Como vantagem, o carbonato de cálcio precipitado pode ser produzido junto à fábrica de papel, utilizando o dióxido de carbono efluente do processo industrial como insumo, além de ser incorporado ao papel pelo processo da via alcalina, menos poluente que o da via ácida empregado na produção do papel que utiliza o caulim como carga (GOMES; FERNANDES; VALENÇA, 2004). O PCC vem sendo produzido, por várias empresas, pela reação do dióxido de carbono do processo, proveniente de caldeiras e fornos, com a cal.

Segundo esta fonte, o caulim *coating* (como é chamado o caulim usado para revestimento) é utilizado com ou sem o carbonato de cálcio natural. A associação desses minerais resulta num produto com maior brilho e alvura. A relação caulim e carbonato de cálcio natural utilizada no revestimento tem sido de 60/40.

A empresa Imerys do Brasil Mineração Ltda. é a maior unidade produtora independente (não cativa) de carbonato de cálcio precipitado no país, com uma produção total de 220 mil t/ano, considerando duas unidades cativas juntas as empresas de papel (FURTADO, 2004b).

Na tabela 33 são apresentados os fornecedores de carbonato de cálcio precipitado para as indústrias nacionais de papel e celulose.

¹² Informação obtida com o Gerente de Negócios Sr. Mario Seixas da divisão de papéis da empresa Imerys do Brasil Mineração Ltda, através de contato pelo e-mail mseixas@imerys.com, em 06 jan. de 2005.

Tabela 33: Fornecedores de carbonato de cálcio precipitado para as indústrias nacionais de papel e celulose (adaptado de ABIQUIM, 2004).

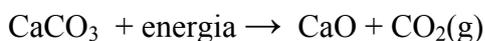
Empresa	Localização	Capacidade instalada em 2003 (t/ano)
Imerys do Brasil Mineração Ltda.	MG/SP	159.600
Speciality Minerals do Brasil S.A.	SP	200.000
Schweitzer Mauduit do Brasil S.A.	RJ	15.600
Total		375.200

O processo químico de produção do carbonato de cálcio precipitado é detalhado a seguir:

- calcinação do calcário para óxido de cálcio

No processo de calcinação, o calcário é decomposto a uma temperatura de aproximadamente 1000°C em óxido de cálcio (CaO) e gás dióxido de carbono (CO₂).

A reação a seguir representa o processo endotérmico de calcinação do calcário.



- apagamento do óxido de cálcio

Em um segundo estágio do processo de produção do PCC, o óxido de cálcio é hidratado, formando uma suspensão de Ca(OH)₂ conhecida como leite de cal. A reação de apagamento ou hidratação do óxido de cálcio é representada por:



O leite de cal é submetido a etapas de purificação para remoção de materiais não calcinados, impurezas e sílicas residuais e, então, é bombeado para tanques de estocagem.

- carbonatação do hidróxido de cálcio

O leite de cal é carregado em reatores de carbonatação, providos de agitadores mecânicos, onde o gás dióxido de carbono (CO₂), proveniente dos fornos de calcinação ou de fontes geradoras alternativas (caldeiras a gás ou óleo

combustível) é injetado, após sofrer purificação e resfriamento, reagindo com o Ca(OH)_2 e formando o carbonato de cálcio precipitado, conforme a reação:



A injeção de gás é mantida até que todo o hidróxido de cálcio seja convertido a carbonato de cálcio. O PCC produzido é então purificado passando por etapa de peneiramento.

O PCC em suspensão (*cake*) produzido compreende certa porcentagem de material sólido, onde a dimensão dos grãos e a forma dos cristais são controladas pela temperatura, concentração dos reagentes e tempo de reação (SOLVAY, 2005). O PCC em suspensão pode ser bombeado diretamente para o consumidor na concentração em que foi produzido (plantas satélites), ou pode seguir pelas seguintes etapas:

- filtração (ou desaguamento) e dispersão, no caso do fornecimento em lama (*slurry cake*) com alto teor de sólidos, ou
- para o fornecimento do produto seco, após o processo de filtração, a torta de filtro (*filter cake*) passa pela secagem, desaglomeração em trituradores e ensaque.

O fluxograma simplificado do processo de produção do PCC é apresentado na figura 33.

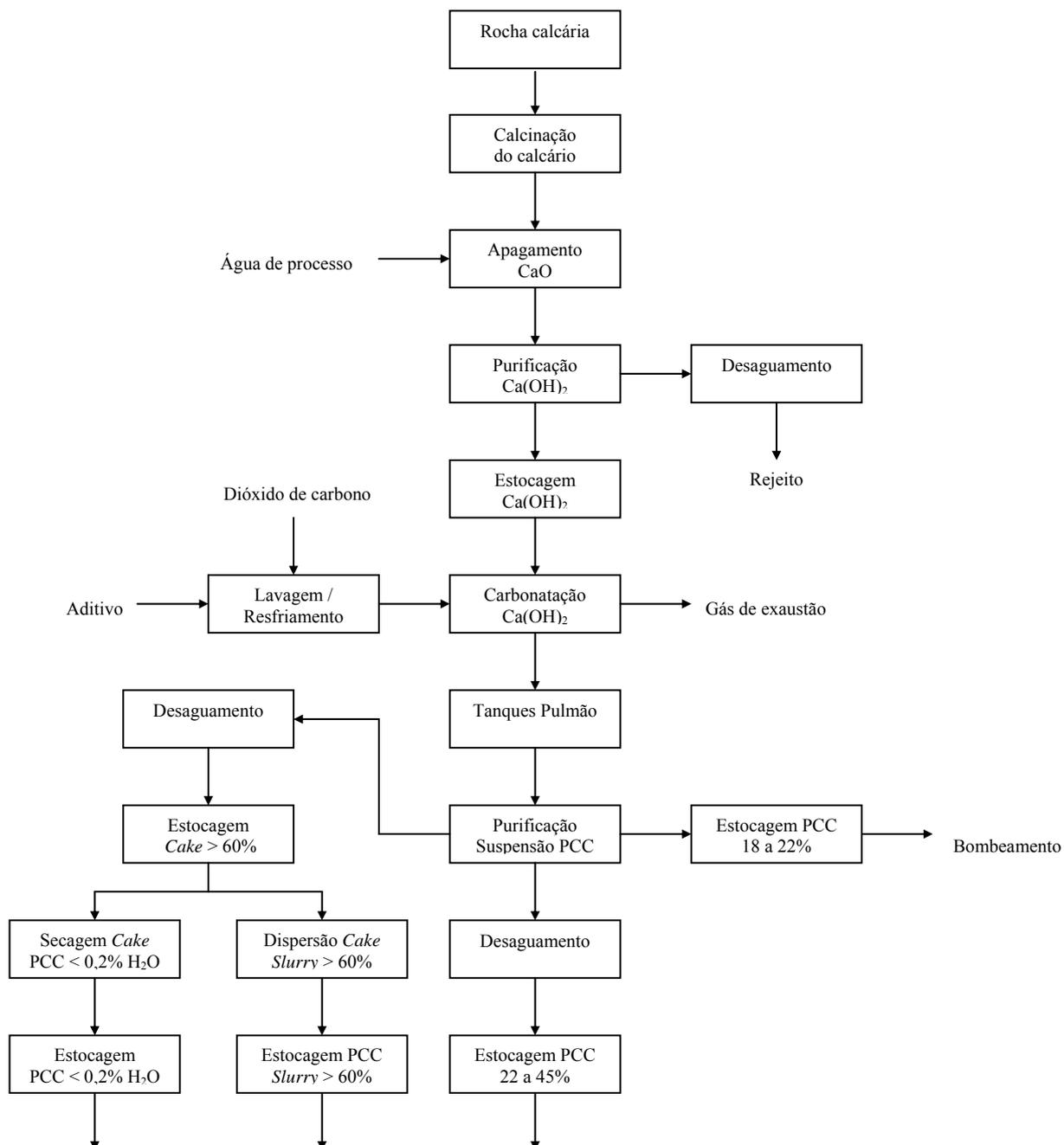


Figura 33: Fluxograma simplificado do processo de produção de PCC (RUFINO, 2005)¹³

¹³ Informação obtida com Sr. Justino M. Rufino da empresa Imerys do Brasil Comércio de Extração de Minérios Ltda., através de contato pelo e-mail jrufino@imerys.com, em 08 mar. de 2005.

Colagem interna e superficial

Para obter resistência a penetração de água, os papéis necessitam passar pelo processo denominado colagem interna. A colagem é importante nos papéis para impressão offset, flexografia ou outros processos produtivos, onde a água se faz presente. A cola dá ao papel mais firmeza, faz com que ele absorva menos tinta e suporte melhor a gravação.

Neste processo, conforme FURTADO (2004a), é adicionado a pasta celulósica, ainda durante sua preparação, colas à base de breu, silicones, polietilenos, perfluorcarbonetos ou colas sintéticas, proporcionando ao papel produzido a característica de impermeabilidade.

Segundo FURTADO (2004a) e MORAES (2004c), grande parte das empresas de papel e celulose adotaram, recentemente, a chamada colagem alcalina, na qual formulações à base de carbonato de cálcio ou de caulim com pH alto com agentes de colagem interna: as emulsões de AKD (Alquil Dimetil Ceteno) e ASA (Alquil Acetil Succínico), que já possuem uma grande participação no mercado brasileiro e tem sido empregadas em substituição aos breus, permitindo obter papéis mais alvos, com menor gramatura, entre diversas outras vantagens.

A colagem superficial, segundo FURTADO (2004a) envolve a aplicação de substâncias que formam uma película na superfície das folhas de papéis e papelões em fase de acabamento. São utilizados amidos modificados, gomas, alginatos, álcool vinílico, metil celulose, carboximetilcelulose, entre outros.

O amido é hidrocarboneto encontrado em abundância em quase todo vegetal, cuja forma pura apresenta-se como um pó branco, de granulação definida e uniforme e característica do vegetal de onde é obtido. Em nosso país são usados na fabricação do papel, principalmente, os amidos de milho e mandioca.

Segundo a MORAES (2004a), o amido de mandioca (fêcula) substitui o amido de milho, atualmente, em mais de 90% dos papéis de impressão (colagem interna). Os amidos naturais são adicionados à massa na ordem de 2 a 3%, depois de cozidos, normalmente com vapor direto, durante 15 a 20 minutos em temperaturas em torno de 65 a 70° C. Sua principal função é aumentar a retenção da carga mineral e dar ao papel melhores características de toque e brilho, esta última nos papéis monolúcidos.

Os amidos são aplicados na prensa de colagem quando a folha encontra-se praticamente formada e seca. A colagem superficial, etapa importante para os papéis de impressão offset, contribui principalmente na resistência a penetração de líquidos, aumento das características mecânicas, da opacidade e da facilidade de impressão.

3.4.10. Subsistema clorato de sódio

O clorato do sódio (NaClO_3) tem sido um produto químico essencial na produção do dióxido do cloro (ClO_2), que é um oxidante forte e seletivo usado no processo de branqueamento da celulose.

O clorato de sódio é produzido pela eletrólise da solução de salmoura. A reação é multi-estágios, onde os produtos da reação nos eletrodos (cloro no anodo e hidróxido de sódio no catodo) misturam-se em virtude de não haver diafragma na cuba, formando hipoclorito de sódio, que então é oxidado a clorato de sódio (EKA CHEMICALS, 2002b e SHREVE, 1977).

Segundo CELULOSE ON LINE (2004, *apud* SINAP, 2004), as fábricas de celulose branqueada localizadas no Rio Grande do Sul (Riocell), Minas Gerais (Cenibra), Espírito Santo (Aracruz), Bahia (BahiaSul) e Pará (Jarcel Celulose) possuem plantas cativas de clorato de sódio, que são relativamente modernas e devem operar por um longo prazo. Já as fábricas do Estado de São Paulo adquirem o clorato de sódio no mercado.

Os principais fornecedores de clorato de sódio são a Eka Chemicals do Brasil S.A. localizada em Jundiaí (SP) e a Nexen Química Brasil Ltda. em Aracruz (ES).

Na figura 34, é apresentado um fluxograma simplificado do processo de manufatura do clorato de sódio.

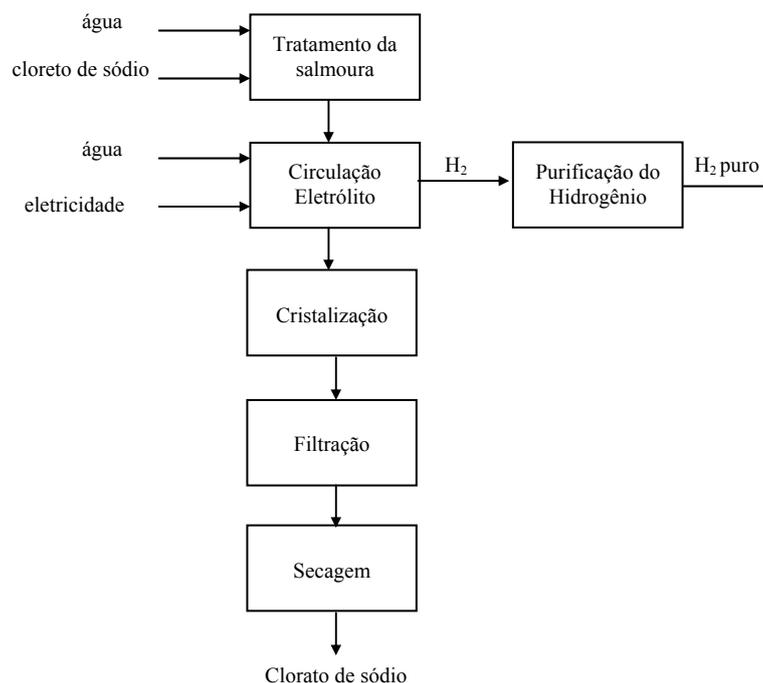


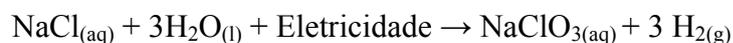
Figura 34: Processo de fabricação do clorato de sódio (adaptado de BARBIERI, 2005)¹⁴

Descrição do processo

A solução da salmoura é feita com água abrandada ou água condensada de um evaporador e sal isento de cálcio e magnésio. Em princípio, a salmoura deve ser tratada para a remoção de impurezas, como íons de cálcio e magnésio. No preparo da solução, para a reação, são adicionados ácido clorídrico (HCl) para correção do pH e dicromato de sódio (Na₂Cr₂O₇) que inibe a corrosão da célula eletrolítica. Nesta etapa, há a formação do hipoclorito de sódio pela presença do ácido clorídrico. (EKA CHEMICALS, 2003 e SHREVE, 1977)

A cuba eletrolítica de aço fica cheia com a salmoura ou com uma solução salina obtida pela recuperação do clorato, dissolvida em água do evaporador. A temperatura da cuba é mantida em torno de 40°C por água de arrefecimento.

Segundo EKA CHEMICALS (2004) e SHREVE (1977), o clorato de sódio é formado pela eletrólise da salmoura, conforme a seguinte reação global:



¹⁴ Informação obtida com o Sr. Paulo Barbieri da empresa Eka Chemicals do Brasil Ltda., através de contato pelo e-mail paulo.barbieri@eka.com, em 24 jan. de 2005.

A solução esgotada da cuba eletrolítica é bombeada para um tanque, onde é aquecida a 90°C, com vapor vivo, a fim de destruir qualquer traço de hipoclorito presente. Após análise do licor é realizada adição de cloreto de bário necessário para precipitar quase todo o cromato. No fundo deste tanque, deposita-se a lama de grafita dos eletrodos e o cromato de bário, a solução límpida é bombeada através de um filtro de areia para os tanques de armazenamento de um evaporador. Neste tanque, neutraliza-se a solução pela adição de barrilha (Na_2CO_3) e realiza-se sua evaporação em evaporador a dois estágios, até conter aproximadamente 750 g/L de clorato de sódio.

A solução após a decantação é filtrada e resfriada. Este resfriamento leva de 3 a 5 dias e os cristais de clorato de sódio são centrifugados e secos.

A cristalização faz-se através do arrefecimento da salmoura até uma temperatura de -10°C. Em seguida a massa de cristais é decantada em um espessador, onde são separadas as primeiras águas mães. Esta massa espessada é, então, centrifugada, sendo separadas as restantes águas mães e obtendo-se clorato úmido, com 2 a 3% de água.

A secagem do clorato úmido é feita por meio de uma corrente de ar quente, em leito fluidizado. Para evitar perda de clorato, o ar que sai do secador passa em um lavador de gases e a solução de clorato resultante nesta etapa é reciclada no processo. (SHREVE, 1977)

Em seguida, o clorato seco é transportado pneumaticamente, por meio de uma corrente de ar seco, para os silos de clorato a granel, que geralmente dispõem de filtros de manga no topo para evitar possível saída de finos de clorato.

O hidrogênio produzido nas células de eletrólise é recuperado e utilizado nas instalações de produção de H_2O_2 , HCl ou utilizado como fonte de energia. O hidrogênio é um gás que pode ser também utilizado pela indústria alimentícia ou ser queimado em caldeira substituindo óleo combustível (EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A., 2004).

Nas tabelas 34 e 35 são apresentados, respectivamente, as matérias-primas necessárias para a produção de clorato de sódio e os rejeitos gerados no processo da Eka Chemicals do Brasil S.A. em 2003.

Tabela 34: Matérias-primas para a produção de clorato de sódio (EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A., 2004)

Produção Anual - 2003	Clorato de Sódio Hidrogênio	37.000 ton 25.000 kNm ³
Matérias Primas	Cloreto de Sódio Energia Elétrica Hidróxido de Sódio Ácido Clorídrico	19.000 ton 200 GWh 600 ton 500 ton

Tabela 35: Rejeitos gerados na produção de clorato de sódio e a forma de controle adotada (EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A., 2004)

Rejeitos	Aspecto Físico	Quantidade	Controle
Torta de tratamento de matéria-prima	Sólido	81 t	Pesagem, armazenagem e destino para aterro industrial
Efluentes de lavagem de equipamentos, piso e purga de água industrial de resfriamento	Líquido	124.206 m ³	Tratamento de efluentes
Emissão de Cloro	Gasoso	127,8 kg	Absorção em torres de lavagem e filtros de carvão ativo

Apesar do clorato de sódio ser classificado e rotulado como um produto oxidante e perigoso, poucas informações sobre a toxicologia do íon clorato são relatadas (EKA CHEMICALS, 2005).

3.4.11. Subsistema dióxido de cloro

Atualmente, o dióxido de cloro vem sendo empregado no branqueamento da polpa celulósica como uma alternativa ao uso convencional do cloro, que não tem sido atrativo em termos ambientais. O dióxido de cloro concorre ainda com outros agentes alvejantes, como peróxido de hidrogênio, ozônio e oxigênio.

Segundo DENCE e REEVE (1996), o dióxido de cloro pode ser preparado quimicamente por meio do clorato de sódio, cloreto de sódio ou gerado eletroliticamente.

Devido ao fato do ClO₂ ser um produto químico altamente reativo, necessita ser produzido e utilizado no próprio local. A produção do ClO₂ dá-se pela reação do clorato de sódio com um agente redutor em solução ácida, isto é, na presença de H₂SO₄. A geração do ClO₂ próximo a planta industrial, dispensa a necessidade de sua estocagem e de seu transporte.

Experiências realizadas durante 15 anos com trabalhadores mostraram que o ClO_2 é um composto seguro desde que manuseado adequadamente. Na indústria de papel e celulose, o ClO_2 tem sido extensivamente empregado e, segundo DENCE e REEVE (1996), isto se deve a uma sensível redução da formação de compostos organoclorados nos efluentes líquidos, o que conduz a uma melhoria significativa dos ecossistemas aquáticos.

Desenvolvido por Olin-Mathieson Chemical Cooperation em 1950, o Mathieson foi o primeiro processo viável comercialmente para a produção de dióxido de cloro. Este processo gerava o dióxido de cloro pela redução do clorato de sódio com dióxido de enxofre (SO_2) na presença de ácido sulfúrico (DENCE e REEVE, 2004).

Desde então, melhorias têm sido adotadas por razões ambientais, objetivando o reaproveitamento dos diferentes sub-produtos em outras áreas da indústria de papel e celulose. A seguir, é apresentada uma breve descrição dos processos de produção de dióxido de cloro empregados pelas indústrias de papel offset no Brasil.

O processo R8 emprega o metanol como agente redutor, o subproduto obtido é o sesqui-sulfato de sódio, um sal ácido. Este sal requer neutralização com soda cáustica antes de ser recuperado no sistema. O processo R10 é uma adaptação do R8, onde o sesqui-sulfato de sódio é diluído em água e metanol, seguindo da remoção do sulfato de sódio em um segundo estágio de filtração. Estes dois processos (R8 e R10) são patentes de Albright & Wilson Americas.

O processo SVP-HP é um sistema similar ao SVP-LITE, mas que emprega o peróxido de hidrogênio ao invés do metanol como agente redutor. O sistema é operado a pressão atmosférica e o subproduto obtido é o sulfato de sódio.

O processo Lurgi consiste em uma célula eletrolítica, para produção do dióxido de cloro a partir da água e do cloro, integrada a uma planta local de clorato de sódio que recupera o sal formado (NaCl). O hidrogênio produzido na planta de clorato reage com Cl_2 para formar HCl , o qual por sua vez é usado no processo. Uma adição complementar de cloro é realizada para que se tenha HCl suficiente ao processo.

A família de processos SVP (*Single Vessel Process*) para produção de dióxido de cloro possuem operações similares. Segundo EKA CHEMICALS (2002a), a

distinção dos processos podem ser realizada através dos diferentes agentes de redução empregados na conversão do clorato de sódio ao dióxido de cloro e diferentes ácidos.

O processo SVP vem sendo modificado e melhorado com o passar dos anos permitindo o uso de diferentes matérias-primas e a obtenção de diferentes subprodutos.

Com exceção do ClO_2 produzido na própria indústria, geralmente, os outros reagentes empregados no branqueamento são obtidos diretamente das específicas unidades produtivas.

Os processos mais empregados em plantas modernas de geração de dióxido de cloro no país, de acordo com MILANEZ (2004)¹⁵, tem sido o SVP-LITE (baseado no uso do metanol) e o SVP-HP.

O processo SVP-LITE surge como uma adaptação do R8 e a patente é propriedade da Eka Nobel. Por meio deste processo, é obtido um produto livre de cloro elementar e subprodutos reaproveitáveis com um mínimo de desperdício.

Segundo EKA CHEMICALS (2002a), o processo SVP-LITE caracteriza-se pela produção do dióxido de cloro a partir da reação entre clorato de sódio, metanol e ácido sulfúrico, como mostrado na seguinte reação global:



Com o intuito de conseguir altos rendimentos e eficiência do gerador, as concentrações dos reagentes devem ser cuidadosamente controladas.

O processo SVP-LITE tem sido considerado, segundo EKA CHEMICALS (2002a), uma boa escolha pelas indústrias de papel e celulose, pois:

- elimina o cloro na solução de dióxido de cloro, na ordem de obter um celulose realmente ECF;
- requer uma baixa reposição das perdas;
- pode-se expandir economicamente a capacidade de plantas SVP - R3; e
- não se utiliza água clorada ou hipoclorito de sódio.

¹⁵ Informação obtida com Sr. Augusto F. Milanez da área de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia Suzano Papel e Celulose, através de contato pelo e-mail amilanez@suzano.com.br, em 21 dez. de 2004.

Na figura 35, é apresentado o processo SVP-LITE de produção do dióxido de cloro.

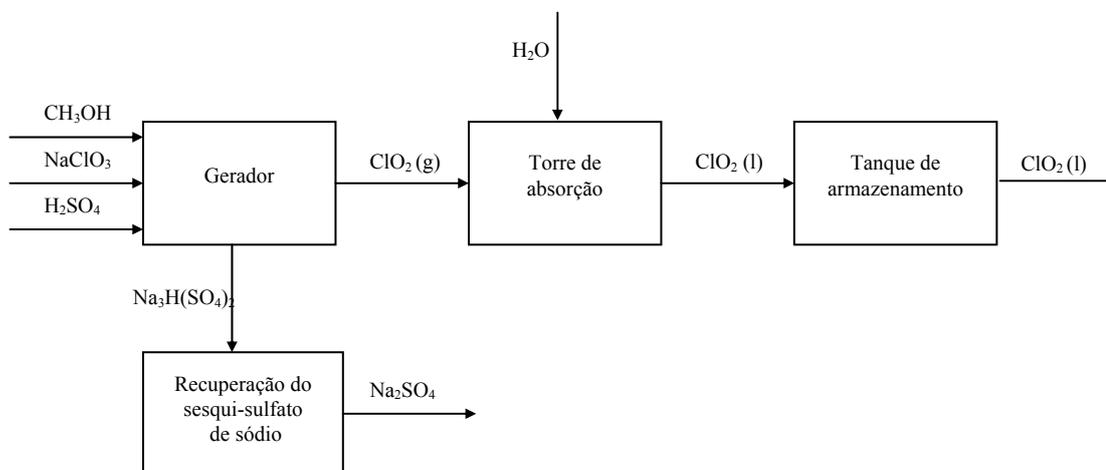


Figura 35: Processo SVP-LITE de produção do dióxido de cloro (EKA CHEMICALS, 2002a)

Segundo EKA CHEMICALS (2002a), o processo SVP-LITE consiste nas seguintes etapas:

- geração do dióxido de cloro

O processo SVP-LITE consiste, principalmente, no gerador de dióxido de cloro, um grande reator de titânio onde o clorato de sódio é reduzido a dióxido de cloro. Este gerador é dimensionado para que se tenha uma ótima eficiência da reação, promova o crescimento dos cristais do sal, uma eficiente separação das fases líquido-gás e um controle ótimo da composição química.

A solução é bombeada pelo gerador, que opera sob vácuo, sendo a água evaporada por contato indireto com vapor. A razão de água evaporada é relativamente proporcional a quantidade de água proveniente da composição química que alimenta o gerador.

- recuperação do dióxido de cloro

Os gases que saem do gerador são uma mistura de dióxido de cloro, vapor d'água e traços de cloro.

Em uma torre de absorção, a água introduzida é forçada a entrar em contato com o gás, resultando em uma solução concentrada de dióxido de cloro com alguns traços de cloro. Esta solução é então bombeada para um tanque de estocagem para ser empregada no processo de branqueamento da celulose.

- recuperação do sulfato de sódio

Os cristais de sesqui-sulfato de sódio, formados no gerador, são transferidos para um filtro tambor rotativo. Este filtro é equipado com um sistema lavador com água quente, que auxilia na recuperação da química presente sobre o sal. A água de lavagem e o licor-mãe obtido são removidos do filtro e retornam ao gerador, deixando para trás, um sal de alta qualidade. O sal é descarregado em dissolvedor que utiliza água quente. A solução ácida concentrada de sulfato obtida pode ser transferida a unidade de recuperação química, como uma fonte de reposição das perdas de sódio e enxofre no processo. Se nem todo o sulfato for necessário no *make-up*, este pode ser usado na planta de branqueamento, com o propósito de acidificação.

O balanço material do processo SVP-LITE para a produção de dióxido de cloro é apresentado na tabela 36.

Tabela 36: Balanço material do processo SVP-LITE e SVP-SCW para produção de dióxido de cloro (MILANEZ, 2004)¹⁶

Entradas		Saídas	
NaClO ₃	1,59 ton / ton ClO ₂	ClO ₂	1,00 ton / ton ClO ₂
H ₂ SO ₄	0,98 ton / ton ClO ₂	Cl ₂	0,00 ton / ton ClO ₂
CH ₃ OH	0,13 ton / ton ClO ₂	Na ₃ H(SO ₄) ₂	1,31 ton / ton ClO ₂
		H ₂ O	0,28 ton / ton ClO ₂

¹⁶ Informação obtida com Sr. Augusto F. Milanez da área de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia Suzano Papel e Celulose, através de contato pelo e-mail amilanez@suzano.com.br, em 21 dez de 2004.

3.4.12. Subsistema soda cáustica

A indústria de cloro e soda cáustica

Segundo ABICLOR (2004), a indústria brasileira de cloro e soda cáustica apresenta cadeia produtiva não totalmente integrada, o que tem afetado sua competitividade no contexto mundial. Por outro lado, a indústria apresenta processos de produção modernos adequados ao padrão internacional e um elevado nível de utilização de sua capacidade instalada. Nos últimos 10 anos, o nível de operação das plantas industriais de cloro e soda no Brasil situou-se na faixa de 88% a 95% da capacidade nominal instalada, superior ao nível médio mundial de 84%.

No Brasil, as empresas de cloro e soda cáustica são em número de dez e seus principais produtos são: o cloro, a soda cáustica, o hipoclorito de sódio e o ácido clorídrico. A indústria possui uma capacidade produtiva da ordem de 1.3 MMT/ano de cloro e representa aproximadamente 1.300 empregos diretos (ABICLOR, 2004).

Segundo IPPC (2001), o processo de produção de cloro e soda cáustica é um dos maiores consumidores de energia elétrica. A produção de cloro de um país é um indicador do estado de desenvolvimento de sua indústria química.

Devido aos aspectos ambientais e econômicos, as indústrias mundiais de cloro e soda cáustica estão progredindo de plantas pequenas de mercúrio para plantas de escala mundial de diafragma e de membrana. De acordo com o IPPC (2001), a partir de 1975, as células eletrolíticas de membrana têm se desenvolvido com um alto grau de sofisticação, o que tem tornado esta tecnologia mais vantajosa, em termos econômicos e ambientais, nos dias atuais.

O cloro intervém direta ou indiretamente em mais de 50% da produção química mundial. A cadeia do cloro, soda cáustica e seus derivados constituem uma importante atividade econômica para o país, fornecendo matérias-primas básicas aos seguintes setores da economia: papel e celulose, química e petroquímica, alumínio, construção civil, sabões e detergentes, têxtil, alimentos, bebidas, tratamento de água e embalagens. (ABICLOR, 2004)

Matérias-Primas para a fabricação do cloro e soda cáustica

O sal é o insumo básico para a produção de cloro e soda, podendo ser de origem marinha ou de sal-gema. Os grandes produtores, de uma forma geral,

possuem reservas de sal próximas de suas unidades industriais o que garante um suprimento a um custo reduzido.

No Brasil, as principais salinas produtoras de sal marinho estão localizadas nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Rio de Janeiro. O Rio Grande do Norte consiste no principal produtor nacional, com cerca de 4.738 mil toneladas, representando cerca de 72% da produção total de sal do Brasil e 92% da produção nacional de sal marinho (DNPM, 2004).

Ainda segundo esta fonte, as importações de sal marinho, em 2003, registraram um crescimento de cerca de 42,3% em volume, em relação ao ano anterior (220 mil toneladas em 2002 para 313 mil toneladas em 2003) e foram originárias do Chile (99%).

O sal-gema é extraído como uma salmoura do subsolo e pode ser utilizado diretamente na planta industrial (MONTENEGRO e PAN, 1998).

As jazidas de sal gema no Brasil encontram-se nos Estados de Bahia e Alagoas. A capacidade nominal instalada das minas de sal-gema é da ordem de 1.780 mil toneladas/ano, somados os dois grupos produtores, Braskem S/A - Maceió/AL e Dow Química do Nordeste Ltda. - Vera Cruz/BA. As importações de sal-gema apresentaram, em 2003, um crescimento da ordem de 112,1% em relação ao ano anterior (112,4 mil toneladas em 2003 e 53 mil toneladas em 2002) e praticamente 99% foram originárias do Chile (DNPM, 2004).

A água utilizada no processo de produção do cloro e soda cáustica é captada, de maneira geral, em manancial próximo à fábrica, sendo tratada e purificada em filtro de carvão e resina. A energia empregada na eletrólise é proveniente de uma fonte externa (concessionária local).

Como as plantas de cloro e soda cáustica são eletro-intensivas, a energia elétrica passa a ser um insumo de grande importância, representando cerca de 45% do custo total de produção. O consumo específico de energia elétrica por unidade eletrolítica é bastante significativo, podendo variar entre 2.800 kWh/t a 3.600 kWh/t de acordo com o processo de produção adotado. (ABICLOR, 2004)

Tecnologias de produção

A produção industrial de cloro e soda cáustica, por eletrólise do cloreto de sódio (NaCl), pode ser realizada pelas principais tecnologias de diafragma, mercúrio e membrana.

Conforme ABICLOR (2004), o processo diafragma é o mais utilizado no Brasil, seguido pelo processo de mercúrio e de membrana, conforme figura 36.

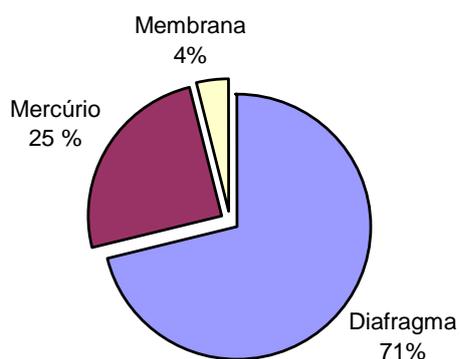


Figura 36: Processos de produção de cloro e soda cáustica, no Brasil (ABICLOR, 2004)

Na tabela 37, é apresentado os fornecedores de soda cáustica (hidróxido de sódio, líquido) para as indústrias nacionais de papel e celulose.

Tabela 37: Fornecedores de soda cáustica para as indústrias nacionais de papel e celulose (ABIQUIM, 2004)

Empresa	Localização	Capacidade instalada em 2003 (t/ano)
Carbocloro S.A. Indústrias Químicas	SP	284.000
Dow Brasil S.A.	BA	415.000
Cia Agro Industrial Igarassu	PE	28.500
Klabin Celulose Riocell	RS	22.890
Nexen Química Brasil Ltda.	ES	48.000
Pan Americana S.A. Indústrias Químicas	RJ	18.000
Solvay Indupa do Brasil S.A.	SP	130.000
Braskem S.A.	AL/BA	533.000
Total		1.479.390

A soda cáustica é comercializada no mercado brasileiro a granel e em escamas e sua produção é escoada via marítima, por alguns produtores localizados estrategicamente ao longo da costa, e rodoviária. (ABICLOR, 2004)

Conforme figura 37, o consumo setorial de soda cáustica é bastante concentrado em quatro grandes segmentos, em que o setor de papel e celulose representa 19,60%.

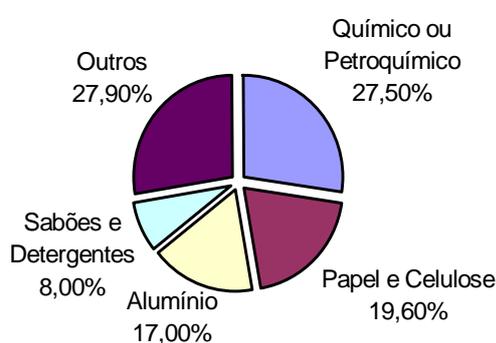


Figura 37: Consumo setorial de soda cáustica em 2001(ABICLOR, 2004)

Processos de Produção

A indústria de cloro-álcali produz cloro (Cl_2) e solução cáustica (NaOH) simultaneamente por meio da decomposição de uma solução de sal em água. Durante este processo tem-se a produção de hidrogênio (H_2).

No processo de eletrólise, a solução de cloreto de sódio é decomposta eletroliticamente por corrente direta. Nas três tecnologias: diafragma, mercúrio e membrana, o cloro produzido no anodo é separado da soda cáustica e hidrogênio produzidos, direta ou indiretamente, no catodo (IPPC, 2001).

A solução de salmoura é preparada, com concentração de 300 g/L, e purificada com carbonato de sódio e soda caustica para precipitação dos íons de cálcio e magnésio, respectivamente (CAII, 2004).

São apresentadas a seguir, segundo IPPC (2001), as três tecnologias de produção de soda cáustica.

Tecnologia célula de diafragma

O processo da célula de diafragma ocorre em uma única célula e os efluentes gerados contêm sal e soda cáustica, características que diferem da célula de mercúrio. O diafragma é empregado na separação do cloro liberado no anodo e o hidrogênio e soda cáustica produzido diretamente no catodo. O isolamento com o diafragma evita com que o hidrogênio e o cloro entrem em ignição espontânea e também a ocorrência da reação da soda cáustica com o cloro formando hipoclorito de sódio (NaClO), com reações adicionais produzindo clorato de sódio (NaClO₃).

Antigamente, os diafragmas eram geralmente fabricados com fibras de asbestos, devido a sua boa estabilidade química, disponibilidade do material e seu relativo custo. A partir de 1970, os diagramas de asbestos começaram a serem substituídos por diagramas contendo 75% de asbestos e 25% de fibras de um polímero fluorcarbono de alta resistência química. Este polímero permitiu a estabilização do asbesto e abaixamento da voltagem da célula. Em 1980, iniciou-se o desenvolvimento de diafragmas livres de asbestos com o emprego de outros materiais, principalmente do politetrafluoretileno (PTFE).

As células de diafragma e membrana para produção de cloro e hidróxido de sódio são classificadas como monopolar ou bipolar. Esta designação não se refere à eletroquímica da reação e sim que a célula requer dois eletrodos. Na eletrólise monopolar os eletrodos são montados de forma que o catodo e anodo fiquem em paralelo e na bipolar montadas em série (o anodo é diretamente conectado ao catodo da próxima célula, o que minimiza a perda de voltagem entre células).

A salmoura purificada entra pelo compartimento anódico e percola através do diafragma para a câmara catódica.

A passagem da corrente elétrica através da célula causa um aumento da temperatura de operação da eletrólise para 80-99°C.

A célula de diafragma produz uma solução de soda cáustica 11% e cloreto de sódio 18%, esta solução é evaporada para obter NaOH 50% (em peso). O sal gerado é tipicamente puro e usado na preparação da salmoura.

As células de diafragma têm a vantagem de operar com mais baixa voltagem que as células de mercúrio e de utilizar salmoura com pureza inferior que as células de membrana.

Na figura 38 é apresentado o processo de produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de diafragma.

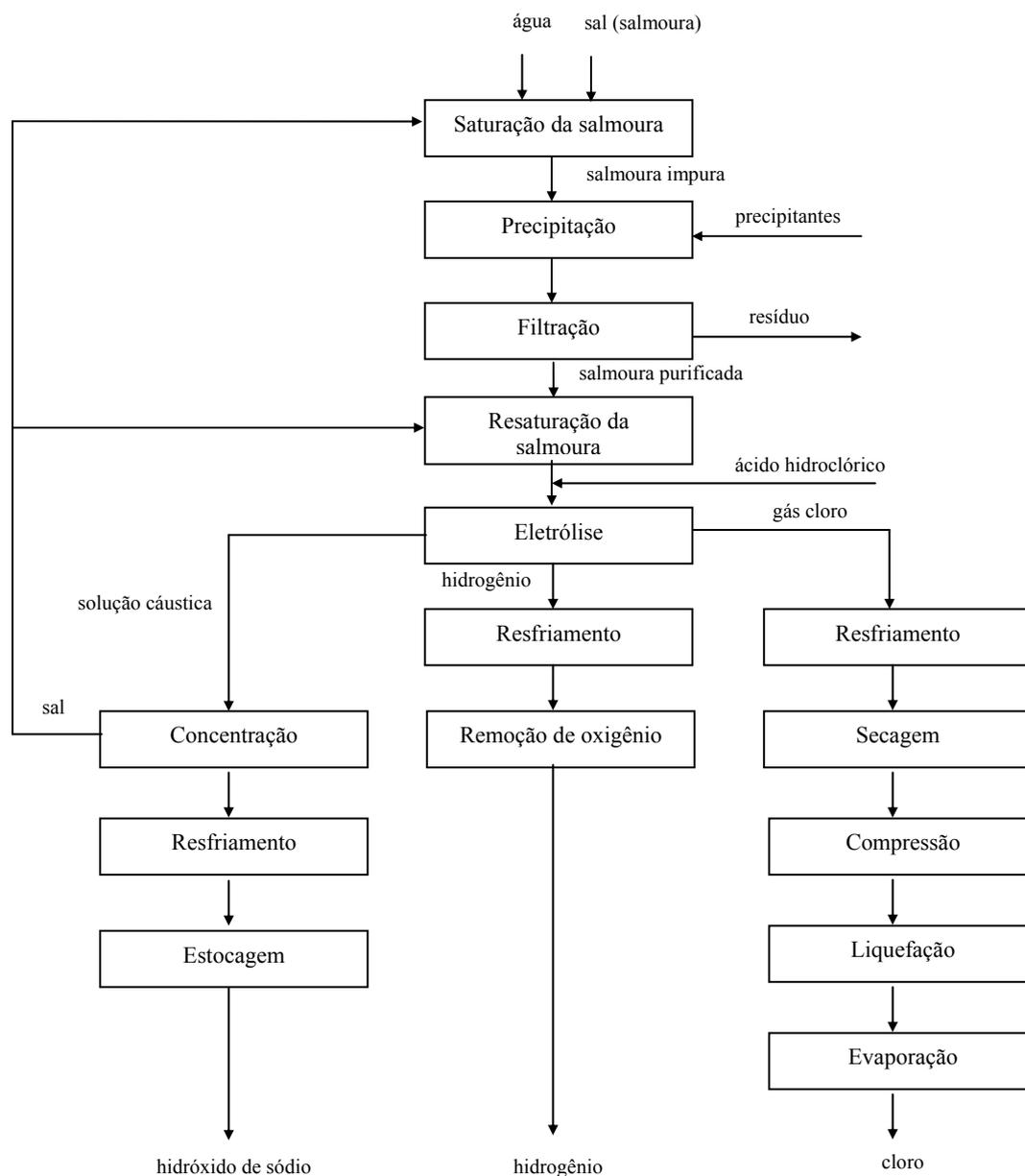


Figura 38: Processo de Produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de diafragma (IPPC, 2001)

Nas plantas de tecnologia diafragma, existe uma preocupação na exposição dos empregados ao asbesto e seus lançamentos para o meio ambiente. Atualmente, esforços estão sendo realizados para a substituição do asbesto por outro material.

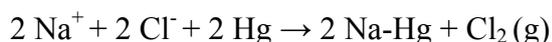
Tecnologia célula de mercúrio

A tecnologia célula de mercúrio envolve a célula eletrolítica e o decompositor. A salmoura purificada e saturada, contendo aproximadamente 25% de cloreto de sódio, é a matéria-prima da eletrólise. Na eletrólise, a salmoura escoar por um cocho levemente inclinado da horizontal. No fundo deste cocho há um filme de mercúrio sobre o qual se dá o escoamento da salmoura.

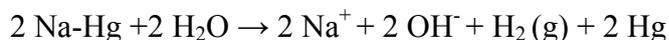
A passagem de corrente elétrica na célula eletrolítica decompõe a salmoura que passa em um espaço restrito entre os eletrodos, liberando gás cloro (Cl_2) no anodo e sódio metálico (Na^+) no catodo. O gás cloro é acumulado e enviado as etapas de purificação e liquefação para ser usado como matéria-prima em outras plantas industriais.

O íon sódio imediatamente forma uma amálgama (0,2-0,4% Na em peso), que escoar da célula eletrolítica para o decompositor (ou reator separador), onde a reação desta com água, catalisada com grafite, forma o hidróxido de sódio (NaOH) e o gás hidrogênio (H_2). O mercúrio livre do sódio retorna a célula eletrolítica onde é reusado.

A reação na eletrólise, segundo CAII (2004), é:



E a reação no decompositor é:



A salmoura anolítica que sai da célula é saturada com cloro e precisa ser desclorada, resaturada para retornar a alimentar a célula eletrolítica.

O hidróxido de sódio líquido produzido no decompositor (concentração de 50% a 73%) é resfriado, filtrado e enviado para tanques de armazenamento.

O gás hidrogênio gasoso é resfriado, filtrado e armazenado para posterior expedição.

Algumas pequenas porções de salmoura podem ser purgadas da célula, sendo realizada a adição de uma nova salmoura para prevenir o aumento do nível de impurezas da salmoura.

As vantagens da célula de mercúrio frente às células de diafragma e membrana são que esta produz gás cloro praticamente sem oxigênio e solução de soda cáustica a 50%. No entanto, esta célula opera com mais alta voltagem que as outras, consumindo mais energia e requer uma solução de salmoura pura com pouco ou nenhum contaminante metálico para evitar o risco de explosão através da formação de hidrogênio na célula.

Na figura 39, é apresentado o processo de produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de mercúrio.

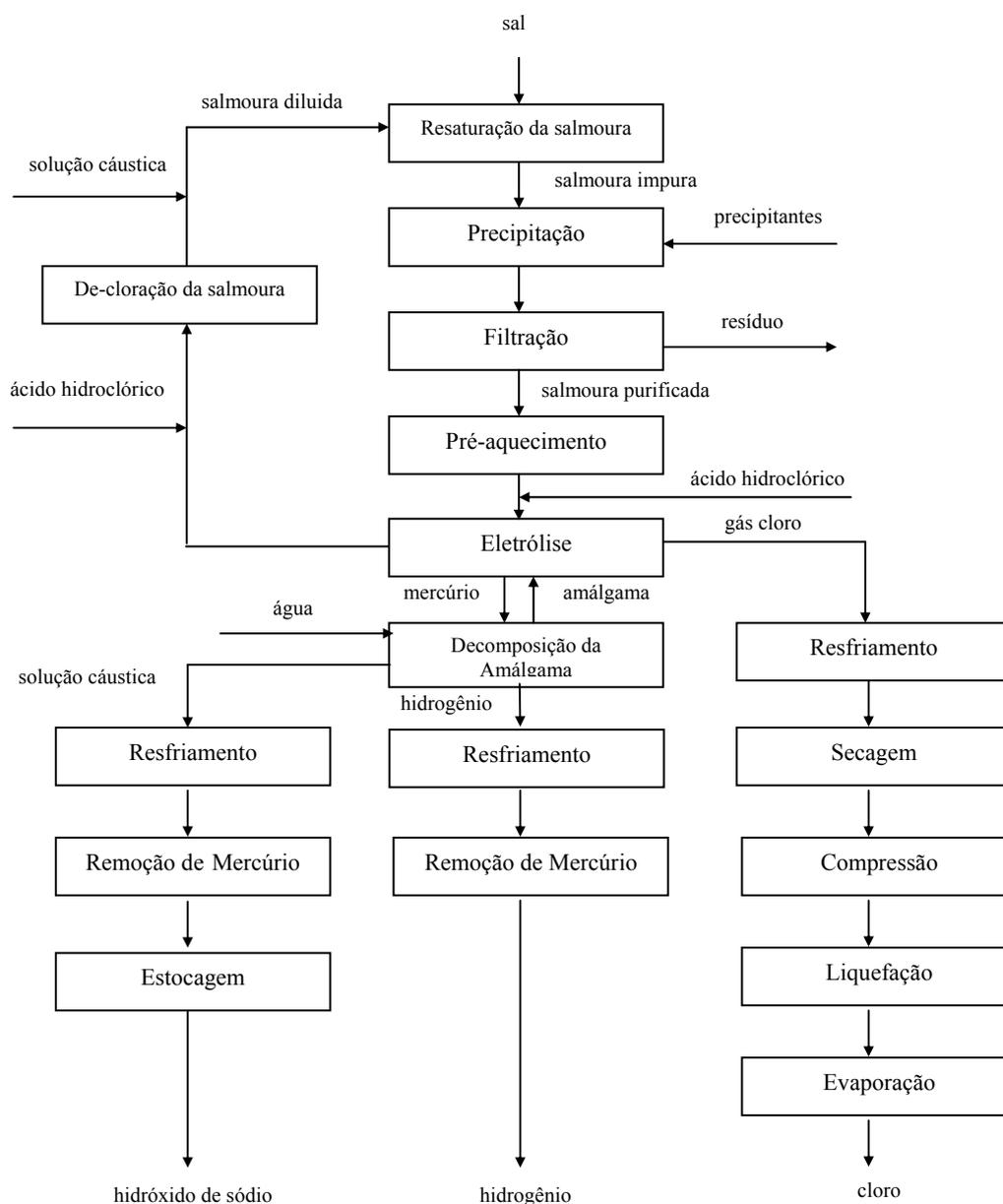


Figura 39: Processo de Produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de mercúrio (IPPC, 2001)

Por muitos anos, a produção de cloro e soda por células de mercúrio tem sido uma significativa fonte de poluição ambiental, devido às perdas de mercúrio do processo para a água, atmosfera, produtos e resíduos. O mercúrio inorgânico pode ser metabolizado por bactérias anaeróbicas para a forma altamente tóxica de metil

mercúrio, sendo este, na forma orgânica, bioacumulativo para a cadeia alimentar. (IPPC, 2001)

Tecnologia célula de Membrana

Nesta célula, o anodo e o catodo são separados por uma membrana condutora de íons e impermeável a água. A solução de salmoura entra na célula através da região anódica onde os íons cloro são oxidados a gás cloro. Os íons de sódio migram através da membrana para a região catódica onde existe um fluxo de soda cáustica. No catodo, a água desmineralizada adicionada é hidrolisada, liberando hidrogênio gasoso e íons hidróxidos. O sódio combina-se com os íons hidróxidos para produzir soda cáustica com concentração típica de 32-35%, podendo ser concentrado por evaporação até a concentração de 50%. Esta soda cáustica não possui sal como a obtida na célula de tecnologia de diafragma. A salmoura descartada da região anódica é resaturada com sal.

O material do catodo da célula de membrana é aço inoxidável ou níquel, freqüentemente coberto com um catalisador, como Ni-S, Ni-Al, misturas de Ni-NiO entre outras. O anodo usado é de metal.

As membranas empregadas são geralmente de polímeros de perfluoratos, podendo variar de 1 a 3 camadas. É utilizado, geralmente, 2 camadas de membranas, sendo a adjacente a região anódica constituída de polímero perfluoratos com grupos carboxílicos substituídos e a adjacente a região catódica com grupos sulfônicos substituídos. A resistência mecânica da membrana é obtida com um reforço de fibras de PTFE.

Esta tecnologia tem como vantagem a obtenção de uma soda caustica pura, um menor gasto energético que as outras células, além de não usar materiais altamente tóxicos, como o mercúrio e asbestos.

As desvantagens estão relacionadas à necessidade da concentração da soda caustica produzida, o processamento do gás cloro, dependendo a aplicação, para remoção de oxigênio e a existência de uma etapa prévia de purificação da salmoura que entra na célula eletrolítica.

Assim como nas células de diafragma, as células de membranas podem ser configuradas como monopolar ou bipolar.

Na figura 40, é apresentado o processo de produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de membrana.

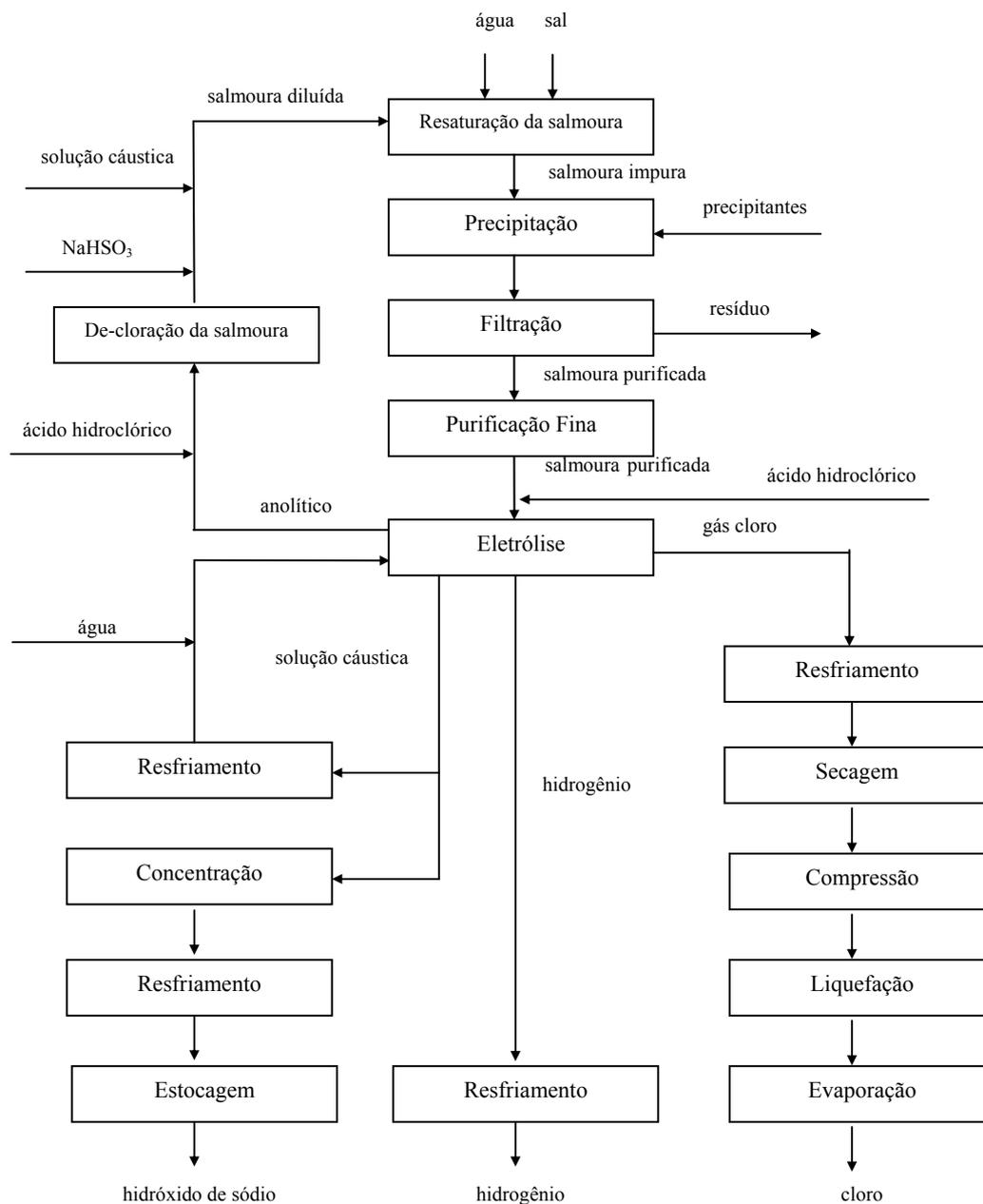


Figura 40: Processo de Produção de cloro e hidróxido de sódio pela tecnologia célula de membrana (IPPC, 2001)

3.4.13. Subsistema peróxido de hidrogênio

A produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) passou por 3 períodos: um processo químico úmido, seguido de um processo eletroquímico e, então, pelo processo de auto-oxidação orgânica (ULLMANN'S, 1989).

Ainda segundo esta fonte, entre 1935 e 1945, a BASF desenvolveu o processo Riedel-Pfleiderer para a produção de peróxido de hidrogênio em uma planta piloto com uma produção mensal de 30 toneladas. Este processo, agora referenciado como processo de auto-oxidação, vindo sendo empregado por diversas companhias uma vez que sua capacidade produtiva aumentou enormemente.

Atualmente, o peróxido de hidrogênio é produzido quase que na sua totalidade pelo processo de auto-oxidação da antraquinona.

Nesse processo de auto-oxidação, o H_2O_2 é produzido a partir do hidrogênio e oxigênio atmosférico, enquanto um derivado de antraquinona é recirculado e age como suporte da reação. O peróxido de hidrogênio em bruto obtido pelo processo de auto-oxidação é purificado e concentrado ou diluído. Após uma adequada estabilização, pode ser consumido em solução aquosa geralmente em concentrações de 35, 50, 60 e 70% em peso (KAWAI, 2004)¹⁷. Este processo pode ser representado pela reação apresentada na figura 41.

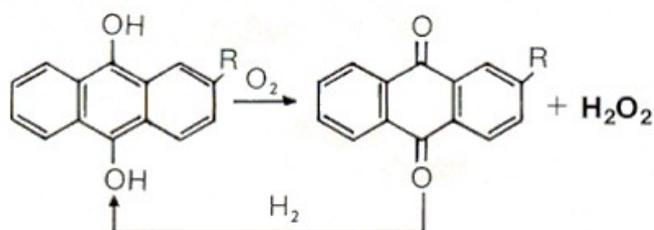


Figura 41: Produção de peróxido de hidrogênio pelo processo de auto-oxidação da antraquinona (KAWAI, 2004)¹⁷

No Brasil existem duas empresas que produzem o peróxido de hidrogênio: a Degussa e a Peróxidos do Brasil Ltda., do Grupo Solvay.

¹⁷ Informação obtida com Srta. Regina Kawai, responsável pela Tecnologia de Aplicação da empresa Peroxygen Chemicals (Degussa), através de contato pelo e-mail regina.kawai@degussa.com, em 06 dez. de 2004.

Descrição do processo

O processo cíclico Riedel-Pfleiderer ou BASF tem sido a base tecnológica para todos os modernos processos de auto-oxidação orgânica. Algumas melhorias implementadas estão relacionadas, basicamente, ao emprego de soluções de trabalho estáveis e de catalisadores seletivos para a hidrogenação (ULMANN'S, 1989).

A solução de trabalho consiste em uma mistura de vários solventes, onde parte são solventes aromáticos (HISCHIER, R.; KUNST, H., 2004).

Na figura 42, são apresentados os princípios básicos da produção de peróxido de hidrogênio pelo processo de auto-oxidação da antraquinona.

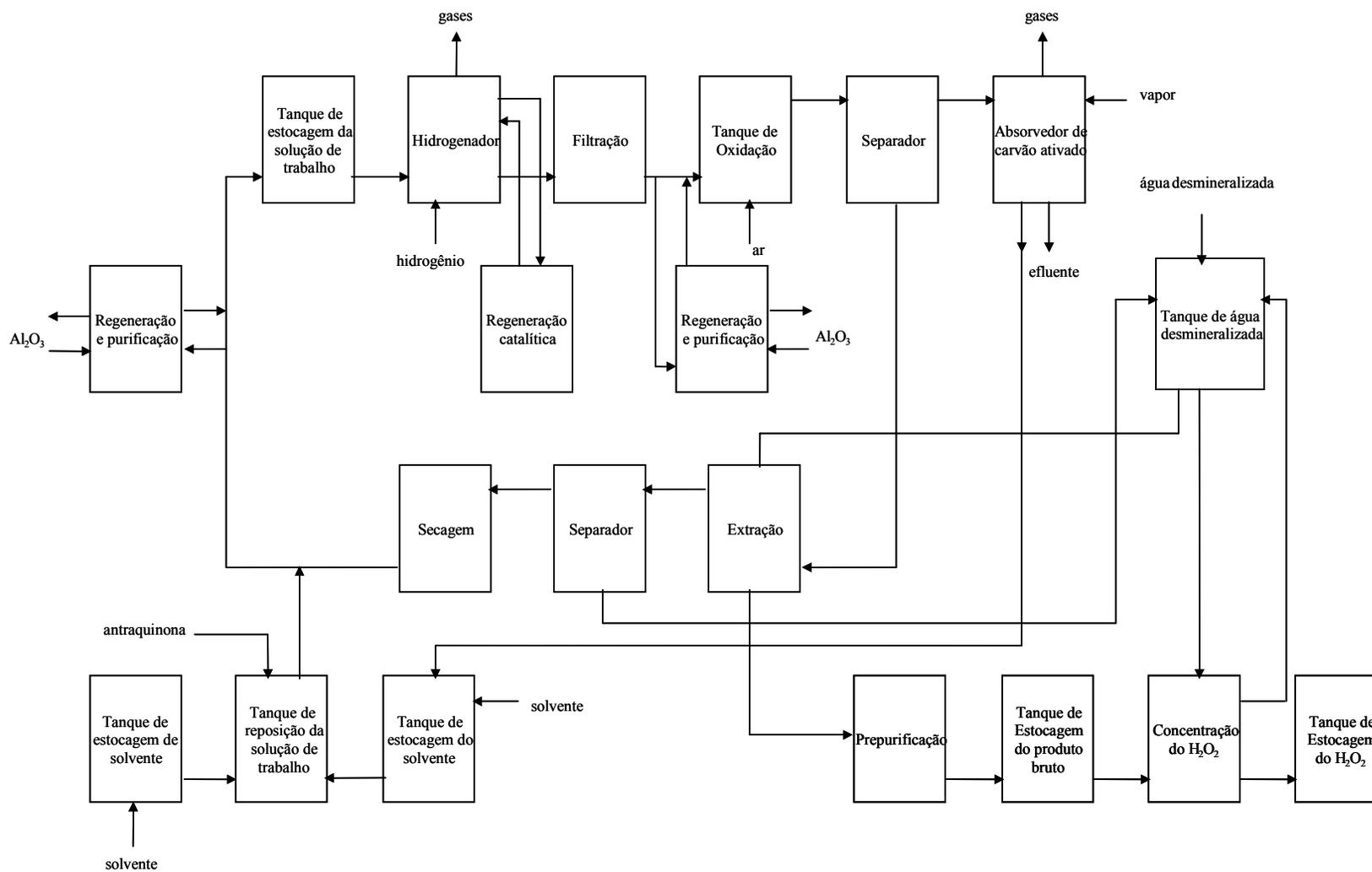


Figura 42: Produção de peróxido de hidrogênio pelo processo de auto-oxidação da antraquinona (ULMANN'S, 1989)

De acordo com ULMANN'S (1989), o processo de produção de peróxido de hidrogênio pode ser resumido nas seguintes etapas:

Hidrogenação

A solução de trabalho do tanque contida no tanque de armazenamento alimenta o hidrogenador, onde é hidrogenada em suspensão catalítica, suporte catalítico ou mesmo em um leito catalítico fixo. Geralmente, tem sido empregado uma suspensão catalítica, por exemplo, liga de paládio, de níquel ou um suporte de paládio.

Na sequência, o estágio de filtração retém o catalisador que retorna para o processo de hidrogenação.

O calor liberado na reação durante a hidrogenação pode ser removido: antes da etapa de hidrogenação, pelo resfriamento da solução de trabalho oxidada, durante esta etapa, pelo resfriamento do reator ou depois desta etapa, pelo resfriamento da solução de trabalho hidrogenada.

Oxidação

A solução de trabalho que contém hidroquinona antes de alimentar a etapa de oxidação, necessita passar por um estágio seguro de filtração, isto é particularmente importante, pois os catalisadores da hidrogenação no processo de auto-oxidação (liga de paládio e níquel) também catalisam a decomposição do peróxido de hidrogênio. E uma pequena quantidade destes nas etapas de oxidação e extração subsequentes, poderiam provocar um grande perda de peróxido de hidrogênio, além de sérios distúrbios no processo.

Na etapa de oxidação, é injetado ar na solução de trabalho hidrogenada, as hidroquinonas dissolvidas são oxidadas a quinonas e o peróxido de hidrogênio é formado.

Depois da solução de trabalho ter sido separada, o ar empregado na oxidação passa por adsorvedores de carvão ativo e o solvente adsorvido é recuperado.

Extração e recuperação da solução de trabalho

A solução de trabalho oxidada é então tratada com água para a extração do peróxido de hidrogênio. Esta solução de trabalho é ajustada a um conteúdo de água específico pra poder retornar a etapa de hidrogenação. A água limpa contida na solução de trabalho é separada e o conteúdo de água da solução é ajustado para uma secagem posterior a níveis desejados.

Para purificar a solução de trabalho e regenerar os produtos de decomposição das quinonas, algumas ou todas as soluções de trabalho passam pela etapa de regeneração.

Concentração do peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio aquoso obtido do estágio de extração (concentração de 15-35%) alimenta o tanque de estocagem via pré-purificação.

O peróxido de hidrogênio estocado vai passar por uma unidade de concentração onde é destilado, tornando-se livre da maioria das impurezas e obtendo uma concentração comercial de 50-70%, sendo então estocado em containeres.

O vapor d'água produzido durante a destilação é condensado e alimenta o tanque de estocagem de água.

Processos auxiliares

Alguns processos auxiliares são necessários para poder se manter uma boa operação do processo de auto-oxidação. Por exemplo, tem-se a etapa de regeneração catalítica, onde parte dos catalisadores é removida, regenerada, retornando ao hidrogenador. Além das perdas processuais de quinona e solvente na solução de trabalho que necessitam serem compensadas, por meio de uma reposição periódica de antraquinona e solvente.

3.4.14. Subsistema ácido sulfúrico

Os processos nacionais de produção de ácido sulfúrico empregam, amplamente, a tecnologia de dupla-absorção ou duplo contato - DA/DC, que compreende basicamente as seguintes etapas: fusão do enxofre e sua filtração, secagem do ar atmosférico, queima

do enxofre, conversão do dióxido de enxofre (SO₂) e absorção do trióxido de enxofre (SO₃) em água.

A tabela 38 apresenta os fabricantes de ácido sulfúrico que fornecem o insumo as indústrias nacionais de papel e celulose.

Tabela 38: Fornecedores de ácido sulfúrico para as indústrias nacionais de papel e celulose (adaptado de ABIQUIM, 2004)

Empresa	Localização	Capacidade Instalada em 2003 (t/ano)
CPM - Cia Paraibuna de Metais	MG	130.000
Elekeiroz S.A.	SP	250.000
Galvani Indústria, Comércio e Serviços Ltda.	SP	330.000
Jarí Celulose S.A.	PA	10.850
Mineração Morro Velho Ltda.	MG	130.000
Cia Nitro Química Brasileira (*)	SP	325.000
Total		1.175.850

(*) inclui ácido sulfúrico fumegante

A figura 43 apresenta um diagrama esquemático da produção de ácido sulfúrico pela tecnologia de dupla-absorção.

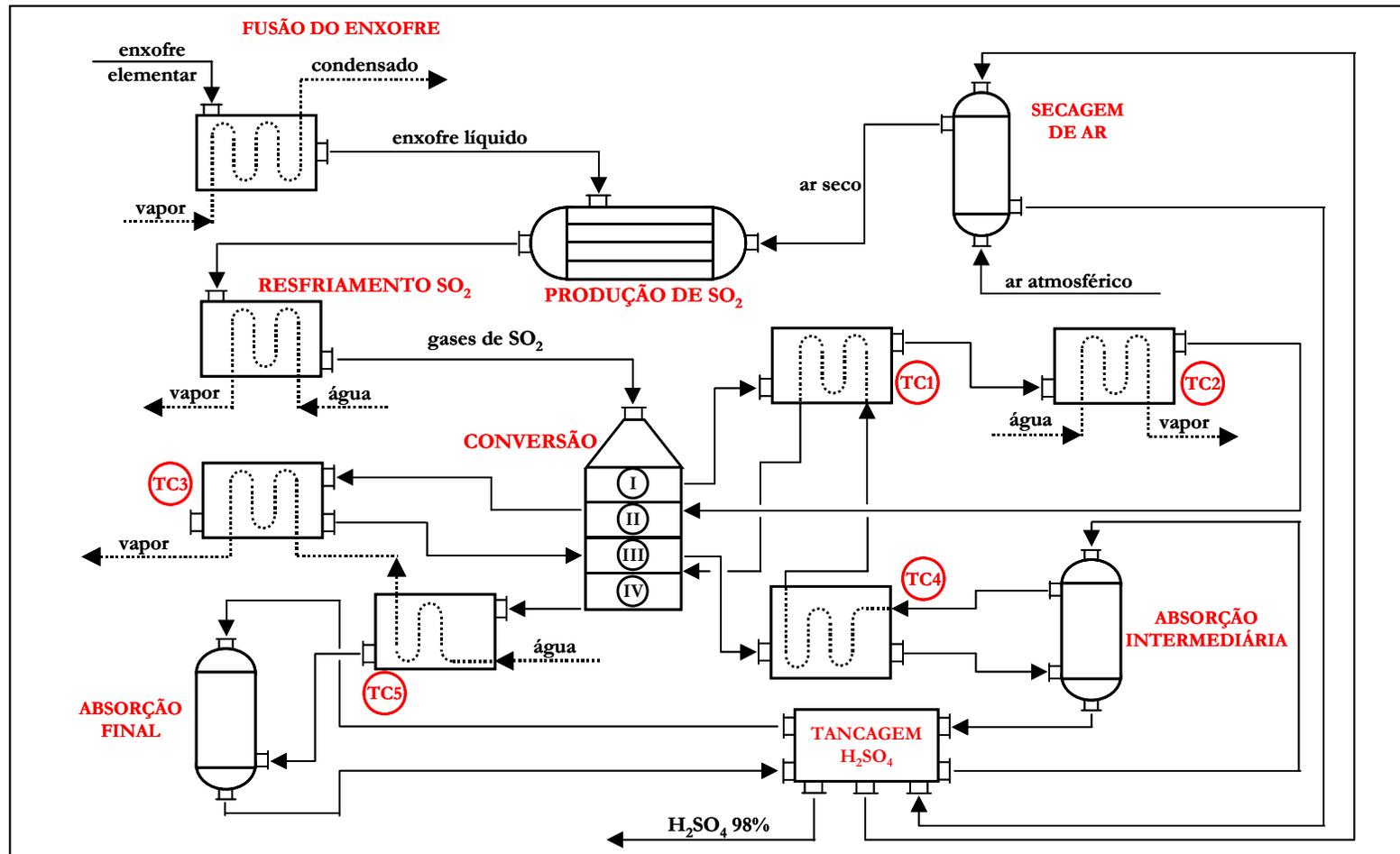


Figura 43: Diagrama do processo de dupla adsorção (DA) para produção de ácido sulfúrico (KULAY, 2004)

4. ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO

4.1. Metodologia

Este estudo foi conduzido utilizando a estrutura metodológica baseada nas recomendações da ISO (International Organization for Standardization). De acordo com a NBR ISO 14040 (2001), a ACV é dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação.

4.1.1. Objetivo do estudo

Assim como já apresentado, o objetivo do presente estudo é a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida do papel offset produzido no Brasil. Este inventário constitui em uma base de dados nacional que contribui para compor o banco de dados brasileiro de Avaliação de Ciclo de Vida, cuja construção vem sendo executada pelo Grupo de Prevenção da Poluição do Departamento de Engenharia Química da Universidade de São Paulo.

De uma maneira geral, o estudo representa uma contribuição para o estabelecimento das condições necessárias à realização de estudos futuros de ACV no Brasil.

As razões para condução deste estudo estão baseadas na necessidade de elaboração de um banco de dados nacional consistente, representativo e disponível para realização de outras ACVs, cujos tempos e custos de execução possam ser reduzidos.

Uma outra razão que sustenta a realização deste estudo é a peculiaridade do setor de papel e celulose nacional ser predominantemente baseado na produção de celulose de fibra curta que difere de muitos outros países.

O público alvo do Inventário do Ciclo de Vida do papel offset produzido no país compreende todos os executores de ACV, cujos trabalhos contenham elementos comuns ao seu ciclo de vida.

4.1.1.1. Critérios empregados na escolha do tipo de papel a ser inventariado

A escolha da categoria e tipo de papel a ser inventariado foi realizada com base nas informações levantadas na pesquisa bibliográfica, principalmente a relativa ao estudo do mercado nacional de papel e celulose.

Conforme pode ser visto na tabela 39, os critérios empregados basearam-se, em princípio, na determinação de quais tipos de papéis são provenientes de celulose branqueada e, com base nestes tipos de papéis identificados, verificou-se a importância relativa quanto à sua produção nacional. Ao se associarem estes parâmetros (branqueamento da pasta celulósica e quantidade produzida), chegou-se aos seguintes tipos de papéis: capa de 1ª e offset.

Tabela 39: Aplicação de critérios na escolha da categoria e tipo de papel (adaptado de BRACELPA, 2002)

Categoria e Tipos de papéis	Branqueamento da pasta celulósica	Produção (t) Ano de 2002	Principais Papéis Escolhidos
Papéis de embalagem		3.715.634	
Estiva e maculatura		65.374	
Manilhina e Padaria		1.400	
Manilha-HD-Hamburguês-Havana-LD-Macarrão		6.632	
Seda		14.772	
Glassine, Cristal ou Pergaminho (impermeáveis)		24.941	
Strong de 1ª		4.000	
Strong de 2ª		9.889	
Kraft Natural p/ sacos multifolhados		271.843	
Kraft extensível		25.070	
Kraft natural ou cores p/ outros fins		34.666	
Kraft Branco ou em cores		44.883	
Tipo Kraft de 1ª		47.742	
Tipo Kraft de 2ª		44.095	
Miolo		1.169.621	
Capa de 1ª	X	1.437.905	Capa de 1ª
Capa de 2ª	X	401.437	
White Top Liner	X	111.364	
Papéis de imprimir		2.091.618	
Bíblia	X	0	
Bouffant de 1ª	X	16	
Bouffant de 2ª	X	19.974	
Couché (revestido)	X	464.332	
Jornal (comercial)		10.640	
Monolúcido de 1ª	X	27.766	
Offset	X	1.568.890	Offset
Papéis de fins sanitários		673.117	
Higiênico Popular		40.683	
Folha Simples de Boa Qualidade		177.958	
Folha Simples de Alta Qualidade	X	198.794	
Higiênico Folha dupla	X	84.510	
Toalha de cozinha	X	49.694	
Toalha de mão		88.224	
Guardanapo	X	29.046	
Lenço	X	1.942	
Lençol Hospitalar	X	2.266	

Categoria e Tipos de papéis	Branqueamento da pasta celulósica	Produção (t) Ano de 2002	Principais Papéis Escolhidos
Papel cartão		558.839	
Duplex	X	446.860	
Triplex	X	75.314	
Sólido (Folding)	X	36.665	
Papel imprensa		247.708	
Papéis de escrever		93.905	
Apergaminhado (Bond)	X	77.107	
Super Bond (Bond Cores)	X	16.785	
2as vias (Flor Post)	X	13	
Cartolina, papelão e polpa moldada		211.762	
Para copos	X	242	
Branca e cores para impressos	X	8.102	
Outras branca e cores	X	53.370	
Papelão madeira ou papelão Paraná		50.132	
Papelão cinza	X	65.185	
Polpa moldada		34.731	
Papéis especiais		181.330	
Base para carbono		6.877	
Cigarro	X	8.218	
Ponteiras	X	5.562	
Crepado		7.258	
Heliográfico	X	153	
Filtrante	X	18.402	
Absorvente base p/ laminado		22.441	
Base para abrasivos e intercalação de laminados		3	
Cartões p/ juntas e revestimentos	X	6.166	
Papelões especiais para isolamento elétrico – Adabet para sapatos e painéis		2.410	
Tubeletes		1.483	
Papel base p/ copias sem carbono	X	1.288	
Papeis químicos	X	62.551	
Outros		38.518	

Observou-se que a categoria de papéis de imprimir, mesmo sendo menos representativa, em termos de quantidade total produzida do que a categoria de papéis de embalagem, o tipo de papel offset representou no ano de 2002 uma produção maior que a do papel capa de 1^a.

Com base nos critérios aplicados e na tendência de crescimento do mercado para estes tipos de papéis e consciente de que a adoção de outros critérios mais específicos, com referência aos aspectos produtivos destes tipos de papéis, poderiam representar uma escolha baseada em parâmetros subjetivos, optou-se assim por inventariar o produto papel offset.

4.1.2. Escopo do estudo

O escopo do estudo levou em consideração os seguintes itens:

4.1.2.1. Sistema de produto

O sistema de produto sob estudo consiste na produção da madeira, extração da celulose e fabricação do papel offset “não revestido à base de celulose” (*uncoated woodfree*) e não-calandrado, levando em consideração as tecnologias típicas disponíveis nas fábricas brasileiras. Para a adoção deste sistema de produto, foram consideradas as seguintes premissas:

- o estudo é baseado em fábricas integradas de pasta de celulose e papel, considerando sua representatividade em termos de produção nacional;
- o eucalipto foi adotado como matéria-prima para a obtenção da pasta celulósica, pois este corresponde a aproximadamente 64% de toda a floresta plantada no território nacional;
- a celulose de eucalipto considerada foi obtida pelo processo Kraft, o qual corresponde em mais de 96% de toda a produção brasileira de pastas químicas por tipos de processos; e
- a etapa de branqueamento da pasta celulósica de eucalipto foi incluída no estudo, considerando-se que o mercado tem demandado papéis com características diferenciadas (como por exemplo, seu grau de alvura elevado, entre outras). E para ir de encontro a esta demanda, os fabricantes têm aprimorado seus processos para poder oferecer produtos de alta qualidade para uma sociedade que não abre mão de um elevado padrão de consumo conquistado.
- foi adotada uma alvura da celulose branqueada de 91% ISO, pois este parâmetro é comum aos produtores nacionais de papel e celulose, bem como, aos fabricantes de papel offset.

Como o propósito deste estudo consiste em um inventário, os estágios do ciclo de vida considerados neste sistema de produto vão da extração dos recursos naturais ao

produto acabado - o papel offset, o que corresponde aos subsistemas “do berço ao portão da fábrica” (da expressão em inglês *from cradle to gate*).

4.1.2.2. Função do produto

Como este estudo consiste em um inventário para compor o banco de dados brasileiro de ACV, sob a perspectiva do berço ao portão de fábrica, ou seja, não se inclui a etapa de uso do produto, não é necessário definir a função do produto.

4.1.2.3. Unidade funcional

Como não se fez necessário a definição de função do produto, não se justifica adotar uma unidade funcional. Desse modo, emprega-se um fluxo de referência de 1 t de produto para relacionar os aspectos ambientais de entrada e saída para cada um dos subsistemas compreendidos pelo sistema de produto em estudo.

4.1.2.4. Sistema de produto

Neste estudo, o sistema de produto considerado consiste nos seguintes subsistemas:

Subsistema produção da madeira

A primeira atividade florestal consiste na implantação, que inclui o cultivo das mudas de eucalipto no viveiro, o seu transporte para o campo, a fertilização do solo, o plantio das mudas e o controle de pragas. Antes de realizar o plantio, o solo deve ser preparado adequadamente, conforme apresentado no item “preparo do solo” (ver pág. 66).

Para o subsistema produção da madeira, foram adotadas como fluxo elementar as entradas de fertilizantes e defensivos, ou seja, levou-se em consideração apenas as correntes de matéria que entram no subsistema e os aspectos ambientais, relativos às etapas produtivas destes insumos, foram desconsiderados. Esta adoção foi baseada na complexidade desses subsistemas e na ausência de estudos nacionais que abordassem tais matérias. O levantamento dos aspectos ambientais da produção de fertilizantes ou

defensivos pela indústria de papel e celulose são temas para outros trabalhos, que poderiam ser compreendidos em novos estudos de ACV.

A segunda fase é a de manejo florestal, que visa à obtenção de madeira durante o período de crescimento da floresta, com qualidade necessária ao seu uso final, ou seja, a produção de papel offset pelas indústrias integradas de papel e celulose consideradas no modelo. Na etapa de crescimento da floresta deve ser considerado o seqüestro de carbono da atmosfera.

A terceira fase é a da colheita da madeira, que compreende as etapas de derrubada, de descascamento, do corte e do transporte da madeira. Nesta etapa, o aspecto mais importante a ser considerado refere-se a distância média percorrida no transporte da madeira da área florestal até a unidade industrial.

Subsistema extração da celulose

O subsistema extração da celulose, como pode ser visto na pág 73, é representado pelas atividades voltadas ao fornecimento de polpa celulósica branqueada à fábrica de papel offset e em atividades muito importantes para o bom desempenho técnico, econômico e ambiental das fábricas integradas de papel e celulose, como a recuperação química dos reagentes químicos, a produção de vapor e eletricidade, usualmente em unidades de cogeração.

Este subsistema compreende, essencialmente, o processo Kraft de polpação química e o branqueamento ECF da polpa celulósica.

Para facilitar a compreensão, o inventário do sistema de recuperação química é elaborado em separado do subsistema extração da celulose.

Subsistema fabricação de papel offset

O subsistema fabricação de papel offset é representado pelas atividades voltadas à obtenção do papel offset de gramatura 75 g/m², não revestido à base de celulose e não calandrado.

Este subsistema consiste, basicamente, na preparação da massa, formação da folha e secagem do papel.

Subsistema energia

No cenário atual, a energia requerida pelas indústrias, consideradas no modelo em estudo, não é satisfeita pela eletricidade e calor produzidos on-site, sendo complementada pela energia elétrica comprada de uma rede concessionária.

Este subsistema inclui o consumo de energia elétrica da fonte externa e a energia autogerada na indústria, pela queima do licor negro, biomassa e derivados do petróleo.

Subsistema produção química

Este subsistema consiste na fabricação dos principais insumos químicos necessários ao processo produtivo do papel offset.

A carga ambiental associada aos principais insumos utilizados na digestão da celulose e branqueamento, assim como nas outras unidades de processo, deve ser considerada na ordem de satisfazer aos critérios de corte estabelecidos no escopo do estudo (ver pág. 27).

Foram levantados os aspectos ambientais dos processos de produção do clorato de sódio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, soda cáustica, carbonato de cálcio precipitado e ácido sulfúrico.

Subsistema transporte

Este subsistema consiste em levantar os aspectos ambientais das atividades de transporte dos materiais requeridos entre as unidades de processo consideradas. Esta etapa compreende as formas de transportes adotadas e distâncias percorridas na movimentação da madeira retirada das áreas florestais e dos insumos necessários ao processo, do local onde são produzidos, até a fábrica de papel offset.

4.1.2.5. Fronteiras do sistema de produto

As fronteiras do estudo são definidas em diversas dimensões, como a seguir:

Fronteira em relação ao sistema natural

O sistema de produto se relaciona com o meio ambiente, através dos seguintes aspectos ambientais: o consumo de recursos naturais (água, minérios etc) e energéticos (eletricidade e combustíveis) e a geração dos rejeitos (sejam emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos).

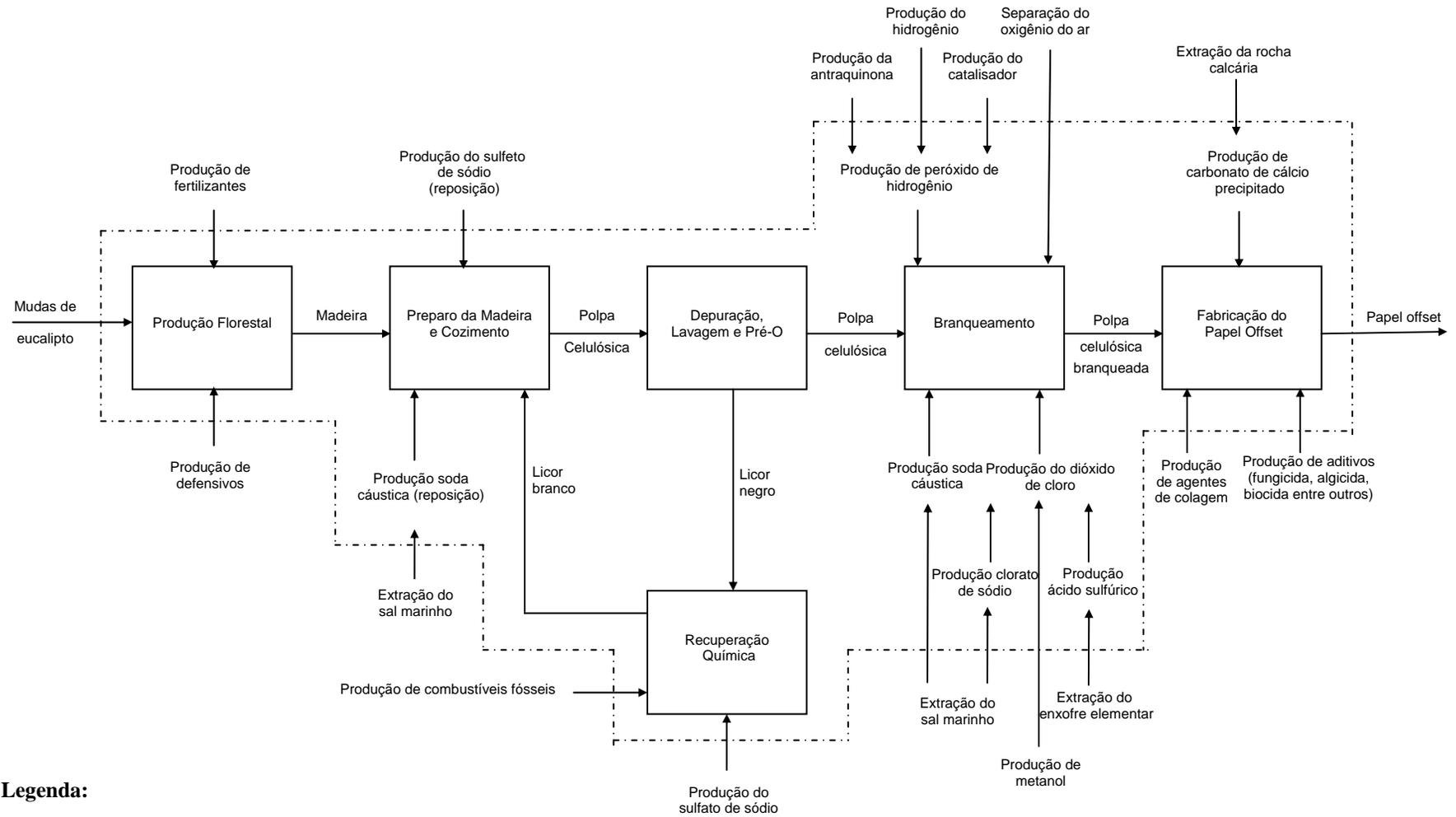
Fronteira em relação a outros sistemas

Os subsistemas que são incluídos na fronteira do estudo, assim como os excluídos, são apresentados na tabela 40.

Tabela 40: Subsistemas considerados e excluídos na elaboração do ICV do papel offset

Subsistemas incluídos	Subsistemas excluídos
<ul style="list-style-type: none"> - Produção da madeira; - Extração da celulose e seu branqueamento; - Fabricação do papel offset; - Sistema de recuperação química; - Geração, transmissão e distribuição da energia elétrica; - Tratamento de efluentes industriais; - Transporte da madeira e do sal marinho; - Produção dos insumos químicos: clorato de sódio, dióxido de cloro, carbonato de cálcio precipitado, soda cáustica, peróxido de hidrogênio e ácido sulfúrico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de combustíveis fósseis (gás natural e óleo combustível); - Produção e manutenção de bens de capital; - Produção de defensivos e fertilizantes; - Entradas e saídas que representarem menos que 5% da massa de papel offset; - Etapas de uso e disposição final.

A figura 44 apresenta a fronteira estabelecida para o sistema de produto em estudo.



Legenda:

Fronteira estabelecida, sob a perspectiva “do berço ao portão da fábrica”

Figura 44: Fronteira estabelecida para o sistema de produto em estudo

Fronteira Geográfica

A fronteira geográfica deve ser definida de acordo com as características das indústrias de papel offset consideradas significativas para o presente estudo.

O sistema de produto sob estudo baseou-se nos 5 principais fabricantes de papel offset que, conforme já apresentados, são em termos de maior produção: a International Paper do Brasil Ltda., a Votorantim Celulose e Papel S.A., a Cia Suzano de Papel e Celulose, a Bahia Sul Celulose S.A. e a Ripasa S.A. Celulose e Papel.

As indústrias nacionais de papel offset empregam, de maneira geral, matérias-primas, processos florestais, produtivos e tecnologias muito semelhantes. Desse modo, a fronteira geográfica adotada para o estudo, à primeira vista, poderia ser representada pelo escopo geográfico delimitado pelas 5 empresas consideradas no estudo, incluindo suas áreas florestais e os fornecedores de insumos utilizados no processo de produção do papel offset. No entanto, essas empresas possuem representatividade em termos de produção nacional e assim, a validade deste estudo, desde que considerada suas limitações, suposições e estimativas adotadas, pode ser extrapolada para o escopo geográfico da produção nacional.

Fronteira Temporal

Este estudo visa retratar a situação atual das indústrias nacionais de papel e celulose que produzem o papel offset. Os dados coletados foram obtidos no período relativo aos anos de 1998 à 2006.

Para fazer frente ao crescimento da demanda e oferta mundial de celulose e papel, os principais fabricantes de papel offset vêm, a algum tempo, por meio de saltos tecnológicos adequando-se as melhores práticas tecnológicas disponíveis. Sob este aspecto, o estudo possui um validade de 5 anos, após este período faz se necessário uma análise crítica e atualização dos dados, este período foi adotado considerando o crescimento programado do setor, que já se encontra em fase de implementação.

Fronteira relacionada aos bens de capital e pessoais

Neste estudo, os bens de capital, como as construções civis, veículos, estradas de acesso e todo o aparato de máquinas e equipamentos da indústria de papel e celulose serão excluídos, sendo que estes bens na maioria são investimentos realizados há muito tempo atrás e o levantamento dos aspectos ambientais da produção destes bens torna-se praticamente impossível.

Os bens pessoais (como a alimentação, transporte dos funcionários, entre outros) serão excluídos do estudo, pois apesar de representarem aspectos ambientais, geralmente não têm sido incluídos nos estudos de ACV.

4.1.2.6. Procedimentos de alocação

Para o subsistema produção de soda cáustica verificou-se a necessidade de alocação das cargas ambientais levantadas no inventário para os subprodutos gerados no processo.

4.1.2.7. Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada

Por se tratar de um inventário, o estudo não contempla a etapa posterior de avaliação de impactos. E portanto, os tipos de impactos, a metodologia de avaliação de impacto e sua interpretação subsequente empregada não serão apresentados para o presente estudo.

4.1.2.8. Requisitos da qualidade dos dados iniciais

Para a elaboração do inventário, foi dada preferência à obtenção de dados primários, providenciados diretamente com as indústrias de papel offset e outras partes envolvidas (como fornecedores de matérias-primas e agências que fiscalizam o setor) e, desde que possível, estes dados foram checados por balanço de massa. Na ausência destes dados, foram empregados dados secundários, obtidos das seguintes fontes:

- literatura dos processos, trabalhos e artigos (nacionais e internacionais);
- informativos e anuários do setor;
- associações e instituições de classe;

- bases de dados nacionais e internacionais, próprias para estudos de ACV.

Para todas as fontes de dados usadas, em especial as de dados secundários, foram tomadas as precauções quanto à sua confiabilidade e representatividade para o sistema de produto adotado, sendo realizadas as suas adequações necessárias, quando na disponibilidade de dados representativos. Todas as limitações, estimativas e suposições adotadas foram avaliadas e quando necessário justificadas.

4.1.2.9. Tipo de análise crítica

A análise crítica definida para estudos de ACV, conforme apresentada na página 25, deve ser realizada por especialistas independentes. Dessa maneira, esta análise, que é baseada na NBR ISO 14040 (2001) e que difere da análise crítica do autor, poderá ser realizada em alguma ocasião específica em um momento futuro.

4.1.3.0. Tipo e formato do relatório requerido para o estudo

Os resultados obtidos neste estudo de ACV serão apresentados de uma maneira compreensível, objetiva e, dentro do possível, transparente.

4.1.3. Análise do inventário do ciclo de vida

A etapa de análise do Inventário do Ciclo de Vida é uma parte essencial da ACV que providencia dados relativos a todas as entradas e saídas de matéria e energia ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

A análise do Inventário do Ciclo de Vida constituiu-se nas seguintes atividades:

- coleta de dados

As folhas elaboradas para a coleta de dados foram enviadas aos cinco principais fabricantes de papel offset, assim como aos fornecedores dos insumos necessários ao processo de produção do papel. Dentre os fabricantes de papel offset contatados, cerca de 40% responderam as folhas de coleta de dados. Para este percentual, foram considerados também os dados parciais (dados relativos a unidades de processo específicas) recebidos das empresas consideradas no modelo.

Foram levantados dados secundários por meio de outras fontes, nestes incluem-se as bases de dados estrangeiras próprias para uso em ACV, como as dos softwares SimaPRO e Ecoinvent.

No anexo K, são apresentadas as folhas elaboradas para a coleta de dados, juntamente com uma carta explicativa do propósito do estudo.

- tratamento dos dados

Como apresentado anteriormente, o Inventário do Ciclo de Vida do Papel Offset foi elaborado através de uma análise apurada de todo o sistema de produto, o qual compreende diversos subsistemas interligados, sejam por correntes de massa e energia. Cada subsistema consiste em unidades de processo, para as quais se fez o levantamento dos aspectos ambientais para compor o inventário proposto.

No decorrer do estudo, são elaborados modelos representativos para os subsistemas considerados, esta forma de apresentação foi adotada com a finalidade de facilitar uma melhor análise e compreensão pelo leitor.

Alguns acordos de confidencialidade foram estabelecidos com as empresas fornecedoras dos dados, desse modo, os aspectos ambientais identificados poderão vir a serem apresentados como inventários já consolidados, ou seja, onde os aspectos ambientais de várias unidades de processo interligadas são relatados para um subsistema único. Esta forma de apresentação adotada preserva a identidade da empresa, no entanto, não descaracteriza o objetivo proposto pelo estudo, uma vez que os principais aspectos ambientais do sistema de produto são apresentados de forma condensada. Desse modo, os inventários baseados em dados primários serão apresentados com o resguardo do nome das empresas fornecedoras dos dados.

Tendo em vista que específicas empresas responderam as folhas de coleta de dados e considerando que certos aspectos foram omitidos, alguns dados secundários tiveram que ser empregados na complementação dos inventários, sendo suas fontes referenciadas no texto.

Os inventários elaborados para os subsistemas considerados na fronteira do sistema de produto são apresentados nos itens a seguirem. Vale ainda lembrar que, os dados de cada unidade de processo foram calculados com relação ao fluxo de referência de 1 t de produto. A representação das fontes de dados adotada foi a da

NBR ISO 14041 (2004), que define os dados secundários em estimados, calculados ou da literatura.

4.1.3.1. Inventário para o subsistema produção da madeira

O modelo adota a produção de mudas clonais pela técnica de propagação vegetativa e o preparo do solo pelo sistema cultivo mínimo ou cultivo reduzido do solo, levando em consideração que representam tecnologias amplamente empregadas pelos principais fabricantes de papel offset.

Com a intenção de estimar quantas árvores são necessárias para produzir 1 tonelada de papel offset, foram realizados alguns cálculos utilizando-se parâmetros encontrados na literatura.

A tabela 41 apresenta os valores típicos para alguns parâmetros do processo Kraft de polpação da celulose.

Tabela 41: Parâmetros típicos para o processo Kraft de polpação da celulose (PECE/USP, 2005)

Parâmetros	Valores aproximados (%)
Rendimento depurado	49 a 52
Perda química no branqueamento	5 a 10
Perda de fibra (polpação, lavagem e branqueamento)	3
Perda no pátio de madeira	1
Cascas da madeira	12
Umidade na madeira	35 a 45

Para determinar quanto pesa uma árvore de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) aos 7 anos de idade, foram estimados, visando facilitar os cálculos, os seguintes parâmetros: a altura média do eucalipto $h = 13$ m e o seu diâmetro médio à altura do peito $Dap = 15$ cm. Assim, calculou-se o volume de uma árvore de eucalipto (V_e) no período previsto para o seu corte, como segue:

$$V_e = \frac{\pi \cdot (Dap)^2}{4} \cdot h$$

$$V_e = \frac{\pi \cdot (0,15)^2}{4} \cdot 13$$

$$V_e = 0,2297 \text{ m}^3$$

E conforme IPEF (1983), como a madeira que chega as indústrias no Estado de São Paulo, apresenta em média um teor de umidade (tu) que varia entre 30 a 40%

e uma densidade básica (Db) em torno de 0,50 t/m³, foi possível estimar o peso de uma árvore de eucalipto Pe, pois:

$$Pe = Ve \cdot Db = 0,2297 \cdot 0,50 = 0,11485 \text{ t}$$

Considerando que 1 ADMT¹⁸ equivale a 0,90 ODMT¹⁹, a quantia de 3,2828 toneladas de madeira ODMT necessária à produção de 1 tonelada de papel offset, obtida para o balanço mássico dos subsistemas extração da celulose e fabricação de papel offset, passa a ser referenciada em ADMT, em um valor calculado de 3,6476 toneladas.

Somando-se a este valor, as cascas (12%) e umidade (valor médio de 35%) de acordo com a tabela 41, obteve-se o valor de 5,5152 toneladas de madeira ADMT.

Dessa maneira, guardada a relação de que 1 árvore de eucalipto pesa 0,11485 tonelada, para o valor encontrado, ou seja, para se produzir 1 tonelada de papel offset, serão necessárias cerca de 50 árvores de eucalipto.

O inventário dos aspectos ambientais do subsistema produção florestal é dividido nas seguintes unidades de processo: viveiro, plantio e corte do eucalipto, conforme apresentado na tabela 42. Os dados secundários foram calculados com base nos dados obtidos em VESOVIC et. al. (1998). Os aspectos ambientais apresentados neste estudo são referentes à produção florestal do eucalipto (*Eucalyptus globulus*) no Chile e, na ausência de dados primários, foram corrigidos e empregados, conforme apresentado no anexo L. Esta complementação somente pode ser satisfeita, devido à similaridade dos valores apresentados por este inventário com a parcela dos dados coletados para cada unidade de processo correspondente.

¹⁸ ADMT: tonelada métrica seca ao ar (tradução do inglês: *air-dried metric tons*), refere-se à celulose com 10% de umidade em peso (ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND et. al., 1995).

¹⁹ ODMT: tonelada métrica seca ao forno (tradução do inglês: *oven-dried metric tons*, refere-se à celulose com “zero” (0%) de umidade (ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND et. al., 1995).

Tabela 42: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema produção florestal, baseado na produção de 1 tonelada de papel offset

VIVEIRO

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
Água para irrigação	580,00	L (90 dias)	dado primário
Energia requerida	225,61	KJ	dado calculado
Fertilizantes	2,71	g	dado primário
Defensivos	0,09	g	dado primário
mudas/sementes	58	mudas	dado calculado
<i>outros aspectos</i>			
Área requerida	5,64E-06	ha	dado calculado
SAIDAS			
<i>produto</i>			
plantas	53,00	plantas	dado calculado
<i>Emissão atmosférica</i>			
CO ₂ (fóssil)	1,58	g	dado calculado
<i>Resíduos sólidos</i>			
Resíduos	0,07	g	dado calculado

PLANTIO

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
plantas	53,00	plantas	dado calculado
Água	318,00	L (3 irrigações/ciclo - 7 anos)	dado primário
calcário	63,80	kg/ciclo (7 anos)	dado primário
Fertilizante (como NPK)	29,00	kg/ciclo (7 anos)	dado primário
Defensivo - Herbicidas	0,46	L/ciclo (7 anos)	dado primário
Defensivo - Formicidas	0,29	kg/ciclo (7 anos)	dado primário
Energia requerida	4,51	MJ	dado calculado
CO ₂ fixado	3,16	t	dado calculado
<i>outros aspectos</i>			
Área requerida			
plantio	2,9E-02	ha	dado calculado
preservação e outras atividades	1,6E-02	ha	dado calculado
SAIDAS			
<i>Emissão atmosférica</i>			
CO ₂ (fóssil)	0,26	kg	dado calculado
<i>Resíduos sólidos</i>			
Resíduos	6,77E-03	kg	dado calculado

CORTE

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
Energia requerida	83,47	MJ	dado calculado
SAIDAS			
<i>produto</i>			

CORTE

Madeira para indústria de papel e celulose	3282,80	kg	dado primário
<i>emissão atmosférica</i>			
CO ₂ (fóssil)	5,42	kg	dado calculado
CO ₂ (renovável)	263,96	kg	dado calculado
<i>Resíduos sólidos</i>			
Resíduos	2,48	kg	dado calculado

4.1.3.1.1. Inventário para o subsistema transporte da madeira

Para a adoção de um modelo representativo para o transporte da madeira, foram levantadas as distâncias médias percorridas no transporte da madeira das áreas florestais até os respectivos fabricantes de papel offset, conforme mostradas na tabela 43.

Tabela 43: Distâncias médias das áreas florestais aos principais fabricantes de papel offset (CORNICCHIONI, 2003; IPAPER, 2006²⁰; VCP, 2002)

Principais fabricantes de papel offset	Distância média (km)
International Paper do Brasil Ltda. ¹	110
Votorantim Celulose e Papel S.A.	310
Cia Suzano Papel e Celulose	210
Bahia Sul Celulose S.A.	61

Nota: ¹ Considera-se a distância média no transporte da madeira própria cultivada pela empresa e da madeira proveniente de terceiros.

A distância média adotada para o transporte da madeira das áreas florestais aos fabricantes de papel offset, considerados no modelo em estudo, é da ordem de 200 km. Para esta distância são relacionados os aspectos ambientais associados a modalidade de transporte empregada.

Para o subsistema produção de madeira, o consumo de energia a partir de reflorestamentos, segundo BAJAY; BERNI; LIMA, (2005), se dá principalmente nas fases de corte e transporte. Levando em consideração que o custo de um produto é

²⁰ Informação obtida com o Serviço de Atendimento ao Consumidor da empresa International Paper do Brasil Ltda. (www.internationalpaper.com.br), em 23 jun. de 2006.

maior quanto mais energia este consome, os autores afirmam ainda que, geralmente, um metro cúbico estéreo de madeira, posta no pátio da fábrica, custa cerca de 3 vezes mais que a mesma quantidade de madeira na forma de árvores em pé.

Considerando que os caminhões empregados no transporte da madeira para suprimento de uma das fábricas de papel offset transportam uma carga líquida de 35 t de madeira, como visto na pág 73. Para a distância de 200 km adotada no modelo, o fluxo de referência adotado para este subsistema é de 7000 t.km.

O inventário empregado para o transporte da madeira foi obtido da base de dados *Truck 40t ETH U* do SimaPro (PRÉ CONSULTANTS, 2003), que considera o transporte por caminhões de 40 t de capacidade, movidos a óleo diesel e com consumo de combustível de 1.0 MJ/tkm. Este inventário contempla os aspectos ambientais da construção do caminhão e da infraestrutura rodoviária. A unidade funcional adotada por esta base de dados é de 1 t.km, ou seja, a atividade de transporte é modelada em tonelada-quilômetros.

Na tabela 44, é apresentado o inventário do transporte da madeira ajustado para o fluxo de referência de 7000 t.km.

Tabela 44: Inventário dos aspectos ambientais do transporte da madeira de área florestal à indústria de papel offset, relativo a 7000 t.km (PRÉ CONSULTANTS, 2003)

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
<i>Recurso material/combustível</i>			
Óleo diesel	168,00	kg	dado calculado
SAIDAS			
<i>Emissões atmosféricas</i>			
CO	1,33	kg	dado calculado
CO ₂	529,20	kg	dado calculado
HC	0,27	g	dado estimado (BRANCO, 2004)
NO _x (como NO ₂)	6,89	kg	dado calculado
Material particulado	352,80	g	dado calculado
SO _x (como SO ₂)	436,80	g	dado calculado
<i>Emissões não materiais</i>			
Calor perdido para o ar	0,00763	TJ	dado calculado

Alguns ajustes foram realizados nessa base de dados com a intenção de conferir ao inventário apenas os aspectos ambientais do transporte da madeira à fábrica.

4.1.3.2. Inventário para o subsistema extração da celulose

O inventário do subsistema extração da celulose é apresentado consolidado para o processo de polpação Kraft com a etapa de branqueamento da celulose.

Na tabela 45, são apresentadas as seqüências de branqueamento adotada pelos fabricantes de papel offset considerados no estudo. As informações coletadas serviram como base principal para a definição do modelo representativo para este subsistema.

Tabela 45: Sequência de branqueamento adotada pelos fabricantes de papel offset considerados no estudo (SUMERE, 2005²¹; IPAPER, 2005²²; KULAY, 2004²³)

Fabricantes de papel offset	Branqueamento	Seqüência do branqueamento da celulose Kraft
International Paper do Brasil Ltda.	Convencional	Cd - E _{op} - D ⁽¹⁾
Cia Suzano Papel e Celulose	ECF	O - D - E _{op} - D - P
Bahia Sul Celulose S.A.	ECF	O - D - E _{op} - D - P
Ripasa S.A. Celulose e Papel	Parte convencional e parte ECF	Linha A e B possuem cloro elementar: C - E _{op} - H - P ⁽²⁾ Linha C: O - Dual D - P - D

⁽¹⁾ O 1º estágio consiste no emprego de 65% de cloro e 35% de dióxido de cloro, o 2º estágio na extração alcalina com soda cáustica, oxigênio e peróxido de hidrogênio e o 3º estágio com o dióxido de cloro. Esta programada para os próximos anos a substituição do cloro no processo ECF.

⁽²⁾ Há previsão de modificação destas linhas até o final de ano de 2005 para a seqüência: O (pré-oxigenação), Dual D (dióxido com temperatura modificada), Eop (extração alcalina com soda, oxigênio e peróxido de hidrogênio), H ou D (hipoclorito ou dióxido de cloro) e P (peróxido de hidrogênio).

O modelo adotado para esse subsistema em estudo consiste no branqueamento ECF e a seqüência O-D-Eop-D-P, que normalmente tem sido empregada para a produção de polpa celulósica branqueada de eucalipto e que reflete uma tendência atual do setor no emprego do dióxido de cloro em substituição ao cloro elementar. Esta seqüência corresponde ao pré-branqueamento da polpa com oxigênio (O₂), seguida de uma etapa com dióxido de cloro (ClO₂), de uma extração alcalina com oxigênio (O₂) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), de um outro estágio com dióxido de cloro (ClO₂) e por fim, o peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

²¹ Informação obtida com o Sr. João Humberto Sumere, analista de Controle da CETESB - Agência Ambiental de Limeira, em 10 fev. de 2005.

²² Informação obtida com o Serviço de Atendimento ao Consumidor da empresa International Paper do Brasil Ltda. (www.internationalpaper.com.br), em 14 mar. de 2005.

²³ Informação obtida com o Prof. Dr. Luis Alexandre Kulay, pós-doutorando do Depto. de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, em 05 jun. de 2004.

O inventário consolidado dos aspectos ambientais da extração da celulose foi elaborado, primordialmente, a partir de dados primários obtidos com dois dos fabricantes de papel offset considerados no modelo em estudo, sendo posteriormente avaliados e tratados segundo procedimentos de cálculos.

Os dados secundários empregados para a estimar os dados não obtidos (referentes ao consumo energético dos subsistemas extração da celulose e fabricação do papel offset) durante a fase de coleta de dados, foram extraídos de BAJAY; BERNI; LIMA (2005).

Os dados da referida literatura, referentes ao consumo energético, são apresentados na tabela 46 e os procedimentos empregados em seu ajuste são apresentados na seqüência. Nota-se que os valores apresentados por essa fonte, são apresentados em relação ao produto obtido por unidade de processo, ou seja, os 3 kWh consumidos na extração das cascas de toras são relativos a 1 m³ de madeira sem casca proveniente da preparação da madeira, assim como, os 120 kWh e 3,75 GJ consumidos pela polpação Kraft, respectivamente como energia elétrica e térmica, são relacionados a 1 tonelada de celulose escura, proveniente da etapa anterior ao branqueamento.

Ainda conforme a tabela, a preparação da madeira demanda, em geral, somente eletricidade, para o descascamento da madeira, a produção, a separação dos cavacos e o manuseio de materiais.

Tabela 46: Consumos específicos de energia térmica e eletricidade dos estágios de produção de papel e celulose (EWING, 1985 *apud* BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)

Recursos Energéticos	Dados secundários		Dados ajustados	
	Energia elétrica	unidade	Energia elétrica	unidade
<i>Estágio de produção</i>				
Preparação da madeira				
extração das cascas das toras	3,00	kWh/m ³	19,98	kWh
produção e classificação dos cavacos	12,50	kWh/m ³	83,25	kWh
movimentação de materiais	3,00	kWh/m ³	19,98	kWh
Polpação Kraft	120,00	kWh/t	117,48	kWh
Branqueamento	165,00	kWh/t	135,87	kWh
Recuperação química	70,00	kWh/t	70,00	kWh
Papel de impressão sem revestimento	610,00	kWh/t	610,00	kWh
<i>Estágio de produção</i>				
Polpação Kraft	3,75	GJ/t	3,67	GJ
Branqueamento	3,50	GJ/t	2,88	GJ
Recuperação química	5,00	GJ/t	5,00	GJ
Papel de impressão sem revestimento	5,75	GJ/t	5,75	GJ

Guardada a relação que 1500 árvores fornecem aos 7 anos de idade, cerca de 200 m³ de madeira sem casca. Em um hectare que compreende por volta de 1666 árvores, proverá então aproximadamente 222 m³ de madeira sem casca. Por meio do balanço mássico do sistema de produto, foi identificado que para produzir 1 tonelada de papel offset são necessárias cerca de 50 árvores.

1666 árvores-----222 m³ de madeira sem casca

50 árvores----- x m³ de madeira sem casca

E para este valor, a madeira necessária será de cerca de 6,66 m³ sem casca. Assim o consumo de energia elétrica da extração das cascas das toras em kWh/m³ pode ser ajustado para kWh, bem como os valores da produção e classificação de cavacos e da movimentação de materiais.

O consumo energético da polpação Kraft pode ser corrigido pela multiplicação do valor da literatura por 0,979 t celulose escura, valor este obtido através da análise das perdas de fibras da polpação, calculadas a partir do balanço mássico do subsistema, conforme apresentado na tabela 47.

Tabela 47: Estimativa de perdas de fibras em unidades de processo (adaptado de PECE/USP, 2005)

Parâmetro obtido do balanço de massa (%ss)		Unidade de processo	Perdas de fibras (%)
Vazão de saída no cozimento (celulose escura)	15,360		
Vazão de saída na depuração	1,634	Depuração	8,40
Vazão de saída na lavagem	1,553	Lavagem	5,22
Vazão de saída no branqueamento (celulose branca)	1,475	Branqueamento	5,29
Total			18,91

Nota: Os valores apresentados foram obtidos dos balanços de massa de cada unidade de processo correspondente, não foram ajustados para duas casas decimais após a vírgula, para que não houvesse grandes variações das porcentagens de perdas de fibras sob análise.

Sabendo-se que pelo inventário consolidado dos aspectos ambientais da extração da celulose (tabela 48) é necessário 0,82346 toneladas de celulose branqueada para produzir 1,00 tonelada de papel offset. Contabilizando as perdas de fibras da polpação Kraft (tabela 47), tem-se 0,979 t de celulose escura, valor este que é empregado no ajuste do consumo específico de energia para esta unidade de processo.

Para o consumo energético do branqueamento, a correção se dá pela multiplicação por 0,82346 toneladas de celulose branqueada. E para o papel de impressão não revestido a relação é justamente para 1 tonelada de papel offset.

A tabela 48 apresenta o inventário dos aspectos ambientais consolidado para os subsistemas de extração e branqueamento da celulose.

Tabela 48: Inventário dos aspectos ambientais consolidado para os subsistemas extração e branqueamento da celulose, baseado na produção de 1 tonelada de papel offset

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
<i>Recursos Materiais</i>			
Madeira ODMT	3282,80	kg	dado primário
Água de processo requerida	23,38	m ³	dado estimado (baseado em VCP, 2005)
Soda cáustica/ cozimento (100%)	1,92	kg	dado primário
Soda cáustica/ branqueamento (100%)	6,22	kg	dado primário
Antiespumante	0,55	kg	dado primário
Clorato de sódio	14,04	kg	dado primário
Ácido sulfúrico concentrado	10,78	kg	dado primário
Enxofre (e/ou sulfato de sódio)	4,88	kg	dado primário
Oxigênio Líquido	12,11	kg	dado primário
Peróxido de Hidrogênio (100%)	6,39	kg	dado primário
Cal Virgem	8,14	kg	dado primário
Ácido clorídrico	1,47	kg	dado primário
Metanol	1,75	kg	dado primário
<i>Recursos Energéticos</i>			
Energia elétrica			
Preparação da madeira			
extração das cascas das toras	19,98	kWh	dado literatura (baseado em EWING, 1985 <i>apud</i> BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)
produção e classificação dos cavacos	83,25	kWh	
movimentação de materiais	19,98	kWh	
Polpação Kraft	117,48	kWh	
Branqueamento	135,87	kWh	
Energia térmica			
Polpação Kraft	3,67	GJ	dado literatura (baseado em EWING, 1985 <i>apud</i> BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)
Branqueamento	2,88	GJ	
<i>Outros aspectos</i>			
Área requerida (construída)	25,00	ha	dado primário
SAÍDAS			
<i>Produto</i>			
Celulose	823,46	kg	dado primário
<i>Emissões Atmosféricas</i>			
TRS			
polpação contínua	0,30	kg	dado primário
central de lavagem	0,37E-01	kg	dado primário
evaporação	0,58E-01	kg	dado primário
<i>Efluentes Líquidos</i>			
vazão			

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
preparação da madeira	1,28	m ³	dado primário
cozimento contínuo	1,00	m ³	dado primário
central de lavagem	2,85	m ³	dado primário
branqueamento alcalino	6,55	m ³	dado primário
branqueamento ácido	2,69	m ³	dado primário
ST			
preparação da madeira	5,51	kg	dado primário
cozimento contínuo	0,48	kg	dado primário
central de lavagem	3,03	kg	dado primário
branqueamento alcalino	7,55	kg	dado primário
branqueamento ácido	18,35	kg	dado primário
SS			
preparação da madeira	1,68	kg	dado primário
cozimento contínuo	0,74E-01	kg	dado primário
central de lavagem	1,17	kg	dado primário
branqueamento alcalino	1,28	kg	dado primário
branqueamento ácido	0,45	kg	dado primário
DBO ₅			
preparação da madeira	0,87E-01	kg	dado primário
cozimento contínuo	0,09	kg	dado primário
central de lavagem	0,71	kg	dado primário
branqueamento alcalino	1,20	kg	dado primário
branqueamento ácido	3,40	kg	dado primário
Resíduos Sólidos			
Cascas	106,05	kg	dado primário
Nós e palitos	43,53	kg	dado primário
Madeira, areia, terra da prep. da madeira	3,66	kg	dado primário
Limpeza das canaletas	0,65	kg	dado primário
Laboratório	0,13	kg	dado primário
Restos da oficina	0,13E-01	kg	dado primário
Outros resíduos	0,50	kg	dado primário

Nota: Os dados foram coletados para o processo produtivo em operação, desse modo, consideram os insumos recuperados.

4.1.3.3. Inventário para o subsistema recuperação química

Na tabela 49, é apresentado o inventário dos aspectos ambientais do sistema de recuperação química do processo Kraft que foi elaborado a partir de dados primários obtidos com um fabricante de papel offset considerado no modelo em estudo. Do mesmo modo que na extração da celulose, estes dados foram tratados e referenciados a 1 t de papel offset.

Tabela 49: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema recuperação química do processo Kraft, baseado na produção de 1 tonelada de papel offset

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
Recursos materiais			
Licor negro da digestão e lavagem	16,04	m ³	dado estimado
Recursos energéticos			
Energia elétrica	70,00	kWh	dado literatura (baseado em EWING, 1985 <i>apud</i> BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)
Energia térmica	5,00	GJ	
SAÍDAS			
Emissões atmosféricas			
Material particulado			
caldeira de recuperação	0,41	kg	dado primário
tanque de smelt	91,50	g	dado primário
fornos de cal	70,45	g	dado primário
SO ₂			
caldeira a gás natural	15,07	g	dado primário
caldeira de recuperação	39,95	g	dado primário
fornos de cal	3,103E-07	kg	dado primário
TRS			
fornos de cal	4,41	g	dado primário
caldeira de recuperação	1,57	kg	dado primário
tanque de smelt	0,30	kg	dado primário
pós queimador de gases conc.	0,79	g	dado primário
evaporação	0,58E-01	kg	dado primário
caldeira de recuperação (fontes de gases diluídos)	5,65	g	dado primário
coluna de stripping	0,01E-01	kg	dado primário
Efluentes Líquidos			
vazão			
caustificação/fornos/ corr. pH ETE	0,52	m ³	dado primário
caldeira de recuperação/Evaporação	3,92	m ³	dado primário
caldeira óleo/gás	89,12E-03	m ³	dado primário
coleta e queima de TRS	29,71E-03	m ³	dado primário
sólidos totais			
caustificação/fornos/corr. pH ETE	8,20	kg	dado primário
caldeira de recuperação/Evaporação	0,51	kg	dado primário
caldeira óleo/gás	0,00	kg	dado primário
coleta e queima de TRS	0,00	kg	dado primário
sólidos suspensos			
caustificação/fornos/corr. pH ETE	0,56	kg	dado primário
caldeira de recuperação/Evaporação	29,71	g	dado primário
caldeira óleo/gás	0,00	kg	dado primário
coleta e queima de TRS	0,00	kg	dado primário
DBO ₅			
caustificação/fornos/corr. pH ETE	76,20	g	dado primário

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
caldeira de recuperação/Evaporação	0,35	kg	dado primário
caldeira óleo/gás	0,00	kg	dado primário
coleta e queima de TRS	0,00	kg	dado primário
Resíduos Sólidos			
resíduos para aterro industrial			
Dregs	23,53	g	dado primário
Grits	2,08	g	dado primário
cal queimada	7,12	g	dado primário
cinzas da caldeira	2,17	g	dado primário

4.1.3.4. Inventário para o subsistema fabricação de papel offset

O inventário do sistema de fabricação do papel offset foi elaborado a partir de dados primários obtidos com dois fabricantes de papel offset considerados no modelo em estudo, sendo do mesmo modo que na extração da celulose e recuperação química, avaliados e tratados segundo procedimentos de cálculos.

Os dados obtidos na literatura foram extraídos de BIERMANN (1996). Segundo o autor, a dosagem média utilizada para a colagem interna de papéis destinados à impressão e escrita está em torno de 0,5 a 1,5 kg por tonelada de papel.

Segundo a INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL LTDA. (2004)²⁴, a composição das matérias-primas utilizadas em sua produção de papel offset consiste em:

- 78,5% de fibras de eucalipto, obtidas através do processo Sulfato (Kraft);
- 10,5% de cinzas (carga mineral);
- 2,0% de aditivos (por exemplo: cola, alvejante óptico etc);
- 4,0% de amido de cobertura; e
- 5,0% de umidade relativa.

Desse modo, tornou-se possível aplicar critérios de inclusão dos subsistemas que se mostram, a princípio, mais significativos para a produção do papel offset. Com base nas informações relatadas até o momento, o subsistema fabricação de papel offset deve incluir, de modo a satisfazer o critério de massa considerado, apenas o subsistema carbonato de cálcio precipitado, aditivo este usado como *carga funcional*.

²⁴ Informação obtida com o Serviço de Atendimento ao Consumidor da empresa International Paper do Brasil Ltda (www.internationalpaper.com.br), em 04 out. de 2004.

O inventário dos aspectos ambientais para o subsistema fabricação do papel offset é apresentado na tabela 50.

Tabela 50: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema fabricação do papel offset

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
<i>Recursos Materiais</i>			
celulose	823,46	kg	dado primário
água	19,13	m ³	dado estimado (baseado em VCP, 2005)
PCC (carbonato de cálcio precipitado)	105,00	kg	dado primário
aditivos			
colagem interna	1,00	kg	dado literatura (baseado em BIERMANN, 1996)
outros aditivos – não especificados	19,00	kg	dado estimado
<i>Recursos energéticos</i>			
energia elétrica	610,00	kWh	dado literatura (baseado em EWING, 1985 <i>apud</i> BAJAY; BERNI; LIMA, 2005)
energia térmica	5,75	GJ	
SAÍDAS			
<i>Produto</i>			
Papel Offset	1,00	t	dado primário
<i>Emissões atmosféricas</i>			
SO ₂	0,00	kg	dado primário
<i>Efluentes líquidos</i>			
vazão			
máquina de papel offset	1,80	m ³	dado primário
preparação de aditivos	0,12	m ³	dado primário
sólidos totais			
máquina de papel offset	3,40	kg	dado primário
preparação de aditivos	2,73	kg	dado primário
sólidos suspensos			
máquina de papel offset	2,11	kg	dado primário
preparação de aditivos	1,80	kg	dado primário
DBO ₅			
máquina de papel offset	1,01	kg	dado primário
preparação de aditivos	0,00	kg	dado primário
<i>Resíduos sólidos</i>			
aparas de papel	98,49	kg	dado primário

4.1.3.5. Inventário para o subsistema tratamento de efluentes

Os sistemas de tratamento de efluentes das indústrias nacionais de celulose e papel, assim como dos fabricantes de papel offset, possuem uma série de variações, no que diz respeito à seqüência dos estágios de tratamento empregados por cada empresa. Dessa maneira o modelo adotado para o subsistema de tratamento de efluentes foi baseado no sistema de tratamento de efluentes de uma única das cinco empresas consideradas no estudo e, para esta empresa, foi realizada a coleta de dados relativa a este subsistema.

Na figura 45 é apresentado o sistema de tratamento de efluentes adotado por um fabricante nacional de papel offset.

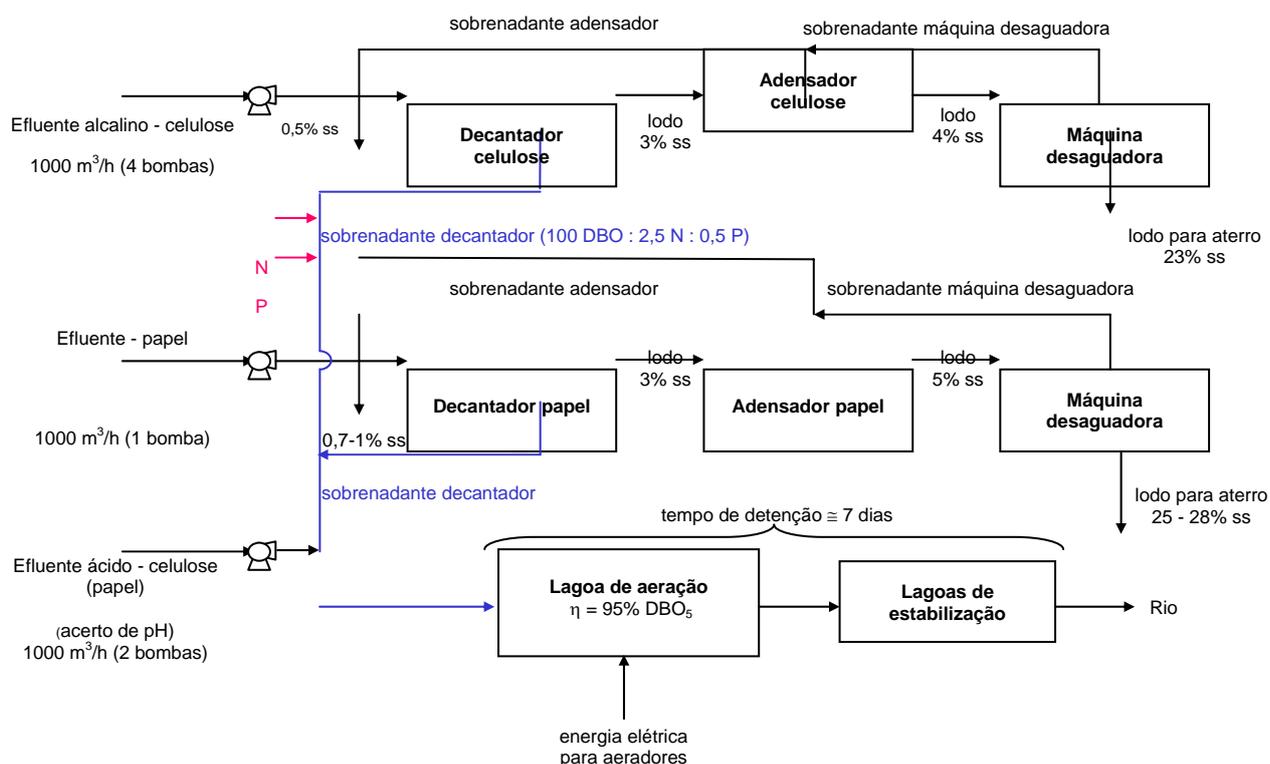


Figura 45: Fluxograma simplificado do sistema de tratamento de efluentes de um fabricante nacional de papel offset

O inventário dos aspectos ambientais para o subsistema estação de tratamento de efluentes é apresentado na tabela 51. Este inventário foi elaborado com dados obtidos diretamente com a empresa considerada no modelo, sendo tratados e referenciados para 1 tonelada de papel offset produzida.

Tabela 51: Inventário dos aspectos ambientais para o subsistema estação de tratamento de efluentes, baseado em 1 tonelada de papel offset produzida

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
<i>Recursos Materiais</i>			
uréia	0,98	kg	dado primário
ácido fosfórico 85%	0,49	kg	dado primário
polieletrólito	0,67E-01	kg	dado primário
<i>Recursos Energéticos</i>			
energia elétrica (aeradores / bombas)	46,00	kWh	dado estimado (baseado em PIOTTO, 2003)
SAIDAS			
<i>Efluentes líquidos</i>			
Vazão tratada	31,25	m ³	dado primário
DQO	2,09E-05	kg	dado primário
DBO ₅	4,54E-06	kg	dado primário
AOX	2,46E-07	kg	dado primário
T	30,00	°C	dado primário
pH	7,80		dado primário
<i>Resíduos Sólidos</i>			
Lodo da ETE	158,64	kg	dado primário

4.1.3.6. Inventário para o subsistema energia

A capacidade energética máxima de um fabricante de papel offset considerado no modelo em estudo é de 90,7 MWatts, sendo que deste montante, cerca de 57% é comprada (51,7 MWatts) e, portanto, 43% é auto-gerada (39 MWatts), valor este demonstrado pelos cálculos apresentados na seqüência. No entanto, o consumo específico de energia elétrica é abaixo desta capacidade nominal e os valores reais consumidos pelas empresas adotadas no modelo são apresentados em parcelas distribuídas pelos subsistemas que a empregam e devem ser mais coerentes com os dados primários apresentados na tabela 52.

Tabela 52: Consumo específico de água, vapor e energia de um fabricante nacional de papel offset

Mês	Produção *	Água	vapor	Energia elétrica (MW)			Resultados		
							água	vapor	energia
ano	t	m ³	t	comprada	gerada	total	m ³ /t	t/t	MW/t
2005	52.900	2.090.000	279.000	27.800	21.100	48.900	39	5,30	0,93

(*) Produção acabada de papel + extrações flash e rauma

Para calcular a capacidade máxima de energia auto-gerada foram levantados, com a empresa considerada, o número de caldeiras empregadas e suas respectivas capacidades de produção de vapor:

- 2 caldeiras de recuperação de 120 t/h;
- 2 caldeiras de gás natural de 100 t/h;
- 1 caldeira de biomassa e óleo combustível de 120 t/h.

Ou seja, para a produção total de 560 t/h de vapor, foi possível estimar a energia auto-gerada na indústria. Considerando as 560 t/h de vapor a uma pressão de 50 kgf/cm² e a temperatura de 400°C, temos a entalpia de $H_1 = 3.195,7$ kJ/kg obtida nas tabelas termodinâmicas de CNP/FINEP/IPT (1985).

$560.000\text{kg/h} \times 3.195,7 \text{ KJ/kg} = 1.789.592.000 \text{ KJ/h} \times \text{h}/3.600\text{s} = 497.108,9 \text{ kJ/s} = 497,1 \text{ MJ/s} = 497,1 \text{ MWatts}$.

$$1 \text{ kgf/cm}^2 \text{-----} 0,09806 \text{ MPa}$$

$$14,3 \text{ kgf/cm}^2 \text{-----} y \text{ MPa}$$

$$y \cong 1,4 \text{ MPa}$$

Para este valor tem-se a entalpia $H_2 = 2.803,3$ KJ/kg (CNP; FINEP; IPT, 1985) para um vapor na temperatura de 200°C.

A figura 46 ilustra a cogeração de energia em turbina a vapor em ciclo combinado. Os sistemas em ciclo combinado são constituídos por turbinas a gás de ciclo aberto - colocadas em série com caldeiras de recuperação - com ou sem queima auxiliar, nas quais é gerado vapor a alta ou média pressão. Esse vapor é, então, expandido numa turbina de contrapressão ou de extração/condensação, permitindo que o vapor de escape seja utilizado como vapor de processo.

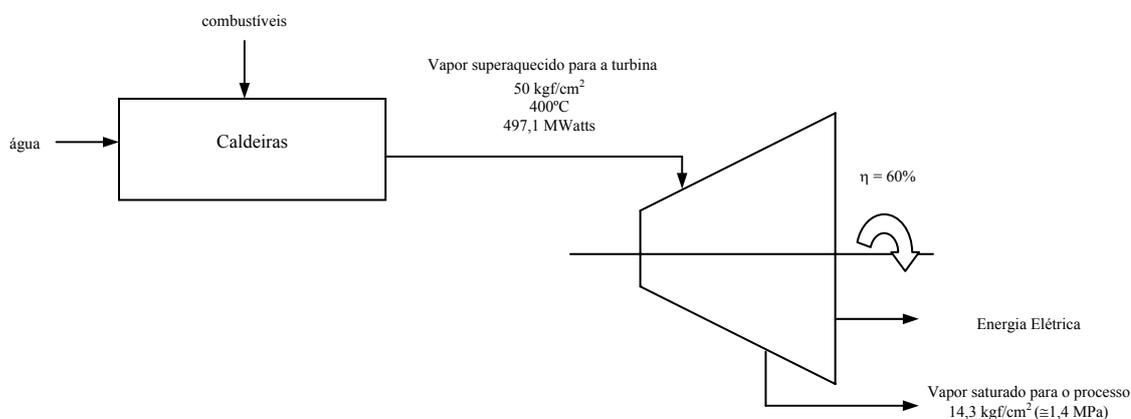


Figura 46: Cogeração de energia em turbina a vapor em ciclo combinado

Fazendo $v(\text{kg/s}) \times [(H_1 - H_2)(\text{KJ/kg}) / 1.000]$, temos:

$$(560.000 \text{ kg/h} / 3.600\text{h/s}) \times [(3.195,7 - 2.803,3)(\text{KJ/Kg}) / 1000] = 61,04$$

MWatts

Considerando o rendimento da turbina de 60%, tem-se uma energia auto-gerada de aproximadamente 37 MWatts, valor este que se apresenta bem compatível com os dados coletados.

Neste sistema de produto em estudo, a energia elétrica comprada é utilizada por diversos subsistemas.

Nas indústrias de papel e celulose, em geral, a produção de insumos, como dióxido de cloro, oxigênio na própria instalação é comum, o que pode influenciar significativamente o seu consumo energético.

Os subsistemas de produção de soda cáustica, de clorato de sódio e de peróxido de hidrogênio, que consistem em processos eletro-intensivos, são um dos maiores consumidores de energia e, portanto, são considerados no estudo.

O inventário consolidado do ciclo de vida da geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no Brasil foi extraído do estudo de COLTRO; GARCIA e QUEIROZ (2003), conduzido de acordo com as recomendações da SETAC (1993) e ISO 14040 (1997). Esta base de dados foi empregada em todos os subsistemas que consomem o insumo energia elétrica e que estão cobertos pela

fronteira do sistema de produto. Este inventário de aspectos ambientais é apresentado na tabela 53.

Segundo os autores, a distribuição da energia elétrica no Brasil é realizada por uma diversidade de sistemas interconectados, compostos por 418 companhias elétricas, sendo 389 plantas hidroelétricas e 29 estações termelétricas. O Inventário do Ciclo de Vida deste estudo foi desenvolvido com base na seguinte hierarquia de fontes: informações recebidas de 15 companhias, Sistema de Informações Empresariais do Setor de Energia Elétrica (SIESE) e Ministérios Brasileiros. A unidade funcional empregada foi de 1.000 MJ (278 KWh) de eletricidade distribuída aos usuários.

Este inventário considera a energia elétrica proveniente pelos sistemas hidrelétricos, termelétricos e estações nucleares nacionais e a importada, conforme já apresentado na tabela 32, considerando as perdas relativas à sua geração e distribuição.

Tabela 53: Inventário do ciclo de vida para 1.000 MJ (1GJ) de eletricidade gerada e distribuída no Brasil em 2000 (COLTRO; GARCIA; QUEIROZ, 2003)

Parâmetros	Quantidade/ 1GJ de energia	Unidade
Entradas		
Energia		
Total	1.584,00	MJ
Recursos Naturais		
Reservas Bióticas	4,87	kg
Carvão	12,84	kg
Gás natural	0,76	kg
Óleo	1,21	kg
Água (Termelétrica - evaporada)	231,44	kg
Água utilizada (Hidroel. - escoamento LPA*)	116,32	m ³
Outros Recursos		
Materiais secundários	0,90	kg
Urânio	0,18	g
Uso da Terra		
Uso da Terra	0,25	m ²
Saídas		
Resíduos Sólidos		
Resíduos do solo	13,37	dm ³
Resíduos processuais	10,70	kg
Emissões Atmosféricas		
Ácidas (HCl)	0,03E-03	g
CH ₄	54,80	g
CH ₄ - renovável	484,75	g

Parâmetros	Quantidade/ 1GJ de energia	Unidade
CO	149,39	g
CO ₂	17.832,00	g
CO ₂ - renovável	16.512,67	g
Água evaporada (termelétricas)	230,35	kg
Hidrocarbonetos	0,75	g
Metais	0,01E-03	g
NH ₃	0,06E-04	g
VOC não metálicos	7,28	g
NO _x	575,05	g
N ₂ O	10,99	g
MP	67,23	g
SO ₂	116,34	g
Radioatividade para o ar	9,77	kBq
Efluentes líquidos		
Ácidas	0,17E-03	g
DBO	0,07	g
DQO	0,13	g
Cl ⁻	2,95	mg
COD	0,05	g
Metais Pesados (Cr, Pb)	0,18E-03	g
Hidrocarbonetos	0,03	g
Metais	0,01	g
Compostos de nitrogênio	0,45E-02	g
Óleos e graxas	0,14	g
Compostos de enxofre	0,45E-03	g
SDT	0,05	g
SST	0,10	g
Radioatividade para a água	15,06	kBq

* LPA (*Long Period Average*): tempo médio em que a água flui pela turbina

4.1.3.7. Inventário para o subsistema carbonato de cálcio precipitado

Neste estudo foi considerado o carbonato de cálcio precipitado obtido junto a um produtor habilitado a fornecer este insumo as empresas de papel offset consideradas no estudo. O CO₂ efluente do processo produtivo do papel, que também pode ser empregado na produção do PCC foi desconsiderado.

A tabela 54 apresenta os fornecedores habilitados de carbonato de cálcio precipitado.

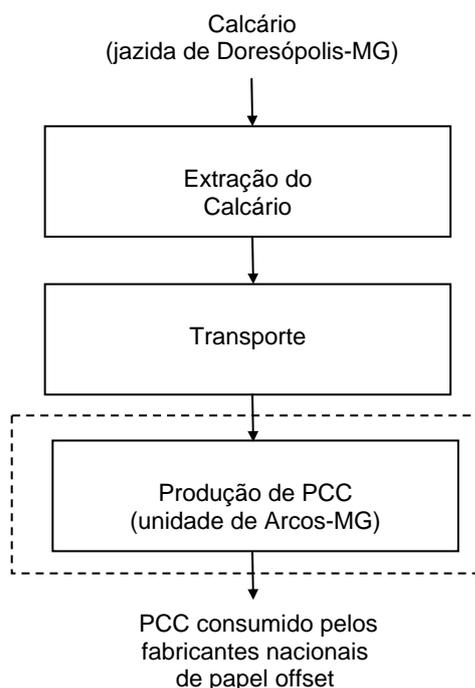
Tabela 54: Fornecedores de carbonato de cálcio precipitado para os fabricantes de papel offset (adaptado de IMERYYS, 2005)²⁵

Fabricantes de papel offset	Fornecedores de carbonato de cálcio precipitado		
	Imerys do Brasil Mineração Ltda.	Speciality Minerals do Brasil S.A.	Schweitzer Mauduit do Brasil S.A.
International Paper do Brasil Ltda.	-	-	X
Votorantim Celulose e Papel S.A.	X	X	-
Cia Suzano Papel e Celulose	-	X	-
Bahia Sul Celulose S.A.	-	X	-
Ripasa S.A. Celulosa e Papel	X	-	-

O modelo adotado foi elaborado baseado em informações obtidas diretamente com a empresa Imerys do Brasil Mineração Ltda.

Na figura 47 é apresentado o modelo representativo adotado para o carbonato de cálcio precipitado consumido pelos fabricantes de papel offset.

²⁵ Informação obtida com Sr. Mario Seixas, Business Manager - Paper Division de Imerys do Brasil Mineração Ltda, através de contato pelo e-mail mseixas@imerys.com, em 04 ago. de 2005.

**Legenda:**

□ Fronteira considerada para o subsistema em estudo

Figura 47: Modelo adotado para o carbonato de cálcio precipitado consumido pelos fabricantes nacionais de papel offset

Os aspectos ambientais da extração do calcário não foram fornecidos e, deste modo, a extração do calcário foi excluída da fronteira do estudo.

O calcário empregado na fabricação do carbonato de cálcio precipitado, segundo ZEGAIB (2005), é extraído na cidade de Doresópolis-MG que dista em 40 km da cidade de Arcos-MG, onde está localizada uma das fábricas de carbonato consideradas no modelo sob estudo.

Segundo esta mesma fonte, não ocorre importações desse recurso natural, já que se trata de um produto de baixo valor agregado e além do fato que as reservas, de onde este é extraído, possuem altíssima qualidade pela ausência de contaminantes que prejudicariam a fabricação do carbonato de cálcio precipitado.

Na tabela 55, é apresentado o inventário dos aspectos ambientais da produção de carbonato de cálcio precipitado. Os dados foram levantados com um dos fornecedores de PCC habilitados, representam à condição tecnológica atual da empresa e são relativos ao ano de 2005.

Tabela 55: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de carbonato de cálcio precipitado

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
ENTRADAS			
<i>recursos materiais</i>			
cal (CaO)	622,00	kg	dado primário
água	6400,00	kg	dado primário
CO ₂	730,00	kg	dado primário
O ₂	400,00	kg	dado primário
N ₂	3840,00	kg	dado primário
<i>Recursos Energéticos</i>			
energia elétrica	200,00	kWh	dado primário
<i>Outras entradas</i>			
fosfato de cálcio dibásico	0,80	kg	dado primário
resíduo soda	3,00	kg	dado primário
SAÍDAS			
<i>Produto</i>			
carbonato de cálcio precipitado (PCC)	1,00	t	dado primário
<i>Emissões Atmosféricas</i>			
CO ₂	290,00	kg	dado primário
N ₂	3840,00	kg	dado primário
O ₂	400,00	kg	dado primário
vapor	1180,00	kg	dado primário
<i>Efluentes Líquidos</i>			
efluente	1160,00	kg	dado primário
<i>Resíduos Sólidos</i>			
calcário, sílica e cal	100,00	kg	dado primário

Segundo a empresa considerada, os resíduos sólidos gerados no processo de produção do PCC são empregados como corretivo do solo.

4.1.3.8. Inventário para o subsistema clorato de sódio

O inventário do ciclo de vida da produção do clorato de sódio baseou-se nos dados da EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A. apresentados nas tabelas 34 e 35, sendo complementados com dados provenientes do estudo da EKA CHEMICALS / AKZO NOBEL (2005), que são relativos à produção média da Eka Chemicals na Suécia e Noruega. Estes dados secundários foram coletados para o ano 2000 e alguns outros foram tomados como válidos para o período de acordo com os fornecedores.

Segundo o estudo, todas as etapas do ciclo de vida - *from cradle to gate*, foram consideradas, ou seja, as etapas incluídas foram: a extração do recurso natural, a produção da matéria-prima e a produção de energia. A unidade funcional empregada para este estudo foi de 1 t de clorato de sódio, isto quer dizer que a carga ambiental apresentada é válida para 1000 kg de clorato de sódio. Foi feita a consideração de que o clorato de sódio da Eka Chemicals contém $\geq 99,5\%$ de clorato de sódio.

Na tabela 56 é apresentado o inventário dos aspectos ambientais da produção de clorato de sódio.

Tabela 56: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de clorato de sódio (EKA CHEMICALS/AKZO NOBEL, 2005)

Entradas	Quantidade	Unidade	Fonte de dados
cloreto de sódio	514	kg	dado primário
minério de cobre	5	kg	dado calculado
cal	5	kg	dado calculado
HCl	14	kg	dado primário
NaOH	16	kg	dado primário
<i>Outros sistemas</i>			
energia elétrica	19,46	GJ	dado primário
Saídas			
<i>Produto</i>			
NaClO ₃	1	t	dado primário
<i>Emissões atmosféricas</i>			
CO ₂	74,44	kg	dado calculado
H ₂	55,30	kg	dado primário
NO _x	620	g	dado calculado
SO ₂	177	g	dado calculado
CO	80	g	dado calculado
Paticulados	80	g	dado calculado
HC	53	g	dado calculado
CH ₄	44	g	dado calculado
NaClO ₃	8	g	dado calculado
Hg	3	mg	dado calculado
<i>Efluentes líquidos</i>			
NaCl	4,88	kg	dado calculado
CaCl ₂	1,06	kg	dado calculado
NaClO	53	g	dado calculado
NaClO ₃	53	g	dado calculado
DQO	5	g	dado calculado
N total	2	g	dado calculado
Cr ⁶⁺	0.08	g	dado calculado
Hg	0,46	µg	dado calculado
<i>Resíduos sólidos</i>			

Entradas	Quantidade	Unidade	Fonte de dados
resíduos perigosos	0,1	kg	dado calculado
outros resíduos	2,2	kg	dado primário

4.1.3.9. Inventário para o subsistema dióxido de cloro

Para a definição do modelo representativo para este subsistema, foram levantados os processos comerciais empregados, para a obtenção de dióxido de cloro, para os cinco principais fabricantes de papel offset, entre alguns importantes fabricantes de outros tipos de papéis, conforme apresentados na tabela 57.

Tabela 57: Processos comerciais para a obtenção de dióxido de cloro (adaptado de MILANEZ, 2004)²⁶

Processos	Fabricantes	
	Papel offset	Outros tipos de papéis
SVP-LITE (R8) e SVP-SCW (R10)	International Paper (R8); VCP - unidade de Jacareí (R8); Ripasa (R10).	Aracruz (L2-R8 e L3-R10); Veracel (R8); Cenibra (R8).
SVP-HP (HP-A)	Cia Suzano de Papel e Celulose (Fábrica-B).	-
Lurgi	Bahia Sul Celulose; VCP - unidade de Luis Antônio.	Riocell.
Rapson R3	-	Aracruz (L3); Jari Celulose.

Nota: SVP-SCW refere-se a Single Vessel Process Saltcake Wash;
L faz referência à determinada linha industrial de produção.

Conforme observado na tabela 57, o processo SVP-LITE de produção de dióxido de cloro é o que mais se aproxima das condições nacionais para a fabricação de papel offset. Desse modo, o processo SVP-Lite foi adotado como representativo na elaboração do modelo para o subsistema dióxido de cloro.

O Inventário do Ciclo de Vida da produção do dióxido de cloro foi composto por dados primários e por outros obtidos do artigo da EKA CHEMICALS / AKZO NOBEL (2002), no qual é apresentada uma descrição mais detalhada dos Processos

²⁶ Informação obtida com Sr. Augusto F. Milanez da área de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia Suzano Papel e Celulose, através de contato pelo e-mail amilanez@suzano.com.br, em 21 dez de 2004.

SVP-Lite, SVP-SCW e SVP-HP e o balanço material dos diferentes processos de produção de dióxido de cloro. Os dados obtidos no artigo são apresentados como um parâmetro de avaliação técnica e, ainda que superficial, do desempenho ambiental de cada tipo de processo de produção do dióxido de cloro, considerando que os valores apresentados podem variar dependendo das condições específicas do local.

Os dados deste artigo quando comparados com os principais aspectos ambientais do processo SVP-LITE obtidos (tabela 36) foram considerados como uma boa aproximação devido à semelhança dos valores. Desse modo, na ausência de dados mais completos, estes valores foram empregados em sua complementação, como uma boa escolha e sem muito prejuízo para a completeza do inventário.

O inventário obtido dos aspectos ambientais da produção de dióxido de cloro é apresentado na tabela 58.

Tabela 58: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de dióxido de cloro, pelo processo SVP-Lite (adaptado de MILANEZ, 2004)

Entradas	Quantidade	Unidade	Fonte de dados
<i>Recursos materiais</i>			
NaClO ₃	1590	kg	dado primário
H ₂ SO ₄	980	kg	dado primário
CH ₃ OH	130	kg	dado primário
<i>Recursos energéticos</i>			
energia elétrica	100	KWh	dado calculado
Vapor	4,2	t	dado calculado
Saídas			
<i>Produto</i>			
ClO ₂	1	t	dado primário
<i>Efluentes líquidos</i>			
Na ₂ SO ₄	1100	kg	dado calculado
H ₂ SO ₄	250	kg	dado calculado
Cl ₂	000	kg	dado calculado
H ₂ O	280	kg	dado primário
Na Total	350	kg	dado calculado
S total	330	kg	dado calculado

4.1.4.0. Inventário para o subsistema soda cáustica

Foi apresentado anteriormente um panorama do setor de cloro e soda cáustica no Brasil, assim como, uma breve descrição das tecnologias empregadas na produção da soda cáustica. Com base nesta pesquisa bibliográfica e nas informações apresentadas a seguir, foi possível definir o modelo representativo para o subsistema soda cáustica.

Este modelo baseou-se apenas na empresa Carbocloro, que conforme pode ser observado na tabela 59, representa o fornecedor de soda cáustica que abrange todas as empresas de papel offset consideradas no estudo. Além de ser um fornecedor habilitado a todas as empresas, a sua proximidade física com 4 das 5 empresas de papel offset, que estão localizadas no Estado de SP, tornou-se mais um fator importante na representatividade do modelo.

Considerando-se que os subprodutos cloro e hidrogênio gerados no processo, apresentam valor comercial, fez-se necessária a alocação das cargas ambientais para o subsistema, quando na consolidação do inventário final.

Tabela 59: Fornecedores de soda cáustica para as indústrias de papel offset consideradas no estudo (CARBOCLORO, 2005²⁷ e SUZANO, 2005²⁸)

Fabricantes de papel offset	Fornecedores de soda cáustica ¹						
	Braskem S.A.	Carbocloro	Dow Brasil S.A.	Solvay Indupa	Igarassu	Nexen	Pan Americana
International Paper do Brasil Ltda.		X					
Votorantim Celulose e Papel S.A.		X					
Cia Suzano Papel e Celulose	X	X	X	X	-	-	-
Bahia Sul Celulose S.A.	X	X	X	X	-	-	-
Ripasa S.A. Celulosa e Papel		X					

Nota: ¹ Estes dados são relativos a fornecedores habilitados, podendo haver variação da quantidade fornecida por cada um, de acordo com o período considerado. Os campos em branco (não preenchidos) são fornecedores potenciais, considerando que não foi possível obter as informações das referidas empresas.

Na figura 48, é apresentado o modelo adotado, baseado em informações obtidas junto à empresa Carbocloro.

²⁷ Informação obtida com a Srta. Cristiane Néri Boaventura do atendimento ao mercado/logística da empresa Carbocloro, através de contato pelo e-mail cristianeboaventura@carbocloro.com.br, em 16 mar. de 2005.

²⁸ Informação obtida com o Sr. José Luciano Batista Ungari da divisão de suprimentos da Companhia Suzano Papel e Celulose, através de contato pelo e-mail jungari@suzano.com.br, em 16 mar. de 2005.

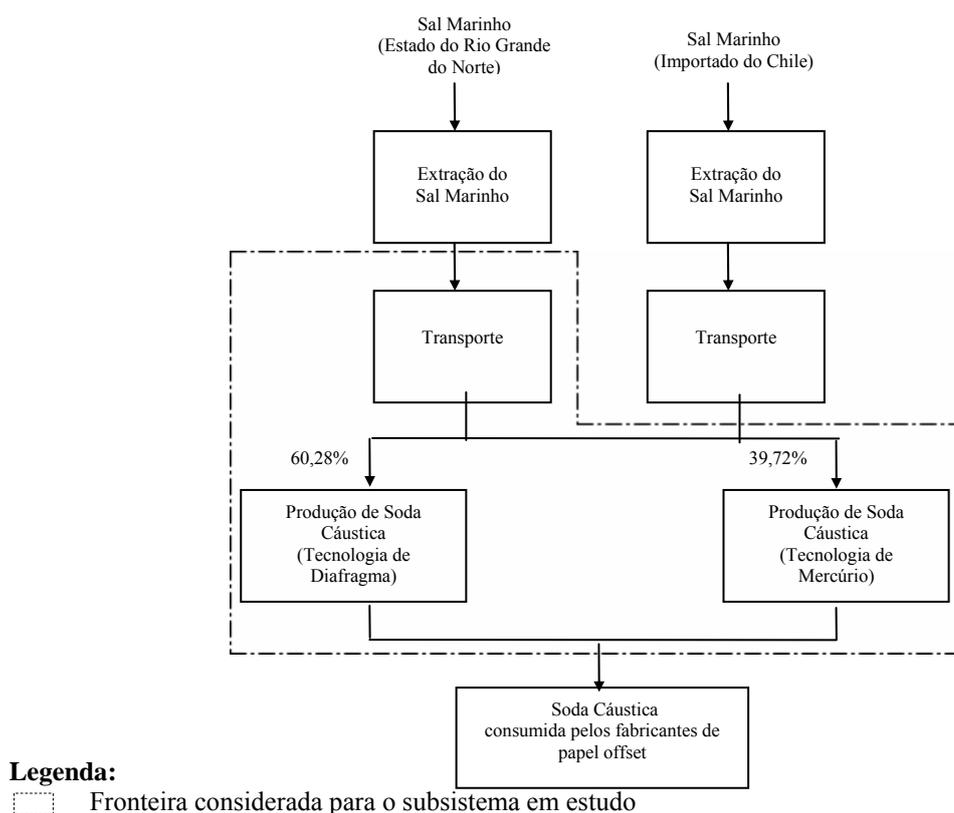


Figura 48: Modelo adotado para a soda cáustica consumida pelos fabricantes nacionais de papel offset

4.1.4.0.1. Inventário para o subsistema transporte do sal marinho

Como já foi comentado anteriormente, o sal marinho é extraído de salinas do Estado do Rio Grande do Norte e parte importado do Chile, sendo transportado via marítima até Porto de Santos, de onde é transportado até a empresa Carbocloro onde é consumido.

O sal marinho, representado pelos dois subsistemas de extração (como pode ser visto na figura 48), foi considerado como fluxo elementar, ou seja, os aspectos ambientais relativos às atividades de extração deste recurso natural não serão levantados. A ausência de informações associadas a esta atividade, conduziu a adoção dessa consideração que, segundo BORGES (2004), é bem razoável, pois os aspectos ambientais dessa atividade são relativos à evaporação da umidade do sal, retido da água do mar, sob a ação solar e do vento.

O transporte do sal marinho, conforme BORGES (2004 *apud* GROSVENOR et al., 1975), do Terminal Salineiro de Areia Branca (RN) até o Porto de Santos (SP) compreende uma distância estimada de 3000 km.

Ainda segundo o autor, o Terminal Salineiro de Areia Branca, conhecido também por Porto-Ilha, é uma estrutura artificial fincada em mar aberto que está localizado a 26 km a nordeste da cidade de Areia Branca (RN) e cerca de 14km distante da costa. Todo o sal movimentado no Terminal é proveniente das salinas do Rio Grande do Norte, como as de Macau, Grossos, Mossoró e Areia Branca.

O transporte do sal marinho importado do Chile não foi considerado no estudo, porque não se fez uma estimativa da distância envolvida entre os países e não se conhece os detalhes do transporte marítimo empregado.

O inventário utilizado do transporte marítimo de 1 t.km, apresentado na tabela 60, foi obtido de BORGES (2004) que se baseou na base de dados *Tanker I* - IDEMAT 2001 do software SimaPro.

Tabela 60: Inventário dos aspectos ambientais do transporte marítimo de 3000 t.km (adaptado de PRÉ-CONSULTANTS, 2003 *apud* BORGES, 2004)

Parâmetros	Quantidade	Unidade
Entradas		
Bauxita	8,94	g
Petróleo	24,57	t
Energia (não especificada)	61,08	MJ
Gás natural	1566,00	g
Água	720,00	mg
Saídas		
<i>Emissões atmosféricas</i>		
Aldeídos	75,60	mg
Amônia	37,80	mg
CO	212,10	g
CO ₂	74,10	kg
CxHy	171,00	g
MP	5,34	g
Metais	223,50	mg
N ₂ O	90,60	mg
NO _x	1374,00	g
SO ₂	1116,00	g
Fuligem	2100,00	mg
SO _x	2013,00	mg
VOC	3,87	g
<i>Efluentes líquidos</i>		
DBO	11,34	mg
Cl ⁻	223,50	mg
DQO	56,40	mg
Petróleo	1092,00	mg
C _x H _y	447,00	mg
SDT	23,94	g
SST	11,34	mg
H ₂	672,00	mg

Parâmetros	Quantidade	Unidade
Íons metálicos	111,90	mg
Óleo	130,20	mg
<i>Resíduos sólidos</i>		
Resíduos minerais	31,20	g
Óleo	309,00	g
Resíduos sólidos (não inerte)	2949,00	mg
Escória	44,70	mg

Produção de soda cáustica pela tecnologia de diafragma

Os aspectos ambientais da produção de cloro e soda cáustica pelo processo diafragma foram obtidos junto a base de dados do SimaPro (PRÉ CONSULTANTS, 2003). Os dados foram coletados na Europa Ocidental no período de 1985-1989 e retratam a tecnologia média empregada nesta região. Esses aspectos ambientais foram ajustados às condições nacionais por BORGES (2004), que levou em consideração as impurezas contidas no sal e as perdas de processo.

Ainda segundo a autora, a soda cáustica produzida, nesse processo, precisa ser concentrada (diferentemente do processo mercúrio) e os dados apresentados no inventário foram obtidos em DOE/OIT (2000a). A quantidade de água consumida no processo foi corrigida, de acordo com AYRES (1997). As impurezas contidas no sal e as perdas do processo foram incorporadas ao inventário como resíduos sólidos não inertes.

Na tabela 61, é apresentado o inventário dos aspectos ambientais da produção de soda cáustica pela tecnologia de diafragma.

Tabela 61: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de soda cáustica pela tecnologia de diafragma (adaptado de BORGES, 2004)

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
Entradas			
<i>Meio ambiente</i>			
Água	452	kg	AYRES
<i>Outros sistemas</i>			
Sal marinho extraído	1571	kg	Valor estimado
Eletricidade	9,612	GJ	Data Archive
Energia térmica (óleo combustível)	4,31	GJ	DOE/OIT, 2000a
Energia térmica para purificação do NaOH (óleo combustível)	3,437	GJ	Valor imputado somente para o NaOH (DOE/OIT, 2000a)
Saídas			
<i>Produtos</i>			
Cloro	890,5	kg	Data Archive
NaOH	1	t	Data Archive
H ₂	25,60	kg	Data Archive
<i>Emissões atmosféricas</i>			
Cl ₂	1,16	g	Data Archive
CFC	15,1	g	Data Archive
H ₂	890,50	g	Data Archive
Tetraclorometano	5,30	g	Data Archive
<i>Efluentes líquidos</i>			
Asbestos	23,20	g	Data Archive
Cl ⁻	338,00	g	Data Archive
Br	6,76	g	Data Archive
EOCl	0,71	g	Data Archive
<i>Resíduos Sólidos</i>			
Asbestos	0,14	kg	Data Archive
Resíduos sólidos (não inerte)	59,70	g	Valor estimado

Produção de soda cáustica pela tecnologia de mercúrio

Os aspectos ambientais da produção de cloro e soda cáustica pelo processo mercúrio foram obtidos junto a base de dados do SimaPro (PRÉ CONSULTANTS, 2003). Os dados foram coletados na Europa Ocidental no período de 1985-1989 e retratam a tecnologia média empregada nesta região e, assim como para a tecnologia de diafragma, foram corrigidos por BORGES (2004), levando em consideração a etapa de purificação do sal e as perdas de processo.

Ainda segundo a autora, as quantidades de água consumida no processo e de energia para a etapa de purificação foram obtidas de AYRES (1997) e DOE/OIT (2002a), sendo estes valores incorporados ao inventário.

Na tabela 62, é apresentado o inventário dos aspectos ambientais da produção de soda cáustica pela tecnologia de mercúrio.

Tabela 62: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de soda cáustica pela tecnologia de mercúrio (adaptado de BORGES, 2004)

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte
Entradas			
<i>Meio Ambiente</i>			
Água	438	kg	(AYRES, 1997)
<i>Outros sistemas</i>			
Sal marinho transportado	1649	kg	Valor estimado
Eletricidade	10,42	GJ	Data Archive
Energia térmica (óleo combustível)	4,31	GJ	DOE/OIT, 2000a
Saídas			
<i>Produtos</i>			
Cloro	890,50	kg	Data Archive
NaOH	1	t	Data Archive
H ₂	24,90	kg	Data Archive
<i>Emissões atmosféricas</i>			
Hg	2,94	g	(AYRES, 1997)
Cl ₂	23,50	g	Data Archive
H ₂	89,05	g	Data Archive
Diclorometano	32,90	g	Data Archive
<i>Efluentes líquidos</i>			
Cl ⁻	4,72	g	Data Archive
Hg	0,27	g	Data Archive
EOCl	0,45	g	Data Archive
<i>Resíduos sólidos</i>			
Resíduos sólidos	120,20	g	Valor estimado

4.1.4.1. Inventário para o subsistema peróxido de hidrogênio

O inventário do peróxido de hidrogênio foi obtido do software Ecoinvent (HISCHIER, R.; KUNST, H., 2004), que retrata a produção do peróxido de hidrogênio pelo processo de auto-oxidação ou processo antraquinona, na Europa.

Os dados empregados na elaboração deste inventário foram obtidos pela EMPA - *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research* junto a oito produtores europeus de peróxido de hidrogênio. Ainda segundo esta fonte, os dados não são apresentados em detalhes, devido acordos de confidencialidade estabelecidos.

O inventário utilizado compreende apenas a etapa de produção do peróxido de hidrogênio, outros estágios do ciclo de vida não foram contemplados.

A unidade funcional adotada por esta base de dados é de 1000 g de peróxido de hidrogênio, no entanto, para se enquadrar no fluxo de referência deste estudo, foi referenciado em 1 t de produto.

Na ausência de dados primários e levando em consideração que estes dados representam à mesma tecnologia empregada pela empresa nacional Degussa, foram tomados como válidos, como uma primeira aproximação, na elaboração do inventário.

A tabela 63 apresenta o inventário dos aspectos ambientais da produção de peróxido de hidrogênio.

Tabela 63: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de peróxido de hidrogênio (HISCHIER, R.; KUNST, H., 2004)

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte de dados
ENTRADAS			
<i>Recursos Materiais</i>			
hidrogênio	730	m ³	dado calculado
óxido de alumínio	9,61	kg	dado calculado
quinona	0,64	kg	dado calculado
quinona & solventes	1,25	kg	dado calculado
solventes, aromáticos	0,99	kg	dado calculado
solventes, não especificados	1,45	kg	dado calculado
hidróxido de sódio	0,64	kg	dado calculado
química inorgânica	0,53	kg	dado calculado
química não especificada	0,15	kg	dado calculado
ar	214,95	kg	dado calculado
nitrogênio	50,84	kg	dado calculado
oxigênio	29,33	kg	dado calculado
água (processo)	1,92	m ³	dado calculado
água (resfriamento)	170	m ³	dado calculado
<i>Recursos Energéticos</i>			
energia elétrica	3,5	MWh	dado calculado (baseado em EKA CHEMICALS, 2006)
SAÍDAS			
<i>Produto</i>			
peróxido de hidrogênio	1	t	dado calculado
<i>Emissões atmosféricas</i>			
hidrocarbonetos aromáticos	128	g	dado calculado
NMVO	530	g	dado calculado
hidrogênio	38,30	g	dado calculado
poeira, particulado	0,14	g	dado calculado
<i>Efluentes Líquidos</i>			
DBO	260	g	dado calculado
DQO	940	g	dado calculado
TOC	300	g	dado calculado
nitrato	203	g	dado calculado
fosfato	12,50	g	dado calculado

Parâmetros	Quantidade	Unidade	Fonte de dados
sólidos suspensos	151	g	dado calculado
cloreto	380	g	dado calculado
peróxido de hidrogênio	600	g	dado calculado
outros lançamentos	0,38	g	dado calculado
Resíduos Sólidos			
resíduos	2,86	kg	dado calculado
resíduos, não especificados	88,74	kg	dado calculado

Nota: NMVOC - compostos orgânicos voláteis, exceto o metano.
TOC - total de organoclorados

4.1.4.2. Inventário para o subsistema ácido sulfúrico

Para a adoção de um modelo representativo para o subsistema ácido sulfúrico, entrou-se em contato com os possíveis fornecedores deste insumo aos fabricantes de papel offset e elaborou-se a tabela 64.

Tabela 64: Fornecedores de ácido sulfúrico para os principais fabricantes de papel offset (GALVANI, 2005²⁹; ELEKEIROZ, 2005³⁰; NITROQUIMICA, 2005³¹)

Fabricantes de papel offset	Fornecedores de ácido sulfúrico					
	CPM	Elekeiroz ⁽¹⁾	Galvani ⁽²⁾	Jari Celulose	Morro Velho	Nitroquímica
International Paper do Brasil Ltda.		-	X			-
Votorantim Celulose e Papel S.A.		X	-			X
Cia Suzano Papel e Celulose		X	X			X
Bahia Sul Celulose S.A.		-	-			-
Ripasa S.A. Celulosa e Papel		X	X			-

⁽¹⁾ O fornecedor atende regularmente as empresas Cia Suzano Papel e Celulose e Ripasa S.A. Celulose e Papel e indiretamente através de um revendedor a empresa Votorantim Celulose e Papel S.A. Em um momento passado, esta empresa atendeu também a International Paper do Brasil Ltda. e a Bahia Sul Celulose S.A.

⁽²⁾ O fornecedor atende de forma esporádica também a empresa Bahia Sul Celulose S.A.

Nota: Os campos em branco (não preenchidos) podem correlacionar outros fornecedores, considerando que não foi possível obter esta informação com as empresas referidas.

Considerando as limitações da análise apresentada, o modelo representativo adotado no estudo para a produção de ácido sulfúrico foi baseado na empresa Elekeiroz, que fornece o insumo químico para 3 dos 5 fabricantes de papel offset, sendo que em um período passado chegou a atender também os outros 2 fabricantes.

Na figura 49 é apresentado o modelo adotado para o ácido sulfúrico consumido pelas indústrias brasileiras de papel offset. Este modelo foi elaborado baseando-se em informações obtidas junto à empresa Elekeiroz.

²⁹ Informação obtida com o Sr. Moacir da empresa Galvani Indústria, Comércio e Serviços Ltda., através de contato por telefone (11 3768 0044), em 21 jul. de 2005.

³⁰ Informação obtida com o Sr. Carlos Eduardo Villani da Assistência Técnica e Marketing da empresa Elekeiroz, através de contato pelo e-mail carlos.villani@elekeiroz.com.br, em 21 jul. de 2005.

³¹ Informação obtida com o Eng. Esley, Gerente de Processos da empresa Nitroquímica, através de contato por telefone (11 61373180), em 21 jul. de 2005.

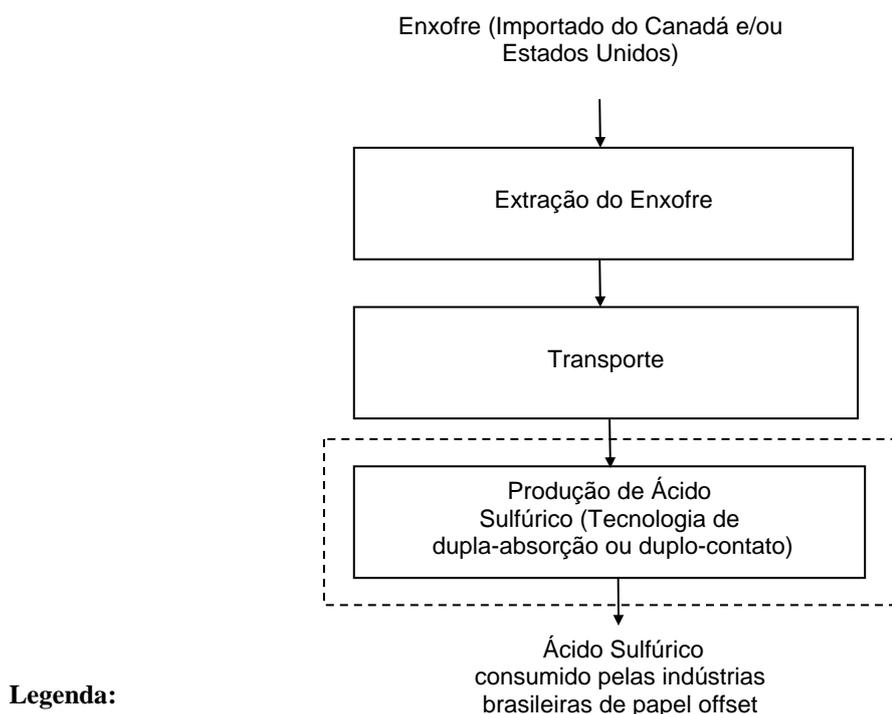


Figura 49: Modelo adotado para o ácido sulfúrico consumido pelas indústrias brasileiras de papel offset

O inventário dos aspectos ambientais da produção de ácido sulfúrico foi obtido de KULAY (2004). Os dados apresentados no inventário, segundo o autor, são provenientes de medições de campo realizadas pela Agência Ambiental da CETESB de Cubatão e dados médios de inventários de resíduos sólidos, compreendendo as seguintes empresas COPEBRÁS, ULTRAFÉRTIL e SERRANA, as quais integram o Grupo BUNGE Fertilizantes S.A.. Estes dados basearam-se em amostragem avaliadas para o período de 1994 a 1998.

Apesar deste inventário ser baseado em empresas que não estão relacionadas com o modelo adotado, os dados referem-se à mesma tecnologia empregada pelos fornecedores de ácido sulfúrico aos fabricantes de papel offset, além de retratarem as condições geográficas de sua produção. Nessas circunstâncias, estes dados são utilizados como uma primeira aproximação na elaboração do inventário desse subsistema.

A tabela 65 apresenta o inventário dos aspectos ambientais do processo de produção de ácido sulfúrico.

Tabela 65: Inventário dos aspectos ambientais da produção de 1 t de ácido sulfúrico pelo processo DA/DC (KULAY, 2004)

ENTRADAS		
Parâmetro	Quantidade	Unidade
<i>Recursos materiais</i>		
enxofre elementar	330	kg
ar atmosférico	4080	m ³
água		
de processo	210	kg
para produção de vapor	1240	kg
<i>Recursos energéticos</i>		
Eletricidade	2,490	MJ
Vapor (15,03 kgf/cm ² e a 810,9 °C)	5182,70	MJ
SAIDAS		
<i>produtos</i>		
ácido sulfúrico (solução)	1	t
energia elétrica	906,12	MJ
vapor (superaquecido a 0,50 kgf/cm ²)	3564,95	MJ
<i>Emissões atmosféricas</i>		
dióxido de enxofre (SO ₂)	2,60	Kg
névoa de SO ₃	0,056	Kg
<i>Resíduos sólidos</i>		
borra de enxofre	7,59	Kg
borra de catalisador ^(a)	58,11	Kg

^(a) o valor apontado para a geração de borra de catalisador é proveniente da média dos dados das empresas SERRANA, ULTRAFÉRTIL e COPEBRÁS.

Para estimar a quantidade de energia elétrica e vapor a serem gerados por uma planta de produção de ácido sulfúrico (tabela 66), a custo de recuperação de calor, o autor empregou dados levantados por BRUNO et. al. (1985).

Tabela 66: Balanço energético do subsistema produção de ácido sulfúrico (KULAY, 2004)

Parâmetro	Quantidade	Unidade
<i>Consumo de Recursos Energéticos</i>		
Eletricidade ^(c)	2,49	MJ
Vapor (15,03 kgf/cm ² e a 810,9 °C) ^(b)	710,49	MJ
<i>Energia gerada pelo sistema</i>		
Eletricidade	908,62	MJ
Vapor (15,03 kgf/cm ² e a 810,9 °C) ^(a)	5182,70	MJ
<i>Total de energia recuperada pelo sistema</i>		
Eletricidade	906,12	MJ
Vapor (0,50 kgf/cm ² e a 426,1°C) ^(a,d)	3564,95	MJ

^(b) entalpia do vapor de média pressão 15,03 kgf/cm² e 810,91°C (MJ/t vapor).

^(c) De acordo com IPT (1985), o consumo médio de eletricidade das plantas brasileiras de produção de ácido sulfúrico é de 0,314 GJ/t produto, considerando consumo de combustível para parada/partida da instalação e energia elétrica para acionamento. O valor obtido considera apenas o consumo de eletricidade da planta em condição regular de operação.

^(d) Segundo IPT (1985), a taxa média de recuperação de energia das plantas brasileiras de produção de ácido sulfúrico, realizada sob a forma de vapor superaquecido na maioria dos casos, é de 2,906 GJ/t produto. O valor líquido obtido pela simulação é de 3,581 GJ/t produto, já descontado o consumo de vapor para a fusão do enxofre elementar.

4.1.4. Inventário consolidado para o ciclo de vida do papel offset

Os inventários parciais de todos os subsistemas compreendidos no sistema de produto em estudo foram consolidados em um inventário final, por meio do ajuste dos aspectos ambientais de cada subsistema ao fluxo de referência de 1 tonelada de papel offset.

O inventário consolidado para o ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil é apresentado na tabela 67.

Tabela 67: Inventário consolidado para a produção de 1 t de papel offset

Parâmetros	Quantidade	Unidade
ENTRADAS		
<i>Recursos Materiais</i>		
madeira ODMT	3282,80	kg
ácido clorídrico	1,67	kg
ácido fosfórico 85%	0,49	kg
ácido sulfúrico concentrado	19,43	kg
aditivo colagem interna	1,00	kg
aditivos não especificados	19,00	kg
água (processo)	46,40	m ³
água (produção de vapor)	4,41E-02	m ³
água (resfriamento)	171,09	m ³
água (termelétrica - evaporada)	961,50	kg
água utilizada (hidroel. - escoamento LPA*)	483,25	m ³
antiespumante	0,55	kg
ar atmosférico	79,29	m ³
bauxita	8,94	g
cal	65,38	kg
cal virgem	8,14	kg
calcário	63,80	kg/ciclo (7 anos)
carbonato de cálcio precipitado	105,00	kg
carvão	53,34	kg
clorato de sódio	14,04	kg
CO ₂	76,65	kg
defensivo - formicidas	0,29	kg/ciclo (7 anos)
defensivo - herbicidas	0,46	L/ciclo (7 anos)
enxofre	11,29	kg
fertilizantes (como NPK)	29,00	kg/ciclo (7 anos)
fosfato de cálcio dibásico	84,00	g

Parâmetros	Quantidade	Unidade
gás natural	4,72	kg
hidrogênio	4,67	m ³
hidróxido de sódio	8,37	kg
materiais secundários	3,74	kg
metanol	2,90	kg
minério de cobre	0,07	kg
N ₂	403,53	kg
NaCl	7,22	kg
NaOH	8,37	kg
óleo	5,03	kg
óleo diesel	168,00	kg
óxido de alumínio	61,40	g
oxigênio líquido	54,30	kg
peróxido de hidrogênio	6,39	kg
petróleo	24,57	t
polieletrólito	67,00	g
química inorgânica	3,40	g
química não especificada	1,00	g
quinona	4,1	g
quinona & solventes	8,00	g
reservas bióticas	20,23	kg
resíduo soda (produção de PCC)	315,00	g
sal marinho	6,99	kg
solventes, aromáticos	6,30	g
solventes, não especificados	9,30	g
urânio	747,7	mg
uréia	0,98	kg
<i>Outros aspectos</i>		
CO ₂ fixado	3,16	t
área territorial requerida	25,03	ha
área territorial preservada	0,016	ha
<i>Recursos energéticos</i>		
energia elétrica	1154,01	kWh
energia térmica	17,33	GJ
energia não especificada	61,08	MJ
vapor	37,09	kg
vapor (15,03 kgf/cm ² e a 810,9 °C)	100,72	MJ
SAÍDAS		
<i>Produto</i>		
papel Offset	1,00	t
<i>Emissões atmosféricas</i>		
aldeídos	75,60	mg

Parâmetros	Quantidade	Unidade
amônia	37,80	mg
calor perdido para o ar	74E-03	TJ
ácidas (HCl)	1,25E-04	g
água evaporada (termelétricas)	956,98	kg
CFC	39,70	mg
CH ₄	228,28	g
CH ₄ - renovável	2,01	kg
Cl ₂	43,80	mg
CO	2,16	kg
CO ₂	640,48	kg
CO ₂ - renovável	332,56	kg
diclorometano	57,10	mg
fuligem	2,10	g
H ₂	779,16	g
Hg	5,10	mg
hidrocarbonetos	175,13	g
hidrocarbonetos aromáticos	0,82	g
material particulado	1,21	kg
metais	223,5	mg
N ₂	403,20	kg
N ₂ O	45,75	g
NaClO ₃	0,11	g
névoa de SO ₃	1,088	g
NH ₃	2,49E-05	g
NMVOOC	3,39	g
NO _x	10,66	kg
O ₂	42,00	kg
radioatividade para o ar	40,60	kBq
SO ₂	1,71	kg
SO _x	438,81	g
tetraclorometano	0,014	g
TRS	2,34	kg
vapor	123,90	kg
VOC	3,87	g
VOC não metálicos	30,24	g
<i>Efluentes líquidos</i>		
vazão	21,97	m ³
ácidas	7,06E-04	g
AOX	2,46E-07	g
asbestos	61,5	mg
Br	17,80	mg

Parâmetros	Quantidade	Unidade
CaCl ₂	14,88	g
Cl ⁻	1,13	g
cloreto	2,42	g
COD	0,21	g
compostos de enxofre	1,87	mg
compostos de nitrogênio	18,70	mg
Cr ⁶⁺	1,10	mg
DBO ₅	6,93	kg
DQO	6,67	g
EOCl	2,60	mg
fosfato	0,80	g
H ₂ SO ₄	2,21	kg
H ₂	0,67	g
Hg	1,60	mg
hidrocarbonetos	0,57	g
íons metálicos	0,11	g
metais	41,50	mg
metais Pesados (Cr, Pb)	0,75	mg
N total	28,10	mg
Na Total	3,09	kg
Na ₂ SO ₄	9,71	kg
NaCl	68,45	g
NaClO	0,74	g
NaClO ₃	0,74	g
nitrato	1,28	g
óleos e graxas	0,71	g
outros lançamentos (produção de H ₂ O ₂)	2,40	mg
petróleo	1,09	g
peróxido de hidrogênio	3,83	g
radioatividade para a água	62,57	kBq
S total	2,91	kg
SDT	24,15	g
sólidos suspensos - SS	9,15	kg
sólidos totais - ST	49,76	kg
SST	11,34	mg
TOC	1,92	g
vazão tratada	31,25	m ³
Resíduos sólidos		
resíduos para reciclagem	98,49	kg
resíduos do solo	55,54	dm ³
Parâmetros	Quantidade	Unidade

resíduos orgânicos para floresta	198,35	kg
resíduos para aterro	128,93	kg
resíduos para incineração	0,13	kg
resíduos - destinação final não especificada	46,03	kg

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Concluído o Inventário do Ciclo de Vida do Papel Offset, algumas considerações serão realizadas para os resultados encontrados:

- como o objetivo do estudo é compor um banco de dados estes valores são apresentados na íntegra e mesmo que relacionem aspectos ambientais semelhantes não foram associados, para facilitar o emprego do futuro usuário deste estudo.

- os dados primários empregados nos inventários parciais dos subsistemas, que compreendem o sistema de produto em estudo, podem ser relativos a uma única empresa ou dados médios das empresas consideradas. Os outros valores encontrados nos inventários parciais são classificados como dados secundários e, conforme a NBR ISO 14041 (2004), são referenciados como dados estimados, calculados ou da literatura.

- é importante lembrar que apesar dos aspectos ambientais da linha principal de fabricação do papel offset empregar principalmente dados primários, outros subsistemas considerados foram elaborados de forma integral ou complementar com dados secundários. Apesar de toda cautela na determinação das bases de dados estrangeiras a serem empregadas, os valores apresentados podem estar sujeitos a imprecisões.

- um outro aspecto a ser considerado quanto às bases de dados estrangeiras é que em alguns casos, a fronteira geográfica não está bem definida, portanto, inventários parciais podem apresentar consolidado aspectos ambientais de unidades de processo (como por exemplo, de processos auxiliares: atividades de transporte e geração de energia) que não condizem com a realidade nacional. De todo modo, estas observações foram apresentadas no decorrer do estudo e, por meio de uma pesquisa bibliográfica mais aprofundada, foram consideradas irrelevantes quanto à importância de se incorporar tais aspectos. Dentro do possível, ajustes foram empregados no refino destes dados.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo, compreendido em uma dissertação de mestrado, objetivou a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida do papel offset produzido no Brasil, por meio da adoção de um modelo representativo para um grupo principal dos cinco maiores fabricantes nacionais de papel offset.

Considerando as premissas e limitações adotadas durante o estudo, entende-se que o objetivo foi alcançado com a qualidade desejada, o que só pode ser garantido por meio da colaboração de algumas empresas no fornecimento dos dados primários necessários a elaboração do referido inventário e sua complementação com dados representativos disponíveis.

O ciclo de vida do papel offset compreende uma diversidade de subsistemas, que em uma primeira análise mostraram-se significativamente importantes, devido ao desconhecimento de sua relevância ambiental. Desse modo, o estudo abordou os aspectos ambientais de subsistemas poucos conhecidos, no entanto, muito caracterizados por estudos internacionais quanto à avaliação de seu desempenho ambiental.

A transparência do estudo foi limitada devido a acordos de confidencialidade estabelecidos com as empresas fornecedoras dos dados. No entanto, os valores encontrados por meio de procedimentos de cálculos apresentados no decorrer do estudo são tomados como uma primeira aproximação da realidade produtiva do setor e apresentam coerência com o inventário da celulose Kraft branqueada de eucalipto produzido no Chile, que é apresentado no estudo na etapa de elaboração dos inventários.

A qualidade do estudo está intrinsecamente ligada à cadeia produtiva do papel offset, que se baseou em dados primários. Uma análise mais apurada para os resultados encontrados no estudo, com base em pesquisas internacionais, não se fez necessária, considerando as diferenças tecnológicas e de matérias-primas empregadas no ciclo de vida do papel de outros países.

É válido lembrar que um banco de dados de Avaliação de Ciclo de Vida é cada vez mais completo quanto maior for a variedade de base de dados disponíveis. Deste modo, o estudo contribui com os aspectos ambientais de uma série de subsistemas

compreendidos no ciclo de vida do papel offset, que podem ser representativos para a elaboração de inventários nacionais de diversos outros tipos de papéis.

Levando-se em consideração o tempo e recursos despendidos no estabelecimento dos contatos com os fabricantes de papel offset e na fase de coleta dos dados, os resultados encontrados podem ser empregados com uma primeira aproximação da produção brasileira de papel offset, enquanto não existirem novos trabalhos de ICV do papel offset que venham a complementar este estudo.

Como previsto na metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida, os inventários do Ciclo de Vida necessitam ser revistos com o passar dos anos e, desse modo, este estudo prevê a necessidade de sua atualização após um período de 5 anos. Recomenda-se que nessa etapa seja dada uma atenção, em particular, aos aspectos ambientais relacionados ao consumo energético dos fabricantes de papel offset, uma vez que os dados empregados nesta análise foram extraídos, principalmente, da literatura. Outras sugestões que agregariam mais valor ao estudo seria a substituição dos inventários parciais, baseados em dados secundários, por valores obtidos junto as suas fontes geradoras e a inclusão de algum subsistema, a princípio, excluído.

A dificuldade de uniformizar critérios gerais para a adoção de modelos representativos em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida é notável em referências internacionais. As considerações feitas no decorrer do estudo, embasadas em informações obtidas junto aos fabricantes de papel offset e fornecedores de insumos associados, contribuíram na elaboração de modelos mais consistentes, conferindo maior confiabilidade e menor subjetividade aos resultados finais.

A conquista de um modelo de desenvolvimento que seja capaz de suprir as necessidades presentes da sociedade, ao mesmo tempo em que proteja e conserve o meio ambiente, garantindo a capacidade das gerações futuras em suprir suas necessidades, é um dos maiores desafios a sobrevivência da humanidade. A mudança de foco das empresas com relação aos seus produtos, como parte fundamental da gestão ambiental corporativa é um dos primeiros passos rumo ao desenvolvimento sustentável. Este enfoque tem sido muito bem compreendido pela ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida,

que considera desde os componentes da cadeia de suprimentos ao fim da vida do produto e sua embalagem.

Por meio de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida, as empresas podem garantir a presença de seus produtos em mercados globais, principalmente em países com regulamentações rígidas, as autoridades podem fundamentar suas políticas públicas dentro de parâmetros internacionalmente aceitos e a sociedade pode orientar-se por critérios ambientais na opção por determinado produto.

Por fim, desejo registrar um fato impressionante, que analisa um dos papéis valiosos prestados pela floresta, notadamente, sua reciclagem da chuva para o interior dos continentes tornando o produtivo e habitável. Frequentemente, quando se descobre o papel que as florestas desempenham já é tarde demais, após as árvores terem sido derrubadas. O exemplo da China, que é apresentado na sequência, conforme BROWN (2003), demonstra como a ação do homem pode representar em reações muito rápidas e indesejáveis do meio ambiente.

No verão de 1998, a bacia do Yangtzé, na China, sofreu a maior enchente da história. Cerca de 120 milhões de pessoas foram desabrigadas pelas águas. Comprovadamente, 3.656 pessoas morreram. A inundações recorde com prejuízos atingindo US\$ 30 bilhões ocorreu num ano quando as chuvas, embora bem acima da média, nem chegaram perto de um recorde. A grande diferença em relação aos anos de igual precipitação foi a perda florestal. Em 1998, a bacia do Yangtzé já havia perdido 85% de sua cobertura original, restando pouco para absorver as chuvas de monção, acima do normal.

Embora tenha sido tarde demais para evitar o desmatamento maciço, em agosto de 1998, as autoridades chinesas anunciaram a imposição de uma proibição total de derrubadas na região superior da bacia hidrográfica. Uma alta autoridade observou que árvores de pé valiam três vezes mais que árvores cortadas. As madeireiras estatais que derrubavam as matas foram transformadas em organizações reflorestadoras.

Uma vez que o desmatamento aumenta o risco de inundações, acelera a erosão do solo, inibe a recarga de aquíferos e dizima a vida vegetal e animal, afeta diretamente

várias outras tendências que estão determinando nosso futuro. Embora não dependamos tão universalmente das florestas para lenha como outrora, elas ainda fornecem material para construirmos nossas casas e fabricarmos o papel, que continua sendo o principal meio de comunicação. Além disso, 2 bilhões de pessoas dependem das florestas para seu combustível.

Desde os primórdios da agricultura, o mundo já perdeu quase a metade de suas florestas. Grande parte da perda ocorreu durante o último século. Embora alguns países, individualmente, tenham revertido a maré de perda florestal, a área mundial continua a encolher. À medida que as florestas diminuem, também se reduzem as perspectivas da humanidade.

ANEXOS

ANEXO A

Categorias de impacto ambiental recomendadas para a indústria de papel e celulose sueca (adaptado de EIA,1999)

Categoria de Impacto Ambiental	Parâmetro utilizado
Escassez de Recursos Renováveis	Hidroeletricidade, biomassa
Escassez de Recursos Não-renováveis	Combustíveis fósseis (óleo diesel, carvão, gás natural), minerais
Escassez da água	Toda a água empregada no processo
Aquecimento global	Dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄), óxido nitroso (NO ₂), cloreto de metileno (CH ₂ Cl ₂), clorofórmio (CHCl ₃), tetra-cloreto de carbono (CCl ₄), tri-cloro etano (CH ₃ CCl ₃), freons (CFCs)
Destruição da camada de ozônio estratosférico	CFCs e HCFs, halogênios e outros gases de longa vida contendo cloro ou bromo e também metano, óxido nitroso (N ₂ O), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos - exceto metano, sulfeto de carbonila (COS)
Acidificação	(Dióxido de enxofre (SO _x), compostos clorados (HCl e alguns outros), óxidos de nitrogênio (NO _x) e amônia (NH ₃))
Eutrofização	DQO, DBO, nitrogênio e fósforo
Formação de oxidantes foto-químicos (smog)	Óxidos de nitrogênio (NO _x), compostos orgânicos voláteis (VOC), hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO), causam smog de verão; material particulado fino (SPM) e SO ₂ , causam smog de inverno
Toxicidade humana e Ecotoxicidade	Toxinas persistentes e carcinogênicas, por exemplo, metais pesados, pesticidas e produtos químicos (como PCBs)
Saúde ocupacional	Impactos provocados por produtos químicos, ruídos, trabalho repetitivo e acidentes de trabalho
Alteração do habitat e impactos sobre a diversidade biológica do uso da terra	-

De acordo com EIA (1999), uma categoria de impacto de grande importância que deve ser adotada futuramente é a análise da alteração do habitat e impactos sobre a biodiversidade, pois a ACV até este momento não possui parâmetros para a realização desta análise.

ANEXO B

**Área do estado versus área reflorestada pelo setor
(em km²/mil) até 31/12/02 (BRACELPA, 2002)**

Estado	Área do Estado	Área Reflorestada	%
Amapá	140,3	0,93	0,66
Bahia	566,9	2,39	0,42
Espírito Santo	45,7	1,16	2,54
Maranhão	329,5	0,05	0,02
Mato Grosso do Sul	350,5	0,59	0,17
Minas Gerais	586,6	1,54	0,26
Pará	1.246,8	0,38	0,03
Paraná	199,3	2,57	1,29
Rio Grande do Sul	280,6	0,54	0,19
Santa Catarina	95,3	1,12	1,18
São Paulo	248,2	3,30	1,33
Total	4.089,7	14,57	0,36

**Área total reflorestada por gênero nos estados (em ha)
existente em 31/12/02 (BRACELPA, 2002)**

Estado	Gênero					Total Geral
	Eucaliptos	Pinus	Araucária	Acácia	Outros	
AP	55.147,0	33.824,1	0,0	2.650,0	878,0	92.499,1
BA	228.051,0	11.103,6	0,0	0,0	0,0	239.154,6
ES	115.596,5	110,2	0,0	0,0	0,9	115.707,6
MA	5.500,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5.500,1
MS	58.652,1	0,0	0,0	0,0	0,0	58.652
MG	148.481,2	2.683,8	461,3	0,0	1.977,8	153.604,1
PA	34.002,0	4.469,0	0,0	0,0	0,0	38.471,0
PR	44.449,7	202.766,8	9.597,9	0,0	127,1	256.941,5
RS	43.199,5	10.387,5	682,0	7,6	49,0	54.325,6
SC	8.438,9	102.450,9	923,8	0,0	66,2	111.879,8
SP	297.291,1	32.680,6	13,2	0,0	402,3	330.387,2
Total	1.038.809,1	400.476,5	11.678,2	2.657,6	3.501,3	1.457.122,7

ANEXO C

Celulose - distribuição geográfica da produção, em toneladas

Estado	Produção (t)		Participação (%)	
	2001	2002	2001	2002
SP	2.097.598	2.181.831	30,21	28,99
ES	1.272.388	1.656.048	18,32	22,01
SC	825.448	865.635	11,89	11,50
MG	792.344	830.813	11,41	11,04
PR	651.341	702.479	9,38	9,33
BA	595.400	593.479	8,57	7,89
RS	308.109	324.844	4,44	4,32
PA	326.310	290.365	4,70	3,86
MA	48.786	53.821	0,70	0,72
PE	25.742	26.382	0,37	0,35
Total	6.943.466	7.525.697	100	100

Celulose - distribuição geográfica da produção, em toneladas

<i>Fibra longa</i>				
Estado	Produção (t)		Participação (%)	
	2001	2002	2001	2002
SC	789.047	831.208	54,85	55,09
PR	469.233	477.205	32,62	31,63
SP	80.514	92.681	5,60	6,14
MA	48.786	53.821	3,39	3,57
PE	25.742	26.382	1,79	1,75
RS	25.173	27.431	1,75	1,82
Total	1.438.495	1.508.728	100	100
<i>Fibra curta</i>				
Estado	Produção (t)		Participação (%)	
	2001	2002	2001	2002
SP	2.017.084	2.089.150	36,64	34,72
ES	1.272.388	1.656.048	23,11	27,52
MG	792.344	830.813	14,39	13,81
BA	595.400	593.479	10,82	9,86
RS	282.936	297.413	5,14	4,94
PA	326.310	290.365	5,93	4,83
PR	182.108	225.274	3,31	3,74
SC	36.401	34.427	0,66	0,57
Total	5.504.971	6.016.969	100	100

Papel - distribuição geográfica da produção, em toneladas

Estado	Produção (t)		Participação (%)	
	2001	2002	2001	2002
SP	3.322.353	3.464.263	44,67	44,56
PR	1.504.479	1.582.936	20,23	20,36
SC	1.378.924	1.439.977	18,54	18,52
MG	358.643	368.967	4,82	4,75
BA	260.931	291.215	3,51	3,75
RJ	194.617	189.189	2,62	2,43
RS	171.068	178.607	2,30	2,30
PE	115.068	113.348	1,55	1,46
MA	66.703	67.340	0,90	0,87
AM	18.697	26.673	0,25	0,34
PA	21.850	23.150	0,29	0,30
GO	14.700	13.700	0,20	0,18
PB	5.220	5.988	0,07	0,08
SE	0	3.440	0,00	0,04
CE	1.930	2.730	0,03	0,04
RN	2.390	2.390	0,03	0,03
Total	7.437.767	7.773.913	100	100

Papel - Distribuição Geográfica da Produção, em toneladas (2002)

<i>Por categoria</i>								
Estado	Imprensa	Imprimir	Escrever	Embalagem	Sanitários	Cartões	Especiais	Total
AM	-	-	-	19.607	7.066	-	-	26.673
BA	-	226.917	-	44.705	19.593	-	-	291.215
CE	-	-	-	-	2.400	330	-	2.730
GO	-	-	-	-	13.700	-	-	13.700
MA	-	-	-	10.693	5.500	51.147	-	67.340
MG	-	-	-	317.094	31.782	20.091	-	368.967
PA	-	3.300	-	4.400	14.800	-	650	23.150
PB	-	-	-	-	5.988	-	-	5.988
PR	247.708	269.159	33.433	764.661	48.663	208.635	10.677	1.582.936
PE	-	-	-	97.850	15.498	-	-	113.348
RJ	-	19.158	-	125.919	28.078	1.200	14.834	189.189
RN	-	-	-	2.270	-	-	120	2.390
RS	-	46.907	2.200	87.325	31.752	2.200	8.223	178.607
SC	-	-	-	1.228.619	140.197	70.713	448	1.439.977
SP	-	1.526.177	58.272	1.012.491	304.660	416.285	146.378	3.464.263
SE	-	-	-	-	3.440	-	-	3.440
Total	247.708	2.091.618	93.905	3.715.634	673.117	770.601	181.330	7.773.913

ANEXO D

Evolução do consumo aparente por categorias de papéis – em 1000 toneladas

	1998	1999	2000	2001	2002
<u>Imprensa</u>					
Produção	274	243	266	233	248
Importação	400	379	398	297	250
Exportação	16	22	14	8	3
Consumo Aparente	658	600	650	522	495
Consumo "Per Capita"	4,1	3,7	3,8	3,0	2,8
<u>Imprimir / Escrever</u>					
Produção	1958	2067	2093	2127	2185
Importação	249	197	250	190	176
Exportação	751	754	585	651	629
Consumo Aparente	1456	1510	1758	1666	1732
Consumo "Per Capita"	9,0	9,2	10,4	9,7	9,9
<u>Embalagem</u>					
Produção	2977	3209	3347	3526	3716
Importação	73	50	51	28	23
Exportação	306	369	378	455	517
Consumo Aparente	2744	2890	3020	3099	3222
Consumo "Per Capita"	17,0	17,6	17,8	18,0	18,5
<u>Papel Cartão</u>					
Produção	463	502	519	505	553
Importação	44	23	34	31	31
Exportação	40	64	90	88	100
Consumo Aparente	467	461	463	448	484
Consumo "Per Capita"	2,9	2,8	2,7	2,6	2,8
<u>Papéis de Fins Sanitários</u>					
Produção	574	571	597	619	671
Importação	1	2	4	2	4

	1998	1999	2000	2001	2002
Exportação	22	28	24	32	48
Consumo Aparente	553	545	577	589	627
Consumo "Per Capita"	3,4	3,3	3,4	3,4	3,6
<u>Outros / Papéis Especiais</u>					
Produção	343	361	378	428	401
Importação*	137	99	102	84	76
Exportação*	82	93	134	134	158
Consumo Aparente	398	367	346	378	319
Consumo "Per Capita"	2,5	2,2	2,0	2,2	1,8

* Inclui produtos acabados

ANEXO E

Segundo BRACELPA (2002) são definidos, a seguir, os tipos de papéis para cada uma das categorias de papéis apresentadas.

1 PAPÉIS DE IMPRIMIR

Bíblia

Papel fabricado com pasta química branqueada, gramatura máxima de 50 g/m², teor elevado de carga mineral e elevada opacidade. Usado para impressão de bíblias e similares, podendo conter ou não linhas d'água.

Bouffant

Bouffant de 1^a: Papel fabricado com pasta química branqueada, não colado, com alta carga mineral, acima de 10 %, bem encorpado e absorvente. Usado para impressão de livros, em serviço geral de tipografia e mimeografia, podendo apresentar linhas d'água.

Bouffant de 2^a: Papel de impressão, semelhante ao “bouffant de 1^a”, porém contendo pasta mecânica.

Couché

Papel de impressão, que reúne o máximo de qualidades necessárias para a reprodução perfeita de “clichés”, conferidas pelo revestimento com cargas minerais em uma ou duas faces. Divide-se em subgrupos, que são destacados a seguir:

Base para couché: Papel para ser revestido em sua superfície com cargas minerais na máquina de revestir.

Couché fora de máquina: Papel “base para couché” (suporte) revestido com cargas minerais aglutinadas com colas, em uma ou nas duas faces, na máquina de revestir.

Couché de máquina: Papel fabricado e revestido totalmente na própria máquina de papel, em uma ou nas duas faces.

Imprensa

Papel de impressão de jornais e periódicos, fabricado principalmente com pasta mecânica ou mecano-química, na gramatura entre 45 a 56 g/m², com ou sem linhas d'água no padrão fiscal, com ou sem colagem superficial.

Jornal

Papel de impressão, similar ao “imprensa”, porém, sem limitação de gramatura, alisado ou monolúcido. Usado para impressos comerciais, blocos de rascunho e outros.

Mimeógrafo

(Excluído - ver classificação Bouffant)

Monolúcido

Papel caracterizado pelo brilho em uma de suas faces, obtido em máquinas dotadas de cilindro monolúcido.. Divide-se em subgrupos, que são destacados a seguir:

Monolúcido de 1^a: Papel fabricado com pasta química branqueada, com brilho em uma das faces. Usado para rótulos, cartazes, sacolas, embalagens e papéis fantasia.

Monolúcido de 2^a: Papel semelhante ao “monolúcido de 1^a”, porém contendo pasta mecânica ou aparas.

Offset

Papel de impressão, fabricado essencialmente com pasta química branqueada com elevada resistência da superfície. Usado geralmente para impressão em “offset”. (Exemplos de papel offset: papel empregado na produção de livros, revistas, apostilas etc)

2 PAPÉIS DE ESCREVER

Apergaminhado

Apergaminhado com marca (Bond com marca): Papel fabricado com pasta química branqueada, com marca d'água, alisado, colado e com boa opacidade. Usado geralmente para correspondência.

Apergaminhado (Bond): Papel fabricado com pasta química branqueada, alisado, colado e com boa opacidade. Usado para correspondência em geral, formulários, impressos, cadernos escolares e envelopes.

Super-Bond (Bond cores): Papel semelhante ao “apergaminhado”, porém em cores. Usado para os mesmos fins que aquele.

Segundas vias (Flor Post)

Papel fabricado com pasta química branqueada, geralmente com gramatura até 32 g/m², branco ou em cores. Usado geralmente para segundas-vias em correspondência ou formulários impressos.

3 PAPÉIS DE EMBALAGEM

Papéis de embalagens leves e embrulhos

Estiva e maculatura: Papel fabricado com aparas, em cor natural, acinzentada, geralmente na gramatura entre 70 a 120 g/m². Usado para embrulhos que dispensam apresentação, tubetes e conicais.

Manilhinha - Padaria: Papel fabricado com aparas, pasta mecânica ou semiquímica, em geral na gramatura entre 40 a 45 g/m², monolúcido ou não, geralmente na cor natural e em folhas dobradas. Usado essencialmente nas padarias.

Manilha - HD - Hamburguês - Havana - LD - Macarrão: Papéis fabricados com aparas, pasta mecânica e/ou semiquímica, em geral na gramatura entre 40 a 100 g/m², monolúcidos em cores características ou cor natural. Usados para embrulhos nas lojas, indústrias e congêneres.

Tecido: Papel de embalagem, fabricado com pasta química e pasta mecânica ou aparas limpas, na gramatura entre 70 a 120 g/m², com boa resistência mecânica e geralmente nas cores creme, bege e azul. Utilizado essencialmente para embrulho de tecidos e na fabricação de envelopes.

Fósforo: Papel de embalagem, fabricado com pasta química, na gramatura de 40 g/m², monolúcido ou não, na cor azul característica. Utilizado essencialmente para forrar caixas de fósforos.

Strong

Strong de 1ª: Papel de embalagem, fabricado com pasta química geralmente sulfito e/ou aparas de cartões perfurados, na gramatura entre 40 a 80 g/m², em geral

monolúcido, branco ou em cores claras. Usado essencialmente para a fabricação de sacos de pequeno porte, forro de sacos e para embrulhos.

Strong de 2ª: Papel similar ao “strong de 1ª”, cuja fabricação entram, também, aparas limpas e/ou pasta mecânica.

Seda: Papel de embalagem, fabricado com pasta química branqueada ou não, na gramatura entre 20 a 27 g/m²,

Branco ou em cores. Usado para embalagens leves, embrulhos de objetos de arte, intercalação, enfeites, proteção de frutas entre outros.

Frutas: (Excluído - ver classificação Seda)

Impermeáveis: Papel de embalagem, com baixa permeabilidade a substâncias gordurosas. Distingue-se em subgrupos como os que seguem:

Glassine, cristal ou pergaminho: Papel fabricado com pasta química branqueada, altamente refinado para alcançar, em conjunto com a supercalandragem, a transparência. Quando tornado opaco com cargas minerais, adquire aspecto leitoso translúcido. Fabricado geralmente a partir de gramatura de 30 g/m² e com impermeabilidade elevada.

Usado preferencialmente para embalagem de alimentos, base de papel auto-adesivo, proteção de frutas nas árvores e semelhantes.

Granado: Papel similar ao “glassine, cristal ou pergaminho”, porém com menor transparência e impermeabilidade que estes, devido à presença de outras pastas. Fabricado também em cores.

Greaseproof: Papel de elevada impermeabilidade às gorduras, fabricado com pasta química branqueada, geralmente na gramatura entre 30 a 80 g/m². Translúcido, sem supercalandragem e de coloração branca ou ligeiramente amarelada. Usado essencialmente para embalagem de substâncias gordurosas.

Fosco: Papel de baixa impermeabilidade, fabricado com pasta química, geralmente na gramatura de 40 g/m², translúcido, sem supercalandragem, de coloração natural. Usado para desenho, embalagem descartável para alimentos entre outros.

Papéis de embalagens pesadas

Kraft: Papel para embalagem, cuja característica principal é a sua resistência mecânica. São destacados, a seguir, subgrupos para melhor classificação:

Kraft natural para sacos multifolhados: Papel fabricado com pasta química sulfato não-branqueada, essencialmente de fibra longa, geralmente na gramatura entre 80 a 90 g/m². Altamente resistente ao rasgo e com boa resistência ao arrebentamento. Usado essencialmente para sacos e embalagens industriais de grande porte.

Kraft extensível: Papel fabricado com pasta química sulfato ou soda não branqueada, essencialmente de fibra longa, geralmente na gramatura entre 80 a 100 g/m². Altamente resistente ao rasgo e a energia absorvida na tração.

Possui alongamento maior ou igual a 8% no sentido longitudinal. Usado para embalagem de sacos de papel.

Kraft natural ou em cores para outros fins: Fabricado com pasta química sulfato não-branqueada, essencialmente de fibra longa, geralmente na gramatura entre 30 a 150 g/m², monolúcido ou alisado, com resistência mecânica semelhante ao “Kraft natural para sacos multifolhados”. Usado para fabricação de sacos de pequeno porte, sacolas e embalagens em geral.

Kraft branco ou em cores: Fabricado com pasta química sulfato branqueada, essencialmente de fibra longa, geralmente na gramatura entre 30 a 150 g/m², monolúcido ou alisado. Usado como folha externa em sacos multifolhados, sacos de açúcar e farinha, sacolas e, nas gramaturas mais baixas, para embalagens individuais de balas, etc.

Tipo Kraft de 1^a: Papel para embalagem, semelhante ao “Kraft natural ou em cores”, porém com menor resistência mecânica, fabricado com pelo menos 50% de pasta química, geralmente na gramatura superior a 40 g/m², monolúcido ou não. Usado geralmente para saquinhos, etc.

Tipo Kraft de 2^a: Papel semelhante ao “tipo Kraft de 1^a”, porém com resistência mecânica inferior, geralmente na gramatura superior a 40 g/m², monolúcido ou não. Usado para embrulhos e embalagens em geral.

Para papelão ondulado

Papel para embalagem, utilizado na fabricação de papelão ondulado. Distinguem-se nos seguintes subitens:

Miolo (fluting): Papel fabricado com pasta semiquímica e/ou mecânica, e/ou aparas, tendo geralmente gramatura entre 120 a 150 g/m². Usado na confecção do miolo para papelão ondulado.

Capa de 1ª (Kraftliner): Papel fabricado com elevada porcentagem de fibras virgens, geralmente na gramatura mínima de 120 g/m², em atendimento às especificações de resistência mecânica requeridas para constituir capa ou forro das caixas de papelão ondulado.

Capa de 2ª (testliner): Papel semelhante ao “capa de 1ª”, porém com propriedades mecânicas inferiores, devido à utilização de proporção considerável de matérias-primas recicladas.

White top liner: Papel fabricado com elevada porcentagem de fibras virgens, geralmente com gramatura entre 150 a 385 g/m², em atendimento às especificações de resistência mecânica requeridas para constituir parte das caixas de papelão ondulado.

4 PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS

Higiênico

Papel para fim específico. Quanto à qualidade, diferenciam-se vários subgrupos, que são destacados a seguir.

Popular: Papel fabricado com pasta mecânica e/ou aparas, em folha única, natural ou em cores, na gramatura em torno de 35 g/m².

Folha simples de boa qualidade: Papel fabricado com pasta química e/ou aparas não branqueada e/ou pasta mecânica e/ou aparas de boa qualidade, tratadas quimicamente, em folha única, semibranco ou em cores, na gramatura entre 25 a 30 g/m².

Folha simples de alta qualidade: Papel fabricado com pasta química e/ou aparas branqueada de boa qualidade, tratadas quimicamente, macio, em folha única, branco ou em cores, na gramatura entre 25 a 28 g/m².

Folha dupla de alta qualidade: Papel fabricado com pasta química e/ou aparas branqueada, incluindo ou não aparas de boa qualidade tratadas quimicamente, macio, na gramatura entre 16 a 18 g/m², para uso em folha dupla, branco ou em cores.

Toalha de cozinha e de mão

Papel fabricado para fim específico, natural ou em cores, na gramatura entre 25 a 50 g/m². Usado em folha única ou dupla.

Guardanapo

Papel crepado ou não, fabricado com pasta química branqueada, incluindo ou não aparas de boa qualidade tratadas quimicamente, para fim específico, na gramatura entre 18 a 25 g/m², para uso em folha única ou dupla, branco ou em cores.

Lenço

Papel fabricado com pasta química branqueada, incluindo ou não aparas de boa qualidade tratadas quimicamente, na gramatura entre 15 a 18 g/m², para uso em folhas múltiplas na confecção de lenços faciais ou de bolso, branco ou em cores.

Lenço hospitalar

Papel fabricado com pasta química branqueada, incluindo ou não aparas de boa qualidade tratadas quimicamente, na gramatura entre 15 a 30 g/m², para uso específico.

5 PAPELCARTÃO

Papelcartão

Produto resultante da união de várias camadas de papel e sobrepostas, iguais ou distintas, que se aderem por compressão. Celulose virgem e materiais celulósicos recicláveis podem ser utilizados. O papelcartão é fabricado com 200 a 500 g/m², com ou sem revestimento superficial. Tipos mais comuns de papelcartão:

Duplex: Possui a superfície branca e apresenta miolo e verso escuros. Utilizado em embalagens diversas, tais como: sabão em pó, medicamentos, cereais, gelatinas, mistura para bolos, biscoitos, brinquedos, auto peças, utensílio doméstico etc.

Triplex: Sua superfície e verso são brancos e seu miolo é escuro. Normalmente usado em embalagens de chocolates, cosméticos, medicamentos, fast food e bebidas.

Sólido (Folding): Apresenta todas as suas camadas brancas. Usado em embalagens de cigarros, cosméticos, medicamentos, higiene pessoal, fast food, capas de livros e cartões postais.

Cartolina

Produzida por massa única (mono camada) com ou sem revestimento superficial, pode apresentar-se em várias cores.

Para copos: Rigidez controlada, resistente a recravagem, com alta colagem, fabricada com pasta química branqueada, na gramatura entre 150 a 270 g/m², para confecção de copos (fundo e corpo).

Branca e cores para impressos: Fabricada essencialmente com pasta química branqueada, em uma só massa e uma só camada, com ou sem tratamento superficial, alisada ou super calandrada, na gramatura entre 120 a 290 g/m².

Usada para impressos, pastas para arquivos, cartões de visita e comerciais, confecção de fichas e similares.

Outras branca e cores: Fabricadas com pastas químicas, semiquímicas, aparas e/ou pasta mecânica, em uma só massa e em várias camadas, na máquina de papel ou de colar (bristol), alisada ou monolúcida, na gramatura entre 120 a 290 g/m². Usada para confecção de pastas para arquivos, calendário, etiquetas, encartes escolares, fichas pautadas, cartões de ponto, capas de livros e cadernos, separadores de matéria, etc.

Papelão

Cartão de elevada gramatura e rigidez. Fabricado essencialmente de pasta mecânica e/ou aparas, geralmente em várias camadas da mesma massa. Sua cor é consequência dos materiais empregados na sua fabricação. Usado na encadernação de livros, suporte para comprovantes contábeis, caixas e cartazes para serem recobertos.

Comercializado em formatos e identificados por números que indicam a espessura das folhas contidas num amarrado de 25 quilos. Vide subitens para melhor classificação:

Papelão madeira ou papelão paraná: É o cartão fabricado com fibras geralmente virgens de pasta mecânica ou mecanoquímica. O papelão pardo obtido de pasta mecânica em toras pr-impregnadas com vapor deve ser incluído neste item.

Papelão cinza: Cartão obtido a partir de aparas recicladas.

Papelão laminado: Fabricado essencialmente de aparas, obtido por colagem de folhas sobrepostas, não revestidas na superfície, na gramatura entre 349 a 1749 g/m², em folhas.

Polpa moldada

Produto obtido a partir da desagregao ou separao das fibras de aparas de jornal e outras, que misturadas a água e produtos químicos formam uma massa natural ou em cores, que dará origem a produtos como bandejas para acondicionamento, transporte e proteo de hortifrutigranjeiros, calços para lâmpadas, celulares, geladeiras e fogões.

6 PAPÉIS ESPECIAIS

Base para carbono

Papel para fim específico, fabricado com pasta química, geralmente na gramatura até 24 g/m², branco ou em cores. Usado como base para fabricao de papel carbono.

Cigarro e afins

Cigarro: Papel para fim específico, fabricado com pasta química branqueada, de fibras têxteis e/ou madeira, geralmente contendo carga mineral até 26%, nas gramaturas entre 13 a 25 g/m², não colado, de alta opacidade, com marca d'água, "velin" ou marca filigrana, com combustibilidade controlada, com ou sem impregnantes. Usado em bobinas para confeco mecânica de cigarros ou em resmas e mortalhas, quando para confeco manual.

Ponteiras: Papel fabricado com pasta química branqueada, nas gramaturas entre 30 a 40 g/m², com alta opacidade, branco ou em cores, usado como envoltório externo de filtro de cigarros.

Bastão: Papel fabricado com pasta química branqueada, nas gramaturas entre 25 a 30 g/m², para envoltório interno de filtro de cigarros, ou seja, diretamente em contato com o filtro.

Crepados

Papel para fins específicos, com crepagem obtida durante a fabricação para aumentar sua elasticidade e maciez, fabricado essencialmente com pasta química. Usado para reforço de costura em sacos multifolhados, base para fitas adesivas, germinação de sementes, base para lençóis plásticos, etc.

Desenho

Papel para fim específico, fabricado com pasta química, geralmente nas gramaturas de 100 a 280 g/m², com acabamento de máquina e tratado na massa ou na superfície, de modo a resistir a ação da borracha.

Heliográfico

Papel para fim específico, fabricado com pasta química branqueada, com baixo teor de ferro, com absorção uniforme, nas gramaturas de 40 a 120 g/m², bem colado, alisado, branco ou levemente colorido.

Absorvente e filtrante

Papéis para fins específicos. Vide subitens para melhor classificação:

Filtrante: Papel fabricado geralmente com pasta química, nas gramaturas de 80 a 400 g/m², com características definidas quanto ao uso.

Absorvente base para laminados: Papel fabricado com pasta química sem colagem, com formação e espessura uniformes, de alta absorção, geralmente com 150 a 270 g/m², utilizado para impregnação com resinas sintéticas na fabricação de laminados plásticos.

Papel Kraft absorvente para impregnação: Papel fabricado com pasta química essencialmente de fibra longa, com formação uniforme, isento de furos, com alta absorção e gramaturas entre 18 a 150 g/m², de acordo com as finalidades a que se destinam, usado para impregnação com resinas fenólicas e outras sintéticas, na fabricação de tubos e placas.

8 NÃO CLASSIFICADOS

Kraft especial para cabos elétricos: Papel Kraft neutro fabricado com celulose Kraft natural isenta de metais e outros materiais condutores de eletricidade, com elevada resistência mecânica e elétrica, com gramaturas de 30 a 150 g/m², sem furos ou grumos, usado para fabricação de cabos elétricos.

Kraft especial para fios telefônicos: Papel Kraft natural ou cores (verde, azul e vermelho), com elevada resistência mecânica, fabricado nas gramaturas de 30 a 60 g/m², sem furos ou grumos, e usado no espiralamento individual de cada fio condutor de cabos telefônicos.

Kraft especial para condensadores: Papel fabricado com pasta química sulfato e/ou pastas de fibras de algodão ou outras fibras anuais. Com permeância ao ar, absorção de líquidos e eletrolíticos e pureza química específicos, isento de cloretos solúveis.

Papéis para utilização em envelopes

Produzidos a partir de pasta química de madeira de fibra curta branqueada, misturada com pasta mecânica ou pasta química de fibra longa, geralmente nas gramaturas entre 60 e 150 g/m².

Papéis decorativos

Produzidos a partir de pasta química de madeira de fibra curta branqueada, misturada com pasta química de fibra longa, geralmente nas gramaturas entre 30 a 150 g/m². Usado para revestimento de chapas de madeira ou compensados, utilizados em móveis e pisos.

Papéis químicos

São papéis que recebem tratamento químico em sua superfície, o que possibilita a obtenção de cópias, através de reação química. O tratamento químico prevê revestimento que, em conjunto, originam vários tipos de papéis químicos. Utilizado em notas fiscais, formulários, aparelhos de fax, etc.

ANEXO F**Importância dos nutrientes mais utilizados na adubação em plantios florestais
(AMBIENTE BRASIL, 2004)**

Nutriente	Importância
Nitrogênio (N)	É o elemento mais importante para a elaboração de substâncias no interior da célula e na clorofila, sendo portanto fundamental para os processos vitais da planta.
Fósforo (P)	Mantém o crescimento das raízes, da inflorescência e das sementes, favorece o processo de lignificação e é importante para a atividade da microflora e microfauna do solo.
Potássio (K)	Influencia a atividade das enzimas, regula o balanço de água das plantas e é componente indispensável para a constituição da celulose e do processo de lignificação.
Cálcio (Ca)	Atua como regulador dos nutrientes das plantas, protege a formação da clorofila, tem importância como elemento da estrutura das plantas e é um bom desacidificador do solo.
Magnésio (Mg)	Atua na formação das clorofilas e conseqüentemente tem influência na fotossíntese.

ANEXO G

Produção brasileira de pastas químicas, em toneladas (BRACELPA, 2002)

<i>Por Processos e Matérias-Primas Fibrosas</i>	2001	2002
FIBRA CURTA	5.466.325	5.963.305
BRANQUEADA	5.292.351	5.751.391
Processo Sulfato	5.243.303	5.692.854
Eucalipto	5.243.303	5.692.854
Aracruz Celulose SA	1.272.388	1.656.048
Bahia Sul Celulose SA	595.400	593.479
Celulose Nipo-Brasileira SA	792.344	830.813
Cia Suzano de Papel e Celulose	377.099	395.371
International Paper do Brasil Ltda	334.185	342.663
Jari Celulose SA	326.310	290.365
Klabin SA	99.335	102.970
Lwarcel Celulose e Papel Ltda	86.048	100.414
Riocell SA	261.712	275.688
Ripasa SA Celulose e Papel	297.777	300.294
Votorantim Celulose e Papel SA	800.705	804.749
Soda	49.048	58.537
Eucalipto		
Nobrecel SA - Celulose e Papel	49.048	58.537
NÃO BRANQUEADA	173.974	211.914
Processo Sulfato	167.011	204.669
Eucalipto	167.011	204.669
Cia Suzano de Papel e Celulose	23.755	23.680
Klabin SA	112.211	149.486
Lwarcel Celulose e Papel Ltda	4.360	4.567
Riocell SA	21.224	21.725
Ripasa SA Celulose e Papel	5.461	5.211
Soda	6.963	7.245
Eucalipto		
Iguaçu Celulose, Papel SA	6.963	7.245
FIBRA LONGA	1.438.495	1.508.728
BRANQUEADA	70.985	88.208
Processo Sulfato	42.430	55.111
Pinheiro		
Klabin SA	42.007	53.711
Sisal		
Lwarcel Celulose e Papel Ltda	343	693
Outras		
Lwarcel Celulose e Papel Ltda	80	707
Sulfito	25.167	27.431
Pinheiro		
Cambará SA - Produtos Florestais	25.167	27.431
Soda	3.388	5.666

Por Processos e Matérias-Primas Fibrosas	2001	2002
Linter	3.388	5.666
Arjo Wiggins Ltda	1.307	2.990
Serrana Papel e Celulose	2.081	2.676
NÃO BRANQUEADA	1.367.510	1.420.520
Processo Sulfato	1.193.289	1.239.883
Pinheiro	1.192.797	1.239.680
Araupel SA	3.280	0**
Celulose Irani SA	63.167	63.542
Cocelpa - Cia de Celulose e Papel do Paraná	50.282	47.658
Klabin SA	711.259	745.631
Orsa Celulose, Papel e Embalagem SA	76.211	85.412
Primo Tedesco SA	53.612	53.612*
Rigesa Celulose, Papel e Embs Ltda	200.608	205.339
Trombini Embalagens Ltda	34.378	38.486
Sisal		
Lwarcel Celulose e Papel Ltda	469	203
Outras		
Lwarcel Celulose e Papel Ltda	23	0
Sulfito	6	0
Pinheiro		
Cambará SA - Produtos Florestais	6	0
Soda	174.215	180.637
Pinheiro	99.687	100.434
Iguaçu Celulose, Papel SA	81.687	82.434
(e)	18.000	18.000
Bambu	74.528	80.203
Cia Indústrias Brasileira Portela	25.742	26.382
Itapagé SA Celulose, Papéis e Artefatos	48.786	53.821
Total	6.904.820	7.472.033

Produção brasileira de pastas semiquímicas, em toneladas (BRACELPA, 2002)

Por Processos e Matérias-Primas Fibrosas	2001	2002
FIBRA CURTA	38.646	53.664
BRANQUEADA	0	0
NÃO BRANQUEADA	38.646	53.664
Soda	38.646	53.664
Eucalipto		
Klabin SA	27.646	42.664
Bagaço de Cana	11.000	11.000
(e)		
FIBRA LONGA	0	0
Total	38.646	53.664

Produção brasileira de pastas de alto rendimento, em toneladas (BRACELPA, 2002)

Por Estados e Fabricantes	2.001	2.002
PASTA MECÂNICA	210.379	230.316
Minas Gerais		
Melhoramentos Florestais SA	12.614	14.905
Paraná	143.410	159.214
Agibert Madeira e Derivados SA	2.880	3.600
Diogo da Silva	1.594	1.942
Estrela Ind. de Papel Ltda	1000*	1.000
Fapar-Polpa de madeiras Ltda	800	820
Fapolpa Indústria de Polpa Ltda	0	150
Ibema – Cia Brasileira de Papel	9.308	8.882
Ind. de Papel Amazonas Ltda	2.300	2.450
Ind. e Com. Dallegrove SA Mads e Papel	3900 e	3.316
Ind. Paranaense Pasta Mecânica Ltda	954	952
INSAM - Inds Mads Sta Maria Ltda	4.325	4.360
KLABIN SA	70.811	82.920
Madereira Cerealista Santini Ltda	1.500	1.472
Madereira Miguel Forte SA	7.915	8.651
Madereira Princesa dos Campos Ltda	1.900	1.720
Norske Skog Pisa Ltda	25.212	25.237
Papelão Apucarantina Ltda – PASA	2.600	1.800
Pasta Mecânica Hensa Ltda	98	88
Piquiri Ind. e Com. de Papéis Ltda	2.728	3.325
Serpasta Mads, Pasta de Celulose Ltda	2.474	2.359
Sta Clara Inds. De Cartões Ltda	51	0
Sta Clara Ind. de Pasta e Papel Ltda	1.060	4.170
Santa Catarina	54.355	56.197
Adami SA Madeiras	5.680	4.459
Avelino Bragagnolo SA Ind. e Comércio	3.960	2.500
Celulose Irani SA	765	0
Hachmann SA Ind. e Comércio	3.379	7.200
Heidrich Indl Mercantil e Agric SA	9.000	9.000
Iguaçu Celulose, Papel SA	2.478	1.393
Ind. de Papel L Dall'Asta Ltda	6.900	7.300
Indl Agric Rio Verde Ltda	7.989	9.900
Irmãos Brancher & Cia Ltda	2.630	3.100
Marombas Ind. e Com. de Mads e Papelão	4.500	4.315
Papel Frascal Sul Ltda	2.174	2.030
Polpa de Mads Ltda	1.200	1.300
T E A Indústria e Comércio	3700*	3.700
PASTA QUIMIMECÂNICA	8.744	14.069
Santa Catarina		
Celulose Irani SA	8.744	14.069
PASTA TERMOMECÂNICA	163.846	163.748
Paraná		
Norske Skog Pisa Ltda	128.842	122.049
São Paulo		

Por Estados e Fabricantes	2.001	2.002
Melhoramentos Papéis Ltda	35.004	41.699
PASTA QUIMITERMOMECÂNICA	85.592	87.265
Paraná	85.592	87.265
Boese & Cia Ltda	3.206	3.046
Inpacel - Ind. de Papel Arapoti SA	82.386	84.219
TOTAL	468.561	495.398
PRODUÇÃO TOTAL DE PASTAS	7.412.027	8.021.095

(e) Estimativa das empresas não informantes há mais de dois anos

* Dado não atualizado

** Paralisada

ANEXO H

Potenciais de redução de alguns oxidantes (QUÍMICA NOVA, 2001)

Semi-reação	e ^o , V
$O_3 + 2 H^+ + 2e^- \rightarrow O_2 + H_2O$	2,07
$H_2O_2 + 2 H^+ + 2e^- \rightarrow 2 H_2O$	1,78
$HClO_2 + 3 H^+ + 4e^- \rightarrow Cl^- + 2 H_2O$	1,56
$HOCl + H^+ + 2e^- \rightarrow Cl^- + H_2O$	1,49
$HSO_5^- + 2 H^+ + 2e^- \rightarrow HSO_4^- + H_2O$	1,44
$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2 Cl^-$	1,36
$ClO_2 + H^+ + e^- \rightarrow HClO_2$	1,15
$CH_3CO_3H + 2 H^+ + 2e^- \rightarrow CH_3CO_2H + H_2O$	1,06
$ClO^- + H_2O + 2e^- \rightarrow Cl^- + 2 OH^-$	0,90
$HOO^- + H_2O + 2e^- \rightarrow 3 OH^-$	0,87
$ClO_2^- + 2 H_2O + 4e^- \rightarrow Cl^- + 4 OH^-$	0,78
$O_2 + 2 H_2O + 4e^- \rightarrow 4 OH^-$	0,40

ANEXO I

A figura 1 apresenta o fluxograma da fabricação de papel offset a partir da celulose de eucalipto branqueada.

Os procedimentos de cálculos empregados para relacionar as entradas e saídas de cada unidade de processo, consideram que:

- a fábrica produz 1000 ADMT de celulose de eucalipto branqueada por dia;
- a fábrica de papel offset trabalha com uma máquina de 650 t/dia de produção.

Desse modo o balanço de massa de todo o ciclo de vida do papel offset iniciou-se inversamente pelo fluxo de saída do papel offset e foram sendo calculados os outros fluxos intermediários até chegar-se ao cultivo da muda. A etapa inicial do ajuste para o balanço mássico, segue abaixo:

27,08 t/h de papel offset.....650 t/dia de papel offset

x.....1000 t/dia de papel offset

Obteve-se o valor de 41,67 t/h relativo a 1000 t/dia de papel offset. Alguns fluxos de insumos necessários ao processo produtivo do papel offset foram corrigidos com os dados obtidos com as empresas consideradas no modelo em estudo.

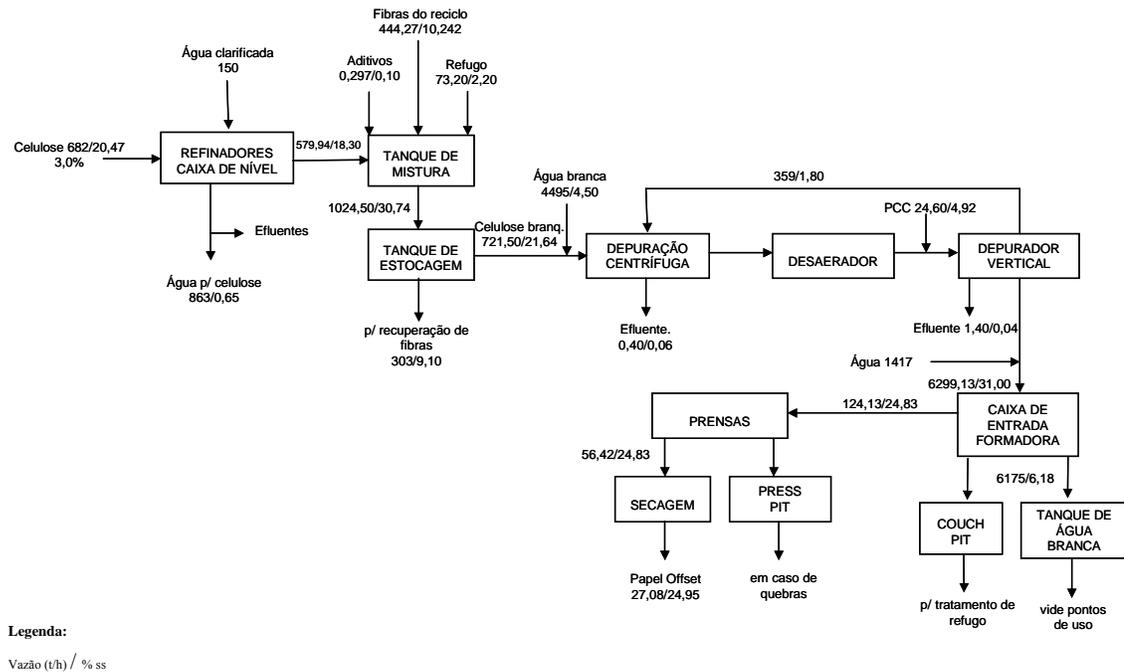


Figura 1: Fabricação de papel offset a partir da celulose de eucalipto branqueada (PECE/USP, 2005)

Os cálculos empregados resumem-se em regra de três simples:

27,98 t/h de papel offset.....41,67 t/h de papel offset

56,42 t/h papel (prensas).....y

$y = 86,82$ t/h papel (prensas)

A figura 2 apresenta o balanço de massa da fábrica de papel offset relativo à produção de 41,67 t/h de papel. A partir dessa figura, foi obtido o balanço mássico para a máquina de papel offset, que é apresentado na figura 30.

Os balanços de massa dos outros subsistemas do ciclo produtivo do papel offset foram calculados com referência à figura 30, aplicando os mesmos procedimentos de cálculo.

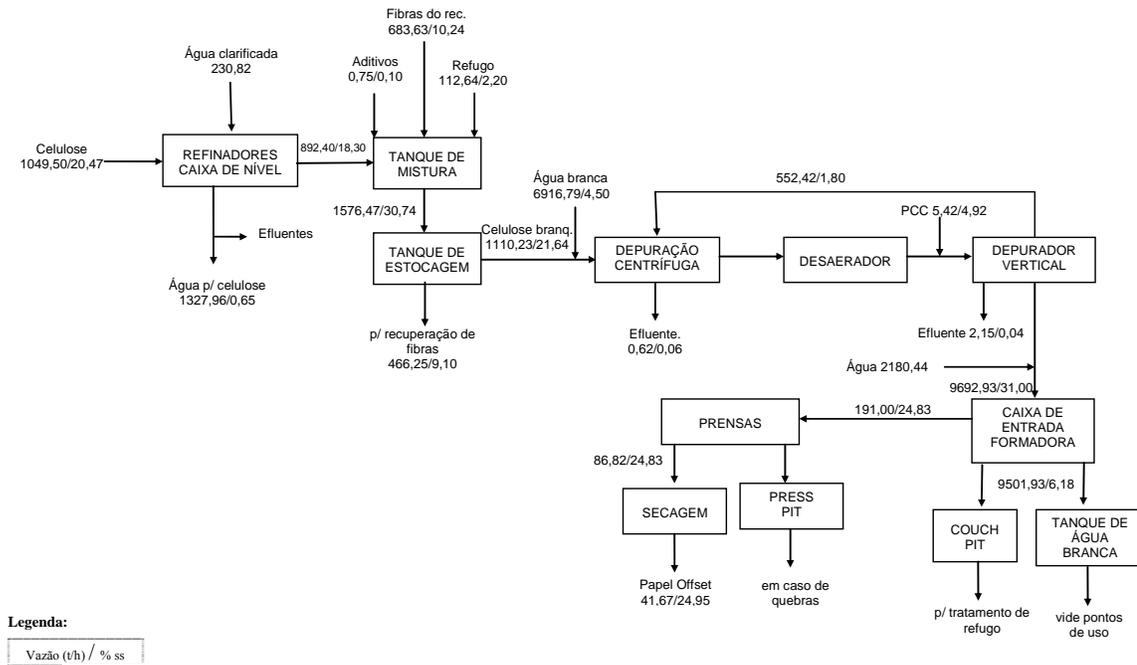


Figura 2: Balanço de massa da fábrica de papel offset relativo à produção de 41,67 t/h de papel (adaptado de PECE/USP, 2005)

ANEXO J

**Características dos compostos malcheirosos formados durante a polpação sulfato
(DOUGLASS; PRICE, 1966 *apud* TECLIM, 2004)**

Composto	Ponto de Ebulição (°C)	Calor de combustão (kcal/mol)	Faixa de concentração explosiva no ar (%)	Limite de odor no ambiente (ppb)	Constante de dissociação (K)
H ₂ S	-61,8	124	4,3 - 45,5	0,4 - 5	$2,1 \times 10^{-7}$
(CH ₃)SH	+5,8	299	2,2 - 9,2	2 - 3	10 - 14
(CH ₃) ₂ S	+38	457	3,9 - 21,8	1	$4,3 \times 10^{-11}$
(CH ₃) ₂ S ₂	+118	530	-	-	não dissocia

ANEXO K

Folha de coleta de dados

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**

São Paulo, 03 de abril de 2004

Prezado Sr.

Sou mestrando em Engenharia Química pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, minha dissertação de mestrado refere-se à Avaliação do Ciclo de Vida do Papel Offset produzido no Brasil.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica da gestão ambiental que avalia o desempenho ambiental de produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida. Isto é realizado através do levantamento de dados ambientais associados a todas etapas do ciclo de vida do produto (ou seja, extração dos recursos naturais e seu processamento, manufatura do produto, sua distribuição, uso e disposição final). Neste estudo, em específico, será considerada da etapa de extração dos recursos naturais até a manufatura do papel offset.

A ACV é um instrumento de apoio à tomada de decisões e que pode ser usado na identificação de oportunidades de melhorias de produtos e processos, no ecodesign e no planejamento estratégico do setor.

A ACV vem assumindo uma importância a nível global, o Brasil vem se aprimorando na capacitação e uso desta técnica. O GP2 - Grupo de Prevenção da Poluição do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, tem como seu principal objetivo a contribuição para a consolidação do uso da ACV no Brasil. Desse modo, as atividades do GP2 têm se concentrado na construção de um banco de dados que deve ser adequado, obrigatoriamente, às condições regionais.

Para que possamos cumprir esta tarefa é imprescindível coletar dados ambientais das indústrias brasileiras, relativo ao consumo de recursos naturais (materiais e energéticos e geração de rejeitos (sejam emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos), com o objetivo de gerar um cenário que represente a realidade nacional.

Assim, solicito a colaboração de V.S^a. no preenchimento e retorno do formulário abaixo, salientamos o resguardo, se necessário, da confidencialidade das informações fornecidas pela empresa.

Coloco-me, desde já, a disposição para quaisquer informações adicionais.

Aguardando um retorno, agradeço antecipadamente,

Guilherme de Paula Galdiano
tel. rec. (11) 3091-2213
cel. (11) 7356-0037
guilherme.galdiano@poli.usp.br

FORMULÁRIO

Nome da empresa:.....
Unidade Industrial:
Responsável pelo preenchimento:
Telefone de contato:
Número de fax:
e-mail:

Característica da empresa:

- () Celulose integrada a produção de papel
() Celulose e pasta integrada a produção de papel
() Celulose de mercado

Quantidades Produzida:

- () Celulose Fibra Curta

Branqueada:.....t/dia;.....t/ano

() Celulose Fibra Curta Não

Branqueada:.....t/dia;.....t/ano

Processo Produtivo:

() Sulfato / Kraft

() Soda

() Sulfito

() ECF

() TCF

Efluentes Líquidos

Possui sistema de Tratamento de Efluentes? () Sim () Não

Compreende:

() Sistema para remoção de sólidos

() Sistema para Tratamento biológico.

Qual?.....

Percentual da vazão tratada:.....%

1) PRODUÇÃO FLORESTAL:

VIVEIRO	Unidade - sugerida	Quantidade
Água para irrigação	m ³ /t	
Área ocupada	ha	
Energia requerida	MJ/t	
Fertilizantes	ha/ano	
Defensivos	ha/ano	
Mudas / Sementes	plantas ou sementes/ano	
Transporte para campo	raio de abrangência em km	
Resíduos sólidos gerados	kg/ano	
Outros aspectos		

PLANTIO	Unidade - sugerida	Quantidade
Área requerida	ha	
Fertilizantes	ha/ano	
Defensivos	ha/ano	
Energia requerida	MJ/t	
Resíduos sólidos gerados	kg/ano	
Outros aspectos		

CORTE E TRANSPORTE	Unidade - sugerida	Quantidade
Energia requerida	MJ/t	
Madeira para ind.de papel e celulose	t/ano	
Resíduos sólidos	kg/ano	
Transporte para indústria	raio de abrangência em km	
Outros aspectos		

ANEXO L

A tabela 1 apresenta os aspectos ambientais da produção de celulose Kraft branqueada de eucalipto no Chile, baseado na produção de 365.000 toneladas de celulose/ano.

O tratamento dos dados foi realizado da seguinte maneira:

- converteu-se a produção de 365.000 t/ano para 1 t de celulose;
- multiplicou-se a produção de 1 t de celulose pelo valor de 823,46, que se refere a 823,46 kg de celulose necessários à produção de 1000 kg de papel offset, conforme informação obtida na coleta de dados.

Esta base de dados internacional é apresentada integralmente, no entanto, apenas alguns aspectos ambientais foram adotados como representativos (quando na ausência de dados primários) na complementação dos inventários dos subsistemas produção florestal e produção de celulose para o modelo em estudo.

Tabela 1: Inventário do ciclo de vida da celulose Kraft branqueada de eucalipto no Chile, tratado segundo procedimentos de cálculos (adaptado de VESOVIC et. al., 1998)

	Dados originais (base de dados internacional)	Dados convertidos ao fluxo de referência
PRODUÇÃO FLORESTAL	(t/ano)	(kg)
Viveiro		
Entradas principais		
Área requerida (hectares)	2,5	5,640E-03
Água para irrigação	1.200	2,707
Biocidas (como agentes ativos)	0,04	9,024E-05
Nutrientes (como NPK)	1,2	2,707E-03
Energia requerida (MJ/ano)	0.1E06	225,606
Saídas principais		
Mudas (plantas/ano)	7E06	15.792,3
Emissão de CO ₂ (fóssil)	7	1,579E-02
Resíduo sólido	0,03	6,768E-05
Plantio		
Entradas principais		
Terra para rotação sustentável	44.000	99,266
Área de plantio	4.300	9,701
CO ₂ sequestrado da atmosfera	1.400.000	3.158,480

	Dados originais (base de dados internacional)	Dados convertidos ao fluxo de referência
Biocidas (como agentes ativos)	58	0,131
Nutrientes (como NPK)	174	0,393
Energia requerida (MJ/ano)	2E06	4.512,110
Saídas principais		
Emissão de CO ₂ (fóssil)	117	0,264
Resíduos sólidos	3	6,768E-03
Corte		
Entradas principais		
Energia requerida (MJ/ano)	37E06	83.474,000
Saídas principais		
Madeira para polpação	652.000	1.470,950
Emissão CO ₂ (fóssil)	2.400	5,415
Emissão CO ₂ (renovável)	117.000	263,958
Resíduos sólidos	1.100	2,482
PRODUÇÃO DE CELULOSE		
Entradas principais		
Área requerida (hectares)	50	0,113
Madeira requerida	652.000	1.470,950
Água requerida no processo	14E06	31.584,760
Energia elétrica requerida (MJ/ano)		
Processamento da madeira	670E06	1.511.557,000
Transporte	140E06	315.847,700
Manufatura química	150E06	338.408,000
Hidróxido de sódio	8.030	18,110
Clorato de sódio	8.400	18,950
Carbonato de cálcio	8.000	18,048
Oxigênio	7.300	16,469
Ácido sulfúrico	7.000	15,792
Peróxido de hidrogênio	1.100	2,482
Metanol	1.000	3,380
Saídas principais		
Celulose produzida	365.000	823,460
Eletricidade vendida (MJ/ano)	432E06	974.615,600
Descarga de efluentes	13E06	29.328,700
DQO no efluente	9.000	20,345
AOX no efluente	109	0,246
Emissão CO ₂ (fóssil)	51.000	115,060
Emissão CO ₂ (renovável)	668.000	1.507,040
Emissão SO ₂	770	1,737
Emissão material particulado	440	0,993
Emissão TRS	170	0,384
Emissão NO _x	1.000	2,561
Emissão HAP	110	0,248

	Dados originais (base de dados internacional)	Dados convertidos ao fluxo de referência
Resíduos sólidos	40.000	90,242

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABICLOR - Associação Brasileira da Indústria de Álcalis, Cloro e Derivados. *A indústria brasileira de cloro / soda*. Obtido em <<http://www.clorosur.org/>> na data de 20/08/04.

ABIMCI - Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. *Estudo Setorial 2003. Produtos de Madeira Sólida*. Curitiba, 2003.

ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química. *Anuário da Indústria Química Brasileira*. São Paulo, 2004

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. *Alternativas para aumentar a eficiência do branqueamento ECF de polpa Kraft de eucalipto*. São Paulo, 2002.

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. *Ata de Reunião - Comissão permanente de meio ambiente da abtcp*. São Paulo, 1995.

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. *Avaliação de seqüências de branqueamento ECF e TCF com ozônio e peróxido de hidrogênio na Bahia Sul celulose, 32º Congresso Anual de Celulose e Papel*. São Paulo, 1999.

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. *VCP: responsabilidade ambiental por dentro*. Obtido em <http://www.abtcp.org.br/m5.asp?cod_noticia=447&cod_pagina=496> na data de 17/08/04.

ABTCP-TAPPI - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel e The leading technical association for the worldwide pulp, paper, and converting industry. *Efeito da deslignificação com oxigênio nas propriedades físico-mecânicas de polpas Kraft, Pulp and Paper International Congress*. São Paulo, 2000.

AMBIENTE BRASIL. *Silvicultura do Eucalipto (Eucalyptus sp.)* Obtido em <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./florestal/eucalipto.html#top>> na data de 17/05/04.

ANÁLISE FINANCEIRA - Portal de interesse em finanças e riscos. Obtido em <<http://www.analisefinanceira.com.br/interesses/dicionario.htm#B>> na data de 04/10/04.

ANDRADE, H. *Avaliação do ciclo de vida de produtos: transparência na gestão ambiental das empresas*. Obtido em <http://www.ecoviagem.com.br/ecoartigos/def_

ecoartigos.asp?codigo=4613> na data de 21/01/03.

ANDRADE, T. M. *Plantio Sustentável*. Artigo da AEFES – Associação dos Engenheiros Florestais do Espírito do Santo, Espírito Santo, 2004.

ARACRUZ. *Últimas notícias - aracruz bate recorde de produção no 3. trimestre.*, 2005b. Disponível em <<http://www.aracruz.com.br/web/pt/imprensa/noticias/noticias150.htm>> na data de 02/07/04.

ASSESSORIA DE IMPRENSA DA UNICAMP. *Unicamp desenvolve pesquisas sobre resíduos de papel em rios*. Agência de Imprensa Oficial, Campinas, 2004.

AUSTIN SETORIAL - Análise Setorial. *Papel e Celulose*. Publicado na data de 03/09/03. Obtido na Associação Brasileira de Papel e Celulose na data de 10/03/04.

BAJAY S. V.; BERNI M. D.; LIMA C. R., 2005. Papel e Celulose. In ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN. *Uso da Biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Campinas: Editora Unicamp, 2005. p. 269 - 312.

BARCELLOS, E. B. *Ações de comprometimentos com o desenvolvimento sustentável*. Seminário da Votorantim Celulose e Papel, São Paulo, 1998.

BIERMANN, C. J.. *Handbook of pulping and papermaking*. Cap. 8 – Stock preparation and additives for papermaking. San Diego, 1996.

BORGES, F. J. *Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil*. 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

BRACELPA - Associação Brasileira de Papel e Celulose. *Desempenho do setor em 2003*. Obtido em <<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=1984>> na data de 07/01/04.

BRACELPA - Associação Brasileira de Papel e Celulose. *Relatório Estatístico Anual*. São Paulo, 2002.

BRACELPA - *Brazilian competitiveness – A new reality to be faced*. São Paulo, 1998, Management Seminar presented by Rainer Häggblom - Jaakko Pöyry Consulting Oy.

BRANCO, G. M. Impacto Ambiental da frota diesel até 2030 – estudo de caso: rmsp. 3º Seminário Internacional AFEEVAS, Brasília, 2004.

BROWN, L. R. *Eco-economia: construindo uma economia para a terra*. Salvador, UMA - Universidade Livre da Mata Atlântica, 1ª edição, 2003.

BURGESS, A. A. e BRENNAN, D. J. *Application of life cycle assessment to chemical process*. Australia, 2001. Obtido em <<http://www.ciclodevida.ufsc.br/artigos/ciclodevida26.pdf>> na data de 05/06/03.

CAII - Companhia Agro Industrial Igarassu. *Processo produtivo da cia agro industrial igarassu*. Obtido em <<http://www.caii.com.br/ctudo-produtosprocesso.html>> na data de 20/08/04.

CCE - Centro de Comunicação e Expressão da Universidade Federal de Santa Catarina. *Processos Gráficos*. Obtido em <<http://www.cce.ufsc.br/~berenice/prodgraf/profinal.pdf>> na data de 01/09/04.

CEMPRE/ CETEA - Compromisso Empresarial para Reciclagem e Centro de Tecnologia em Embalagem. *Avaliação do ciclo de vida. Princípios e Aplicações*. São Paulo, 2002.

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral. *Tecnologia do caulim: ênfase na indústria de papel*. Série Mineral Industrial, Rio de Janeiro, 2000.

CETESB - Companhia de Engenharia e Tecnologia em Saneamento Básico. *Nota técnica (NT - 18) sobre tecnologia de controle: fabricação de celulose (Kraft) e papel*. São Paulo, 1990.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Estudo de mercado dos minerais industriais*, 2000.

CHARÃO C., GIRARDI G. *Florestas que salvam florestas – Árvore cultivada para produzir papel protege matas nativas*. Obtido em <<http://revistagalileu.globo/Galileu/0,6993,ECT328774-1719,00.html>> na data de 21/09/04.

CHEHEBE, J. R. B. *Análise do ciclo de vida de produtos. Ferramenta Gerencial da ISO 14000*. Qualitymark Ed. Rio de Janeiro, 1998.

CHRISTIANSEN, K. Life cycle assessment in a historical perspective. In: Workshop internacional sobre análise de ciclo de vida, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*. Rio de Janeiro, ABNT, GANA, ISO, 1996. p. 121.

CNP/FINEP/IPT - Conselho Nacional do Petróleo, Financiadora de Estudos e Projetos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Conservação de energia na indústria de celulose e papel. Manual de recomendações*. Vol. I, São Paulo, 1985.

COLTRO, L.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. C. *Life cycle inventory for electric energy system in Brazil*. International Journal of Life Cycle Assessment, 8 (5), p. 290-296, 2003.

CORNACCHIONI, L. A questão florestal e o desenvolvimento – Fomento Florestal e Aspectos Sociais. BNDES e Suzano Bahia Sul, 2003. Obtido em <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/florestal20.pdf#search='dist%C3%A2ncia%20km%20suzano%20florestais'>> na data de 10/05/03.

COSTA R. *Meio ambiente, preocupação das pesquisas com papel*. Obtido no Portal da UNICAMP em <http://www.unicamp.br/unicamp/divulgacao/BDNP/NP_391/NP_391.html> na data de 10/08/2004.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D.; TSUKAMOTO, A. A. F.. *Florestas plantadas para energia: aspectos técnicos, sócio-econômicos e ambientais*. Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Engenharia Florestal, obtido em <http://www.cgu.unicamp.br/energia2020/papers/paper_Couto.pdf> obtido na data de 31/01/05.

CPRH e GTZ - Companhia Pernambucana de Meio Ambiente e Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. *Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização: indústria de papel e celulose*. Projeto Brasil - Alemanha. Recife, 1998.

CURRAN, M. A. *Environmental life-cycle assessment*. McGraw-Hill. New York, McGraw-Hill, 1996.

CURRAN, M. A. et. al.. Fundamentals of LCA in LCA/LCM Conference. Seattle, 2003. Obtido em <<http://www.lcacenter.org/InLCA-LCM03/Fundamentals-presentation.pdf>> na data de 10/10/04.

DAVID, L. De. *Monocultivo de árvores, papel e celulose na metade sul do rs*. Obtido em <http://www2.sof.org.br/marcha/paginas/desertoVerde/docs/Monocultivo_de_arvores.rtf> na data de 08/03/06.

DENCE, C. W.; REEVE, D. W. *Pulp bleaching: principles and practice*, in TAPPI, Atlanta, 1996. Obtido em <<http://www.clo2.com/factsheet/raw/raw.htm>> na data de 28/10/2004.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. *Sumário mineral nacional*, 2004. Obtido em <<http://www.dnpm.gov.br/portal/assets/galeriaDocumento/>>

SumarioMineral2004/sumariomineral2004.htm >. na data de 16/08/04.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. *O universo da mineração brasileira*, 2000. Obtido em <http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/univmi00.pdf> na data de 20/08/04.

ECOBILAN. *Life Cycle Assessment*, Paris. Obtido em <http://www.ecobalance.com/uk_lca.php> na data de 08/09/04.

EIA - Programme on Advanced Energy-Efficient Technologies for the Pulp and Paper Industry. *Annex XII: Assessment of life-cycle-wide energy-related environmental impacts in the pulp and paper industry*. Final Report. Norway, 1999.

EKA CHEMICALS / AKZO NOBEL. *The SVP Processes*. Publicado por Cellchem, Sweden, 2002a. Obtido em <http://www.cellchem.com/cont32_11.html> na data de 22/11/04.

EKA CHEMICALS DO BRASIL S.A.. *Clorato de sódio*. Jundiaí. Obtido em <http://www.ekachemicals.com.br/producao/index.htm>> na data de 22/11/04.

EKA CHEMICALS. *Sodium chlorate product information manual*. Sweden. Obtido em <http://www.eka.com/Eka/Businesses/PP/Sodium/> > na data de 22/11/04.

EKA CHEMICALS. *Sodium Chlorate*. Publicado por Cellchem, Sweden, 2002b. Obtido em http://www.cellchem.com/docs/products-services/sodium_chlorate.htm> na data de 22/11/04.

EKA CHEMICALS/AKZO NOBEL. *Certified environmental product declaration (EPD) for sodium chlorate (NaClO₃)*, Sweden. Obtido em <http://www.environdec.com/reg/e_epd30.pdf> na data de 30/11/05.

ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND et. al.. *Environmental comparison of bleached kraft pulp manufacturing technologies*. Paper Task Force. USA, 1995. Obtido em <http://environmentaldefense.org/documents/1633_APP10-12.pdf> na data de 05/06/05.

ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY BEST PRACTICE PROGRAMME. *Life-Cycle Assessment – An introduction for industry*. United Kingdom, 2000. Obtido em <[http://www.tangram.co.uk/TI-Life_Cycle_Assessment_\(ET257\).pdf](http://www.tangram.co.uk/TI-Life_Cycle_Assessment_(ET257).pdf)> na data de 10/06/2004.

EPA - United States Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. *LCA 101 - Introduction to LCA*. 2001. Obtido em

<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/LCA101_printable.pdf .> na data de 23/07/03.

EPA - United States Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. *Pulp and Paper Industry Sector Notebook Project*, 2002.

EPA - United States Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. *Life-cycle assessment: Inventory guidelines and principles*. Washington, 1993.

FESSEL, V. A. G. *Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado, de eucaliptus grandis, implantados com cultivo mínimo de solo*. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

FONSECA et. al. *Tratamento de Efluentes Líquidos em indústria de papel e celulose*. Centro Superior de Educação Tecnológica - CESET/UNICAMP. Limeira, 2003.

FURTADO, M. *Papel e celulose – Fibra curta em alta faz setor desengavetar grandes projetos*. Obtido na Revista Química e Derivados, edição nº 430, 2004a.

FURTADO, M. M. Cargas Minerais. *Imerys compra negócio de carbonatos da quimbarra*. Obtido na Revista Química e Derivados, edição nº 430, 2004b.

GDRC - The global development research center - *Life cycle analysis and assessment*. Obtido em <<http://www.gdrc.org/uem/waste/file-cycle.html>> na data de 31/03/04.

GOMES, M. T. O.; FERNANDES, P. C. S.; VALENÇA, A. C. V. *Caulim para revestimentos de papéis e cartões*. BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. São Paulo. Obtido em <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/caulim.pdf>> na data de 10/08/04.

GRISEL L., *History and principles – Life cycle assessment as a management tool. Ecobilan*. In: 1º Workshop international sobre análise de ciclo de vida, Rio de Janeiro, 1996. *Anais*. Rio de Janeiro, ABNT, GANA, ISO, 1996.

HANSEN, P. *Industrious use of recycled materials*. Disponível em <<http://batch1.csd.uwm.edu/Dept/CBU/about/industrious.html>>.na data de 30/01/04.

HISCHIER, R.; KUNST, H. *Hydrogen peroxide and anthraquinone*. In: ALTHAUS, H. J. et. al. *Lyfe Cycle Inventories of Chemicals*. Ecoinvent report n. 8. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004. p. 370-378. Software desenvolvido por ifu Hamburg GmbH.

IIED – International Institute for Environmental and Development. *Towards a sustainable paper cycle*. Prepared for the World Business Council for Sustainable Development. London, 1996.

IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control. *Reference document on best available techniques in the chlor-alkali manufacturing industry*. European Commission, 2001.

IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. *Estimativa de preço máximo de madeira para substituição de óleo combustível*. Piracicaba, 1983.

IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. *Estimativa de preço máximo de madeira para substituição de óleo combustível*. Piracicaba, 1983.

IPT e SENAI - Centro Técnico de Celulose e Papel / Departamento de São Paulo Escola Theobaldo De Nigris. *Celulose e Papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. 2ª ed. Vol. I, 1988.

IPT e SENAI. *Celulose e Papel – Tecnologia de fabricação do papel*. Vol. II, 1982.

ISO 14040 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 14040. *Environmental management – life cycle assessment: principles and framework*. Genève, 1997.

ISO 14043 - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 14043. *Environmental management - life cycle assessment - life cycle interpretation*., Genève, 2000.

14062/PDTR. - ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 14062/PDTR. *Environmental management - Integrating environmental aspects into product design and development*., Genève, 2001.

IVENS CONSULT. *Associação levantará impactos ambientais das principais cadeias produtivas do país*. São Paulo, 2002. Obtido em <<http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=ler&id=8931>> na data de 03/04/03.

KOSCINSKI.C. J. *Silvicultura*, Sociedade Brasileira de Silvicultura, Sao Paulo, 1938.

KULAY, L. A. *Uso da análise de ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental das rotas úmida e térmica de produção de fertilizantes fosfatados*. 2004. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

LISBÃO Jr, L. *Sistemas de gerenciamento ambiental*. Seminário da Aracruz Celulose S/A, São Paulo, 1994.

LOPES E. et. Al. *Application of life cycle assessment to the portuguese pulp and paper industry*. Journal of Cleaner Production. Aveiro, 2003.

LOPES, C. R. *LI n. 42000582 de 01/01/02 – processo 42/00391/02*. Disponível na CETESB- Agência Ambiental de Limeira e datado de 09/06/03a.

MENDES, A. *Avaliação de ciclo de vida*. Info paper - CSPD: Centro São Paulo de Design e SEBRAE/SP, 2004.

MILANEZ, A. Processos Comerciais para obtenção de ClO₂. Seminário apresentado MME - Ministério das Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional*. Brasília, 2002. Obtido em <<http://www.mme.gov.br>> na data 01/07/04.

MONTENEGRO, R. S. P.; PAN, S. S. K. Relatório Setorial n. 07: soda-cloro. Área de Operações Industriais. Complexo Químico, 1998. Obtido em <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/rs7_gs4.pdf#search='transporte%20sa%20gema%20carbocloro'> na data de 18/03/05.

MORAES, R. *Alimentos geram negócios gordos*. Revista Química e Derivados, 2002. Obtido em <<http://www.quimica.com.br/revista/qd405/fispal1.htm>> na data de 23/05/05.

MORAES, R. Papel – Investimentos de US\$ 14,4 bilhões multiplicarão a oferta brasileira de celulose. Revista Química e Derivados, edição nº 422, 2004b.

MORAES, R. *Papel e celulose - Fibra curta revela futuro promissor*. Revista Química e Derivados, edição nº 432, 2004c.

MORAES, R.. *Papel e celulose – Brasil ganha espaço no mercado externo*. Revista Química e Derivados, edição nº 430, 2004a. Obtido em <http://www.quimica.com.br/revista/qd410/papel_e_celulose1.htm> na data de 10/08/04.

MOURA, A. M; FOELKEL, C. E. B.; FRIZZO, S. M. B. *Caracterização de compostos reduzidos de enxofre gerados na produção de celulose Kraft e pré-hidrólise Kraft*. Obtido na Revista Ciência Florestal, v.12, n.1, Santa Maria, 2002.

NBR ISO 14040. *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura*. São Paulo, 2001.

NBR ISO 14041. *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - definição do escopo, objetivos e análise do inventário*. São Paulo, 2004.

NBR ISO 14042. *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - avaliação dos impactos do ciclo de vida*. São Paulo, 2004.

NORRIS, G.A. e NOTTEN P.. Current Availability of LCI Databases in the World. Working Draft 2a, May, 2002. Obtido em <<http://www.sylvatica.com/unepsumm.htm>> na data de 10/05/04.

NPI - National Pollutant Inventory - Environmental Australia. Emission estimation technique manual for pulp and paper manufacturing, 1998. Obtido em <http://www.unitar.org/cwm/prtr/pdf/cat5/Australia_fpaper.pdf> na data de 20/06/05.

NUNES, C. R. V. *Relatório de análise - Aracruz Celulose S.A.*. Técnica assessoria de mercado de capitais e empresarial Ltda. São Paulo, 2004.

PÅLSSON, A. C. Overview of databases and data sources for life cycle inventory data. CPM internal report, 1998.

PECE/USP - Programa de Especialização Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da USP. *Controle ambiental no processo produtivo*. Apresentações do Curso de Especialização em Papel e Celulose. São Paulo, 2005.

PIOTTO, Z. C. *Eco-eficiencia na indústria de celulose e papel – estudo de caso*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PONCE, R. H. e FRANÇA, F. S. *Plantações Florestais, Produtos e Benefícios*. Fundação Florestar - Florestar Estatístico, vol. 6, número 15. São Paulo, 2003.

PRÉ-CONSULTANTS. *SimaPro. Versão 5.1*. Pré Consultants, Amsterdã, 2003.

QUÍMICA NOVA. *A utilização de perácidos na deslignificação e no branqueamento de polpas celulósicas*. Vol. 24, Minas Gerais, 2001.

REBITZER G. et al., *Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications*. Switzerland, 2004.

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL. *Criação da ABCV - Associação Brasileira de Ciclo de Vida*. Edição 40 n. 29, 2002 Obtido em <<http://www.ciclodevida.ufsc.br/eventos.htm>> na data de 29/09/04.

REVISTA REFERÊNCIA - A Revista do Setor Madeireiro. *O caminho é reflorestar*. Curitiba. Edição nº 24 de julho de 2003

RIBEIRO, P. H. *Modelagem de sistema de produto em estudos de avaliação do ciclo de vida*. 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

RODRIGUES, C. et al. Estudos Fotoquímicos e biológicos em efluentes da fabricação de papel e celulose. Departamento de Química da Universidade Estadual

do Paraná, Maringá. Obtido em <<http://www.sbjq.org.br/ranteriores/23/resumos/1075/>> na data de 08/12/04.

RUFINO, J. M. *Carbonato de Cálcio Precipitado*. Apresentação realizada na Imerys Mineração do Brasil Ltda, obtida em 06/01/05.

SANTANA, E. *Certificação florestal no contexto nacional e internacional*. Seminário promovido pela Associação Brasileira das Indústrias de Madeira Processada Mecanicamente. Obtido em <[http://file:///C:/WINDOWS/Temporary%20Internet%20Files/Content.IE5/43OFLPAA/256,1,Slide 1](http://file:///C:/WINDOWS/Temporary%20Internet%20Files/Content.IE5/43OFLPAA/256,1,Slide%201)> na data de 10/03/2004.

SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura. *Silviculture-se*. Obtido em <http://www.sbs.org.br> na data de 17/07/05.

SILVA, C. F. *Consolidação da indústria de celulose e papel - Uma análise de fatos e motivos*. Guia de Compras Papel e Celulose, 2003a.

SILVA, C. M.; QUADROS, R. *Curso de especialização em celulose: controle ambiental II*. Bahia Sul Celulose S/A, São Paulo, 2000.

SILVA, M. *Benefícios, produtos e serviços da floresta: oportunidades e desafios no século XXI*. Discurso realizado no 8º Congresso Florestal Brasileiro promovido por SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura e SBEF - Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais. São Paulo, 2003b.

SILVA, S. P. *Caulim*. Balanço mineral brasileiro realizado pelo DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001.

SINAP - Sindicato Nacional dos Papeleiros. *Akzo Nobel investe em nova fábrica no Rio*. Obtido em <http://www.sinap.org.br/template_S.php?id=449> na data de 01/12/04.

SIQUEIRA, J. L. e SILVA, L. F. Branqueamento de polpa Kraft de eucalipto – o papel do peróxido de hidrogênio. São Paulo. Obtido em <<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/dc/dc102.pdf>> na data de 20/04/03.

SINDAG.- Sindicato nacional da indústria de produtos para a defesa agrícola. *Defensivos agrícolas em linha de comercialização*. Obtido em <<http://www.sindag.com.br/new/upload/inforsetor/PL-junho-05.xls>> na data de 10/07/05.

SOLVAY S.A.. *Clorato de sódio - esquema de fabricação*. Portugal. Obtido em <<http://www.solvay.pt/solvayinportugal/plantofpova/productline/processofabricac>

aoclorato/0,,1665-5-0,00.htm > na data de 15/01/05.

SOUZA, F. C. *Impressão litográfica*. Obtida em <<http://www.fernandocaparroz.hpg.ig.com.br/offset/introducao.htm>> na data de 10/07/2004.

STFI - Swedish Pulp and Paper Research Institute. *Ecocycle pulp mills*. Final report. Sweden, 2002.

SUGIMOTO, L. *Pesquisadores do Genolyptus mostram os estágios dos nove subprojetos – Maior experimento florestal do mundo é avaliado pela Unicamp*. Campinas, 2002.

SUH, S. *MIET 2.0 User's Guid - An inventory estimation tool for missing flows using inputs - outputs techniques*, in CML - Institute of Environmental Sciences of the Leiden University. Holanda, 2001.

TECLIM. - Tecnologias Limpas e Minimização dos Resíduos. *Prevenção e controle de emissões de odor na indústria de celulose - O caso Bacell*. Universidade Federal da Bahia. Obtido em <http://www.teclim.ufba.br/curso/monografias/caso_bacell/35.htm> na data de 10/02/2004.

TILLMANN, A. M.; BAUMANN, H. *General description of life cycle assessment methodology*. Chalmers University of Technology. Estocolmo, 1995.

UFPR - Universidade Federal do Paraná. *Efluentes papaleiros*. Obtido em <<http://www.quimica.ufpr.br/~tecnorat/papeleiros.htm>> na data de 17/06/04.

ULLMANN'S - *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Volume A13. High-performance fibers to imidazole and derivatives. VCH, Germany, 1989.

UNEP - United Nations Environment Programme - *Industry and Environment. What it is and how to do it. Life cycle assessment*, 1ª edition, France, 1996.

URURAHY, J. C. C. *Brasil vive apagão florestal*. Obtido em <http://www.sbs.org.br/destaques_apagaoflorestal.htm?PHPSESSID=649e31bc8ec6d758d4f6edbe2c205161> na data de 17/06/04.

USEPA - United States Environmental Protection Agency - Office of Enforcement and Compliance Assurance. *EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the pulp and paper industry*: 2nd edition, Washington, 2002.

VALENÇA, A. C. V.; MATTOS, R. L. G. *A reestruturação do setor de papel e celulose*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 10, 1999.

VALENÇA, A. C. V.; MATTOS, R. L. G. *O setor de celulose e papel no brasil*. -

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Guia de Compras Celulose e Papel, 2003a.

VALENÇA, A. C. V.; MATTOS, R. L. G. Produtos florestais – Celulose de mercado. Obtido em <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/is_g1_25.pdf> na data de 02/07/2003b.

VCP - VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL S.A. *O cultivo mínimo provoca inovações*. Obtido em <<http://www.vcp.com.br/Generico/Clipping/cultivo+minimo.htm>> na data de 27/05/04.

VCP - VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL S.A. *Securities and Exchange Commission – Formulário 20-F*. São Paulo, 2002. Obtido em <<http://www.vcp.com.br/NR/rdonlyres/863070AD-DABF-443C-A62B-5FDC87663EC2/5124/2002VCP20Fport.pdf#search='SECURITIES%20AND%20EXCHANGE%20COMMISSION%20Votorantim'5FDC87663EC2/5124/2002VCP20Fport.pdf#search='SECURITIES%20AND%20EXCHANGE%20COMMISSION%20Votorantim'>> na data de 21/07/04.

VCP - VOTORANTIM CELULOSE E PAPEL S.A. *Relatório Anual de Sustentabilidade*. São Paulo, 2005. Obtido em <http://www.vcp.com.br/Institucional/Relatório+Anual/default.htm>> na data de 25/03/06.

VELÁZQUEZ, G.; STORTINI, S. M. *A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil*. Dissertação (mestrado) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

VESOVIC, V. et. al.. *Life cycle inventory analysis of bleached kraft cellulose production from pinewood and eucalyptus in Chile*. Environmental Sciences Centre (EULA) - University of Concepción, Chile and Department of Earth Resources Engineering - Imperial College, London, UK, p 01-15, 1998.

VILLELA, F. A.. *I seminário de base florestal – a floresta plantada e seus desafios para o século XXI*. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Ponta Grossa, 2004.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, ; ALTING, . *Environmental assessment of products - Methodology, tools and case studies in product development*: Kluwer Academic Publishers. Copenhagen, 1997, v.1.

GLOSSÁRIO

Afirmações comparativas: declaração ambiental relativa à superioridade ou equivalência de um produto em relação a um produto concorrente que realiza a mesma função.

Alocação: repartição dos fluxos de entrada ou de saída de uma unidade de processo no sistema de produto sob estudo.

Aspecto ambiental: qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades de uma organização que possa interagir com o meio ambiente

Carga Ambiental: somatório de todos os aspectos ambientais associados a uma corrente de massa ou energia.

Carga funcional: Pigmento utilizado na fabricação de papel visando melhorar a sua aparência, opacidade, receptividade a tinta e impermeabilidade (CETEM, 2000).

Caracterização: quantificação da contribuição dos aspectos ambientais para cada uma das categorias de impacto ambiental na etapa de avaliação de impactos ambientais em um estudo de ACV.

Categorias de impacto: classe que representa as questões ambientais revelantes às quais os resultados do ICV podem ser associados

Classificação: enquadramento dos aspectos ambientais identificados em categorias de impacto ambiental na etapa de avaliação de impactos ambientais em um estudo de ACV.

Completeza: percentagem de dados primários em relação ao total de dados para uma unidade de processo.

Correntes (ou fluxos): quantidades de matéria ou energia que atravessam uma fronteira.

Correntes (ou fluxos) elementares: matéria ou energia que entra no sistema, retiradas do meio ambiente sem transformação prévia ou que deixa o sistema, descartadas no meio ambiente sem transformação humana subsequente (NBR ISO 14040, 2001).

Correntes (ou fluxos) entre sistemas: correntes que ligam um ou mais sistemas adjacentes ao sistema em estudo.

Correntes (ou fluxos) internas: correntes que ligam entre si, duas unidades de um sistema de mesmo processo.

Dados primários: dados coletados diretamente junto às unidades de processo que compõem o sistema de produto onde se realiza a ACV.

Dados secundários: dados obtidos em literaturas técnicas especializadas, gerados a partir de cálculos de engenharia ou de estimativas de projeto, ou ainda, coletados junto a bancos de dados de ACV já elaborados.

Danos ambientais: termo empregado com relação a impactos ambientais.

Desenvolvimento sustentável: é aquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem suas próprias necessidades.

Fator de emissão: Quantidade média de um poluente lançado na atmosfera inter-relacionado a uma quantidade de determinado material processado

Fibrilação interna: De uma maneira geral, significa a ação de esgarçamento total ou parcial das camadas mais externas das fibras, o que durante fabricação de papel proporciona uma maior área de contato entre estas, permitindo a formação de ligações por pontes de hidrogênio entre as fibras vizinhas (IPT e SENAI, 1982).

Fluxo elementar:

Fronteira do sistema: interface entre um sistema de produto e o meio ambiente ou outros sistemas de produto (NBR ISO 14040:2001).

Impacto ambiental: Alteração do meio ambiente motivada por um ou mais aspectos ambientais

Indicadores de categoria (de impacto do ciclo de vida): representação quantificável de uma categoria de impacto (NBR ISO 14042:2004).

Normalização: os dados da caracterização são relacionados de acordo com sua contribuição para magnitude total de cada categoria de impacto na etapa de avaliação de impactos ambientais em um estudo de ACV.

Ponderação: agregação dos resultados em um índice ambiental, através da hierarquização dos impactos na etapa de avaliação de impactos ambientais em um estudo de ACV.

Produto: quantidade de matéria ou energia gerada por um sistema, a qual é o objeto do estudo de uma análise de ciclo de vida.

Pitch: depósito de natureza orgânica composto basicamente por substâncias lipofílicas derivadas da madeira que podem ocorrer de forma isolada ou combinada com sais inorgânicos insolúveis, com fibras e/ou finos e, com outros aditivos do processo de produção de polpa e/ou papel³²

Produtos intermediários: entrada ou saída de uma unidade de processo que requer transformação adicional (NBR ISO 14041:2004).

Rejeito: qualquer forma de matéria ou energia cuja função já tenha se esgotado, e que portanto, deve ser disposta no meio ambiente.

Relevância ambiental: análise que emprega determinados critérios para avaliar o impacto ambiental das correntes de saída de um unidade de processo (ou subsistema) sobre o meio ambiente.

Representatividade dos dados: avaliação qualitativa do nível em que os dados refletem o verdadeiro sistema de interesse (ou seja, a cobertura geográfica, período de tempo e tecnologia cobertas).

Reprodutibilidade: avaliação qualitativa da extensão das informações sobre a metodologia e os dados coletados, permitindo que um especialista independente reproduza os resultados obtidos no estudo.

Sistema de produto: conjunto de unidades de processo interligadas entre si e compreendidas no ciclo de vida de um produto.

Subproduto: quantidade de matéria ou energia gerada por um sistema cujo ciclo de vida ainda não foi concluído, podendo portanto encontrar utilização em outros sistemas; difere do produto por não ser o objeto de estudo da ACV.

Transparência: apresentação de informação aberta, abrangente e compreensível (NBR ISO 14040:2001)

Unidade de processo: a menor porção de um sistema de produto para a qual são coletados os aspectos ambientais quando é realizada uma avaliação do ciclo de vida (NBR ISO 14041, 2004).

³² Informação obtida em CELULOSE ON LINE no site <<http://www.celuloseonline.com.br/entrevista/Entrevista.asp?IDEntrevista=13&iditem=97>>, em 30 ago. de 2005.