

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

DENIS KELER LARA OLIVEIRA

ANÁLISE DE SISTEMA DE MÁQUINA DE PAPEL COM FOCO EM FECHAMENTO  
DE CIRCUITO DE ÁGUA

São Paulo

2012

DENIS KELER LARA OLIVEIRA

ANÁLISE DE SISTEMA DE MÁQUINA DE PAPEL COM FOCO EM FECHAMENTO  
DE CIRCUITO DE ÁGUA

Monografia apresentada à Universidade Presbiteriana Mackenzie, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Tecnologia de Celulose e Papel, para a obtenção do título de Especialista em Tecnologia de Celulose e Papel

São Paulo

2012

Aos meus filhos Dante, Lara e André, os três pilares fundamentais de minha vida e a razão de minha existência.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte de toda sabedoria, pela luz que nos concede a todo momento, permanecendo ao nosso lado em todo o percurso desta caminhada.

Aos meus pais, por todo o ensinamento de vida que me transmitiram e que edificou meu caráter, pelo amor incondicional que me deu força nos momentos mais difíceis e pelo esforço em me proporcionar as oportunidades que me fizeram o profissional que sou hoje.

Aos engenheiros Marcos Purkyt e Alexandre Kerassiotis, pelo muito que me ensinaram durante minha trajetória profissional e pelas sugestões apresentadas na elaboração deste trabalho.

À toda turma B do curso de pós-graduação em Tecnologia de Celulose e Papel pelo companheirismo nesta caminhada árdua pelo desenvolvimento e especialização do conhecimento, e pelas várias contribuições ao longo desta jornada.

Aos professores e funcionários da Pós-Graduação Mackenzie, pelo incentivo à realização deste trabalho.

Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertence (Albert Einstein).

## Resumo

O presente trabalho tem por objetivo analisar de forma geral os sistemas de Máquina de Papel, mantendo o foco nos circuitos de água (água fresca e água branca<sup>1</sup>) de plantas genéricas (baseadas em sistemas existentes, no entanto os trabalhos de consultoria aqui referenciados possuem cláusula de confidencialidade e por isso não há a possibilidade de identificação dos clientes). Como consequência do desenvolvimento dos trabalhos, esta revisão bibliográfica visa enumerar e identificar de possibilidades de fechamento de circuito em plantas similares às genericamente descritas de modo a auxiliar a idealização de projetos para reaproveitamento das águas de forma sustentável, relacionando e analisando também eventuais impactos negativos aos processos de produção, os quais necessitem monitoração, controle e medidas de mitigação para evitar instabilidades que possam gerar interrupções de produção. A metodologia aplicada neste trabalho consiste na análise do processo por mapeamento dos circuitos de água, abrangendo pontos de consumo e geração (no caso da água branca), para em seguida identificar-se os pontos com potencial para reutilização de água, definição da qualidade desta água de reuso e eventuais necessidades de tratamento da água antes da aplicação no ponto de reutilização. Medidas de redução de consumo de água têm sido cada vez mais necessárias não só devido às previsões de escassez do recurso a médio prazo e um conseqüente apelo ecológico que esta condição traz aos fabricantes dos produtos de base florestal, mas também por razões econômicas uma vez que a ideia de cobrança pelos recursos hídricos tem ganhado corpo na política ambiental nacional e já está sendo aplicada em várias regiões do Brasil, especialmente no estado de São Paulo. O trabalho também disserta sobre as tecnologias utilizadas atualmente para os projetos de fechamento de circuito (para o caso de fábricas existentes com circuitos abertos ou com algum potencial de fechamento).

Palavras-chave: Máquina de papel. Fechamento de circuito. Consumo de água. Tecnologia de filtração. Reutilização de água. Lei das águas.

---

<sup>1</sup>Água branca consiste de um fluido de processo com conteúdo de fibra de celulose proveniente do processo de drenagem do papel na seção úmida das máquinas.

## **Abstract**

The objective of this paper is to analyze the Paper Machine systems in a general, focusing in the water circuits (fresh water and white water<sup>2</sup>) of generic plants (based on some existing systems, though actual sites used are confidential, then the work does not reference the clients' names). As consequence of this work development, this bibliographic revision aims to enumerate and identify possibilities for closing water circuits in plants similar to the generically described, in a way to help the development of sustainable projects for water reutilization, reporting and analyzing negative impacts to the production process, which may require measurements, controls and strategies to mitigate the impacts in order to avoid process instabilities which can culminate in interruption of production. The methodology applied to this work consists of process analysis by mapping water circuits, including the consumption and generation (white water) points, identification of points with potential for water reutilization, definition of water quality for reutilization and the eventual requirements for water treatment before application in the consumption point for reutilization. Measures for water consumption reduction have become more necessary not only because of the shortage for this resource has been foreseen in the medium term and the consequent ecological appeal that this condition creates to the forest based products, but also by economical reasons once that the idea of charging the use of water resources have gaining force in the national environmental laws, and it has already being applied in several regions at Brazil, especially in São Paulo state. The work also disserts about technologies currently in use for closing water circuits (in the case of existing mills with open water circuits or some potential to close water circuits).

Key-words: Paper machine. Closed water circuit/Closure of water loops. Water consumption. Filtration technology. Water reutilization. Law of the water.

---

<sup>2</sup>White water consists of a process fluid with cellulose fiber content which comes from the paper drainage process that occurs in the machine wet section.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Diagrama simplificado do sistema de fabricação de papel .....	13
Figura 2	Ilustração de Máquina de Papel tipo Fourdrinier.....	16
Figura 3	Consumo específico de água na fabricação de papel, em m <sup>3</sup> /t.....	28
Figura 4	Circuito de água de fábrica de papel, princípio de sistema .....	30
Figura 5	Ciclo de trabalho para uso interno de água de fábrica .....	33
Figura 6	Zeta Potencial .....	40
Gráfico 7	Zeta Potencial para três tipos de celulose .....	41
Figura 8	Espectro de Filtração.....	45
Figura 9	Sistema de Micro-Filtração .....	46
Figura 10	Sistema de Ultra-Filtração.....	46
Figura 11	Sistema de Nano-Filtração.....	47
Figura 12	Sistema de Osmose Reversa .....	47
Figura 13	Evaporação Multi-Efeito com MVR.....	48
Figura 14	Arranjo de processo <i>kidney</i> .....	50
Figura 15	Diagrama de águas – Máquina A.....	54
Figura 16	Diagrama de águas – Máquina A – modificado .....	54
Figura 17	Diagrama de águas – Máquina B .....	55
Figura 18	Diagrama de águas – Máquina B – modificado.....	55



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alocação de matérias-primas em função do tipo de papel .....	19
Tabela 2 - Consumos específicos de água fresca de modernas fábricas de papel.....	34
Tabela 3 - Requerimentos de qualidade para água de chuveiro .....	35
Tabela 4 - Composição e origem de substâncias perniciosas.....	37
Tabela 5 - Desvantagens da redução de consumo de água fresca .....	39
Tabela 6 - Técnicas de Filtração por Membrana .....	44
Tabela 7 - Resultados de projeto para fechamento de circuito.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABTCP	Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
ANA	Agência Nacional de Águas
AKD	<i>Alkyl Keten Dimmer</i>
ASA	<i>Alkenyl Succinic Anhydride</i>
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CTMP	<i>Chemi-Thermo Mechanical Pulp</i> (Polpa Químio-Termo Mecânica)
DAF	<i>Dissolved Air Flotation</i> (Flotação a Ar Dissolvido)
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
E.T.E.	Estação de Tratamento de Efluentes
HD	<i>High Density</i> (Alta Densidade)
LD	<i>Low Density</i> (Baixa Densidade)
ME	Multi-Efeito
MVR	<i>Mechanical Vapor Recompression</i> (Recompressão Mecânica de Vapor)
P.A.R.	Pasta de Alto Rendimento
PCC	<i>Precipitated Calcium Carbonate</i> - Carbonato de Cálcio Precipitado
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Singreh	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	6
1.1	OBJETIVOS .....	7
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	8
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	8
1.2	JUSTIFICATIVA.....	8
1.3	METODOLOGIA .....	10
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
<b>2</b>	<b>PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL</b> .....	12
2.1	PREPARAÇÃO DE MASSA.....	13
<b>2.1.1</b>	<b>Depuração</b> .....	14
<b>2.1.2</b>	<b>Refinação</b> .....	15
2.2	CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO ( <i>APPROACH FLOW</i> ).....	15
2.3	MÁQUINA DE PAPEL .....	16
<b>3</b>	<b>TIPOS DE PAPEL</b> .....	19
3.1	PAPEL PARA IMPRESSÃO E ESCRITA.....	20
3.2	PAPEL PARA EMBALAGENS .....	22
<b>3.2.1</b>	<b>Papéis para Embalagens Leves e Embrulhos</b> .....	23
<b>3.2.2</b>	<b>Papéis para Embalagens Pesadas</b> .....	24
<b>3.2.3</b>	<b>Papéis para Fabricação de Papelão Ondulado</b> .....	25
<b>3.2.4</b>	<b>Cartão</b> .....	25
3.3	PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS .....	26
3.4	PAPÉIS ESPECIAIS.....	27
<b>4</b>	<b>ÁGUA NA FABRICAÇÃO DE PAPEL</b> .....	28
4.1	CIRCUITO DE ÁGUA EM FÁBRICA DE PAPEL .....	29
<b>5</b>	<b>POTENCIAIS PARA FECHAMENTO DE CIRCUITO (REUSO DE ÁGUA)</b> .....	33
5.1	SUBSTÂNCIAS PERNICIOSAS DISSOLVIDAS .....	37
<b>5.1.1</b>	<b>Mecanismos de Acúmulo</b> .....	38
<b>5.1.2</b>	<b>Efeitos do Fechamento de Circuito em: Zeta Potencial, Drenagem e Retenção</b> .....	40
<b>6</b>	<b>TECNOLOGIAS PARA FECHAMENTO DE CIRCUITO</b> .....	43
6.1	FILTRAÇÃO POR MEMBRANA.....	44
6.2	EVAPORAÇÃO .....	47
6.3	TRATAMENTO BIOLÓGICO <i>IN-PROCESS</i> .....	49

7	CONCLUSÃO .....	52
	REFERÊNCIAS.....	57

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA, as atividades industriais no Brasil respondem por aproximadamente 17% da vazão total de água retirada para uso consuntivo (de acordo com a ANA, "são considerados usos consuntivos aqueles nos quais parte da água captada é consumida no processo produtivo, não retornando ao curso de água").

No contexto do consumo de água de forma geral, é importante mencionar os problemas de disponibilidade de água à humanidade apontados na Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente, em Dublin, Irlanda (26 a 31 de janeiro de 1992), onde representantes de 100 países e 80 organismos internacionais, intergovernamentais e não governamentais, devido ao diagnóstico crítico para a situação futura dos recursos hídricos no mundo, elaboraram e adotaram a Declaração de Dublin, onde desenvolveram e relataram um conjunto de recomendações nas quais os países poderiam encontrar bases e princípios para resolver questões relacionadas aos recursos hídricos, com o comprometimento político e envolvimento de todos, governo e sociedade. Os mesmos princípios de Dublin sobre os recursos hídricos foram referenciados na ECO-92, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento - CNUMAD, realizada em 1992, no Rio de Janeiro, através Agenda 21 documentada neste evento. Em convergência aos princípios da Agenda 21 e objetivando a regulamentação do inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal de 1988 (compete à União instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso), a Lei no 9.433/1997, conhecida por Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - Singreh.

A PNRH salienta a importância da água, reforça sua condição de elemento indispensável aos ecossistemas terrestres e a define como bem dotado de valor econômico. Estabelece ainda que sua gestão deve ser estruturada de forma integrada, com necessidade da efetiva participação social.

Dentro deste cenário, a fabricação de papel é caracterizada como uma indústria hidrotensiva, devido à grande quantidade de água que é necessária ao longo de seu processo de produção.

Uma explicação introdutória para esta questão encontra-se no fato de que, apesar de a celulose (principal matéria-prima constituinte do papel) ter por característica a insolubilidade em água devido a sua "estrutura linear, fibrosa e úmida, na qual se estabelecem múltiplas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das distintas cadeias justapostas de glicose,

fazendo-as impenetráveis a água" (WIKIPEDIA, s.d.), a água é um insumo fundamental no processo de produção de papel (independentemente do tipo de papel a ser produzido), sendo utilizada como veículo para as fibras celulósicas, possibilitando seu tratamento físico (separação de impurezas, refinação para desenvolvimento das propriedades de cada tipo de papel, entre outras operações fundamentais ao processo de produção) e viabilizando as interações químicas e físicas entre as fibras bem como entre os demais componentes do processo de produção (produtos químicos e cargas minerais). Como consequência mencionada, o processo de produção de papel é um usuário de grandes quantidades de água da qual uma proporção considerável é água fresca, neste caso, água bruta captada de fontes naturais como rios e/ou poços artesianos e propriamente tratada para consumo industrial.

E no entanto, apesar de ser um usuário de grandes quantidades de água, a indústria de papel não incorpora quantidades significativas deste insumo ao seu produto final, obviamente devido a suas aplicações. Como consequência deste fator, a indústria papeleira torna-se também uma emissora de resíduos líquidos proporcional à captação de água necessária a se introduzir no processo, seja para utilização direta, seja para reposição de perdas (nos casos de circuitos fechados).

Medidas para redução do consumo de água em uma planta industrial frequentemente recorrem à reutilização desta água no circuito da fábrica. Segundo WANG; SMITH (1994, 1995) apud HAMAGUCHI (2007), podem existir três casos para este contexto de reutilização de águas: o reuso direto da água decorrente de uma operação em outra área, o reuso através de recuperação por tratamento parcial para remoção de contaminantes, ou ainda o reciclo das correntes de água junto com a recuperação para remoção de contaminantes.

Desta caracterização geral pode-se partir para análises mais detalhadas com o desenvolvimento de possíveis trabalhos de otimização em plantas existentes, auxiliados por diretrizes básicas, definindo-se metodologia, pontos de análise crítica quanto a efeitos positivos e negativos ao processo, aspectos de monitoramento e viabilidade técnica.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa definir diretrizes básicas genéricas para identificação de possibilidades de fechamento de circuito em sistemas de máquinas de papel, de modo a auxiliar a idealização de projetos para reaproveitamento das águas de forma sustentável, assim como relacionar eventuais impactos negativos aos processos de produção consequentes às modificações propostas, os quais necessitem monitoração, controle e medidas de mitigação

para evitar instabilidades que possam gerar interrupções de produção e/ou prejuízo da qualidade do produto final.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Realizar um estudo visando o desenvolvimento diretrizes que possibilitem a identificação de possibilidades para otimização do consumo de água fresca em sistemas de máquinas de papel.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Desenvolver metodologia genérica para diagnóstico de consumo de água de sistemas de máquina de papel, relacionando tecnologias conhecidas para redução do consumo de água fresca e parâmetros que necessitem monitoramento para prevenção e/ou mitigação de efeitos negativos.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Segundo ALEXANDERSSON (2003), água pura é fundamental e atualmente está, devido à poluição, próximo a se tornar um recurso limitado em muitos países. A crescente conscientização ambiental sobre o impacto que as indústrias e o crescimento populacional têm na natureza tem levado ao questionamento sobre a qualidade e a quantidade das emissões de efluentes em corpos d'água. As indústrias de celulose e papel são historicamente conhecidas pela utilização de grande quantidade de água em seus processos (hidrointensivas). Está claro também que o desenvolvimento de novos processos e de melhorias tecnológicas têm contribuído para a redução dos consumos específicos de água fresca ao longo dos anos. Este progresso tem sido impulsionado pelas crescentes restrições das autoridades ambientais e também pelo apelo ecológico que gera nas companhias o desejo de serem vistas como "amigas do meio ambiente", com o intuito de evitar perdas econômicas decorrentes de uma diminuição de sua fatia do mercado consequente a uma má "propaganda ambiental".

A Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, entre outros itens, define a água como sendo um bem de domínio público e também um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Esta lei define também diretrizes básicas para a gestão dos recursos hídricos, estabelecendo que a gestão deste recurso deve ser

participativa e que sua utilização deve ser estabelecida de forma integrada e racional, com o intuito de garantir a disponibilidade do recurso, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Assim, como consequência direta de uma corrida para incremento de competitividade tanto de ordem econômica (redução de custos com redução de consumo de água) quanto no impacto que o posicionamento de cada companhia com relação a suas políticas ambientais pode causar no mercado consumidor, cada vez mais se faz necessário o desenvolvimento de medidas mitigadoras do consumo de água no processo de fabricação de papel.

Como uma consequência benéfica direta de um projeto de reuso de água branca de processo, por exemplo, tem-se a recuperação das fibras (material de valor econômico agregado) que, citando FOELKEL (2007), escapariam pelos efluentes da área e se direcionariam ao efluente geral, para em seguida comporem o indesejado lodo primário. Segundo FOELKEL (2007), podemos nos valer de diversos meios recuperadores de fibras, tais como filtros, flotores, peneiras, decantadores, clarificadores, entre outros, que de acordo com cada eficiência característica podem resultar na recuperação de no mínimo 60 a 70% do material fibroso, podendo ainda, em situações otimizadas, uma recuperação das fibras alcançar percentagens acima de 95%.

Segundo PAULAPURO et al (2000), em um aspecto geral, os maiores motivadores para a redução do consumo de água fresca podem ser listados da seguinte forma:

- Legislações e restrições tanto quanto à captação de água nos corpos d'água quanto à emissão de efluentes;
- Custos:
  - Da água fresca e seu tratamento;
  - Do tratamento de efluente e possivelmente do custo de emissão do efluente;
  - Recuperação de materiais/insumos: fibras, finos e cargas (minerais);
  - Economia de energia
  - Disponibilidade de água fresca
  - Maior estabilidade de processo, se redução no consumo de água fresca significar redução da complementação da água de processo.



### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para elaboração deste trabalho é composta por quatro etapas distintas:

- Definição genérica de processo;
- Identificação e parametrização do circuito de águas;
- Identificação de potenciais para redução de consumo de água, com eventuais propostas de modificações;
- Relação de efeitos negativos consequentes ao reuso de água e de seus parâmetros de monitoramento.

A etapa de definição genérica de processo visa desenvolver o conhecimento do processo de produção de papel em linhas gerais, de forma a definir áreas comuns a todos os sistemas, caracterizando os respectivos limites de bateria e restrições. Ao final desta etapa, um modelo das correntes principais de água e massa do processo estabelece critérios para a próxima etapa.

Com um diagrama de correntes de água e massa gerado na etapa anterior, será possível identificar o circuito de águas e seus parâmetros relevantes como temperatura, consistência, níveis de recirculação, possibilidades de contaminação, entre outros, para as correntes de geração e consumo de água dentro do processo.

Na etapa subsequente, com base nas parametrizações e restrições de processo, identifica-se os pontos com potencial para aplicação de reuso direto ou indireto de água e eventuais modificações necessárias.

Relaciona-se então, com base em literatura e conhecimento prévio de projetos implantados, eventuais efeitos negativos advindos do reciclo de água no processo e seus parâmetros para monitoramento e controle, o que possibilitará o desenvolvimento de soluções pontuais.

Após a identificação dos potenciais de redução de consumo de água e eventuais impactos negativos e positivos, relaciona-se as modificações básicas necessárias para implantação das otimizações propostas, ilustrando estimativas de redução baseadas em exemplos de caso reais (sem identificações por motivo de confidencialidade de clientes).

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Após este capítulo introdutório, o segundo capítulo será composto por uma revisão bibliográfica que descreverá o processo de fabricação de papel de forma genérica e tão sucinta quanto possível, sem perder o conteúdo técnico necessário ao bom entendimento do sistema.

No terceiro capítulo serão relacionados os principais tipos de papéis, com suas características e aplicações principais, de modo a prover uma visão da complexidade e da amplitude dos produtos gerados pelo setor.

No quarto capítulo serão abordados os aspectos técnicos sobre os sistemas e circuitos de água na fabricação de papel, aspectos sobre demandas e pontos de utilização, impactos de variações de demanda e disponibilidade de água de processo sobre o sistema.

No quinto capítulo estão identificados os potenciais para fechamento de circuito, bem como algumas das restrições ao reuso de água, explicando efeitos negativos e listando alguns parâmetros de controle.

O sexto capítulo, que antecede a conclusão, aborda as tecnologias para viabilização técnica de possíveis projetos para fechamento de circuito.

A conclusão, no sétimo capítulo, fecha o trabalho com um exemplo de caso real (com nomes mantidos em sigilo devido à confidencialidade dos trabalhos envolvidos) e adicionando novos conceitos de modificação como provenientes da experiência dos trabalhos de consultoria e engenharia de projeto.

## 2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL

Esta seção trata da descrição do processo de fabricação de papel com o objetivo de mapear as etapas de processo de forma genérica, devido à abrangência do trabalho.

As fábricas de papel podem ser preliminarmente classificadas em dois tipos: Integradas e Não-Integradas. A condição entre estas classificações pode demandar condições de operação diferentes e requerimentos de equipamentos específico para um caso e para outro. No entanto, o foco do trabalho demanda estabelecer os limites da descrição em áreas comuns de uma forma geral, e para isso se faz necessária uma explicação sucinta de alguns termos comumente utilizados para especificar certas áreas e sistemas que compõem o processo geral de fabricação de papel, e que são definidas segundo PAULAPURO et al (2000) como segue:

- Circuito Curto (*Short Circulation*): sistema no qual a água da tela da máquina de papel é separada da polpa na formação da folha e utilizada para diluição da massa a ser entregue na caixa de entrada;
- Circuito Longo (*Long Circulation*): sistema no qual o excesso de água branca do Circuito Curto e outras águas são coletadas na máquina de papel e utilizadas para diluição de massa e outros propósitos na preparação de massa. Ao longo da área do Circuito Longo é que geralmente são instalados os equipamentos de recuperação de fibra e limpeza de água;
- Sistema de Aproximação (*Approach Flow System*): sistema que se estende desde o tanque da máquina ao lábio da caixa de entrada. O principal propósito é medir e diluir a polpa de celulose, bem como misturá-la com outros componentes, como *fillers*, químicos e aditivos, os quais não tenham sido ainda adicionados durante o processo de preparação de massa. Então, a massa em baixa consistência é bombeada através de um depurador de cabeça de máquina, antes de ser alimentada na caixa de entrada. Limpeza de massa por hidrociclones e dispositivos de desaeração podem ser instalados neste sistema;
- Preparação de Massa (*Stock Preparation*): sistema para tratamento mecânico da polpa de celulose antes de ser alimentada no tanque da máquina, onde é feita a composição de receita, dosagem e mistura dos principais componentes de massa.

Em complemento, para melhor entendimento das etapas do processo que serão descritas, a FIGURA 1 mostra um diagrama simplificado da fabricação de papel.

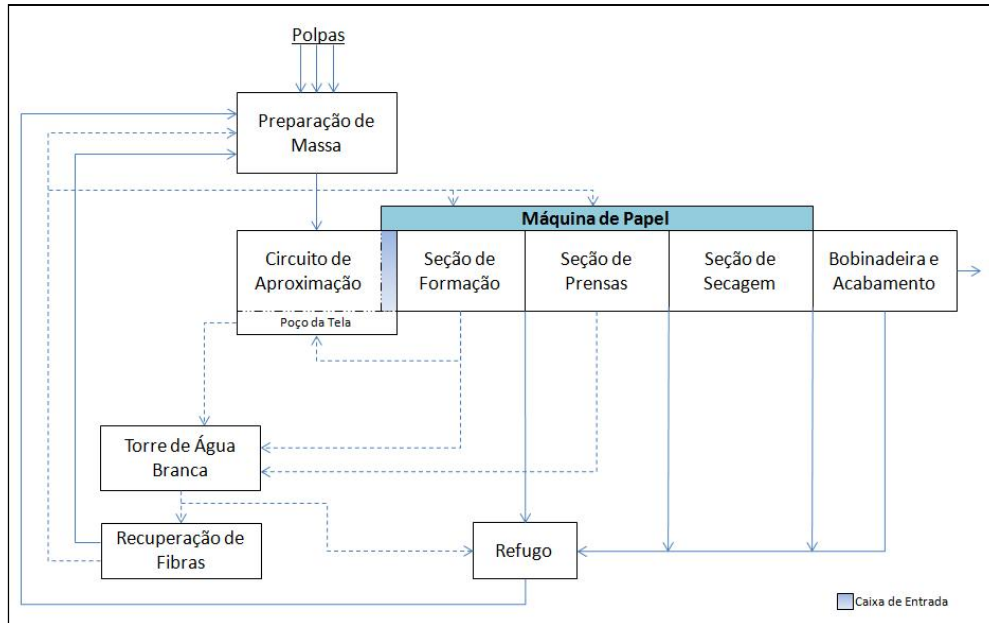


FIGURA 1: Diagrama simplificado do sistema de fabricação de papel.

FONTE: Autoria própria.

De uma forma geral, da recuperação de fibras saem fibras recuperadas (enviada para a preparação de massa) e água clarificada, que alimenta os chuveiros da máquina de papel e outros equipamentos. Algumas fábricas podem ainda adotar a estratégia de clarificar toda a água, forçando o transbordamento desta água para o tratamento de efluentes em vez de transbordar água branca, diminuindo os sólidos suspensos totais para a E.T.E..

Dependendo do tipo de papel a ser produzido e do projeto da planta, algumas configurações e sequências de operação podem mudar, caso a caso. O que segue é uma descrição genérica, passível de adaptações para casos específicos, e com o intuito apenas de promover um conhecimento básico preliminar para desenvolvimento dos trabalhos propostos.

## 2.1 PREPARAÇÃO DE MASSA

Conforme já mencionado, a preparação de massa é a etapa de processo onde ocorre o tratamento mecânico (CAMPOS, 2009) da polpa de celulose antes de ser alimentada no tanque da máquina, onde é feita a composição de receita, dosagem e mistura dos principais componentes de massa. É nesta fase do processo em que se definem as características de qualidade do papel a ser produzido.

A preparação de massa em geral compreende, no mínimo, duas operações muito importantes:

- Depuração; e
- Refinação.

Em alguns casos não há depuração na preparação de massa, mas isso depende de diversos fatores como cultura de projeto da fábrica (a depuração pode estar localizada em outra área), padronização de separação e nomenclatura de área, tipo de fábrica (integrada ou não integrada), origem da fibra de celulose a ser usada no processo. Uma outra operação muito importante da preparação de massa é a mistura de massa e químicos, homogeneização e controle de consistência.

No entanto, dependendo do tipo de papel a ser produzido e da cultura de organização de documentos de cada fábrica, pode incluir ainda operações como fracionamento, flotação, lavagem, branqueamento, entre outras.

### **2.1.1 Depuração**

Depuração é o nome que se dá a operação de limpeza da mistura de celulose com os demais componentes da receita. Esta operação destina-se a retirar sujeiras e outros corpos estranhos, que são indesejáveis para a aparência e finalidade da folha de papel. A qualidade do papel depende fortemente do grau de limpeza de massa.

De acordo com CAMPOS (2009), a eliminação das impurezas é necessária tanto do ponto de vista do papel acabado como do próprio funcionamento do processo. Com relação ao papel, a presença de impurezas afeta as características mecânicas (a impureza é um ponto débil) e ao aspecto exterior (alvura, presença de pastilhas). Com relação à fabricação, a presença de impurezas volumosas ou gelatinosas pode causar perfurações e quebras no papel na saída da máquina, na seção de prensas e na seção de secagem, além de “fecharem” os feltros (diminuírem a permeabilidade ao ar) e incrustarem os cilindros secadores.

As impurezas podem ser classificadas em três categorias: sujeiras pesadas e volumosas, sujeiras pesadas e finas, e sujeiras leves. Os sistemas de depuração mais conhecidos são:

- Peneiramento ou screen (plana, rotativa e pressurizada - depurador vertical);
- Centrifugação (*cleaner*) - depurador centrífugo.

No caso do peneiramento, é estabelecida a relação dos componentes da massa, essencialmente, em função do tamanho e formato. A classificação é feita por:

- Peneiras planas ou vibratórias;
- Peneiras rotativas;
- Depuradores de baixa pressão (peneiras pressurizadas)

No caso dos depuradores centrífugos a separação é feita em função da densidade. A classificação é feita por:

- Separadores de massa grossa;
- Centricleaners ou hidrociclones.

### **2.1.2 Refinação**

A refinação é considerada como uma das etapas mais importantes na fabricação de papel. A refinação das pastas celulósicas é geralmente o tratamento mecânico das fibras cujo principal objetivo consiste em melhorar a capacidade das fibras unirem-se umas às outras, a fim de que seja possível a obtenção de uma folha de papel homogênea e resistente aos esforços mecânicos a que estiver sujeita, seja durante o processo de consolidação na máquina de papel, ou durante sua etapa de acabamento e conversão, ou ainda, durante sua aplicação final (CAMPOS, 2009).

Outros objetivos da refinação incluem a modificação das características das fibras para a obtenção de determinadas propriedades do papel. Para poder alcançar a esses objetivos, as fibras podem ser encurtadas, hidratadas, fibriladas, operações essas que ajudarão a desenvolver as propriedades como resistência física, absorvência, porosidade e várias propriedades ópticas. As propriedades desejadas para os papéis dependem também de sua aplicação final ou de processamento, mas pode-se dizer que se caracterizam por propriedades de resistência, propriedades ópticas, propriedades superficiais, propriedades de interação com substâncias químicas, entre outras.

## **2.2 CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO (*APPROACH FLOW*)**

O circuito de aproximação pode ser visto como a interface entre a área da preparação de massa e a seção de formação da máquina de papel. Sua função básica é o transporte e correção da consistência da suspensão até a máquina, proporcionando um fluxo estável, homogêneo e limpo. Dele fazem parte os sistemas de alimentação de massa grossa, tanque da máquina e bomba / válvula de controle de gramatura-de diluição, centricleaners, de peneiras pressurizadas (de proteção ou proteção e depuração) e de controle de fluxo. Este conjunto de equipamentos estáticos e dinâmicos deve funcionar para todas as faixas de gramatura e velocidades especificadas para a máquina de papel.

Complementando as descrições de CAMPOS (2009), papéis com maior requisito de qualidade e os avanços tecnológicos no projeto das máquinas de papel resultaram em sistemas de aproximação cada vez mais elaborados (sistemas modernos já não possuem caixa de nível

e válvula de gramatura, caixas de entrada hidráulicas são mais simples que as de rolinhos ou com colchão de ar, o sistema de controle de perfil CD por diluição é mais simples e preciso que os pequenos motores nos manípulos, etc.). Caixas de entrada hidráulicas, alta velocidade nas máquinas e melhoria nas características da folha resultaram na necessidade de inclusão de múltiplos estágios de separadores centrífugos, depuração de cabeça de máquina e melhor controle do ar contido no fluxo de massa (feito através da instalação de um dispositivo desaerador à vácuo – *Deculator* – para a retirada do ar da massa).

### 2.3 MÁQUINA DE PAPEL

Para simplificação da descrição e um melhor entendimento, com vistas ao foco do corrente trabalho, esta seção desenvolverá a descrição de uma máquina do tipo Fourdrinier, mostrada na FIGURA 2.

A função básica da máquina de papel, que é remover a água da folha, é feita fundamentalmente em três setores que operam baseados em diferentes princípios, como segue:

- Mesa de formação: desaguamento utilizando as características hidrodinâmicas do líquido e aplicação de vácuo;
- Prensas úmidas: desaguamento por compressão mecânica;
- Seção de secagem: retirada de água por evaporação, por meio do fornecimento de calor nos cilindros secadores.

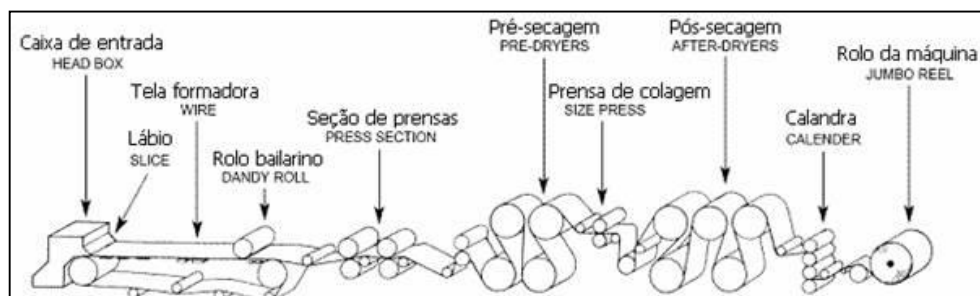


FIGURA 2: Ilustração de Máquina de Papel tipo Fourdrinier.  
FONTE: CAMPOS (2009) – página 165.

Conforme CAMPOS (2009) descreve, a caixa de entrada é um dispositivo situado antes da seção de formação da folha de papel para a qual fornece um jato de suspensão fibrosa de geometria laminar. A operação que se realiza na caixa de entrada consiste em transformar o fluxo circular da pasta procedente da bomba de diluição em um fluxo retangular, cuja largura é definida em função da largura da máquina de papel, ao mesmo tempo que lhe

imprime uma velocidade uniforme ao longo de toda a largura da caixa de entrada. Esta operação é de fundamental importância, dado que a formação e uniformidade do papel formado depende de uma dispersão uniforme das fibras e outros constituintes do papel, pelo que os objetivos da caixa de entrada são de estender a pasta uniformemente e igualar os fluxos e a consistência ao longo da máquina de papel, criar a turbulência adequada para evitar a floculação das fibras e descarregar um fluxo constante de pasta com um ângulo correto sobre a máquina de papel.

As caixas de entrada são constituídas por diferentes elementos: tubo distribuidor, dispositivos para igualar velocidades/pressão e para geração de turbulência, e dispositivos de formação do jato. Pode-se distinguir entre caixas de entrada abertas e pressurizadas, sendo que as pressurizadas podem operar com colchão de ar ou serem hidráulicas, totalmente cheias de líquido.

Ainda conforme CAMPOS (2009), formação da folha de papel consiste, basicamente, na operação de filtração. O jato de suspensão fibrosa procedente da caixa de entrada, com uma consistência que depende do tipo de papel ( $< 1,5\%$ ), deposita-se sobre o suporte de formação, constituído por uma tela sintética que possui um tamanho de malha da mesma ordem de magnitude que as fibras utilizadas. A partir deste momento, é exercido de uma maneira contínua ou descontínua uma diferença de pressão no interior da suspensão fibrosa, fazendo com que uma grande parte da água que acompanha o jato de entrada seja eliminada por filtração, restando as fibras entrelaçadas entre si. Esta operação forma uma manta de fibras. Industrialmente utilizam-se, atualmente, diferentes tipos de unidade de formação: mesas planas, formadores de tela dupla, formas redondas, e híbridos (mesas planas com uma tela de formação superior). Em mesas planas, o suporte de filtração constitui uma tela sem fim que se move sobre uma série de dispositivos que eliminam água da suspensão fibrosa até que a manta formada atinja um grau de umidade apropriado para permitir a transferência para a operação nas prensas, onde a retirada de umidade será feita agora por prensagem.

CAMPOS (2009) descreve que a folha de papel que sai do formador com uma umidade aproximada de 75 a 80%, passa em seguida à seção de prensas, de onde é realizada a operação de prensagem. Os objetivos primordiais desta operação são os de eliminar água e consolidar a folha, ainda que também o prensado fornece lisura, reduz o *bulk* (volume/espessura) e proporciona maior resistência (tração e rasgo) à folha úmida para um melhor traslado desta folha para a seção de secagem ou secaria. A prensagem influi em outras propriedades da folha tais como resistência ao arrebentamento, comprimento de ruptura, alongamento, rigidez, entre outras. Nas prensas, a folha de papel é submetida a uma



pressão entre rolos prensas, conjuntamente com um feltro existente entre elas. Nesta operação, parte da água do papel passa ao feltro, sendo posteriormente retirada deste por vácuo, até alcançar uma umidade da folha da ordem de 40 a 50% (podendo chegar a 60% em folhas de celulose). A operação de prensagem é muito interessante do ponto de vista econômico, já que a eliminação de água nesta parte da máquina de papel é muito mais barata do que quando se realiza mediante secagem por evaporação.

Ainda seguindo a descrição de CAMPOS (2009) eliminação da água remanescente somente se conseguirá com a adição de energia na forma de calor, na seção de secagem. Pode-se dizer que esta água é a mais difícil de remover por se encontrar entre as fibras da folha, e a força de coesão entre as moléculas de água dificulta sua retirada da folha de papel. Nesta operação de secagem, elimina-se a água do papel até atingir um teor de umidade definitiva situada entre 3 e 7%. Esta operação realiza-se normalmente pondo em contato a folha de papel úmida com a superfície exterior de cilindros secadores (os cilindros podem ser calandrados ou fundidos) que estão aquecidos por passagem de vapor em seu interior. Para melhorar o contato da folha de papel com a superfície quente dos cilindros, usam-se telas secadoras na maioria dos casos. Algumas máquinas apresentam o sistema *single tier* em suas seções iniciais de secagem. Este sistema consiste de apenas uma fila de cilindros secadores na posição superior e uma fila de cilindros de sucção na posição inferior, diferente do *double tier* (mais tradicional), onde há duas filas de cilindros secadores.

Uma vez passando pela secaria, as fibras estarão unidas, convertendo-se finalmente no que se reconhece como papel. Em algumas ocasiões, quando é requerido um papel brilhante, ou com uma lisura especial, o papel produzido passa por uma operação de prensagem da folha entre dois ou mais rolos num sistema chamado de calandra, fase final de obtenção da folha. Uma outra aplicação das calandras é a de uniformizar a espessura da folha mediante pressão. Finalmente, o papel fabricado é enrolado em um dispositivo ao final da máquina de papel conhecido como enroladeira, em grandes bobinas (bobinas jumbo) para posterior utilização em bobinadeiras que definem o formato (largura e diâmetro) final conveniente a cada tipo de cliente ou processo de conversão (CAMPOS, 2009).

### 3 TIPOS DE PAPEL

Conforme mencionado por NUNES (2007) a fabricação de papel é uma ciência complexa e multidisciplinar devido principalmente à grande variedade de papéis que podem ser produzidos, às diferentes matérias-primas empregadas e aos diferentes processos de produção. Além disso, diferentes fibras químicas, e proporções de água e energia são necessárias para produção de cada tipo papel.

Dependendo ainda do tipo de papel a ser produzidos, tanto a matéria-prima fibrosa quanto os aditivos químicos a serem dosados nos estágios do processo podem variar dentro de uma larga lista de materiais e insumos. A TABELA 1 mostra um esquema de alocação de algumas matérias-primas em função do tipo de papel. A quantidade e qualidade dos insumos necessários à produção do papel influenciará na demanda de água no sistema de produção da máquina de papel.

TABELA 1 – Alocação de matérias-primas em função do tipo de papel.

Aditivo Funcional	Propriedade Esperada	Impressão e escrita	Papel Higiênico	Papel toalha	Guardanapo	Papel facial	Papel Imprensa	Corrugado (capa)	Corrugado (miolo)	Kraftliner	Biblia	Papel para sacaria
Cola de Breu e Sulfato de Alumínio	Resistência à absorção de água											
Colas sintéticas (ASA ou AKD)	Resistência à absorção de água											
Amido (uso na massa)	Resistência a seco											
Amido (uso superficial)	Resistência superficial											
Resinas de resistência a úmido	Resistência a úmido											
Carga mineral (carbonato de cálcio)	Melhorar lisura e aumentar opacidade											
Caulim	Melhorar lisura e aumentar opacidade											
Dióxido de titânio	Aumento significativo da opacidade											
Alvejante óptico	Aumentar brancura do papel											
Matizantes e corantes	Ajustar parâmetros "L", "a" e "b" <sup>3</sup>											
Fibra Química Longa	Aumento significativo das resistências											
Fibra Química Curta	Melhora na formação, opacidade e maciez											
Pasta de Alto Rendimento (P.A.R.)	Melhorar <i>bulk</i> , opacidade e reduzir custos											
Fibras secundárias (recicladas)	Reduzir custos											
Obrigatoriamente usado												
Pode ser usado como substituto ou complemento												
Não necessita ser usado												

FONTE: CAMPOS (2009) – página 80.

<sup>3</sup>"L": luminosidade; "a": tonalidade no eixo de cores vermelho-verde; "b": tonalidade no eixo de cores amarelo-azul.

Assim torna-se necessário ter ao menos uma noção rudimentar da variedade de papéis existentes. A seguir tem-se uma classificação dos tipos de papéis onde demonstra-se a grande diversidade de papéis que podem ser produzidos, entendendo que é apenas uma distribuição entre os principais tipos e respectivas aplicações.

Cada tipo de papel descrito a seguir pode ser produzido em determinadas faixas de gramatura, no entanto, para simplificar e facilitar o entendimento, optou-se por excluir estas informações nesta seção (as quais podem ser encontradas nas fontes bibliográficas informadas).

Segundo WIKIPEDIA (s.d.), Gramatura ou Gramagem é a medida da espessura e densidade de um papel, expressa em gramas por metro quadrado ( $\text{g/m}^2$ ). Sua especificação foi padronizada pela norma ISO 536. Quanto maior for a gramatura, mais "grosso" será o papel.

No entanto, o conceito mais aceito entre os profissionais de papel para a definição de Gramatura é: medida do peso (massa) de um papel por unidade de área, normalmente expressa em gramas por metro quadrado ( $\text{g/m}^2$ ), ou seja, quanto maior a gramatura, maior o peso do papel por unidade de área.

### 3.1 PAPEL PARA IMPRESSÃO E ESCRITA

São os papéis com a finalidade de escrita ou impressão por qualquer dos processos existentes atualmente, incluindo-se também neste grupo o papel imprensa e papel revista. Pode-se ainda dizer que este foi um dos primeiros tipos de papel que surgiu (o texto da seção 3.1 foi sumarizado com base na obra de didática de CAMPOS (2009), como fonte de informação confiável e atual).

Pode-se ainda dividir os papéis de impressão e escrita e três tipos principais (CAMPOS, 2009):

- Papel imprensa;
- Papéis para edição revestidos e não-revestidos (livros, revistas, entre outros editoriais);
- Papéis para escrita e reprodução.

A seguir tem-se uma relação de alguns destes papéis, com algumas de suas características básicas e aplicações (CAMPOS, 2009):

- Papel Bíblia: papel fino, branco, opaco e resistente, utilizado comumente para impressão de bíblias, dicionários, enciclopédias e obras volumosas em geral;

- Papel Couché: papel revestido de um ou de ambos os lados com tinta à base de látex e pigmentos, em máquina de revestir ou na própria máquina que inicia o processo de fabricação do papel (comumente diz-se produção de papel-base), podendo receber diferentes tipos de acabamento superficial (em operações conhecidas como calandragem e supercalandragem, variando entre brilhante, texturizado ou fosco). Empregado na reprodução de trabalhos de elevada qualidade como rótulos, revistas, impressos comerciais, encartes, entre outros, por processos de impressão industrial;
- Papel Imprensa: papel de impressão de jornais e periódicos;
- Papel LWC (“*Light Weight Coated Paper*”): papel revestido fora de máquina com tinta a base de látex e pigmentos em cada face (no entanto em menores quantidades de aplicação da tinta), em geral com acabamento superficial em brilho. Utilizado na impressão de catálogos e revistas;
- Papel Monolúcido: papel que tem por característica ser fabricado com brilho em um dos lados. Utilizado na impressão de sacolas, papéis fantasia, rótulos, etiquetas e laminados;
- Papel MWC (“*Medium Weight Coated Paper*”): este papel pode ser dividido em duas sub-categorias:
  - Papel similar ao LWC, revestido porém com mais camadas de tinta (duas ou três). Utilizado na impressão de revistas, catálogos e impressos comerciais de alta qualidade;
  - Papel couchê, com ou sem acabamento superficial, utilizado na impressão de revistas, livros de arte e material de propaganda;
- Papel *Offset*: papel para impressão, o qual pode ou não ter aplicação de revestimento, sendo que o produto final deve possuir requisitos específicos para o processo de impressão *Offset* (de modo geral: elevada resistência superficial, força de ligação interna, resistência ao arrancamento, resistência à água, estabilidade dimensional, planicidade, umidade relativa controlada, boa rigidez e tendência ao encanoamento reduzida, em alguns casos específicos o papel deve também possuir elevada resistência à dobra, à tração e ao calor, com conteúdo de umidade baixo - no máximo 5%);

- Papel Copiativo: para esta aplicação, o papel pode ser produzido com características básicas similares ao *Offset*, no entanto o conteúdo de umidade deve ser ainda mais baixo;
- Papel Apergaminhado: papel para escrita, opaco, alisado de forma homogênea em ambas as faces (na própria máquina de papel). Sua finalidade normal é imprimir cadernos, envelopes e alçaços, existindo a possibilidade de aplicação de marca d'água (processo também executado na máquina de papel). Utilizado também para correspondência, formulários, impressos, cadernos escolares e envelopes. Segundo CAMPOS (2009), pode também ser encontrado com nomenclatura *SUPER BOND*, quando apresentado na forma colorida;
- Papel de Segundas-Vias (“*Florpost*”): papel fino, com acabamento liso ou monolúcido, podendo ser produzido na cor branca ou colorido. Utilizado predominantemente para correspondência e segundas-vias de notas fiscais.

### 3.2 PAPEL PARA EMBALAGENS

Papéis com a finalidade de proteger e acondicionar produtos e materiais. Em geral, são moldados como caixas ou sacos/sacolas, apresentando uma grande variedade de formas e formatos. O processo de produção permite o uso de fibra reciclada e uma de suas características básicas necessária é a resistência. Além disso, a impermeabilidade e algumas outras características exigidas devido ao contato com produtos alimentícios, entre outros, são definidas através dos processos de tratamento industrial do papel, por combinação com outros materiais, a exemplo, revestimentos de plásticos e/ou compósitos de metais (BRACELPA, 2010).

De acordo com ROBERT (2007), baseando-se na classificação adotada pela BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel, a categoria de papéis de embalagem/cartões pode ainda ser dividida em sub-categorias, da seguinte forma:

- Papéis para Embalagens Leves e Embrulhos;
- Papéis para Embalagens Pesadas;
- Papéis para Fabricação de Papelão Ondulado;
- Cartão.

As seções 3.2.1 a 3.2.4 compreendem relação dos principais tipos de papéis incluídos em cada sub-categoria, sumário baseado no Dossiê Técnico de ROBERT (2007) e em consulta a informações disponibilizadas via internet no site da BRACELPA (2010).

### 3.2.1 Papéis para Embalagens Leves e Embrulhos

Papéis de baixa gramatura. A seguir estão relacionados os mais conhecidos (ROBERT, 2007):

- Estiva e maculatura: papel fabricado de cor natural acinzentada. Usado para embrulhos que não requerem apresentação sofisticada, e fabricação de tubetes entre outros insumos;
- Manilhinha – padaria: papel monolúcido ou não, geralmente na cor natural e em folhas dobradas, sendo utilizado mais comumente em padarias;
- Manilha – HD – hamburguês – LD – macarrão: papéis monolúcidos em cores características ou cor natural. Utilização para embrulho em lojas, indústrias e áreas similares;
- Tecido: papel para embalagem com boa resistência mecânica, e comumente produzido nas cores creme, bege e azul. Utilizado para embrulhos de tecidos e na fabricação de envelopes;
- Fósforo: papel para embalagem monolúcido ou não, produzido na cor azul característica. Utilizado unicamente para forrar caixas de fósforos;
- *Strong*:
  - *Strong* de 1<sup>a</sup>: papel para embalagem, geralmente monolúcido, branco ou em cores claras. Utilizado comumente para a fabricação de sacos de pequeno porte, forro de sacos e embrulhos;
  - *Strong* de 2<sup>a</sup>: papel similar ao “strong de 1<sup>a</sup>”, no entanto sua fabricação permite a utilização de papéis reciclados;
- Seda: papel para embalagem branco ou em cores. Utilizado em embalagens leves, embrulhos de objetos de arte, intercalação, enfeites, proteção de frutas, entre outras aplicações;
- Impermeáveis:
  - Glassine, Cristal ou Pergaminho: papel cuja característica típica é a transparência (obtida em etapas específicas através do processo de produção). Pode ser tornado em opaco (aplicação de cargas minerais), adquirindo aspecto leitoso translúcido. Possui alta impermeabilidade. Aplicado para embalagens de alimentos, papel-base para auto-adesivo, proteção de frutas nas árvores, entre outras aplicações;

- Granado: similar ao “Glassine, Cristal ou Pergaminho”, apresentando porém menor transparência e impermeabilidade que os citados (diferenças na matéria-prima básica). Fabricado também em cores;
- “*Greaseproof*”: papel de elevadíssima impermeabilidade a gorduras. Translúcido e de coloração branca ou ligeiramente amarelada. Utilizado na embalagem de substâncias gordurosas;
- Fosco: papel de baixa impermeabilidade, translúcido, de coloração natural. Usado para desenho, embalagem descartável de alimentos, entre outras aplicações.

### 3.2.2 Papéis para Embalagens Pesadas

Segundo conceito amplamente conhecido na área de papel, trata-se de uma categoria de papéis cuja característica mais relevante é a resistência mecânica (BRACELPA, 2010) e que, em geral, levam a nomenclatura de papel *Kraft* (termo no idioma alemão que significa forte).

A seguir, tem-se uma relação dos tipos de papel *Kraft* mais comumente fabricados (ROBERT, 2007):

- *Kraft* natural para sacos multifoliados: papel altamente resiste ao rasgo, à tração e com boa resistência ao estouro. Utilizado principalmente para sacos e embalagens industriais de grande porte;
- *Kraft* natural ou em cores para outros fins: papel monolúcido ou alisado, com características de resistência mecânica similar a “*Kraft* Natural Multifoliados”. Utilizado para manufatura de sacos de pequeno porte, sacolas e embalagens em geral;
- *Kraft* branco ou em cores: papel monolúcido ou alisado. Utilizado como folha externa em sacos multifoliados, sacos de produtos alimentícios a granel (açúcar, farinha, etc), sacolas e, nas gramaturas mais baixas, para embalagens individuais de produtos como balas e similares;
- *Kraft* de 1ª: papel para embalagem, similar ao “*Kraft* Natural ou em Cores”, no entanto, com menor resistência mecânica que este, monolúcido ou não. Utilizado geralmente para sacos pequenos;

- *Kraft* de 2ª: papel similar ao “*Kraft* de 1ª”, no entanto, com resistência mecânica ainda menor, monolúcido ou não. Usado para embrulhos e embalagens com menores requisitos de resistência e qualidade;

### 3.2.3 Papéis para Fabricação de Papelão Ondulado

Segundo a Norma NBR 5985/83 apud ROBERT (2007), o papelão ondulado pode ser definido como uma "estrutura formada por um ou mais elementos ondulados (miolos) fixados a um ou mais elementos planos (capas) por meio de adesivo aplicado no topo das ondas". Desta definição, tem-se a seguinte classificação dos elementos:

- Miolo: papel utilizado para ser ondulado na fabricação de papelão ondulado;
- Capa de 1ª: papel fabricado de forma a atender as especificações de resistência mecânica requeridas para construir a capa ou forro das caixas de papelão ondulado;
- Capa de 2ª: papel similar ao “Capa de 1ª”, no entanto com propriedades mecânicas inferiores, devido à alta proporção de matérias-primas recicladas utilizada em sua produção.

### 3.2.4 Cartão

As diferenças entre papel e cartão algumas vezes podem não ser tão evidentes, mas como regra geral pode-se definir que:

- O cartão é mais pesado e mais rígido que o papel;
- Folhas com mais de 300 µm de espessura geralmente são classificadas como cartão.

Produtos de cartão encontram sua aplicação em cartuchos, caixas pequenas, pastas para arquivos.

Segundo ROBERT (2007), os cartões são normalmente compostos por combinação de duas ou mais camadas que podem variar conforme a origem (método de obtenção) da polpa de celulose utilizada. Os cartões de baixa gramatura podem ser fabricados com apenas uma camada, no entanto, é bastante comum encontrar cartões mais finos produzidos com estrutura multicamada.

A categoria Cartão pode ser classificada em tipos da forma relacionada a seguir (BRACELPA, 2010):

- Cartão duplex: formado por duas camadas, as quais podem possuir cores ou composição diferentes. De forma geral, suas características principais são: rigidez



para composição de embalagens e caixas, espessura uniforme, elevada resistência superficial e absorção de água e tinta compatíveis à impressão *Offset*.

- Cartão triplex: composto por três camadas, possui características similares ao cartão duplex. Utilizado em embalagens de chocolates, cosméticos, medicamentos, *fast foods* e bebidas.
- Cartão sólido: composto por diferentes camadas brancas, aplicado em embalagens de cosméticos, medicamentos, produtos de higiene pessoal, capas de livro, cartões-postais e cigarros.
- Cartolina branca e colorida: pode ser composto por uma ou mais camadas, possuindo variadas aplicações: etiquetas, encartes, pastas para arquivos, calendário, capas de livros e cadernos, entre outras.
- Papelão: produto de elevada gramatura e rigidez; trata-se de um cartão fabricado em várias camadas, com aplicações diversa, que variam desde confecção de caixas à encadernação de livros.
- Polpa moldada: obtida a partir da desagregação de fibras de aparas, principalmente de jornal. As fibras desagregadas são misturadas com água e produtos químicos para formar uma massa, seguindo posteriormente moldagem e produzindo, a exemplo, bandejas para transporte e proteção de hortifrutigranjeiros, ovos, calços para lâmpadas, celulares, geladeiras e fogões.

### 3.3. PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS

Com nomenclatura difundida no meio papelero de papéis *tissue*, estes produtos são constituídos por folhas ou rolos de baixa gramatura e utilizados em domicílios, instituições e empresas, para a absorção e remoção de umidade, materiais oleosos/graxos e sujeira (CAMPOS, 2009). Usualmente os papéis sanitários classificam-se em:

- Papel Higiênico: papel para fim específico, normalmente utilizados como rolos usados nos toaletes, em folhas simples ou múltiplas e diferentes graus de maciez;
- Guardanapos: papel crepado ou não, para fim específico, em folhas simples ou múltiplas, branco ou em cores, tendo como uma das características a absorção;
- Toalhas de Mão: papel normalmente para uso comercial, natural, colorido ou branco. Utilizado em rolos ou folhas intercaladas;
- Toalhas de Cozinha: papel, em geral, para uso domiciliar, branco, em rolos, de folha simples ou dupla;

- Lenços: papel para uso em folhas múltiplas na confecção de lenços faciais e de bolso, branco ou em cores.
- Lenços Hospitalares: papel para uso específico em instituições hospitalares (papel institucional, como conhecido entre os fabricantes).

### 3.4 PAPÉIS ESPECIAIS

Além grupos de papéis já citados, deve-se considerar ainda grupo onde se inserem papéis especiais com grande variedade de produtos onde, dentre muitos, podemos citar (CAMPOS, 2009):

- Papel Absorvente Base para Laminados
- Papéis Auto-Adesivos
- Papel Autocopiativo
- Papel Base para Carbono
- Papel Crepado
- Papéis Decorativos
- Papel De Segurança
- Papéis Metalizados
- Papel para Cigarro
- Papel para Decalcomania
- Papel para Desenho
- Papel para Ponteiros de Cigarros
- Papel Pergaminho
- Papel Supercalandrado
- Papel Térmico
- Papel Vergê

No entanto, o trabalho não entrará nos detalhes de cada um deles pois não é o foco principal dos objetivos. A intenção desta seção foi prover uma noção básica da complexidade envolvida no universo da fabricação de papéis.

#### 4 ÁGUA NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

Segundo PAULAPURO et al (2000), a performance do processo e da máquina de papel pode ser medida através de vários critérios, onde cada um determina um considerável grau de economia do sistema em operação, e o consumo de água é um destes critérios.

A fabricação de papel tem na água um de seus principais insumos, desempenhando funções significativamente importantes em todo o processo de fabricação de papel sendo utilizada como veículo para as fibras celulósicas, possibilitando seu tratamento físico (separação de impurezas, refinação para desenvolvimento das propriedades de cada tipo de papel, entre outras operações fundamentais ao processo de produção) e viabilizando as interações químicas e físicas entre as fibras bem como entre os demais componentes do processo de produção (produtos químicos e cargas minerais). É necessário ainda estabelecer que para diferentes tipos de papel, em decorrência das diferentes necessidades de processo, equipamentos, tratamentos e preparação de químicos/aditivos, o consumo de água varia consideravelmente, como pode ser visto nas informações disponibilizadas na FIGURA 3.

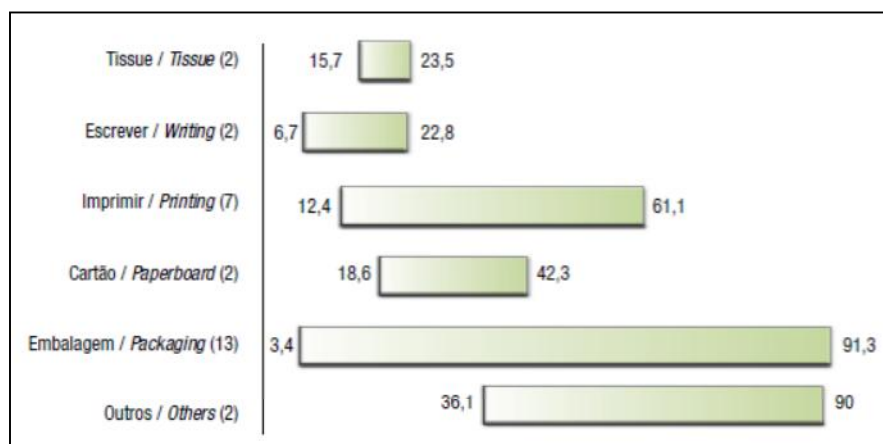


FIGURA 3<sup>4</sup>: Consumo específico de água na fabricação de papel, em m<sup>3</sup>/t.  
 FONTE: BACHMANN (2009).

Os consumos indicados na FIGURA 3 referem-se apenas ao consumo de água na “ilha” de produção de papel e químicos específicos para a mesma, todas as demais áreas da fábrica estão excluídas destes valores (geração de utilidades, como vapor, ar comprimido, entre outros, a exemplo).

<sup>4</sup>Os valores entre parênteses indicam o número de fábricas na amostra

O Consumo Específico de Água trata da razão entre vazão consumida de água no processo de fabricação do papel no período considerado, em metros cúbicos, e a quantidade de produto produzido no período considerado, em toneladas. De acordo com BACHMANN (2009), este índice permite avaliar a eficiência na utilização de água no processo de fabricação de celulose e papel. A medida inclui toda a água fresca alimentada na fábrica, inclusive na área de utilidades, com a finalidade de fornecer uma avaliação mais completa.

A FIGURA 3 mostra valores de consumo específico que ainda podem ser otimizados, se compararmos posteriormente com consumos de fábricas modernas na Europa (a ser ilustrado na Seção 2.2), principalmente no setor de papel para embalagem, no entanto a informação serve para a constatação da existência de diferenças entre os processos de fabricação no quesito consumo de água.

Com relação à água branca gerada no processo de fabricação de papel, segundo ALEXANDERSSON (2003), sua composição depende de diversos fatores, dentre estes as matérias-primas/insumos utilizados, o tipo de produto final e o tipo de máquina de papel. Apesar de não ser possível propiciar uma descrição exata da composição, é possível mencionar certos compostos que podem ser encontrados na água branca. Independentemente do tipo ou da origem, estes compostos aparece tanto como partículas quanto dissolvidos na água e constituem ambos compostos inorgânicos e orgânicos. Primeiramente a água branca contém grande quantidade de fibras, as quais não foram retidas na tela da máquina de papel. Durante o processamento da polpa de celulose algumas das fibras são quebradas em fragmentos menores, os quais são comumente referenciados como finos. Estes finos podem ser degradados ao longo do processo de forma que cadeias pequenas de polissacarídeos são dissolvidas na água branca. Além das fibras existem muitos outros compostos oriundos da polpa. Quando fibras virgens são utilizadas, compostos como monossacarídeos, dissacarídeos, resinas, ceras e ácidos graxos podem ser transferidos para a água branca. A maior contribuição para a água branca de fibras recicladas é o amido, o qual se trata de um aditivo que melhorava a resistência do produto anterior.

#### 4.1 CIRCUITO DE ÁGUA EM FÁBRICA DE PAPEL

De acordo com o descrito por PAULAPURO et al (2000), a função da água na fabricação de papel é transportar e distribuir as fibras, assim como consolidar a folha quando a água é removida da trama formada pelas fibras celulósicas. Nas demais operações de uma

fábrica de papel a água também é necessária, agregando várias outras funções, como pode-se exemplificar a seguir:

- Diluição/Distribuição;
- Limpeza
  - Chuveiros de alta pressão, chuveiros agulha;
  - Chuveiros em geral;
  - Mangueiras, bocais de limpeza/descarga.
- Lubrificação;
- Selagem;
- Resfriamento;
- Preparação de químicos;
- Casa de água da Caldeira (geração de vapor).

A FIGURA 4 apresenta um princípio genérico de circuito de água em fábrica de papel.

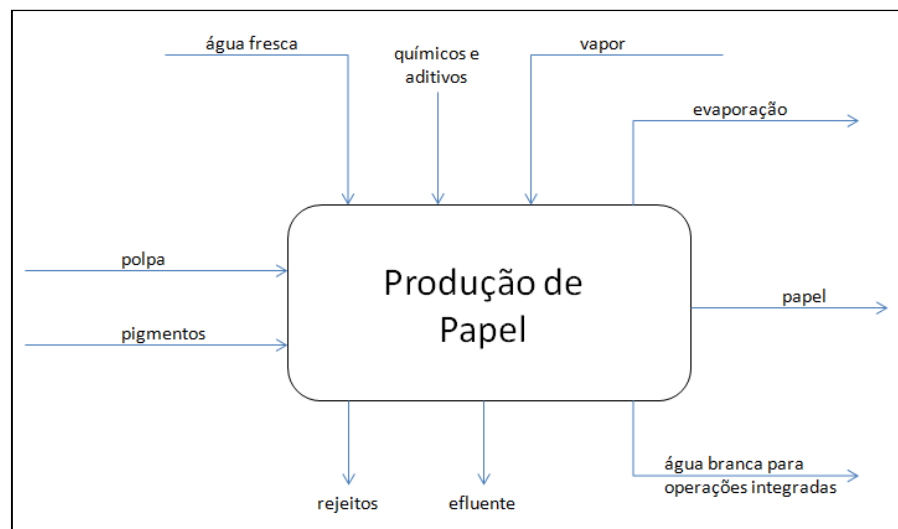


FIGURA 4: Circuito de água de fábrica de papel, princípio de sistema.

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 175.

Ainda como descrito por PAULAPURO et al (2000) água entra no sistema como água fresca e também via polpa diluída, nos casos de sistemas integrados, cenário no qual a polpa é usualmente estocada em consistências entre 4% e 12%. Pode-se ainda citar algumas fontes menores de água, por exemplo, uma pequena quantidade de água entra no sistema na forma de vapor, que corresponde ao vapor alimentado no poço da tela para controle de temperatura, e pode-se ter também, dependendo do tipo de papel fabricado, algum vapor para a preparação de aditivos. Em fábricas integradas modernas algumas vezes pode-se notar o volume de

efluente gerado na máquina de papel como atingir valores considerados pequenos. Isto significa que grande parte da água excedente no sistema, ou quase toda ela, é utilizada em processos anteriores como polpação mecânica integrada ou destintamento, a exemplo. Pode-se ainda afirmar que água fresca entra no processo de uma fábrica integrada principalmente através do sistema da máquina de papel.

Segundo descreve PAULAPURO et al (2000), a água de processo é estocada como água clara ou como água branca. Em operação normal da máquina de papel, toda água branca, na maior parte dos processos adequadamente projetados, passa por um *saveall*<sup>5</sup> e apenas o filtrado claro é armazenado. Se na planta existem duas torres de água de processo disponíveis, recomenda-se que uma seja utilizada exclusivamente para filtrado, enquanto a outra deve conter a água branca, promovendo uma melhor separação de águas de diferentes qualidades. No entanto, é uma boa prática considerar uma conexão entre as duas torres e entre os tanques de filtrado com o intuito de possibilitar uma maior flexibilidade no processo. Torres de estocagem de água de processo, nos sistemas de máquina de papel, são comumente equipadas com agitadores para evitar a deposição de finos e cargas minerais no fundo das mesmas, no entanto, projetos mais modernos têm previsto um sistema de dispersão da água branca bombeada do tanque de água branca da máquina, com bicos dispersores posicionados no fundo da torre; e dependendo das temperaturas locais, a torre de água pode vir a ser isolada também, de acordo com a necessidade de balanceamento energético pontual do processo.

Como uma regra estimativa para projeto da torre (normalmente utilizada na indústria), determina-se que a torre de água branca tenha a mesma capacidade da torre de refugo capacidade, ou seja, se a torre de refugos tem 1.000 m<sup>3</sup>, a operação precisará de aproximadamente 1.000m<sup>3</sup> de água para diluir estes refugos.

Conforme constatado por PAULAPURO et al (2000), e verificado em prática para alguns fabricantes de papel, a falta de armazenamento suficiente de água branca significa que uma grande quantidade de água fresca deverá ser adicionada durante inícios de operação e em situações de quebra de folha prolongada, se comparado ao período de operação normal da máquina de papel. Esta condição pode causar instabilidade de processo. A água fresca deve ter sua temperatura e pH ajustados antes de ser adicionada ao processo, e ainda assim seu conteúdo de sólidos suspensos será diferente. Esta condição poderá causar desbalanceamento da química da parte úmida da máquina (*Wet End*), o que causará, como consequência, variações crescentes no efluente para a E.T.E.. A água fresca que complementar a falta de água de processo deve ser aquecida para a temperatura da água do circuito e deve ser

---

<sup>5</sup>Equipamento/filtro ou sistema para recuperação de fibras, que por consequência gera água clara

adicionada ao processo apenas um único ponto que seja adequadamente distante da caixa de entrada (tanque de água branca, por exemplo), assim, possíveis impactos negativos no balanço químico do *Wet End* são minimizados. Em casos em que a temperatura do meio ambiente pode alcançar níveis baixos (em determinadas época do ano) e o processo necessita de variações na quantidade de água fresca, pode-se prever em projeto uma torre para fornecimento de água fresca tratada química e/ou mecanicamente. Porém, é necessário que a água fresca recircule através de um circuito de aquecimento. Para este aquecimento pode-se utilizar calor recuperado da capota de exaustão da máquina de papel ou de algum outro sistema disponível (a exemplo, um sistema de recuperação de calor de uma planta de CTMP, ou ainda calor recuperado da seção de secagem de uma máquina de secagem de celulose). Se não houver alternativa de geração de calor secundário, para esta função deve-se utilizar vapor para aquecimento desta água (atualmente existem conceitos utilizando troca indireta para reaproveitamento de condensado e calor residual). Em geral, para vários tipos de papéis, a temperatura ideal da massa está entre 50°C a 60°C, faixa em que a temperatura contribui de forma balanceada para a drenagem na máquina de papel (baixando a viscosidade da água).

## 5. POTENCIAIS PARA FECHAMENTO DE CIRCUITO (REUSO DE ÁGUA)

O balanceamento entre suprimento e demanda de água reduz purgas e reposições de água de processo com água fresca; como consequência, reduz-se consumo de água e geração de efluentes. A FIGURA 5 mostra um princípio para melhoria do uso de água. Em um programa de conservação de água, o primeiro passo é determinar a qualidade mínima requerida para água a ser aplicada em cada propósito específico (PAULAPURO et al, 2000).

Outras águas que não a água de processo devem ser mantidas em circuitos separados, por exemplo, a água de resfriamentos nos circuitos de água de resfriamento, a qual também pode ser recirculada dentro deste circuito através da utilização de torre de resfriamento, se necessário, assim como a água do sistema de vácuo (PÖYRY, 2001). Água não contaminada pode ser enviada para o emissário da fábrica sem necessidade de tratamento, e como consequência não causa uma sobrecarga hidráulica na planta de tratamento de efluente, no entanto as temperaturas desta água de emissão devem ser monitoradas, pois os corpos d'água têm limites definidos pelos órgãos ambientais para absorção e dispersão desta energia, devido ao prejuízo da solubilidade do oxigênio na água consequente ao aumento de temperatura e o impacto prejudicial direto que este fator tem na vida subaquática.

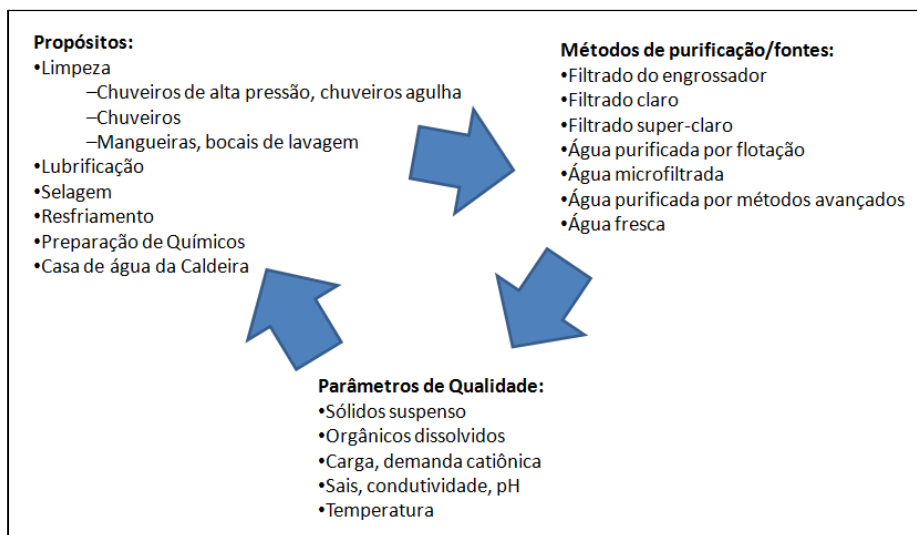


FIGURA 5: Ciclo de trabalho para uso interno de água de fábrica.

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 176.

Em projetos especializados e adequados, toda a água limpa é retornada para a torre de resfriamento central da fábrica que resfria, controla o pH e devolve esta água ao circuito de água fresca/resfriamento da fábrica.

Segundo AALTONEN et al (1973), sem prejuízo da qualidade dos papéis ou dos fatores de produção, em uma nova fábrica, o uso de água fresca pode ser limitado para os



seguintes propósitos, com pequenos custos adicionais: chuveiros de limpeza para os feltros da prensa e chuveiros de lubrificação para os rolos de sucção; águas de selagem de bombas, agitadores e refinadores; alguns dos chuveiros da tela (em geral os de alta pressão); preparação de produtos químicos. O consumo de água nestes pontos varia consideravelmente de fábrica para fábrica e dependendo do tipo de papel produzido, do projeto da máquina de papel e de seus equipamentos auxiliares, das matérias-primas e insumos utilizados, entre alguns outros fatores.

Como mostrado na TABELA 2, o consumo específico de água em fábricas modernas está no intervalo de 2 a 20 m<sup>3</sup>/t de papel (apenas máquina de papel), com exceção de fábricas de papéis especiais, as quais chegam a consumir até 100 m<sup>3</sup>/t ou mais. Em fábricas mais antigas, o consumo de água fresca pode alcançar níveis bem maiores devido ao processo em operação já se encontrar obsoleto. A TABELA 2 mostra cenários de consumo médios de água fresca com o objetivo de salientar o progresso na redução do consumo deste insumo desta época. A redução significativa nas últimas décadas se deve principalmente à introdução de equipamentos de recuperação (*saveall*), à instalação de capacidades de estocagem de água de processo suficientes (para inícios de operação e períodos de quebra de folha), utilização de equipamentos mais eficientes, implantação da metodologia de separação de correntes de água de diferentes qualidades, e algumas outras melhorias de projeto na engenharia de processo.

TABELA 2 - Consumos específicos de água fresca típicos de modernas fábricas de papel (em comparação com a situação em 1971).

PAPEL	Atualmente	1971
	m <sup>3</sup> /t	m <sup>3</sup> /t
Jornal	5 - 15	85
Papel fino	5 - 10	180
Papel supercalandrado (SC)	10 - 15	120
Papel LWC	10 - 20	-
Tissue	5 - 15	290
Liner	2 - 10	40 - 85
Cartão multicamada	8 - 15	130

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 177.

Ainda, de acordo com PAULAPURO et al (2000), uma fábrica é dita como “fechada” se não descarta água de processo. Devido às evaporações inerentes ao processo, principalmente na seção de secagem da máquina de papel, e devido à saída do sistema das águas contidas nos rejeitos das depurações centrífuga e pressurizada, a reposição de alguma quantidade de água será sempre necessária. Esta quantidade será menor na medida que mais

água entra com a umidade das matérias-primas, pigmentos, tintas, químicos e demais insumos (FIGURA 4). Se uma matéria-prima mais seca, como fibra reciclada, é utilizada, então o consumo específico de água deve ser em torno de 2 m<sup>3</sup>/t em operação de fábrica “fechada”. Neste caso, a quantidade de água evaporada na seção de secagem da máquina de papel é de cerca de 50% da entrada de água fresca. Fabricação de papel livre de efluente é possível, no entanto a estabilidade do sistema e a disponibilidade (*runnability*) da máquina de papel são comprometidos e problemas de qualidade podem ocorrer arranjo de processo e a purificação interna de água são inadequados. Água fresca é utilizada para algumas aplicações de chuveiros selecionadas na máquina de papel, e nenhuma água fresca para complementar a água de processo é consumida. A água fresca pode ser substituída por água clarificada, mas apenas se o conteúdo de sólidos suspensos for suficientemente baixo, e substâncias prejudiciais não depositarem ou precipitarem, o que pode entupir os orifícios dos chuveiros (TABELA 3), e os chuveiros de alta pressão utilizam impreterivelmente água fresca por esta razão. A água fresca também é aplicada em outros pontos onde compostos orgânicos e inorgânicos dissolvidos podem causar problemas. Além disso, entre 10% e 15% de água fresca são necessários para a preparação e diluição de insumos químicos.

TABELA 3 - Requerimentos de qualidade para água de chuveiro.

Carga de sólidos	Possível aplicação da água
< 50 ppm	Equivalente a água fresca filtrada
50 - 75 ppm	Utilizável em orifícios ≥ 1 mm
75 - 100 ppm	Utilizável em orifícios ≥ 1.5 mm
100 - 200 ppm	Utilizável em orifícios ≥ 3 mm
200 - 500 ppm	Recomendado para chuveiro tipo escova
> 500 ppm	Recomendado para chuveiro de purga

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 179.

Outro ponto com possibilidade de reuso de água é o circuito de água do selo das bombas de vácuo. Esta aplicação em geral utiliza grandes volumes de água e apresenta grande potencial para redução de consumo de água fresca, se o projeto for feito de forma adequada, com um projeto de torre de resfriamento adequado (enchimentos especiais para operação com água que possui algum conteúdo de fibra) e filtros *strainers*. Segundo WÖRSTER, COSTA (1997), ao menos uma fábrica no exterior do Brasil substituiu com êxito a água fresca pela água de processo para selar bombas de vácuo depois da instalação de uma unidade de resfriamento para poder controlar os níveis de vácuo necessários. No entanto, em algumas

instalações foi observado que a água de selagem das bombas de vácuo era contaminada, pois apresentava elevados valores de sólidos suspensos, de DBO e de toxicidade.

Um projeto adequado, conforme já mencionado, para reaproveitamento da água do anel de selagem das bombas de vácuo deve contemplar ao menos:

- Tanque de água com bomba para fornecer água às bombas de vácuo;
- Previsão de linha de reposição água para cobrir perdas por evaporação (controle de nível no tanque);
- Previsão de linha que retire excesso de água do sistema (para o tanque de água da tela, por exemplo) em situações em que se trate de máquina antiga, com poucos separadores ar-água instalados e que, por isso, arraste muita água para as bombas de vácuo;
- Sistema para controlar pressão e temperatura na tubulação de descarga da bomba do tanque;
- Canal de coleta das águas das bombas de vácuo;
- Bomba(s) para transferir água do canal para torre de resfriamento;
- Torre dimensionada adequadamente para atingir os requisitos de vazão e troca térmica especificados, prevendo enchimento especial para trabalhar com eventual, apesar de mínimo, conteúdo de fibra na água;
- Peneira (filtro *strainer*), para remoção de contaminações antes de alimentar a torre de resfriamento;
- Bacia de coleta da água com bomba para envio ao tanque de água que alimentará as bombas de vácuo;
- Sistema de controle de pH<sup>6</sup> para minimizar a corrosão das bombas de vácuo e centrífugas e para evitar conflito com o pH praticado no restante do processo. Se possível, deve-se manter o pH da água acima de 5,5, para evitar corrosão em bombas em aço comum, caso contrário deve-se prever revestimento ou troca das bombas de vácuo.
- Sistema de controle microbiológico<sup>6</sup> para evitar / minimizar o desenvolvimento de microrganismos na bacia da torre de resfriamento.

---

<sup>6</sup>NOTA: Tanto o controle do pH como o microbiológico podem ser feitos utilizando-se *skids* químicos locais

## 5.1 SUBSTÂNCIAS DISSOLVIDAS E PERNICIOSAS – EFEITOS NEGATIVOS DO FECHAMENTO DE CIRCUITO E PARÂMETROS DE MONITORAMENTO

De acordo com PAULAPURO et al (2000) Substâncias perniciosas são substâncias não-iônicas, aniônicas e coloidais. O lixo aniônico, o qual pode ser determinado através da demanda catiônica, é um subgrupo das substâncias perniciosas e tem por característica consumir agentes de retenção, o que prejudica a retenção na tela da máquina, além de afetar a eficiência de outros produtos químicos, como os agentes de colagem interna. Substâncias perniciosas podem ser adsorvidas ou precipitarem sobre a superfície das fibras, *fillers*, e finos, o que prejudica características como interação fibra-fibra, brilho e o contato molecular entre fibra e químicos de processo. A temperatura tem uma influência muito importante na cinética destas reações. De forma geral, as substâncias dissolvidas e quimicamente ativas:

- Entram no sistema com toda a matéria-prima, incluindo água fresca;
- São criadas pelas operações em fábricas integradas, por exemplo, pelo branqueamento ou pelo destintamento;
- São criadas pelo tratamento de superfície do papel, entrando no sistema através do circuito de quebra.

Na TABELA 4 é mostrada a composição de algumas substâncias perniciosas de acordo com suas origens.

TABELA 4 - Composição e origem de substâncias perniciosas.

Compostos Químicos	Origem
Silicato de sódio	Branqueamento com peróxido, destintamento, aparas
Polifosfato	Agente dispersante de <i>filler</i>
Poliacrilato	Agente dispersante de <i>filler</i>
Ácidos orgânicos	Agente dispersante de <i>pitch</i>
Carboxi-Metilcelulose	Quebra de papel revestido
Amido	Aparas, quebras, agentes de resistência
Ácidos Húmicos	Água fresca
Derivados de Lignina	Polpa Kraft, Polpa Mecânica
Lignosulfonatos	Polpa Sulfito, CTMP
Hemiceluloses	Polpa Mecânica
Ácidos graxos	Polpa Mecânica

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 179.

Substâncias orgânicas dissolvidas e substâncias coloidais são excelentes nutrientes a população microbiana, a qual se propagará rapidamente na temperatura de água de processo algumas vezes favorável. Dependendo do nível de oxigênio dissolvido na água de processo, atividade microbiológica tanto anaeróbica quanto aeróbica irá contaminar e sujar o sistema da

máquina, gerando lodo e causando odores característicos. O lodo depositado por micro-organismos anaeróbios contribui para a corrosão, o que também pode acontecer na presença de oxigênio devido ao fato de que condições anaeróbicas ocorrem na superfície do metal sob as camadas de micro-organismos aeróbicos. Deve-se também atentar para o fato de que, conforme citado por HAMM (2001), sob condições anaeróbicas sulfatos são reduzidos a sulfeto de hidrogênio. Substâncias inorgânicas dissolvidas, conhecidas como sais, também prejudicam a performance do processo e as propriedades do produto. Uma alta concentração de eletrólitos, em particular cloreto, aumenta o potencial de corrosão no sistema.

Outro problema da alta concentração de eletrólitos se explica pelo equilíbrio osmótico, que consequentemente diminui a turgidez da fibra, prejudicando o processo de refinação e, por consequência, o comportamento da fibra na consolidação da folha também é prejudicado (CAMPOS, 2009).

Segundo PAULAPURO et al (2000), no dia a dia da fábrica, uma estimativa rudimentar da quantidade de substâncias perniciosas pode ser obtida através da demanda química de oxigênio (DQO). Outros valores, como quantidade de compostos orgânicos dissolvidos também podem ser determinados *on-line*. Informações adicionais podem ser obtidas através de sensores com medição de Zeta Potencial, turbidez, e da quantidade de compostos orgânicos totais. O efeitos dos sais na água de processo pode ser monitorado *on-line* por medição da condutividade do fluido. Alguns ânions e cátions metálicos específicos são determinados apenas no laboratório, sendo que apenas alguns como cálcio, alumínio e silicato são passíveis de medição *on-line*.

### **5.1.1 Mecanismos de Acúmulo**

Conforme explica PAULAPURO et al (2000), a alimentação ou geração contínua de uma substância dentro de um processo com circulação interna causa o acúmulo desta substância. Isso significa que a concentração no circuito de circulação é incremental e inversamente proporcional ao volume de descarga de efluentes. Cada composto orgânico e inorgânico dissolvido eventualmente alcança um equilíbrio. O equilíbrio aparece mais cedo e uma concentração menor é alcançada se parte da substância é consumida em reações químicas por uma mudança de fase, como precipitação, por floculação, por degradação microbiológica, ou por algum outro meio. O equilíbrio particular de cada substância é determinado pelas condições de processo, as quais podem ser monitoradas e medidas, por parâmetros como

temperatura, pH, densidade de carga. Portanto, se a substância não é consumida sua concentração no sistema se eleva e é influenciada pelas correntes de descarga do processo. Pode-se mostrar tendências e níveis possíveis de acumulação através de curvas elaboradas com base em cálculos de balanço do circuito curto (*short circulation*).

A TABELA 5 sumariza as desvantagens de redução do consumo de água fresca, como consequência do fechamento de circuito.

TABELA 5 – Desvantagens da redução de consumo de água fresca.

<b>Incremento em sólidos suspensos</b>	<b>Incremento em material dissolvido</b>	<b>Incremento em temperatura</b>
Entupimento de chuveiros Incremento em finos e carga em retenção	Depósitos de escamas Alteração da química da parte úmida (Wet End)	Problemas na colagem Redução da capacidade das bombas de vácuo
Manchas e sujeiras no produto Formação de depósitos Abrasão Redução de vida útil da tela	Crescimento de atividade biológica Formação de depósitos Corrosão Cor, cheiro	Crescimento de atividade biológica (a baixa temperatura)

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 181.

Conforme relatado por ARANTES (2000), em um dos casos estudados por seu trabalho, no início da operação com fechamento parcial do circuito houve uma elevação imediata da temperatura da água branca, o que levou a uma consequente melhoria na drenagem, com aumento de produção sem custo adicional de energia. Entretanto, houve um acréscimo no consumo de cola e na geração de espuma no sistema. Posteriormente notou-se mais alguns efeitos negativos como odores nas águas de processo, aumento do número de quebras de folha na seção das prensas, entre outros.

PAULAPURO et al (2000) cita ainda que a caixa de entrada da máquina de papel é um importante ponto referencial para avaliação de mudanças na qualidade da água e na carga/acúmulo de substâncias perniciosas. Os seguintes pontos têm relevância a respeito do acúmulo de substâncias perniciosas e estabilidade de sistema:

- Escolha correta do ponto para retirada de água do processo a ser descartada para efluente;
- Seleção correta da água a ser tratada por purificação avançada;
- Aplicação adequada da água purificada no processo.

### 5.1.2 Efeitos do Fechamento de Circuito em: Zeta Potencial, Drenagem e Retenção

Neste ponto, o parâmetro Zeta Potencial merece um pouco mais de atenção pela importância que ele tem no contexto de estabilidade de produção e qualidade de papel. Segundo UENO (1991) as fibras e pigmentos usados na fabricação de papel são carregadas negativamente, fazendo com que as partículas afastem-se uma das outras.

Uma teoria para o comportamento de partículas eletricamente carregadas durante o fenômeno de sua dispersão em meio aquoso pode ser visto na FIGURA 6, que mostra uma partícula eletronegativa como o caulim, por exemplo, em suspensão na água. Segundo CAMPOS (2009), a carga negativa do caulim, por exemplo, é devida à adsorção de íons  $\text{OH}^-$  em certos pontos da superfície. Uma partícula de caulim em suspensão na água é envolvida por um filme de  $\text{H}_2\text{O}$  chamado camada de água difusa que é, todavia, menos ligada do que a camada de íons  $\text{OH}^-$  adsorvidos. A diferença de potencial na camada difusa é chamada potencial eletrocinético ou Zeta Potencial, representando a carga eletronegativa adsorvida pelas partículas em suspensão na água. O Zeta Potencial que é indicado em mV (milivolts) pode ser utilizado como indicador na definição de condições adequadas para a fixação de finos e cargas às fibras (grau de retenção).

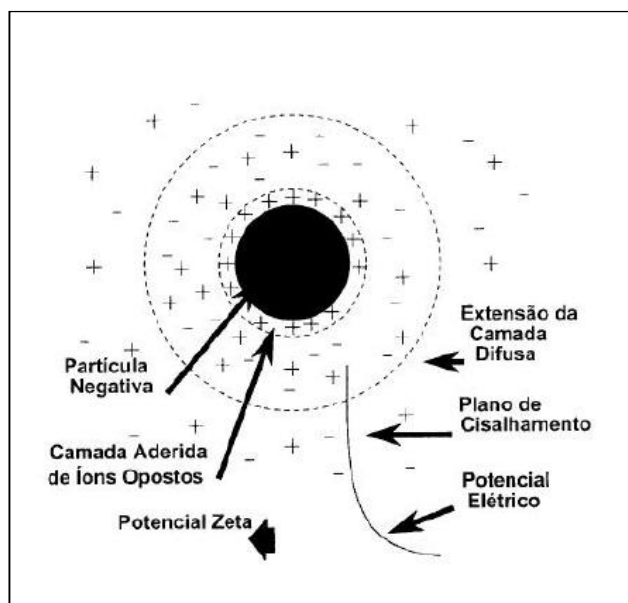


FIGURA 6: Zeta Potencial.  
FONTE: CAMPOS (2009) – página .74

Como já dito, as fibras e pigmentos usados na fabricação de papel são carregadas negativamente, fazendo com que as partículas afastem-se uma das outras. Ainda conforme UENO (1991), o Zeta Potencial é a medida destas cargas, e quanto maior for a repulsão maior

será o Zeta Potencial (em módulo) e fenômeno diminuirá a retenção de carga e finos na manta fibrosa sendo formada, o que se explica pelo fato de que a repulsão evita a floculação da fibras sobre a tela e assim as partículas de carga e finos passam através da tela para a água branca. À medida em que o Zeta Potencial aproxima-se do zero, as cargas tornam-se menos efetivas em manter as partículas separadas e a condição direciona-se para a floculação e aglomeração das partículas melhorando a retenção. Quando aumenta-se a retenção de primeira passagem dos pigmentos e dos finos, melhora-se a qualidade da folha, aumentando suas propriedades ópticas e sua resistência.

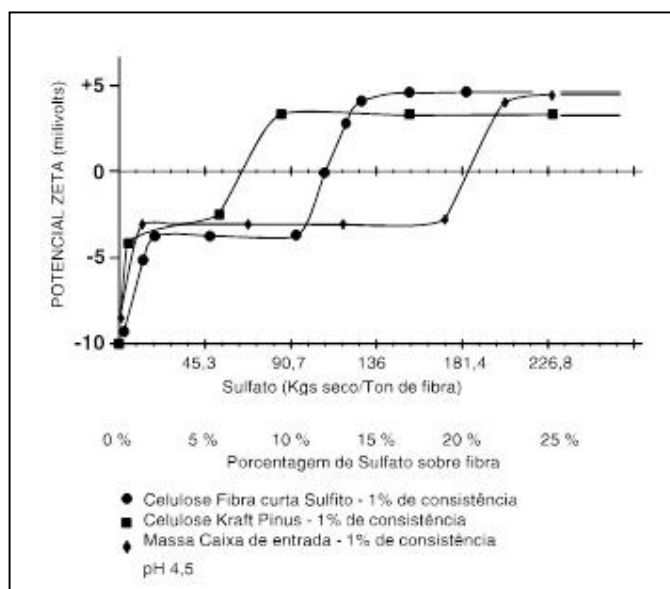


GRÁFICO 7: Zeta Potencial para três tipos de celulose.  
 FONTE: FINUSCONTROLE (s.d.)

O GRÁFICO 7, mostra a mudança no Zeta Potencial para três tipos de celulose, com adições gradativas de Sulfato de Alumínio. Quando inicia-se a adição do Sulfato, o Zeta Potencial sobe acentuadamente até atingir um patamar, que é descrito como patamar de demanda catiônica. A partir deste ponto o Zeta Potencial permanece constante até que todos os grupos funcionais carregados negativamente (principalmente as carboxilas) na superfície das fibras tenham sido neutralizadas. Neste ponto o Zeta Potencial varia novamente e troca de polaridade atravessando o zero e tornando-se positivo. (FINUSCONTROLE, s.d.)

De acordo com o relatado por UENO (1991), a demanda catiônica é resultante da presença de grupos químicos reativos (aniônicos) na massa e pode-se atestar que para a fabricação de papel, o grupo funcional mais importante são os aniônicos na superfície das fibras e dos finos (onde ocorreram as ligações para formação da manta fibrosa). Estes grupos aniônicos devem ser neutralizados com grupos catiônicos para formar uma estrutura de malha



fibrosa, a qual possibilitará a máxima retenção, drenagem e propriedades físicas. O fechamento total ou parcial de circuitos provoca um acúmulo de produtos químicos, materiais orgânicos dissolvidos e aniônicos em níveis consideravelmente altos de concentração, conforme explicado na seção 5.1.1. Estes grupos compreendem o que é chamado de “restos aniônicos” ou “lixos aniônicos”. Este material com sua característica aniônica, diminui a efetividade dos retentores catiônicos pela formação de polímeros complexos neutros, causando uma alta demanda catiônica, e portanto alterando o Zeta Potencial.

## 6 TECNOLOGIAS PARA FECHAMENTO DE CIRCUITO

De forma geral, o fechamento de circuito é projetado e executado com equipamentos já conhecidos como filtros a disco, filtros *strainers*, flotores (DAF – *Dissolved Air Flotation*), entre outros. O intuito desta seção é enumerar algumas tecnologias mais recentes, com possíveis aplicações, ao menos tecnicamente, nos projetos de redução de consumo de água fresca.

Algumas técnicas avançadas de purificação de água podem ser aplicadas às águas de processo de uma fábrica de papel com o intuito de reduzir a quantidade de substâncias dissolvidas e coloidais circulando no processo. Estas técnicas têm sido conhecidas também pelo nome *Kidney Technology*, ou Tecnologia "Rim", em uma tradução literal, devido à função de purificação conhecida deste órgão no corpo humano (HAMM, 2001).

Segundo PAULAPURO et al (2000), as técnicas avançadas podem vir a se tornar viáveis ou necessárias se o objetivo for reduzir o consumo de água fresca a níveis extremamente baixos. Das muitas técnicas avançadas conhecidas para purificação de água, as seguintes têm sido aplicadas às águas de processo de fábricas de papel em escala industrial:

- Filtração por membrana
- Evaporação.
- Tratamento biológico

De uma forma geral, a seleção da técnica e o projeto mais adequada para cada caso deve ser determinada seguindo alguns parâmetros listados a seguir:

- Parâmetros requeridos de qualidade da água purificada;
- Custos:
  - De Investimento;
  - De Operação;
  - Peças de reposição, manutenção.
- Demanda de energia: elétrica e de consumo de vapor;
- Confiabilidade, disponibilidade, e capacidade de resposta;
- Garantias de propriedades e performance quanto ao alcance de resultados na concentração do resíduo concentrado;
- Conhecimento das propriedades das correntes de alimentação;
- Requerimentos de pré-tratamento;
- Uniformidade nos requerimentos de taxa de vazão e propriedades da corrente de alimentação;

- Área disponível para instalação do sistema.

PAULAPURO et al (2000) explica também que a(s) corrente(s) de rejeito de tratamentos avançados consistem em geral de fluídos de alta concentração e alta viscosidade (lamas e lodos). Em geral é necessário um pós tratamento deste material e os custos deste pós tratamento devem ser levados em consideração quando da avaliação da viabilidade da técnica escolhida. Alguns possíveis usos ou tratamentos dos resíduos concentrados (lama, lodo), são:

- Secagem e/ou queima;
- Venda ou utilização como insumo (neste ponto há a necessidade de consulta especializada ao mercado para verificar disponibilidade de demanda);
- Disposição;
- Tratamento na E.T.E.;
- Reuso no processo (necessário intenso estudo de engenharia, bem como pesquisa e desenvolvimento de processo).

O mais frequente método aplicado para manuseios de fluidos concentrados é a queima.

## 6.1 FILTRAÇÃO POR MEMBRANA

O processo de filtração por membrana tem aplicação na indústria de papel na purificação de água de processo, bem como na recuperação de material de valor agregado como pigmentos ou látex de efluentes das cozinhas de tinta. Segundo PAULOPURO et all (2000), a membrana funciona como uma peneira molecular, desta forma suas propriedades determinam a qualidade do fluído filtrado. A TABELA 6 mostra classificações de filtração por membrana de acordo com o tamanho de partícula a ser excluída na separação. Os tamanhos de separação e as pressões operacionais são apenas diretrizes estimativas.

TABELA 6 – Técnicas de Filtração por Membrana.

Método	Tamanho de Separação	Pressão de Operação	Tipo de Membrana
Osiose Reversa	< 1.5 nm	3-6 MPa	Não-porosa
Nano-Filtração	0.5 nm - 7 nm	1-4 MPa	Micro-porosa
Ultra-Filtração	3 nm - 0.1 µm	0,2-1 MPa	Micro-porosa
Microfiltração	50 nm - 5 µm	0,1-0,4 MPa	Porosa

FONTE: PAULAPURO et al (2000) – traduzido – página 184.

A FIGURA 8 mostra um esquema do espectro de retenção de impurezas para cada método/tipo de membrana.

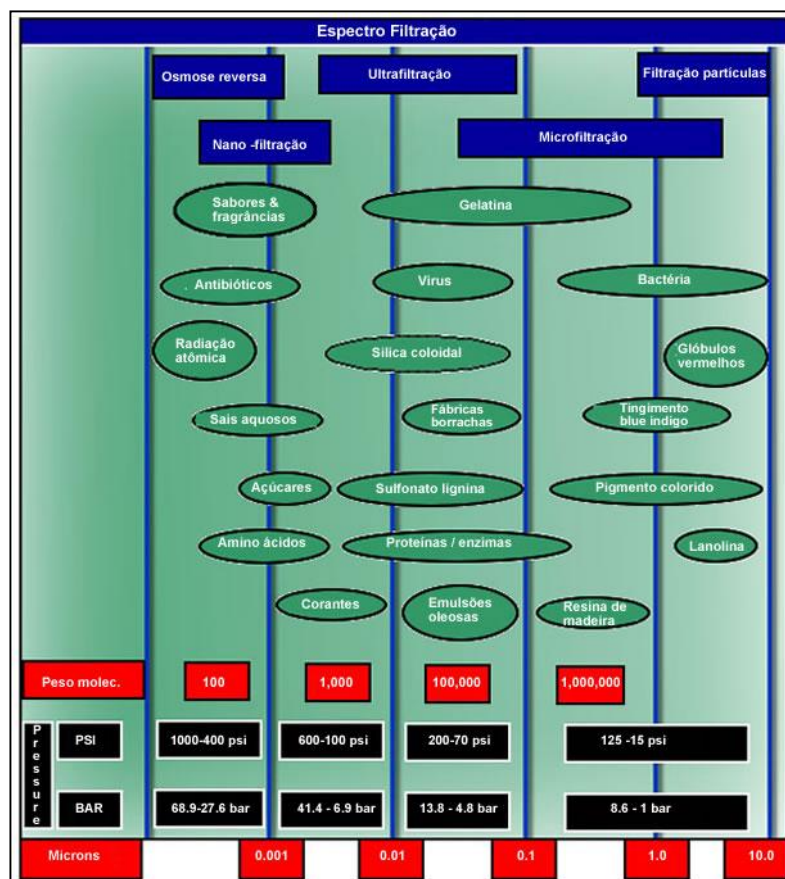


FIGURA 8: Espectro de Filtração.  
FONTE: GEA FILTRATION (s.d.).

Membranas para as aplicações aqui mencionadas podem ser moldadas em vários tipos modulares como tubos, placas, fibras ocas, monolitos, ou elementos espiralados. Segundo PAULAPURO et al (2000), o princípio *cross-flow* (fluxo passante) geralmente é aplicado para águas de processo de fábrica de papel para minimizar incrustações. Membrana com incrustações significa um decréscimo em fluxo devido à adsorção, entupimento de poros, ou deposição na superfície da membrana por gel ou formação de camada. Limpezas periódicas ou contínuas se fazem necessárias (dependendo de características específicas do processo produtivo e das matérias-primas envolvidas). Um bom pré-tratamento da corrente de alimentação, como Micro-Filtração (FIGURA 9), se faz necessário.



FIGURA 9: Sistema de Micro-Filtração.  
FONTE: TECNIUM (s.d.).

Nano-Filtração (FIGURA 11) e Osmose Reversa (FIGURA 12) comumente são processos vistos como pós –tratamento de fluídos limpos por Ultra-Filtração (FIGURA 10), e apesar do pré-tratamento e das limpezas, as membranas têm um intervalo de reposição que varia de 1 a 5 anos. Através das diferenças mostradas na FIGURA 8 pode-se definir claramente uma relação de nível de proteção entre os diferentes processos, quando aplicados em conjunto, com para prevenção de entupimento. A qualidade do filtrado bem como seu fluxo dependem do tipo de membrana utilizada e das características da corrente de alimentação. A redução em DQO depende do conteúdo de moléculas grandes e de colóides. Redução de DQO de filtrados de máquinas de papel com tratamento por Ultra-Filtração geralmente varia entre 20% e 40%, enquanto que por Nano-Filtração pode alcançar índices de 90% (PAULAPURO et al, 2000). Tanto a Nano-Filtração quanto a Osmose Reversa diminuem alguma porcentagem de íons.



FIGURA 10: Sistema de Ultra-Filtração.  
FONTE: REVISTA MEIO FILTRANTE (s.d.).



FIGURA 11: Sistema de Nano-Filtração.  
FONTE: OUROLAC (s.d.).



FIGURA 12: Sistema de Osmose Reversa.  
FONTE: YETE (s.d.).

## 6.2 EVAPORAÇÃO

Evaporação é visto como o processo mais efetivo para concentrar todas as substâncias não voláteis com o objetivo de sua remoção do processo e a qualidade do condensado resultante em geral é equivalente à qualidade da água fresca.

Duas tecnologias de evaporação vêm sendo utilizados em escala industrial para processamento da água de processo, no intuito de aproveitá-la:

- Evaporação Multi-Efeito (ME);
- Recompressão Mecânica de Vapor (MVR – *Mechanical Vapor Recompression*).

Estes processos comumente utilizam tecnologia de filme descendente (*falling film*) e evaporação a vácuo, e sua água de alimentação deve ao menos ser tratada por filtração e/ou flotação a ar dissolvido (DAF – *Dissolved Air Flotation*). No multi-efeito em cascata, o evaporado é utilizado como vapor de aquecimento para o próximo efeito de pressão menor, caracterizando a cascata do sistema. O vapor do efeito final é condensado com água de resfriamento. Calor excedente na forma de vapor secundário ou de baixa pressão é utilizado para aquecimento. Segundo PAULPURO et al (2000). de acordo com o número de efeitos e

da quantidade de aquecimento, uma concentração final do contaminante de 50% ou um pouco maior pode ser alcançada.

No processo MVR, um ventilador ou compressor recomprime o vapor a ser utilizado como meio de aquecimento. Não são necessários vapor ou água de resfriamento. O processo utiliza filme polimérico como material de transferência de calor, assim tem-se uma grande superfície de aquecimento a um custo baixo de investimento e também baixa demanda de potência (o consumo de energia específica gira em torno de 8 a 10 kWh/m<sup>3</sup>). Uma das características deste processo é sua notável eficiência na redução de volume, onde o fluxo de concentrado chega a 10% do fluxo de alimentação. Este nível de eficiência resulta também em uma economia no sistema de transporte do fluido (tamanho e potência de bombeamento, diâmetro de tubulações). Para alcançar um maior nível de concentração, um pós-tratamento do condensado do MVR por evaporação multi-efeito ou concentração por vapor direto é necessário. De acordo com PAULAPURO et al (2000), a eficiência de remoção de DQO por evaporação é de cerca de 95%, e a remoção de eletrólitos é ainda maior. A remoção de material orgânico pode ser melhorada adicionando processo de stripping dos compostos orgânicos voláteis no evaporador e tratando o condensado contaminado, por exemplo, em um reator anaeróbio. Evaporação de ácidos orgânicos voláteis de baixo peso molecular pode ser reduzida elevando o pH.

A FIGURA 13 mostra um diagrama de uma planta de evaporação com múltiplos efeitos e com um MVR associado (*centrifugal fan*: ventilador centrífugo, utilizado para a recompressão mecânica do vapor).

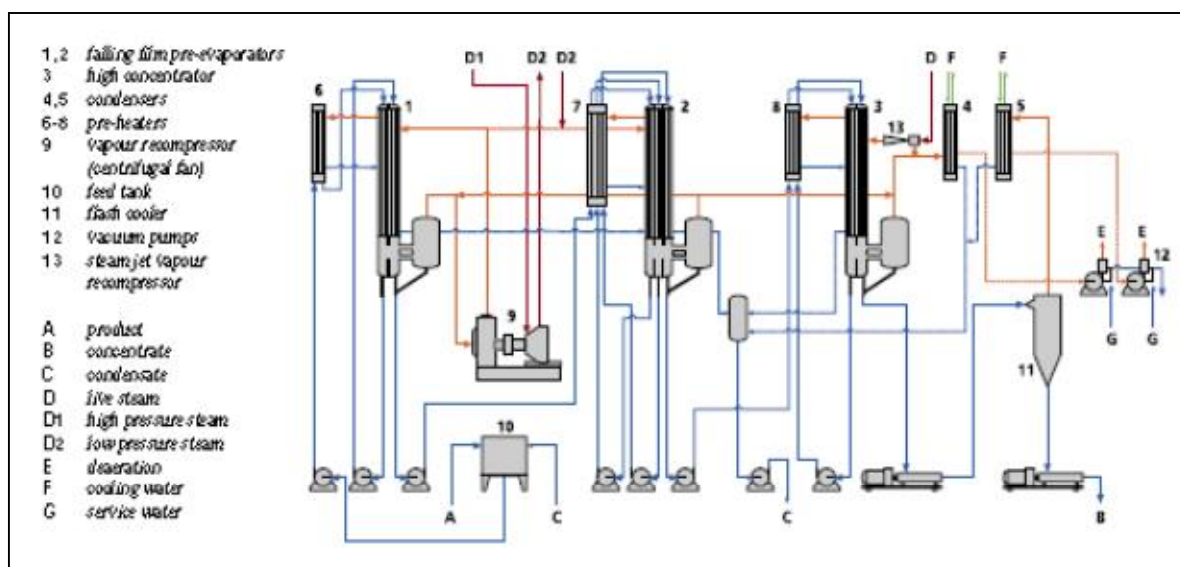


FIGURA 13: Evaporação Multi-Efeito com MVR.

FONTE: GEA EVAPORATION TECHNOLOGIES (s.d.).

### 6.3 TRATAMENTO BIOLÓGICO *IN-PROCESS*

A água de processo de fabricação de papel é carregada com substâncias não tóxicas que em sua maioria são carboidratos, o que lhe confere boas características para degradação biológica. Assim, pode-se supor que o tipo de tratamento mencionado nesta seção é similar ao comumente utilizado no tratamento de efluentes de fábricas de papel. No entanto, a diferença fundamental é que nesta proposta o processo de tratamento torna-se parte do processo de manufatura, e por isso demanda um projeto otimizado do processo para garantir confiabilidade e capacidade de resposta, sem desestabilizar o processo principal (produção de papel). Em especial para fábricas sem descarga de efluentes (seja por motivos econômicos ou legais/ambientais), o tratamento anaeróbio é viável para degradar substâncias orgânicas dissolvidas altamente concentradas na água de processo. Segundo PAULAPURO et al (2000), uma das características do processo é que para evitar o arraste de contaminantes do processo anaeróbio para dentro do processo de produção de papel, o projeto deve providenciar um tanque de aeração entr o processo principal e o reator anaeróbio. A água limpa no tanque de clarificação, após a aeração, pode ser posteriormente purificada em um filtro de areia ou diretamente em filtração por membrana. O tratamento biológico da água não é eficiente para remoção de substâncias coloridas, especialmente de filtrados de polpas mecânicas, assim um pós-tratamento de filtração por membrana integrado pode ser útil para remoção de cor e para prevenir a entrada de micro-organismos no processo de fabricação de papel.

Esta combinação entre tratamento biológico e pós-tratamento por filtração é o que LAGE et al (s.d.) mencionam em seu trabalho, onde descrevem uma patente específica para tratamento de efluentes da indústria de papel (ALMEMARK et al (1990) apud LAGE et al), a qual utiliza um estágio de tratamento biológico, aeróbio ou anaeróbio, seguido de filtração com membranas, com reciclo do concentrado e descarte do permeado.

Ainda com relação ao tratamento biológico, PAULAPURO et al (2000) menciona que o lodo pode ser reciclado de volta para o processo como carga utilizada para produção de liner marrom ou cartão, a exemplo. Comparado às outras técnicas, o tratamento biológico não requer remoção prévia de sólidos, mas é de conhecimento que os micro-organismos anaeróbios são sensíveis a temperatura e pH inadequados, bem como a grandes variações na alimentação de nutrientes. As vantagens, quando comparadas às culturas aeróbias são: alta eficiência de degradação de material orgânico se alimentado em alta concentração; geração de lodo cerca de dez vezes menor, e possibilidade de recuperação de energia através do biogás



produzido, além do fato de que a redução de DBO, especialmente em um sistema de combinação aeróbio-anaeróbio, pode ser alta, chegando entre 95% e 99%, e dependendo da quantidade de material biodegradável contribuindo para a DQO, uma redução de 90% em DQO também pode ser alcançada.

Segundo HAMM (2001), uma fábrica localizada em Zülpich (Alemanha), pertencente ao grupo Dutch Kappa e que produz 410.000 toneladas por ano de *testliner* feito de aparas. Esta fábrica instalou um arranjo *kidney* como mostrado na FIGURA 14. No caso desta fábrica, as concentrações de impurezas da água branca circulante eram altas devido ao fenômeno de acumulação (mecanismo explicado na seção 5.1.1 deste trabalho) inerente ao um sistema totalmente fechado e caracterizado por uma DQO maior que 30.000 mg O<sub>2</sub>/l. Assim as condições eram favoráveis à aplicação de um tratamento anaeróbio da água a ser executado em reatores no primeiro estágio biológico, seguido por duas unidade aeróbia no segundo estágio. Isto requer uma certa eficiência na separação de sólidos antes do tratamento biológico, para evitar o entupimento dos reatores anaeróbios. Uma clarificação secundária é necessária devido ao excesso de bio lodo produzido nos tanques de aeração. O tratamento final da água purificada biologicamente é feito por um filtro de areia, o qual alcança um conteúdo de sólidos reduzidos abaixo de 20 mg/l, que é um pré-requisito para uma operação de chuveiro sem distúrbios ou entupimentos.

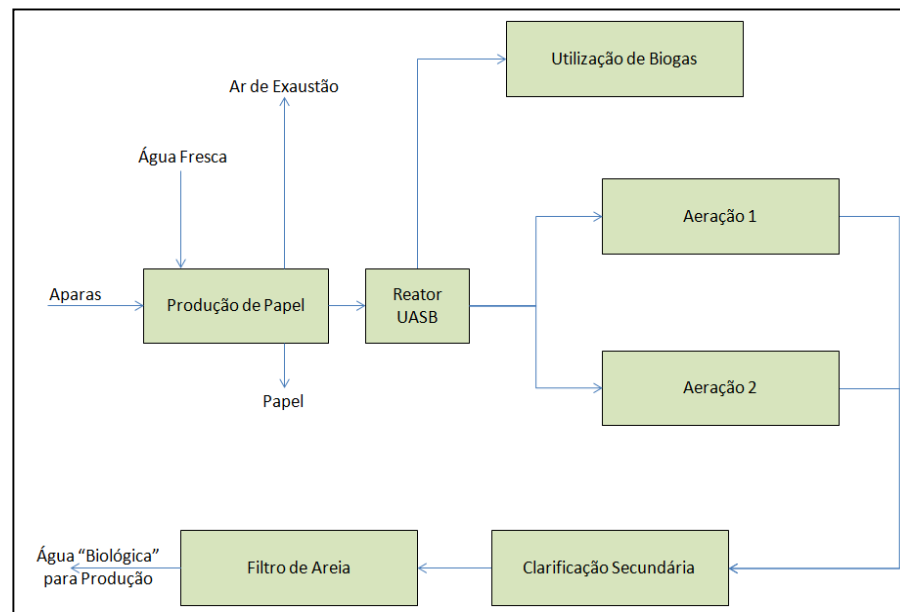


FIGURA 14: Arranjo de processo *kidney*.  
 FONTE: HAMM (2001) - traduzido - página 5.

Conforme HAMM (2001) descreve, a implantação do processo *kidney* na fábrica em Zülpich otimizou diversos parâmetros da água de processo, tais como diminuição condutividade elétrica (apesar do fato de que nenhuma tecnologia para esta remoção tenha sido adicionada ao sistema - precipitação de algum conteúdo na planta de tratamento biológico), teores de cálcio e sulfato também diminuíram. Substâncias orgânicas também foram removidas bastante efetivamente, mas a DQO é que teve a redução mais significativa, com uma redução de 80%.

## 7 CONCLUSÃO

O intuito principal desta revisão bibliográfica foi reunir conceitos de modo a prover bases para identificação de potenciais e idealização conceitual de projetos de fechamento de circuito para fábricas de papel de circuitos abertos com base em tecnologias disponíveis.

Conforme citado por HAMM (2001) existem muitas tecnologias *kidney* disponíveis no mercado atualmente. Além das já citadas na seção 6 tem-se ainda a Floculação e Precipitação, onde a água a ser tratada deve ser carregada com adição de químicos orgânicos e/ou inorgânicos; e ainda um processo baseado em tratamento com ozônio e bio-filtração.

As técnicas citadas na seção 6 são eficientes, mas conforme identificado na seção 5, o trabalho deve ser iniciado com mapeamento do sistema, atividade esta que tem sido complementada e levada a cabo com a experiência de empresas de engenharia atuantes e com casos de sucesso na área consultoria em engenharia para o setor de celulose e papel.

A seguir, serão citados casos de projetos elaborados pela PÖYRY Tecnologia Ltda. através do mapeamento do sistema, resultando em sugestões de otimizações, as quais algumas foram implementadas em sua totalidade e outras parcialmente, mas todas dando resultados evidentes. Os casos estão registrados em relatórios técnicos do projeto e que são propriedade do cliente em questão. Os projetos da PÖYRY de forma geral possuem cláusula de confidencialidade, portanto nomes, referências ou qualquer tipo de identificação dos clientes em questão são estritamente proibitivos, sendo que as informações aqui citadas servem apenas como referência de fatos ocorridos.

De acordo com PÖYRY (2001) e PÖYRY (2003), algumas recomendações para economia de água podem ser implementadas como complemento às técnicas citadas na seção 6 deste trabalho, como segue:

- Aumento de concentração de aplicação de químicos (PCC, a exemplo);
- Recuperação de água das prensas (com pelos de feltros): esta água pode ser direcionada para o circuito de água morna, após ser tratada em filtros tipo *strainer*, por exemplo;
- Controle e redução de consumo de água de gaxetas ou até mesmo a eliminação deste consumo com utilização de:
  - Selo mecânico (para equipamentos operando com baixo nível de pressão);
  - Selo hidrodinâmico (para equipamentos operando com baixo nível de pressão);
  - Gaxeta grafitada (com estrutura em fibra de carbono);
  - Instalação de controle de vazão de água de selagem;

- Instalação de válvulas *on-off* intertravadas em equipamentos de operação descontínua;
- Recuperação de água de refrigeração de unidades hidráulicas e sistemas de lubrificação: esta medida geralmente é recomendada juntamente com o projeto e aquisição de um sistema de recirculação em torre de resfriamento (recirculação causará um aumento considerável da temperatura prejudicando a troca térmica - nos casos de estudo houveram aumentos de temperatura entre 8°C e 10°C ao final de 11 e 15 ciclos, respectivamente), dispositivos de detecção e separação de óleo (armadilhas de óleo), filtros e demais componentes;
- Recuperação, nos mesmos termos anteriores, de água de refrigeração de rolos e sistemas de ar condicionado (caso seja o sistema ar-água);
- Instalação de rotâmetros na água de serviço das bombas de vácuo;
- Medida para fábricas integradas: substituição de água fresca em outras áreas da fábrica por água branca ou clarificada (a exemplo, lavagem de toras, último estágio de lavagem de polpa, entre outras aplicações).

Os exemplos reais aqui citados trabalharam ainda a conversão de alguns chuveiros de água fresca para água clara (indo de encontro ao exposto na seção 5 deste trabalho, com a utilização de sistemas tipo *saveall*), onde tanto PÖYRY (2001) quanto PÖYRY (2003) sugerem, de forma geral, modificações nos seguintes chuveiros:

- Do rolo cabeceira;
- Externo ao rolo formador;
- Externo ao rolo de sucção;
- Lubrificação da tela;
- Limpeza de telas (margem) em alta pressão (dois chuveiros);
- Destacadores de refilos.

No entanto, a recomendação foi de que, para prevenção de eventuais problemas de entupimentos dos bicos dos chuveiros, o projeto deveria prever a instalação de um sistema de micro-filtração (como citado nas técnicas de purificação de água na seção 6 deste trabalho) para esta água.

Nos projetos dos exemplo dos relatórios PÖYRY existiram ainda otimizações pontuais identificadas caso a caso (exemplo, relocação de bomba de vácuo de determinado sistema para permitir a reutilização da água do anel de selagem), e que servem de ponto de observação de que cada sistema deve ser analisado em seu detalhe.

Ainda com relação ao projeto citado PÖYRY (2003), foram sugeridos controles para os impactos pela variação no Zeta Potencial, como segue:

- Medição *on-line* de demanda catiônica;
- Dosagem de químico para combate da demanda catiônica, por exemplo, coagulantes;
- Medição *on-line* de Zeta potencial,
- Correção automática da dosagem de aditivos (inclusive agentes de retenção) em função da produção e do Zeta potencial.

Os benefícios dessas medidas se resumem a:

- Melhor controle e estabilidade da condutividade,
- Melhor estabilidade de dosagem de químicos que efetivamente permanecem com fibras e cargas; e
- Melhor estabilidade de todos os parâmetros da parte úmida da máquina.

Nos trabalhos elaborados por PÖYRY (2001) foram abrangidas duas máquinas de papel. A FIGURA 15 mostra o esquema de utilizado para mapear a Máquina A., e a FIGURA 16 mostra a modificação no circuito resultante do desenvolvimento dos trabalhos.

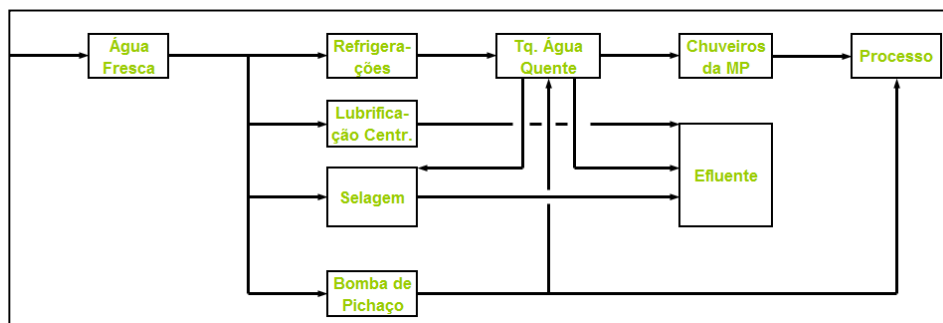


FIGURA 15: Diagrama de águas – Máquina A.  
FONTE: PÖYRY (2001).

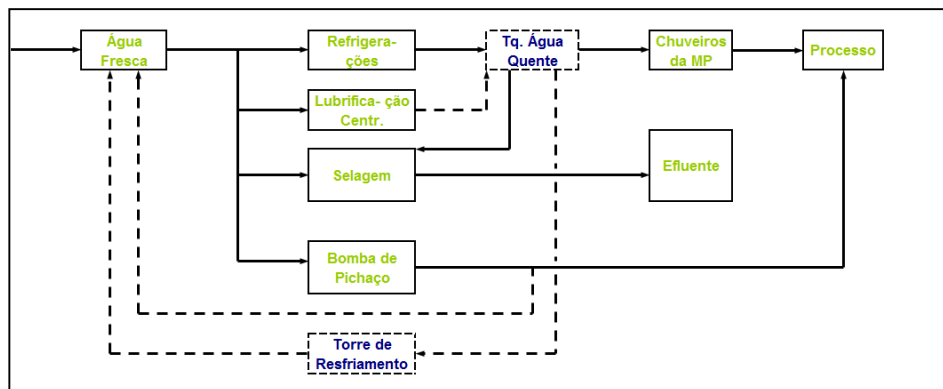


FIGURA 16: Diagrama de águas – Máquina A – modificado.  
FONTE: PÖYRY (2001).

A FIGURA 17 mostra o esquema de utilizado para mapear a Máquina A., e a FIGURA 18 mostra a modificação no circuito resultante do desenvolvimento dos trabalhos.

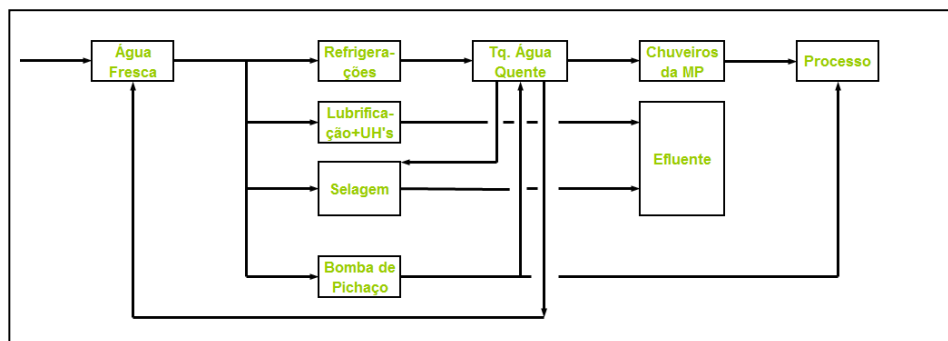


FIGURA 17: Diagrama de águas – Máquina B.  
FONTE: PÖYRY (2001).

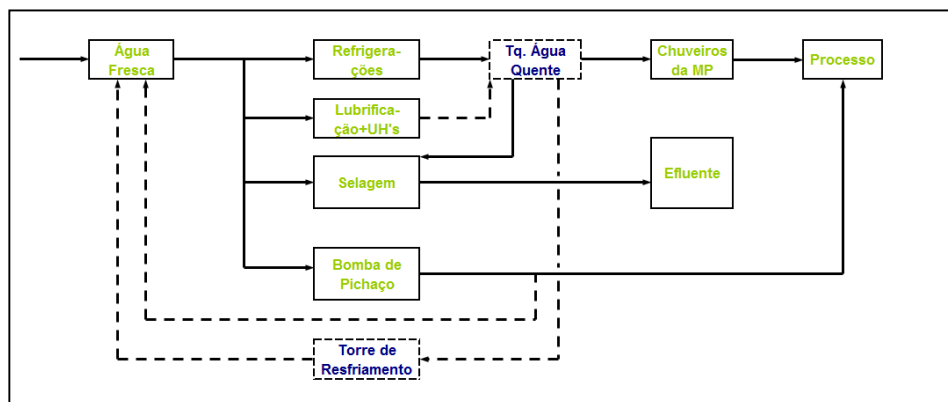


FIGURA 18: Diagrama de águas – Máquina B – modificado.  
FONTE: PÖYRY (2001).

Para uma melhor visualização dos resultados do desenvolvimento dos trabalhos, PÖYRY (2001) relata os resultados das modificações sugeridas para as duas máquinas de papel contempladas no projeto, na TABELA 7 a seguir:

TABELA 7 – Resultados de projeto para fechamento de circuito

	Máquina A			Máquina B			
	Antes das Modificações	Após Modificações	Ganho (%)	Antes das Modificações	Após Modificações	Ganho (%)	
Consumo de água fresca	m <sup>3</sup> /h	227,7	76,7	66,3%	140,1	68,5	51,1%
	m <sup>3</sup> /t	17,8	6,0	66,3%	10,9	5,3	51,1%
Vazão de efluentes	m <sup>3</sup> /h	344,9	193,8	43,8%	257,1	185,5	27,8%
Perda de fibras	t/d	3,0	2,9	4,3%	2,9	2,9	0,5%

FONTE: PÖYRY (2001)

Os ganhos relatados por PÖYRY (2001) no trabalho desenvolvido apresentam-se como significativos.

Mantendo a linha de avaliação, pode-se supor que aplicação adequada tecnologias *kidney* podem incrementar ainda mais os ganhos com fechamento total dos circuitos.

No entanto, é necessário que elabore-se uma avaliação preliminar das necessidades da empresa, definição de uma estratégia e posteriormente o início dos trabalhos mapeamento e análise de viabilidade tanto técnica quanto econômica, preferencialmente elaborado por mão de obra experiente, especializada e tecnicamente capaz, para que se possa obter o melhor resultado dentro da melhor tecnologia para cada aplicação.

## REFERÊNCIAS

AALTONEN, P.; NYSSÖLÄ, M.; TROIL, S. V.. **Princípios de Projeto de Sistemas de água Branca com Referência Especial para Controle de Efluentes**. 1973. Convenção Anual da ABTCP, São Paulo, jun. 1973. p. 83-90.

ALEXANDERSSON, Tomas. **Water Reuse in Paper Mill**. 2003. 138 f. Licentiate Thesis (Department of Industrial Electrical Engineering and Automation)-Lund University, Sweden, 2003.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. Ed. Especial**. Brasília, 2012. 215 f. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2012

ARANTES, Benedito M.; Miranda, Jorge L.; PEREZ, Norma; SOUZA, Robson D.; NERY, Fernando J.; PATAR, Ana M.; Ribeiro, Valdir M.. **Fechamento de Circuito em Águas do Processo de Fabricação de Papel**. 2000. Revista O Papel, São Paulo, out. 2000. Artigo Técnico, p. 79-85.

BACHMANN, Dórian L; ABTCP. **Benchmarking ambiental na indústria de celulose e papel**. 2009. Revista O Papel, São Paulo, jun. 2009. Informe Técnico, p. 57-61

BRACELPA. **Papéis - Tipos e aplicações - Papéis para embalagens**. 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/184>>. Acesso em: 20 jun. 2012

BRACELPA. **Papéis - Tipos e aplicações - Papel cartão**. 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/185>>. Acesso em: 20 jun. 2012

BRACELPA. **Papéis - Tipos e aplicações – Papéis para fins sanitários**. 2010. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/186>>. Acesso em: 20 jun. 2012

BRACELPA. **Papéis - Tipos e aplicações – Papéis especiais**. 2010. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/187>>. Acesso em: 20 jun. 2012

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**, Presidência da República, Casa Civil, Brasília, DF, 1988. Art. 21, inciso XIX.

CAMPOS, Edison da Silva. **Apostila do Curso Básico de Fabricação de Papel**, revisão 7. 2009. 347 f. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, São Paulo, set. 2009.

FINUSCONTROLE. **Gráfico 7**, s.d. Disponível em: <<http://finuscontrole.blogspot.com.br/2012/04/o-ph-no-processo-de-fabricacao-de-papel.html>>. Acesso em: 28 set. 2012

FOELKEL, Celso. **Ecoeficiência na Gestão da Perda de Fibras de Celulose e do Refugo Gerado na Fabricação do Papel**. 2007. 97 f. Eucalyptus Online Book & Newsletter, ago. 2007. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06\\_fibras\\_refugos.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf)>. Acesso em: 25 set. 2012



GEA FILTRATION. **Figura 8**, s.d. Disponível em: <[http://www.geafiltration.com/technology/cross\\_flow\\_filtration.asp](http://www.geafiltration.com/technology/cross_flow_filtration.asp)>. Acesso em: 25 set. 2012

GEA EVAPORATION TECHNOLOGIES. **Evaporation Technology using Mechanical Vapor Recompression**. S.d. 24 f. Catálogo de fabricante de equipamento, GEA Wiegand GmbH, s.d.. Disponível em: <[http://www.gea-pen.nl/gpen/cmsresources.nsf/filenames/Evaporation%20Technolgy%20Mechanical%20Vapour%20Recompression\\_GEA\\_Wiegand\\_en.pdf/\\$file/Evaporation%20Technolgy%20Mechanical%20Vapour%20Recompression\\_GEA\\_Wiegand\\_en.pdf](http://www.gea-pen.nl/gpen/cmsresources.nsf/filenames/Evaporation%20Technolgy%20Mechanical%20Vapour%20Recompression_GEA_Wiegand_en.pdf/$file/Evaporation%20Technolgy%20Mechanical%20Vapour%20Recompression_GEA_Wiegand_en.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2012.

HAMAGUCHI, Marcelo. **Análise do Circuito de Água em Processo de Fabricação de Papel Imprensa Integrada com Produção de Pastas Mecânicas**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

HAMM, Dr. Udo; SCHABEL, Prof. Dr.-Ing. Samuel. **Effluent-Free Papermaking: Industrial Experiences and Latest Developments in the German Paper Industry**. 2001. 8 f. Darmstadt University of Technology, Germany, 2001.

LAGE, Liane E. C.; ARAÚJO, Andréa G.; BORGES, Renata M. H.; SANT'ANA Jr., Geraldo L.; NOBREGA, Ronaldo. **Aplicação de Processos Híbridos: Membranas/Biológicos na Indústria de Polpa e Papel**. S.d.11 f. PEQ/COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, s.d. Disponível em: <[http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/89\\_Processos%20Hibridos%20Membranas.pdf](http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/89_Processos%20Hibridos%20Membranas.pdf)>. Acesso em: 19 set. 2012.

NUNES, Débora Cristina Leite. **Conservação de água em Máquina de Fabricação de Papel - O caso da Bahia Sul Papel e Celulose S.A.**. 2007. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia)-Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

OUROLAC-SP. **Figura 10**, s.d. Disponível em: <<http://www.ourolac-sp.com.br/tecnologia.php>>. Acesso em: 25 set. 2012

PAULAPURO, Hannu; FOULGER, Marc; PARISIAN, Joe; PIKULIK, Ivan I. **Papermaking Science and Technology - Book 8 - Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End**, Fapet Oy. Helsinki, Finland, 2000.

PÖYRY. **Relatório de Projeto Pöyry I**, 2001. Documento Confidencial. 32 f. ago. 2001.

PÖYRY. **Relatório de Projeto Pöyry II**, 2003. Documento Confidencial. 47 f. mai. 2003.

REVISTA MEIO FILTRANTE. **Figura 9**, s.d. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/imprensa.asp?actionI=releases&idI=12043>>. Acesso em: 25 set. 2012

ROBERT , Noely T. Forlin. **Apresentação de noções básicas sobre os diversos tipos de embalagens de papel existentes no mercado e os papéis utilizados para a fabricação das mesmas**. 2007. 33 f. Dossiê Técnico (Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas)-Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, Rio de Janeiro, 2007.

TECNIUM. **Figura 11**, s.d. Disponível em: < <http://tecnium.com.br/mainpages/water.htm>>. Acesso em: 25 set. 2012.

UENO, Paulo Y.; **A Drenagem da Mesa Plana, Hoje**. 1991. 4 f. Trabalho apresentado no 24º Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, São Paulo, nov. 1991

WIKIPEDIA - A enciclopédia livre. **Celulose**, s.d. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Celulose>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

WIKIPEDIA - A enciclopédia livre. **Gramatura**, s.d. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Gramatura>>. Acesso em: 20 set. 2012.

WÖRSTER, Edmund H.; COSTA, Marcelo M.. **Fechamento de Circuito de Água Branca em Indústrias de Papéis**. 1997. 17 f. Seminário sobre Fechamento de Circuito. Vitória, ES, 5 set. 1997.

YETE Tratamento de Água. **Figura 12**, s.d. Disponível em: <[http://www.yete.com.br/yete/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79&Itemid=162](http://www.yete.com.br/yete/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=162)>. Acesso em: 20 set. 2012