

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÁRIO KOSSAR JUNIOR

**PROPOSTA DE REUSO DE ÁGUAS NA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE
CELULOSE E PAPEL KRAFT**

CURITIBA

2011

MÁRIO KOSSAR JUNIOR

**PROPOSTA DE REUSO DE ÁGUAS NA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE
CELULOSE E PAPEL KRAFT**

Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, pela Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr.^a Karen Juliana do Amaral

Co-orientador: Dr. Sergio Henrique Saavedra Martinelli

CURITIBA

2011

Kossar Junior, Mário
Proposta de reuso de águas na indústria de produção de celulose e
papel Kraft / Mário Kossar Junior. – Curitiba, 2011.
107 f. : il.; graf.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do
Paraná, Setor de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio
Ambiente Urbano e Industrial

Orientadora: Karen Juliana do Amaral

Co-orientador: Sergio Henrique Saavedra Martinelli

1. Água - Reutilização. 2. Celulose - Indústria. I. Amaral,
Karen Juliana do. II. Martinelli, Sergio Henrique Saavedra. III. Título.

CDD 628.162

TERMO DE APROVAÇÃO

MÁRIO KOSSAR JUNIOR

PROPOSTA DE REUSO DE ÁGUAS NA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL KRAFT

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca examinadora

Orientadora: Prof.^a Dr. Karen Juliana do Amaral
Universidade de Stuttgart, Alemanha

Co-orientador: Prof. Dr. Sergio Henrique Saavedra Martinelli
Departamento de Engenharia Química FATEB

Prof.^a Dr. Margarete Casagrande Lass Erbe
Setor de Tecnologia UFPR

Prof. Dr. Tobias Bleninger
Setor de Tecnologia UFPR

Curitiba, 19 de outubro de 2011.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho as seguintes pessoas:

A minha amada esposa Elisângela Cristina Dvulatka por acreditar em mim e estar sempre ao meu lado. A minha adorada filha Nicole Dvulatka Kossar que representa minha fonte de energia e amor.

A meus familiares: pai Mário Kossar, mãe Ruth Mainardes Kossar, irmã Lorena Mainardes Kossar pela confiança, amor e serenidade.

A meus tios: Julia Maria Kossar, Matilde Kossar, Tereza Kossar, Joel Gamiz Mainardes e Ronilse Aparecida Galo Mainardes (*in memória*), sem os quais minha vida não teria o mesmo significado.

A meus avós: João Kossar (*in memória*) e Maria Joana Kossar (*in memória*), Sillas Augusto Mainardes e Mercedes Gamiz Mainardes (*in memória*).

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos a minha orientadora, Prof.^a Karen Juliana do Amaral, pela atenção e incansável apoio. Atitudes estas que me ajudaram a crescer e que levarei comigo para sempre. Sua orientação, atenciosa e competente, foi um dos maiores aprendizados que tive durante este mestrado.

Ao Prof. Sergio Henrique Saavedra Martinelli, pela co-orientação.

Ao Eng. Marcos Sabedotti Breda, por suas importantes contribuições.

Ao Eng. Júlio Cesar Batista Nogueira, pelo incentivo a pesquisa.

Ao SENAI de Telêmaco Borba, pelo suporte prestado a este trabalho.

A empresa estudo de caso pela contribuição a esta dissertação.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis”

Bertolt Brecht

RESUMO

As indústrias de celulose e papel têm dado uma atenção cada vez maior às medidas que buscam minimizar os impactos ambientais, o que implica na necessidade de novos métodos para o uso de recursos naturais no processo. Dentre esses métodos, a técnica de reuso direto de efluentes que permite desenvolver uma nova configuração para o circuito de águas das indústrias, acarretando em vários benefícios ambientais significativos, como a economia de água bruta junto ao manancial, seguido de sua disponibilização a outros usos, reduções de tratamento destas águas, e, conseqüentemente, do volume de efluentes lançados ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi avaliar uma proposta do reuso de águas na indústria de produção de celulose e papel Kraft. O estudo fez um levantamento da qualidade de água requerida nos diversos pontos da produção, abastecidos pela Estação de Tratamento de Água. A partir desse levantamento, foi realizada uma comparação com a água disponível para reuso no processo, composta pelos efluentes industriais que foram submetidos a uma etapa de tratamento terciário com ultrafiltração. Dessa comparação foram identificados prováveis pontos potenciais para implementação do reuso. Dentre esses pontos, foram identificadas as máquinas de fabricação de papel Kraft, como as principais operações a serem avaliadas para aplicação da técnica do reuso. Estas máquinas demandam grande quantidade de água para suas operações e estão localizadas a uma distância relativamente pequena do ponto gerador das águas de reuso sugeridas. Estes motivos levaram, posteriormente, a avaliação do micro fluxo de água destes setores. A comparação entre os parâmetros de qualidade de água praticados pela indústria e os registrados pelos efluentes da planta de ultrafiltração, levaram a proposta do reuso em duas máquinas de produção de papel Kraft. Os equipamentos indicados para receberem a implantação da técnica de reuso foram as bombas de vácuo de anel líquido, pois, a alta demanda de água tem essencialmente a função de gerar vácuo, sem que para isto, ocorra o contato entre a água e a folha de papel, garantindo que o papel produzido não apresente contaminações geradas pela ação do reuso. Para a alteração no circuito de águas sugerida, foi indicado a configuração e o investimento necessário. Estas ações se tomadas, contribuirão para a minimização da demanda de água fresca, e, conseqüentemente, uma redução na captação de água junto aos mananciais, bem como, a minimização na geração de efluentes industriais.

Palavras-chave: reuso de efluentes; indústria de celulose e papel; membrana de ultrafiltração.

ABSTRACT

The pulp and paper industries have given increasing attention to measures that seek to minimize environmental impacts, which implies the need for new methods for the use of natural resources in the process. Among these methods, the technique of indirect reuse of effluent in which the development of a new industry water circuit configuration outcomes several significant environmental benefits such as economy of raw water from the spring, followed by its availability to other uses, reductions in treatment of these waters, and thus the volume of effluents to the environment. The objective of this study was to evaluate a proposal for water reuse in the production of kraft pulp and paper. The study surveyed the quality of water required at various points of production, supplied by the water treatment plant. From this survey, a comparison was made with the water available for reuse in the process, composed of industrial effluents that have undergone a stage of tertiary treatment with ultrafiltration. This comparison identified likely potential sites for the implementation of reuse. Among these points, the kraft paper machines were identified as the most important points to be evaluated for the application of the technique of reuse. These machines require large amounts of water for their operations and are located a short distance from the reuse water generator equipment. These reasons led subsequently to evaluate the micro flow of water from these sectors. The comparison between the parameters of water quality carried out by industry and registered by the effluent from the ultrafiltration plant, led to a proposal of reuse at two kraft paper machines. The choosing equipment for the reuse technology are the vacuum pumps liquid ring, because the high demand for water has essentially the function of generating a vacuum, which without this, the contact occurs between the water and the sheet of paper, ensuring that the paper produced is not contaminated by reused water. For the suggested modification of the water circuit, configuration and necessary investment were indicated. If these actions are taken, they will contribute to minimizing the demand for fresh water, and hence a reduction in water uptake from the springs, as well as minimizing the generation of industrial effluents.

Keywords: wastewater reuse; pulp and paper; ultrafiltration membrane.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE KRAFT ...	20
FIGURA 2	- UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NAS BOMBAS DE VÁCUO	30
FIGURA 3	- ESTRATÉGIAS DE REUSO	33
FIGURA 4	- CONCEITOS GERAIS DE REUSO	36
FIGURA 5	- FLUXOGRAMA DA INDÚSTRIA CPBR	46
FIGURA 6	- FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	48
FIGURA 7	- FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.. DA INDÚSTRIA CPBR.....	50
FIGURA 8	- VISTA DA PLANTA DE ULTRAFILTRAÇÃO.....	53
FIGURA 9	- DETALHES DA PLANTA DE ULTRAFILTRAÇÃO	54
FIGURA 10	- FOTO INTERNA DE UM CARTUCHO DE MEMBRANA.....	54
FIGURA 11	- CONFIGURAÇÃO TRADICIONAL DE MÁQUINA DE PAPEL	55
FIGURA 12	- PONTOS ESTUDADOS PARA PROPOSTA DO REUSO.....	57
FIGURA 13	- EFLUENTE ANTES X EFLUENTE APÓS A ULTRAFILTAÇÃO.....	66
FIGURA 14	- CONSUMO DE ÁGUA FRESCA NA MÁQUINA DE PAPEL	72
FIGURA 15	- REPRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE REUSO DE EFLUENTES	80
FIGURA 16	- REPRESENTAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO PARA A IMPLANTAÇÃO... DO REUSO.....	83

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – TESTES PARA CARACTERIZAR A QUALIDADE DE ÁGUA	42
QUADRO 2 – GRAU DE EFICIÊNCIA DA ULTRAFILTRAÇÃO.....	52
QUADRO 3 - SISTEMAS AVALIADOS	64

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA FRESCA NA INDÚSTRIA CPBR ..	62
GRÁFICO 2 – CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA FRESCA NAS MÁQUINAS DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA..... PROPOSTA DE REUSO	59
TABELA 2 – ANÁLISES REALIZADAS PARA DETERMINAR A EFICIÊNCIA DA ULTRAFILTRAÇÃO	65
TABELA 3 – EFICIÊNCIA DA ULTRAFILTRAÇÃO.....	68
TABELA 4 – PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA.....	68
TABELA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁGUA DA ETA E OS EFLUENTES..... ULTRAFILTRADOS	69
TABELA 6 – CONSUMO DE ÁGUA NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT	73
TABELA 7 – UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT	74
TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DAS BOMBAS DE VÁCUO DA MP “A”	75
TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DAS BOMBAS DE VÁCUO DA MP “D”	77
TABELA 10 – SUGESTÃO DE REUSO DE EFLUENTES PARA SELAGEM DOS ANÉIS DAS BOMBAS DE VÁCUO	79
TABELA 11 – CÁLCULO DA ÁREA DE SEÇÃO RETA DA TUBULAÇÃO	
NECESSÁRIA PARA O REUSO.....	82
TABELA 12 – EQUIPAMENTOS PARA A LINHA DE INTERLIGAÇÃO SUGERIDA	84
TABELA 13 – CARACTERÍSTICAS DA BOMBA DE RECALQUE NECESSÁRIA..... PARA O REUSO.....	85
TABELA 14 – CUSTOS ESTIMADOS PARA A IMPLANTAÇÃO DAS AÇÕES DE REUSO SUGERIDAS	87
TABELA 15 – TEMPO DE RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO.....	89

LISTA DE SIGLAS

- AOX – Compostos Orgânicos Clorados
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CTMP – Pasta Quimiotermodemecânica ou Chemical Thermo Mechanical Pulping
- ETA – Estação de Tratamento de Água
- ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
- mca – metro de coluna de água
- MP – Máquina de Papel
- NPE – Elementos Não Processuais
- SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
- SST – Sólidos Suspensos Totais
- tsa – tonelada seca ao ar

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	18
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1.	PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL KRAFT.....	20
2.1.1.	Processo de preparo de madeira	21
2.1.2.	Processo de polpação Kraft.....	21
2.1.3.	Produção de papel Kraft.....	22
2.1.4.	Remoção de água durante a formação da folha de papel.....	23
2.1.5.	Procedimentos que utilizam água para a formação da folha na máquina de papel	23
2.2.	ELEMENTOS PRESENTES NA MASSA PARA PRODUÇÃO DE PAPEL...	24
2.2.1.	Água	25
2.2.2.	Fibra celulósica.....	26
2.2.3.	Contaminantes	26
2.2.4.	Influência dos contaminantes na produção de papel.....	28
2.3.	UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NAS BOMBAS DE VÁCUO PARA PRODUÇÃO DE PAPEL.....	29
2.4.	CONCEITOS GERAIS DE REUSO DE ÁGUA	32
2.4.1.	Reuso de água macro externo e macro interno.....	33
2.4.2.	Reuso em cascata.....	33
2.4.3.	A técnica de reuso com a utilização parcial dos efluentes.....	34
2.4.4.	Reuso de efluentes tratados.....	34
2.4.5.	Reuso de efluentes direto e planejado	35
2.5.	REQUISITOS PARA O REUSO DA ÁGUA NA MÁQUINA DE PAPEL KRAFT	38
2.5.1.	Limitações comuns ao uso da água na indústria Kraft de celulose e papel..	41
2.5.2.	Elementos não processuais na indústria de celulose e papel Kraft.....	43
2.5.3.	Condições operacionais para aplicação do reuso em chuveiros da máquina de papel.....	44
2.5.4.	Requisitos para aplicação do reuso nas bombas de selagem da MP	45
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46

3.1.	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA INDÚSTRIA ESTUDADA.....	46
3.1.1.	Descrição da estação de tratamento de água	47
3.1.2.	Descrição da estação de tratamento de efluentes.....	49
3.1.3.	Tecnologia de ultrafiltração utilizada para operacionalizar o reuso de águas	51
3.1.4.	Descrição da máquina de produção de papel Kraft.....	55
3.2.	METODOLOGIA.....	56
3.2.1.	Levantamento de informações da indústria	56
3.2.2.	Diagnóstico das características dos efluentes ultrafiltrados	58
3.2.3.	Levantamento e verificação dos pontos de consumo de água nos setores..	60
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1.	ÁGUAS DO CIRCUITO DA INDÚSTRIA ANALISADAS PARA AVALIAÇÃO DO REUSO	64
4.2.	EFICIÊNCIA DA PLANTA DE ULTRAFILTRAÇÃO COMO SISTEMA TERCIÁRIO DA ETE	65
4.3.	RESULTADOS ANALÍTICOS DA ÁGUA FRESCA DA ETA.....	68
4.4.	COMPARAÇÃO ENTRE OS EFLUENTES ULTRAFILTRADOS E ÁGUA TRATADA CONVENCIONALMENTE PELA ETA.....	69
4.5.	ANÁLISE NO CIRCUITO DE ÁGUA DA MÁQUINA DE PAPEL KRAFT	71
4.5.1.	Fornecimento de água para as máquinas de papel Kraft	73
4.5.2.	Utilização de água nas bombas de vácuo – MP “A”	74
4.5.3.	Utilização de água nas bombas de vácuo – MP “D”	76
4.6.	PROPOSTA DE REUSO DE EFLUENTES NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT.....	78
4.6.1.	Sugestão de reuso de efluentes para selagem dos anéis das bombas de vácuo	78
4.7.	CONFIGURAÇÃO DA PROPOSTA DE REUSO DE EFLUENTES NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT	80
4.7.1.	Caracterização da configuração proposta para implantação do reuso.....	81
4.7.2.	Custos levantados para implantação das ações de reuso sugeridas	86
4.7.3.	Cálculo do tempo de recuperação do investimento	89
5.	CONCLUSÕES.....	91
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
	APÊNDICE	103

1. INTRODUÇÃO

A minimização dos impactos gerados pelo lançamento de efluentes industriais, provenientes de várias linhas de produção, é considerada uma das principais preocupações ambientais da sociedade industrial.

Já a sociedade, de modo geral, têm as empresas como um de seus principais focos de atenção, assim, analisa também seu comprometimento com relação a estes impactos.

Este contexto sugere que mudanças no circuito de afluentes e efluentes das fábricas são necessárias, pois, a maioria das atividades industriais utilizam a água no processo, o que provoca impactos sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis (POMPEO, 2007, p. 126).

Um dos ramos que vêm desenvolvendo esta gestão, é o de celulose e papel, como a redução da utilização de matéria-prima e a busca pela minimização dos gastos de água por tonelada de papel produzida (MONTEBELLO, 2006, p. 63-68).

Analisando este segmento de celulose e papel, a revista O Papel (2009, p. 58) descreve valores pertinentes a um levantamento-piloto, onde foram trabalhados dados específicos de água, envolvendo fábricas de celulose de uma maneira geral.

Neste levantamento, os consumos médios foram de 40,5 m³/tsa¹. Já, quando analisado o processo Kraft, as melhores práticas estabeleceram um consumo de água na faixa de 40 a 55 m³/tsa.

Quando avaliado o consumo de água para a produção de papel, os valores ficaram entre 18,6 a 48,3 m³/tonelada para o papel cartão. Para o papel de embalagem, a dispersão é maior ainda e está entre 3,4 a 91,3 m³/tonelada (O PAPEL, 2009, p. 59).

Segundo Amaral (2008, p. 140-161), o sistema Kraft de produção tem a característica de ser um importante consumidor de água, pelo fato de captar uma quantidade considerável e por consequência, gerar uma grande vazão de efluentes que retornam aos corpos d'água continuamente.

¹ tsa – toneladas secas ao ar.

O processo Kraft apresenta diversos setores consumidores de água: preparo de madeira, cozimento, produção de papel, utilidades e circuito de recuperação de químicos (SMOOK, 2002, p. 13-29).

Alguns destes consumidores utilizam grande quantidade de vapor, que, por sua vez, exigem água com características específicas para esse fim (BIZZO, 2003).

Todos os setores consumidores de água fresca na indústria de celulose e papel apresentam, de forma contínua ou intermitente, a geração de efluentes.

Os efluentes gerados durante a produção de celulose são formados por uma mistura complexa, onde estão presentes a lignina, os carboidratos e os extrativos derivados da madeira. Esta composição independe do processo de polpação utilizado (RABELO, 2005, p. 8-9).

Durante a operação da máquina de papel, os efluentes gerados apresentam substâncias dissolvidas de origem madeireira e em suspensão originadas da madeira e da inclusão de produtos químicos (FOELKEL, 2007, p. 1-15).

Segundo Oliveira (2003, p. 6-20), esta grande quantidade de efluentes, se retornados ao processo, apresentam características indesejáveis para o mesmo, uma vez que, podem vir a causar incrustações ou corrosões nos equipamentos.

Amaral (2008, p. 92-121) descreve a respeito de medidas que visam reduzir emissões em corpos de água, mostrando técnicas que uma vez adotadas no processo produtivo, reduzem os impactos gerados para o corpo hídrico.

Pompeo (2007, p. 155-162) menciona o interesse crescente das indústrias pelo reuso. Se aplicado, reflete em benefícios ambientais como: a economia de água junto ao manancial, reduções de tratamento de água e redução do volume de efluentes a ser tratado diariamente.

Para que o efluente possa retornar ao processo produtivo ele deve receber um tratamento terciário. Tradicionalmente, o processo não faz parte do condicionamento destes efluentes.

Dentre as tecnologias disponíveis para viabilizar o reuso está a utilização de membranas de ultrafiltração, que se tornou uma tecnologia disponível às indústrias a partir da década de 80 (WENTEN, 2010).

Com a utilização das tecnologias, parte dos efluentes industriais poderão retornar à indústria em pontos específicos, sem comprometer a produtividade dos processos das indústrias de celulose e papel (TEIXEIRA, 2001, p. 7-27).

Com a crescente busca por melhorias em seus processos, as indústrias de celulose e papel passaram a partir de 1976 a implantar a tecnologia de membranas (MCKINNON, 1979).

A introdução da tecnologia de membranas teve registro no processo das caldeiras, onde esta inclusão foi decorrente do fato da busca pela redução dos teores dos sais dissolvidos na água (HARADA; CAPELOZA; SCARPELINI, 2011).

Furtado (2008, p. 1), menciona um exemplo prático de um sistema terciário que utiliza membranas de ultrafiltração adotado no Brasil, a qual trabalha com poros de até 0,025 micrômetros para o tratamento do efluente, tendo como objetivo remover sólidos em suspensão, bactérias e demais micropoluentes.

Exemplos assim demonstram que as ações para melhorar a qualidade dos efluentes industriais aumentaram, com o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias como a de ultrafiltração.

Desta forma, relacionado também aos conceitos de reuso existentes, estudos são importantes para o desenvolvimento industrial.

1.1. OBJETIVO GERAL

Propor uma alternativa para reuso de águas na indústria de produção de celulose e papel Kraft.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar os pontos que utilizam água fresca na indústria de produção de celulose e papel Kraft.

Identificar as características dos efluentes de uma indústria de celulose e papel que foram submetidos à técnica da ultrafiltração.

Identificar dentre os usuários de água que fazem parte do processo de produção de celulose e papel Kraft, qual apresenta a possibilidade da implantação do reuso de águas de maneira direta e planejada.

Descrever a respeito do micro fluxo de água do setor identificado como potencial receptor da técnica de reuso proposta.

Através da qualidade exigida para o uso da água neste setor, apresentar proposta que possibilite o reuso de efluentes após tratamento terciário com membranas de ultrafiltração.

Estimar os custos necessários para implementar a técnica do reuso de efluentes ultrafiltrados, pelo conceito de reuso direto e planejado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL KRAFT

O presente trabalho apresenta os usos da água para a fabricação de papel Kraft, buscando alternativas para o reuso de águas tratadas pelo sistema terciário de ultrafiltração.

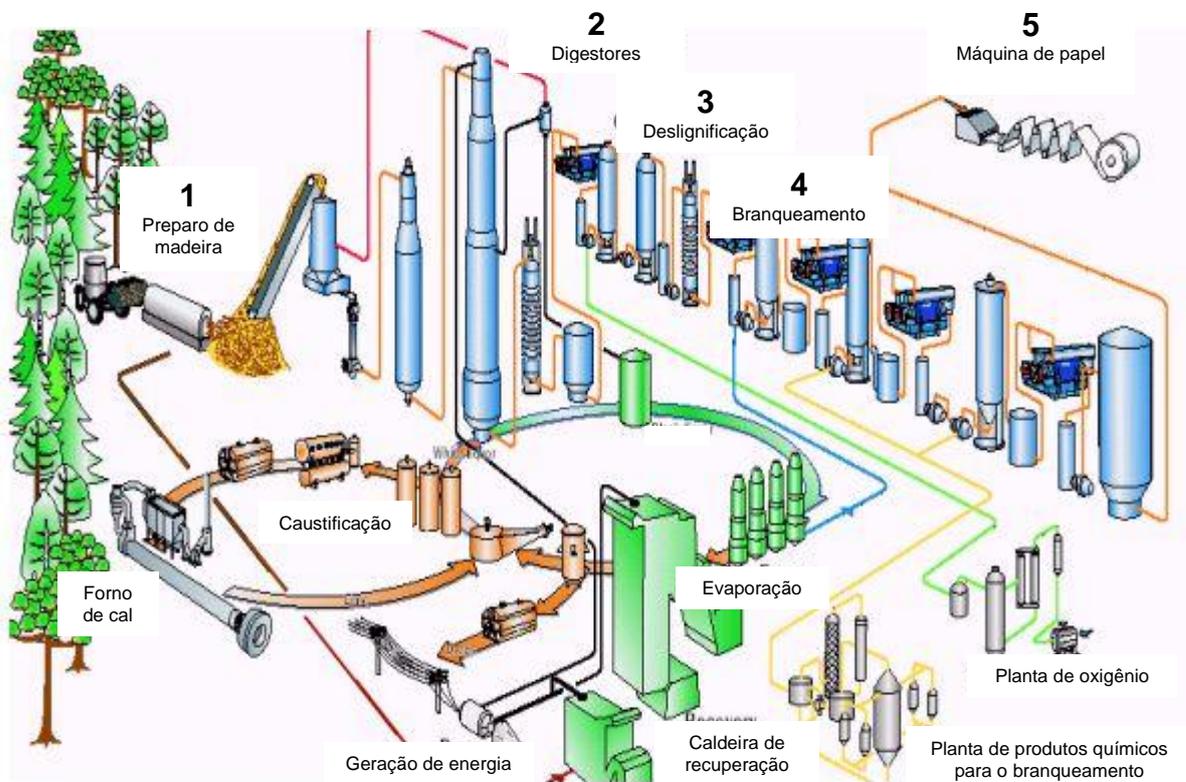


FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE KRAFT

FONTE: Adaptada de TAPPSA (2011)

NOTA: A sequência numérica indica a atividade linha da indústria

Os processos demonstrados na figura 1 fazem parte da linha de produção de papel e celulose Kraft. Esta descrição será realizada, visando justificar a implantação de ações que promovam o reuso de água de forma direta e planejada no circuito de distribuição de água destes sistemas.

2.1.1. Processo de preparo de madeira

Setor responsável por receber a matéria prima, a qual será utilizada para obtenção de massa celulósica. Além de receber também organiza a biomassa a ser consumida pelas caldeiras de força da indústria (GAVRILESCU, 2008).

Para esta finalidade, a indústria trabalha com picadores de disco. Estes equipamentos reduzem as dimensões das toras e produzem pequenas frações denominadas cavacos de madeira (GRANDE, 2004, p. 15-18).

Esta operação condiciona a dosagem da madeira ao digestor, estimulando também a impregnação de produtos químicos para que ocorra o cozimento (MODESTO; MORAES, 2008, p.3).

2.1.2. Processo de polpação Kraft

A polpação química é a operação que permite a obtenção de pasta celulósica para a fabricação de papel. Esta etapa consiste em separar as fibras dos outros componentes presentes na madeira (SMOOK, 1934, p. 69-78).

O principal componente a ser separado da fibra celulósica é a lignina, que tem a função de ligante na madeira e confere rigidez a esta.

A preparação da pasta celulósica pode ser feita de diversas formas, desde, procedimentos mecânicos e partindo para os químicos (COSTA, 2006, p. 129-139).

Dentre os processos disponíveis para a polpação, o Kraft é um sistema desenvolvido para o cozimento do cavaco, de forma a preservar as características de resistência da fibra celulósica (LLAMAS *et al.*, 2006).

Esta técnica procura dissolver a maior quantidade da lignina presente na matéria prima. Uma pequena quantidade da fração de holocelulose é dissolvida durante este sistema. A holocelulose corresponde ao somatório das quantidades de hemicelulose e celulose presentes no cavaco (SMOOK, 2002, p. 10-20).

Grande parte dos extrativos presentes também são dissolvidos por este sistema de polpação.

2.1.3. Produção de papel Kraft

A máquina de papel (MP) tem o objetivo de produzir um conjunto de fibras entrelaçadas, espalhadas em três direções conforme a configuração da própria MP, que são: direção da máquina, direção transversal e a direção correspondente a espessura do papel (SILVA, D. J., 2010, p. 41).

Esta configuração é adquirida através de uma distribuição aleatória de diversos constituintes sob uma tela formadora.

Dentre estes constituintes, estão as fibras celulósicas, aditivos químicos e cargas minerais. A formação da estrutura depende de um veículo de locomoção para os elementos citados, sendo utilizada a água para esta finalidade (SILVA, D. J., 2010, p. 41).

A MP é formada pela combinação de quatro setores. O primeiro deles é a seção de formação da folha, seguido de prensagem, secagem e acabamento final.

Esta máquina opera de forma contínua. Na primeira seção, a massa é alimentada sob uma tela para que ocorra sua respectiva drenagem. Posteriormente, a folha em formação é enviada para a seção de prensagem.

O controle da seção de formação agrega valor ao papel no que se refere as suas propriedades físicas e de impressão. Quando bem operada, garante uma boa retenção de material fibroso e produtos químicos. Paralelo a formação, deve-se considerar a drenagem de água devendo ser alta para o bom andamento do sistema (SOUZA, 2007, p. 8).

O conceito tradicional de produção de papel demonstra a utilização de mesas planas formadas por tela de polietileno, contornando uma estrutura desenvolvida para promover o desaguamento da massa, que costuma ser alimentada com consistência entre 0,3 e 1,5% sob este dispositivo (SILVA, 2000, p. 45-50).

Para que a transferência das fibras e a seção de prensagem tenham sucesso, a folha produzida deve atender alguns requisitos. O ambiente produzido para que se tenha o desaguamento, opera em função da ação da gravidade, utilizando grande quantidade de ventiladores e bombas.

2.1.4. Remoção de água durante a formação da folha de papel

No interior da tela existem os elementos denominados de desaguadores, são: a régua de formação, os rolos desaguadores, os foils², as caixas de baixo e alto vácuo, e o rolo de sucção.

Os elementos presentes para desaguamento exercem forças cisalhantes sob a folha de papel que está sendo formada. Quando a MP não apresenta telas superiores de desaguamento, estas forças são praticadas apenas para baixo (PIOTTO, 2003, p. 153).

Na região inicial da seção de formação, a remoção de água deve consistir em uma ação gradual, caso não seja estabelecida, ocorrerá a compactação das fibras sobre a tela. Esta circunstância é denominada selagem da folha e proporciona uma significativa inibição na operação de desaguamento.

Segundo Pappi (1995), na MP, as forças cisalhantes operantes são duas:

- Cisalhamento tipo mecânico: ocorre frente ao estabelecimento de dois conjuntos de massas, movimentando-se sob a mesa plana e cada um com uma determinada velocidade. O ponto onde esta condição pode ser verificada na máquina, é no início desta seção de formação, quando, ao lançar a massa sob a tela, apresenta velocidade acima da executada pela massa.
- Cisalhamento tipo hidráulico: instituição de pulsos na massa que está sendo levada pela tela formadora, através da ação de elementos como os foils e rolos.

2.1.5. Procedimentos que utilizam água para a formação da folha na máquina de papel

A seção de formação gera grande impacto sob o circuito de águas de produção de papel. Seu monitoramento é motivo dos estudos, efetuados por Silva,

² Foils – também chamados de hidrofoils, são elementos estáticos cuja função é promover o desaguamento, sua configuração é em forma de lâmina com leve inclinação (SILVA, 2000, p. 12).

D. J. (2010) e Xavier (2009), que durante suas pesquisas houve a concordância que a seção de formação é dividida em etapas:

Etapa 01: momento verificado quando ocorre o impacto do jato de massa sob a tela formadora. Neste ponto, existe a tendência em deformação da tela pela potência aplicada pelo jato, devendo ser monitorada, havendo o risco do comprometimento de toda a formação da folha de papel.

Para que o encontro do jato com a tela não venha conferir prejuízos, o jato é direcionado a um elemento denominado mesa formadora. Este artefato evita a deformação da tela formadora.

Etapa 02: denominada formação primária da folha, deve estabelecer o controle da “constante de tempo”, relacionado à retirada inicial de água da massa através da tela formadora.

Esta etapa deve consolidar a folha, de maneira a condicioná-la ao recebimento de intensas drenagens.

Etapa 03: estágio de máxima drenagem. Deve ser estabelecida de maneira gradativa para que não sejam arrastados finos³ em excesso. Com o bom monitoramento deste ponto, são evitados o fenômeno de selagem da folha e a ocorrência de distúrbios de formação.

Etapa 04: momento em que é aplicada a maior condição de vácuo à folha. Deve estar consolidada o suficiente para evitar alterações na sua formação, são utilizadas caixas de vácuo para a remoção de água.

2.2. ELEMENTOS PRESENTES NA MASSA PARA PRODUÇÃO DE PAPEL

A massa fibrosa é uma mistura homogênea de várias substâncias. A ordem de grandeza entre estas substâncias deve ser observada para o desenvolvimento da melhor produtividade, considerando também características da MP e do papel a ser produzido por esta (MIELI, 2007, p. 5-25).

³ Finos são fragmentos de fibras e cargas de baixa granulometria (FOELKEL, 2007, p. 14). Consideram-se finos todos os materiais coloidais e solúveis na composição fibrosa, que passam através de peneira de 200 mesh (76 µm) independente de ser carga mineral.

2.2.1. Água

Componente encontrado em maior volume durante o processo de fabricação de papel. Neste processo é adicionado água a massa até que o teor seco fique entre 0,5 e 1,5 %. Esta ação melhora a formação da folha de papel durante a fabricação.

A água é um elemento essencial para a execução desta atividade. Sua utilidade na produção é descrita da seguinte maneira (FARDIM, 2002):

- Proporcionar os deslocamentos de massas necessários aos outros elementos presentes na suspensão.
- Possibilitar as interações entre todos os elementos presentes na suspensão. Esta influência mútua, promoverá alterações físicas e químicas nas substâncias envolvidas neste sistema.

Na suspensão fibrosa, a água se encontra no estado líquido e deve ser classificada como um sistema complexo, envolvendo diversas propriedades características. Inicia-se avaliando o ajuste estabelecido entre esta pequena molécula e a repartição de suas cargas, conferindo-lhe um caráter polar (SOUZA, 2004, p. 40-46).

A molécula da água apresentará um dipolo elétrico, mesmo com a separação de suas cargas, acarretando em uma molécula eletricamente neutra.

A consequência das características enumeradas traz uma atração intermolecular, devido a presença de forças eletrostáticas, onde a atração será entre o átomo de hidrogênio, carregado com carga positiva de determinada molécula e o átomo de oxigênio da molécula vizinha, que estará carregado com carga negativa (RICHTER; NETTO, 2005, p. 1-13).

O conceito utilizado para demonstrar a molécula da água apresenta uma distribuição de carga com característica tetraédrica, onde a angulação é de $104,5^\circ$ para a água considerada "livre", diferente do ângulo de $109,5^\circ$ que a caracterizaria como molécula tetraédrica ideal (BERNARDO; DANTAS, 2005, p. 2-3).

A divergência observada na angulação é devido à decorrência da compressão estabelecida pelos seus dois elétrons presentes no átomo de oxigênio.

Caracterizando mais ainda, se observa um comprimento de $0,096 \text{ nm}$ para a ligação O-H, quando a água esta na fase gasosa. Para que ocorra a dissociação do primeiro átomo de hidrogênio, deverá ser fornecido a energia de 500 kJ.mol^{-1} ($119,42 \text{ kcal. mol}^{-1}$) (BERNARDO; DANTAS, 2005, p. 2-3).

Entre as moléculas deste fluído, existe, também uma determinada energia de ativação, que se situa em torno de 20 kJ.mol^{-1} . Nestas condições há uma distância de 0,26 nm para a ligação O-O, e de 0,16 nm para o caso entre H-O.

2.2.2. Fibra celulósica

A fibra celulósica que é utilizada para a fabricação de papel é classificada através de características físicas e químicas. O controle desta matéria prima torna-se mais rigoroso na mesma proporção em que é agregado valor a massa, através das etapas que antecedem a máquina de papel.

A fibra celulósica não é composta essencialmente de celulose. Esta classificação é referente a convenção estabelecida em função de avaliação quantitativa do material. Os outros elementos presentes na fibra são as ligninas, as hemiceluloses e os extrativos (MOREIRA, 2009, p. 38-41).

2.2.3. Contaminantes

Atualmente, existem requisitos a serem cumpridos pela indústria para atender as exigências ambientais. Dentre estas exigências, estão presentes questões pertinentes ao uso da água (SILVA, J. S., 2010, p.3-13).

Através das Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005; CONAMA, 2011) que definem padrões de lançamento de efluentes.

Pelo princípio de funcionamento das indústrias de celulose e papel, estas apresentam um consumo de água elevado. Considerando então, as exigências estabelecidas e a característica da indústria de celulose e papel, ocorrem diversas ações direcionadas a redução do consumo de água (HAMAGUCHI, 2007, p.10-15).

As atuações desenvolvidas acarretaram em um aumento nas exigências dos padrões de qualidade desta água, em diversos pontos do processo.

Alterações executadas no processo buscam recircular a água. São elevadas as concentrações de polieletrólitos, ácidos graxos, finos, que estão presentes na forma sólida, dissolvida e coloidal.

Com o aumento destes contaminantes, o processo sofre um impacto negativo, principalmente, no que se refere a ações de polieletrólitos carregados ionicamente. Por definição, a eficiência de retenção de fibras na MP é influenciada diretamente pela ação dos polieletrólitos (SOUZA, 2007, p. 55-82).

Dentre os polieletrólitos utilizados para fabricação de papel, os que apresentam cargas positivas são os mais afetados.

Os detritos que apresentam maior ocorrência na suspensão de fibras são aqueles materiais que estão nas formas dissolvidas e coloidais. São substâncias orgânicas e inorgânicas.

A origem das impurezas pode ser avaliada de acordo com as seguintes possibilidades:

- Introduzidas juntamente com a água de reposição;

Presentes na polpa seca ou na suspensão de fibra que é alimentada no processo.

Dentre as operações que exercem influência na qualidade da polpa, pode-se citar a de lavagem que, se realizada de uma maneira insuficiente, contribuiu significativamente sob o teor de detritos dissolvidos e coloidais presentes na suspensão.

Polpas de origens distintas, tais como, Pasta Quimiotermodemecânica (CTMP⁴) ou Kraft, apresentaram grande variação no teor de impurezas desta natureza.

- Desenvolvidas na operação de refino;

De acordo com o uso final do papel, este pode necessitar de significativas propriedades de resistência. Desta forma, o trabalho realizado sob a suspensão durante o refino é mais severa.

Os resultados de uma operação de refino em condições intensas são a formação de partículas sólidas, finos e também de materiais orgânicos dissolvidos.

- Agravadas pela água branca⁵ recirculada;

⁴ CTMP – Pasta Quimiotermodemecânica ou Chemical Thermo Mechanical Pulping.

⁵ Água branca – é a água extraída da seção de formação da folha na máquina de fabricação de papel. É considerada a água que apresenta a maior concentração de fibras celulósicas dentre as águas desta indústria (HAMAGUCHI, 2007, p.64).

Esta água apresenta diversas impurezas, estando presentes sob a forma de sólidos suspensos, substâncias coloidais e dissolvidas.

- Inseridas através de reciclagem de papéis;

Esta opção ocorre em indústrias que utilizam este elemento como matéria prima.

2.2.4. Influência dos contaminantes na produção de papel

Com a avaliação das possibilidades enunciadas, pode-se verificar que, a presença de contaminantes no processo respeitam o balanço de massa deste sistema, sendo intimamente relacionados à formação da folha de papel e à eficiência de retenção sob a tela formadora (SILVA, D. J., 2010, p.12-19).

Antes que a formação tenha início, ocorrem as reações de neutralização e de adsorção na suspensão fibrosa. A eficiência destas reações determinam também as características das impurezas presentes na água branca. Deve-se considerar também que, todas as reações que ocorrem na MP estão expostas a influência das forças de cisalhamento exercidas pelo acionamento desta máquina (SOUZA, 2007, p. 55-82).

Algumas substâncias orgânicas de origem madeireira são solúveis nas condições do processo. Estes elementos contribuem para o aparecimento de substâncias coloidais e também dissolvidas na suspensão de fibras (HAMAGUCHI, 2007, p.10-15).

Celulose e hemicelulose de baixo peso molecular e também lignina fragmentada são consideradas substâncias de presença constante na água branca proveniente da MP.

Outra fonte de entrada de substâncias consideradas contaminantes é através da introdução de químicos, que podem ser trazidos como reagentes de polpação e branqueamento.

Na lista dos chamados contaminantes, verificam-se ainda os ácidos graxos, o amido aniônico e também os polieletrólitos, estes últimos funcionam como aditivos de processo com carga negativa.

Todas as partículas que não são retidas durante a formação da folha, contribuem para o aumento de concentração da água branca. Com isto, a possibilidade do sistema apresentar problemas operacionais é alto. Dentre estes se podem citar (SILVA, 2000):

- Formação de deposições nas linhas e equipamentos;
- Desenvolvimento de incrustações nas linhas e nos equipamentos;
- Geração de espuma em tanques e reservatórios;
- Variações de nível de tanques e reservatórios, ocasionados pela presença de espuma;
- Crescimento da presença de microorganismos em todo o sistema, condição agravada pelas características de umidade, calor e matéria orgânica encontrados no circuito da máquina de papel (MP);
- Perda de qualidade em todas as propriedades do papel.

Um fato marcante observado durante a produção de papel é o surgimento de alguns dos problemas descritos acima de forma paralela. Este evento é justificado pela interdependência observada entre algumas destas dificuldades.

Outro ponto a ser observado é a constituição da força iônica da suspensão. Esta força é gerada pela presença das substâncias inorgânicas presentes sob a forma de íons (SOUZA, 2007, p. 100-122).

Para o monitoramento adequado da presença de substâncias presentes na água, a indústria recorre à avaliação da demanda catiônica, a qual informa o teor de substâncias coloidais e dissolvidas, a condutividade, que demonstra o teor de eletrólitos dissolvidos na água.

2.3. UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NAS BOMBAS DE VÁCUO PARA PRODUÇÃO DE PAPEL

O fato da massa a ser trabalhada para obtenção de papel estar inicialmente com teor seco de 1%, demanda uma intensa remoção de água, em um curto espaço físico e temporal (AMARAL, 2008, p. 53-55).

A retirada de água é intensificada com a utilização de sistemas aplicadores de vácuo, em determinados equipamentos desaguadores no decorrer da MP (HAMAGUCHI, 2007, p. 35).

O bom funcionamento do sistema de vácuo traz resultados importantes para a formação da folha de papel. O vácuo, é utilizado nas caixas de sucção e também no rolo de sucção. Esta prática garante a remoção de 25% de toda a água que é alimentada na caixa de entrada. Este é o segundo principal sistema de desaguamento praticado durante a fabricação do papel (NUNES, 2007, p. 57).

Para a aplicação de vácuo uma MP, normalmente, possui entre 08 e 12 bombas de vácuo. Estes equipamentos operam com capacidade entre 0 e 7 mca⁶.

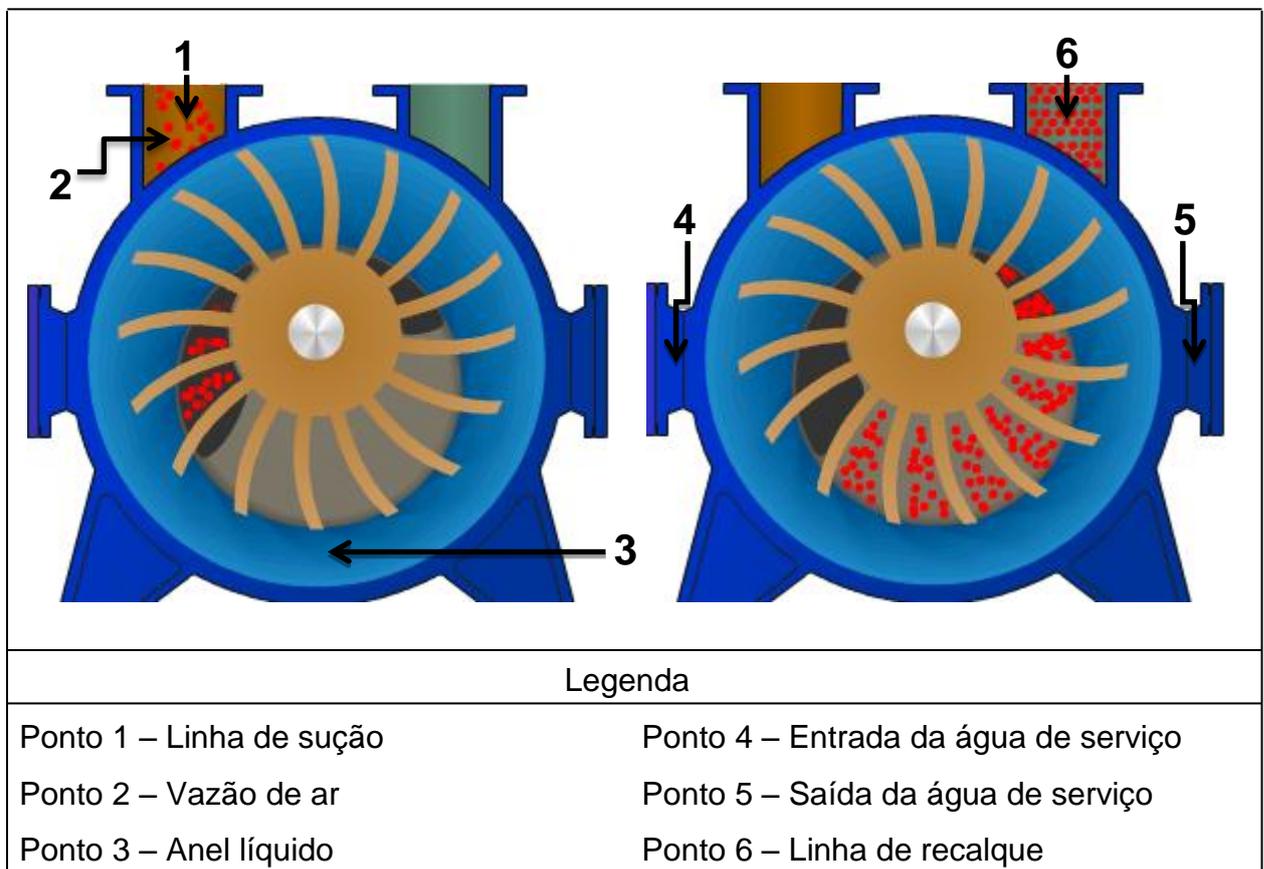


FIGURA 2 – UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NAS BOMBAS DE VÁCUO

FONTE: Adaptado de publicação NASH (2011)

A figura 2 apresenta a utilização de água na bomba de vácuo de anel líquido e indica as tubulações de sucção (ponto 1) e recalque (ponto 6) gerados por este anel (ponto 3).

⁶ mca - metro de coluna de água.

Uma bomba de vácuo tem duas tampas em sua carcaça, que possuem bocais destinados a sucção e recalque. Isto possibilita a aplicação de vácuo com intensidade distinta entre estes bocais (DEGASPERI, 2006, p. 41-54).

As indústrias classificam a aplicação de vácuo em três divisões sendo: 0 – 3 mca considerado baixo, 4 – 5 mca médio e 6 – 7 mca alto vácuo.

A intensidade do vácuo é controlada pela abertura da válvula de sucção de ar instalada na bomba e pela vazão de água de serviço. Esta será alimentada de maneira controlada para a formação de um anel de água, o que garante a geração de um vácuo constante (ESTEVAM, 2002, p. 39-49).

As bombas geradoras de vácuo necessitam de água de serviço. A vazão deve ser em torno de 1% do volume total de ar a ser aspirado por este equipamento (ponto 2). Nesta condição uma única bomba consome em torno de 10,8 – 14,4 m³/h (DEGASPERI, 2006, p. 41-54).

Além da água de serviço, as bombas de vácuo necessitam de água de selagem que tem a função de vedar as aberturas existentes entre o rotor e a cabeça de comando existente nas bombas. Além desta função, a água de selagem tem a utilidade de remover fibras que são arrastadas, dentre outras partículas que possam entrar no sistema.

Dentre os sistemas disponíveis para controle de vazão, o mais utilizado para o monitoramento da alimentação de água de serviço para as bombas é a inclusão de manômetro na tubulação de sucção (ESTEVAM, 2002, p. 39-49).

No circuito hidráulico das bombas existe um canal de vácuo, que é responsável por receber a água de serviço e selagem, para posteriormente, direcioná-las a um tanque coletor.

Normalmente, as indústrias de celulose e papel, direcionam esta água de saída das bombas de vácuo para um tanque de água recuperada, entretanto, esta água deverá ser condicionada, sendo utilizadas tradicionalmente peneiras inclinadas (HAMAGUCHI, 2007, p. 95-100).

Após a remoção de sólidos que estão em suspensão, a água, que ainda está com temperatura elevada, deverá ser direcionada a torres de resfriamento para adequação desta variável.

Salienta-se que o uso destas torres apresenta dificuldades de projeto, por necessitarem grande área disponível para instalação.

2.4. CONCEITOS GERAIS DE REUSO DE ÁGUA

Há muito tempo é conhecido em nosso planeta o conceito de reuso, pois o ciclo hidrológico desenvolvido pela natureza, executa esta tarefa de reutilização há milhões de anos (FIESP, 2007 p. 15).

A água utilizada para fins domésticos ou industriais em determinado momento é utilizada como fonte de consumo da população. Nos Estados Unidos, o valor deste reuso chega a quarenta por cento (SHREVE, 2008 p. 23).

O conceito de reuso atualmente aplicado, considera que existe uma determinada água residuária que se apresenta dentro de limites que possibilitem sua utilização.

Quando se busca avaliar a prática do reuso de água, tem-se a prioridade de identificar a qualidade mínima da água, indispensável para aquela operação industrial verificada (FIRJAN, 2007 p. 1-29).

A inexistência de informações pertinentes ao grau mínimo de qualidade que a água deve apresentar para determinado processo industrial, dificulta o levantamento de oportunidades para esta prática (MANN, 2003).

Assim, se torna necessário um estudo que descreva a operação industrial que se pretende trabalhar, assunto este já abordado no item produção de papel, possibilitando desta maneira, a caracterização da água que pode ser submetida a este processo (ŽARKOVIĆ; OGNJANOVIĆ; RAJAKOVIĆ, 2011).

A avaliação do efluente que se pretende utilizar para o reuso é necessário para que assim, seus limites de qualidade sejam evidenciados. O efluente deve apresentar conformidade com o grau mínimo de qualidade de água, exigido pelo processo que a receberá.

Existem ocasiões que a qualidade da água de reuso já apresenta um histórico considerável, por se tratar de processos difundidos na indústria. Como exemplo pode-se citar as torres de resfriamento, operação amplamente utilizada em processos de fabricação de celulose e papel.

2.4.1. Reuso de água macro externo e macro interno

Para o bom emprego do reuso de água na indústria, devem ser consideradas duas estratégias (JUNIOR, 2006, p. 6-41):

- a) Reuso macro externo: esta pratica é definida com a utilização de efluentes tratados, que têm origem em outra indústria.
- b) Reuso macro interno: esta condição estabelece que sejam utilizados efluentes também tratados, porém, que foram gerados pela própria indústria que os reusa.

A figura 3 apresenta as duas estratégias a serem avaliadas para a técnica do reuso macro interno.

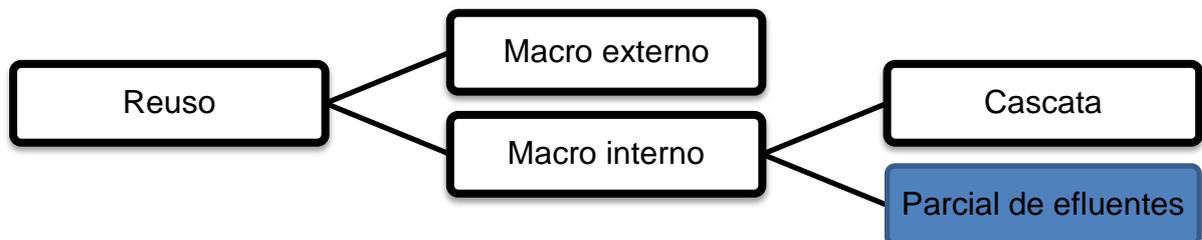


FIGURA 3 – ESTRATÉGIAS DE REUSO

FONTE: Adaptado de JUNIOR (2006)

2.4.2. Reuso em cascata

Nesta técnica é utilizado o efluente de um determinado setor como afluente de outro sistema subsequente, não existindo necessidade alguma de tratamento para que esta condição se torne viável.

A prática do reuso em cascata é limitada pelo projeto hidráulico das indústrias, pois estas, em sua maioria, apresentam sistemas centrais de recolhimento de efluente. Quando isto ocorrer, o reuso só será viável se ocorrerem investimentos para uma coleta em separado dos efluentes, impedindo que os

mesmos se misturem a outras correntes e que não apresentam condições semelhantes à vazão escolhida (JUNIOR, 2006, p. 41).

2.4.3. A técnica de reuso com a utilização parcial dos efluentes

Esta técnica trabalha com a utilização de uma determinada parcela do efluente gerado na indústria. A indicação deste modelo é feita quando acontecem variações da concentração de impurezas no efluente com o passar do tempo.

Uma derivação do conceito que está sendo trabalhado é a combinação do efluente com água proveniente de outra fonte de coleta convencional.

A técnica do reuso, abordada desta maneira, deve ser escolhida quando existir um efluente com condições semelhantes, porém, não ideais para certa aplicação. Outra condição que pode justificar este procedimento é a falta de vazão disponível de efluente para atender a demanda de determinado sistema (VARGAS, 2008, p. 65-75).

Quando não se tem total segurança para a aplicação de nenhuma das técnicas citadas, a sugestão é a inclusão de linha reserva, para o atendimento ao processo quando as características do efluente apresentarem valores fora dos parâmetros de controle (FIRJAN, 2007 p. 17-18).

2.4.4. Reuso de efluentes tratados

Considerada como a forma mais utilizada atualmente pelas empresas, a reutilização de efluentes tratados consiste na utilização local de efluentes. Para isso, é aplicada a técnica necessária para o condicionamento do efluente aos seus respectivos usuários (FIRJAN, 2007 p. 19).

Um ponto importante na avaliação do possível reuso de efluentes tratados, é a verificação do acréscimo da concentração de impurezas que não são removidas durante o tratamento do efluente.

Bresaola e Cantelli (2000) ao avaliarem a qualidade dos efluentes finais tratados por planta de lodos ativados classificaram os sólidos dissolvidos como uma variável crítica à prática do reuso.

Para a avaliação do aumento da concentração dos compostos inorgânicos solúveis, existe a possibilidade de se trabalhar com uma variável conservativa, que tenha a capacidade de representar a maior parte dos processos industriais.

As metodologias propostas para equacionar estas situações, envolvem os balanços de massas e incluem como variável conservativa os “Sólidos Dissolvidos Totais (SDT⁷)”. Utilizando estas ferramentas se pretende definir os teores máximos de reuso a serem aplicados nas respectivas plantas (JUNIOR, 2006, p. 19).

Quando se tem a intenção de utilizar uma fonte de água alternativa em determinado processo, deve-se realizar o balanço de massa que demonstre o progresso do teor dos SDT. Fazendo uso desta ferramenta, pode-se também chegar a conclusão da necessidade de um tratamento adicional para adequação de alguma corrente, antes que tenha acesso ao processo.

2.4.5. Reuso de efluentes direto e planejado

A prática de retorno de efluente tratado diretamente ao local de reuso, sem seu lançamento no meio ambiente é denominado de reuso direto planejado, porém, existem algumas alternativas a esta classificação (FILHO, 2002).

Os conceitos possíveis são (NIETO, 2009, p. 4-14):

- Reuso indireto não planejado: esta prática caracteriza-se pelo envio de efluente não tratado aos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, de forma não intencional e sem controle, com posterior utilização de água a jusante.
- Reuso indireto planejado: envio de efluentes tratados de maneira planejada, nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos com a utilização a jusante.

⁷ SDT – Sólidos dissolvidos totais, encontrados após a remoção dos sólidos suspensos totais dos sólidos totais do efluente (MORAES, 2008, p. 3).

A figura 4 apresenta três classificações para a aplicação da técnica do reuso.

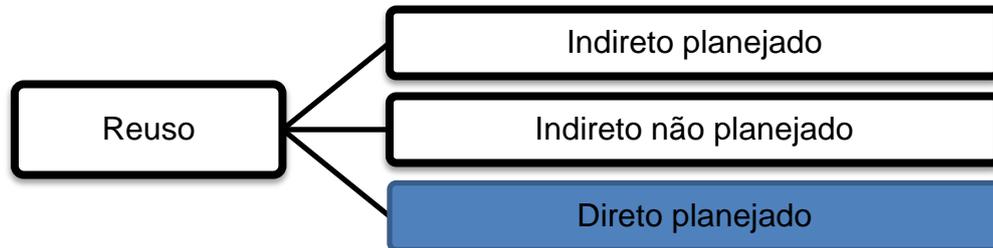


FIGURA 4 – CONCEITOS GERAIS DE REUSO

FONTE: Adaptado de NIETO (2009)

Neste contexto, as indústrias têm promovido ações com o objetivo de evitar o lançamento do efluente ao meio ambiente, através da utilização de tecnologias de membranas para purificação de seus respectivos efluentes (ABDESSEMED; NEZZAL, 2003).

Independente do processo que emprega a membrana, os afluentes devem ser previamente tratados biologicamente. Para esta finalidade a planta de lodos ativados é a mais utilizada.

Os efluentes finais de processos da indústria Kraft de celulose e papel, pode ser tratado com uma sequência em série envolvendo lodos ativados e membranas. Neste caso, as águas geradas apresentarão nominalmente qualidade compatível a diversos fluxos de águas da atividade linha da indústria (TEIXEIRA, 2001, p. 9-27).

Para a escolha da membrana, simulações em planta piloto podem ser realizadas. As seguintes membranas podem ser observadas: Microfiltração, Ultrafiltração, Nanofiltração e a Osmose Reversa.

Com a intenção de praticar o reuso, o Grupo Lucart, fábrica italiana de papel reciclado, purificou seus efluentes com membranas, seguindo as possibilidades citadas anteriormente. Durante a avaliação destes sistemas observou-se uma maior produtividade para a membrana cerâmica de microfiltração de 0,14 μm . Já quando trabalhado com membrana em espiral, foi observada uma baixa produtividade para a microfiltração e também para a ultrafiltração, atrelado a presença de incrustações (PIZZICHINI; RUSSO; MEO, 2004, p. 351-359).

As tecnologias para a busca da redução do consumo específico de água na indústria de celulose e papel vieram, de maneira paralela, com a necessidade da

redução da carga poluidora lançada aos mananciais. Neste contexto, o uso de membranas de ultrafiltração passou a figurar como uma alternativa que apresentou alta eficiência.

Através do estudo realizado em uma indústria de celulose e papel no Japão, Atkinson (2000) analisa o potencial de aplicação destas membranas para o tratamento de efluentes industriais e indica que a implantação deste sistema aumenta a eficiência do tratamento.

Segundo Jonsson *et al.* (1996), a tecnologia de membranas pode ser utilizada para tratamento de efluentes de indústrias de celulose e papel com a intenção principalmente de remover cor, DQO e AOX⁸.

Afonso e Pinho (2001) relatam o estudo realizado para o tratamento de efluentes de indústrias de celulose e papel através da tecnologia de ultrafiltração, e compara este sistema a outra operação com configuração em série de ultrafiltração e microfiltração tratando efluentes semelhantes.

Segundo este estudo, ao estabelecer as duas operações em série os resultados foram os mesmos da operação de ultrafiltração analisada isoladamente. Em ambos os sistemas, a remoção de sólidos em suspensão foi de 100%, enquanto a remoção de cor apresentou a eficiência de 88% para a planta de ultrafiltração e 90% para o sistema em série, que envolveu as duas tecnologias.

Nestes trabalhos é citada também a possibilidade da ocorrência de incrustação, como problema para o uso destas membranas.

Quando analisam o tema incrustação em membranas, Maartens, Jacobes e Swart (2002), descrevem que esta condição é inerente a esta operação unitária. Seus resultados indicam a presença de substâncias fenólicas e hidrofóbicas na composição destas incrustações. Desta forma, a incrustação, segundo estes mesmos autores, pode ser combatida com o aumento das características hidrofílicas em filtros que antecedam as membranas.

Chang *et al.* (2002) relatam que as incrustações devem ser removidas. Para isto, são necessários procedimentos que utilizam produtos químicos. Esta operação gera novos efluentes com características extremamente heterogêneas e de difícil controle, desta forma ocorre a redução da eficiência do sistema e a elevação dos custos para manutenção e operação do processo que utiliza a membrana.

⁸ AOX – compostos orgânicos clorados.

A iniciativa de adequar o efluente para uso na indústria pode ser tomada também com a utilização de nanofiltração.

Tomando como estudo de caso a nanofiltração, Mänttari, Viitikko e Nyström (2005) estudaram o ajuste do efluente descarregado do processo de lodos ativados para seu respectivo reuso em indústria de celulose e papel. A metodologia adotada foi a de comparar o efluente da planta de nanofiltração às águas utilizadas durante o processo de fabricação.

Como resultado deste estudo foi obtido um permeado praticamente isento de compostos orgânicos e sem cor. Como ponto negativo, os estudos registraram a presença de substâncias inorgânicas, com níveis superiores as águas de processo.

2.5. REQUISITOS PARA O REUSO DA ÁGUA NA MÁQUINA DE PAPEL KRAFT

Nas indústrias de celulose e papel, a água fornecida tradicionalmente aos processos é originada das estações de tratamento de água. Estas plantas têm a capacidade de fornecer água tratada em condições que atendem as imposições dos processos consumidores.

Outra fonte que tenha a intenção de alimentar qualquer um dos processos da indústria Kraft de celulose e papel deve, preferencialmente, igualar as características da água fornecida pela ETA⁹.

O acompanhamento da qualidade da água fornecido pela ETA à área fabril, que representa o padrão a ser seguido, é demonstrada por uma variedade de parâmetros relacionados a seguir:

- Potencial de hidrogênio

A determinação do potencial de hidrogênio, pH, é um teste de simples realização, importante ao processo de produção de celulose e papel.

O controle operacional da água de todos os consumidores apresenta o pH como variável funcional, seja na operação de uma MP ou de uma caldeira.

⁹ ETA – Estação de Tratamento de Água.

Os valores de pH classificam a água como ácida, quando seu valor é menor que 7, neutra quando 7 e básica quando este valor é maior que 7.

Cada um dos setores do processo, trabalha numa faixa de pH, esta necessidade vem em função da minimização do processo de corrosão, incrustação, e também do rendimento dos processos.

- Temperatura

De acordo com a temperatura dos efluentes industriais, seu envio novamente ao processo produtivo da indústria pode alterar a temperatura das correntes deste sistema. O comportamento mais comum observado é o aumento de temperatura das linhas de correntes que recebem este método de reuso (ATKLNSON, 2010, p. 938-945).

Com o acréscimo de temperatura, a operação unitária de bombeamento fica comprometida. Este efeito pode ser observado no sistema de vácuo das MP's, onde as bombas correspondentes têm sua capacidade de operação reduzida.

Segundo Arantes *et al.* (2000) outro item influenciado pela temperatura é o desenvolvimento de microorganismos.

- Cor

Esta variável adverte a presença de substâncias indesejáveis na água. Constantemente, a cor é utilizada para a indicação da presença de substâncias de origem orgânica presente na água (RICHTER; NETTO, 2005, p. 5-15).

O processo responsável deve fornecer sua água às unidades consumidoras com baixos valores de cor, pois a presença desta trará impactos negativos aos sistemas. Um limite considerado bastante exigente para a cor é aquele utilizado em processos de tratamento de água, os quais devem ser inferiores a 5 ppm Pt¹⁰.

Na produção de celulose e papel, a água entra em contato direto com as fibras celulósicas, que originalmente não tem cor e a presença na água poderá comprometer suas características iniciais.

A indústria Kraft de celulose e papel apresenta diversos usos para água em várias temperaturas, como no caso dos trocadores de calor e também nos geradores de vapor. Nas condições de uso destes setores, a cor que na verdade tem origem orgânica pode vir a carbonizar, desenvolvendo assim depósitos ou incrustações.

¹⁰ ppm Pt: unidade de cor produzida por 1 mg de platina (Pt) dissolvida em 1 litro de água destilada na forma de cloroplatinato de cobalto "HAZEN" (BERNARDO; DANTAS, 2005, p. 1-13).

Quando formadas as incrustações, exercerão uma resistência à transferência de calor, demandando um maior diferencial de temperatura para a transferência de calor. Este fato acarretará no superaquecimento dos materiais responsáveis pela troca térmica e, conseqüentemente, poderá reduzir suas propriedades mecânicas ou até mesmo rompê-los.

- Turbidez

Esta característica é observada quando a água apresenta matéria suspensa, independente da natureza (RICHTER; NETTO, 2005, p. 6-16).

A operação de tratamento da água busca reduzir os valores de turbidez, pois sua presença representa impurezas, e neste caso, materiais indesejáveis ao processo de fabricação.

- Sólidos dissolvidos

Os sólidos dissolvidos têm tendência de se acumularem no processo, gerando diversos impactos negativos.

O fenômeno de corrosão é impulsionado pela presença de sólidos dissolvidos no circuito de águas. Quando isto ocorre, os responsáveis buscam trabalhar com produtos químicos para inibir este dano aos materiais. A inclusão de químicos para atuações corretivas encarece o processo, gerando assim, mais um impacto negativo pela presença de sólidos dissolvidos (JUNIOR, 2006, p. 11-61).

Outros parâmetros que podem apresentar impactos negativos e, dependendo da situação, podem ser investigados quanto ao uso da água, são: condutividade, alcalinidade, teor de alumínio, teor de cálcio, teor de cloreto, teor de sódio, dureza total, sólidos totais, sólidos voláteis totais, sólidos totais fixos, sólidos suspensos, sólidos voláteis dissolvidos, sólidos fixos dissolvidos, polarização linear, medida da taxa de corrosão e teste de decantação.

Quando as indústrias estabelecem a prática do reuso, seus objetivos são: utilização de água de qualidade inferior para usos menos restritivos, permitir que os mananciais sejam utilizados para usos prioritários, minimizar os envios de efluentes para os corpos hídricos. Desta maneira, a indústria está trabalhando para a preservação da água (MIELI, 2007, p. 1-14).

Os requisitos para o uso da água variam em função da aplicação. Para cada uso são avaliadas características físicas, químicas e microbiológicas.

Na indústria existem várias aplicações para a água. Cada uma apresenta seus respectivos parâmetros, devendo ser atendidos para que sejam reduzidos os riscos ao sistema que utilizará esta água.

Desta forma, na avaliação da estratégia do reuso de águas, surge a necessidade de apontar os requisitos inerentes a cada setor ou operação que fará uso da mesma. Outro ponto relevante, é a observação das prováveis consequências que o reuso possa gerar no processo (NUNES, 2007, p. 62-72).

Inicialmente, os pontos de controle para o reuso são: o monitoramento dos balanços envolvidos, a verificação constante dos teores de sólidos suspensos e também dissolvidos. Atendendo ainda a um conceito inicial de controle, as temperaturas das vazões envolvidas devem se observadas (JUNIOR, 2006, p. 40-61).

2.5.1. Limitações comuns ao uso da água na indústria Kraft de celulose e papel

A indústria Kraft de celulose e papel foi desenvolvida através da utilização de diversos materiais, com a possibilidade de agressões originadas pelas condições de uso aos quais os mesmos são expostos.

Os principais prejuízos que podem ser inferidos a estes materiais, acarretados pela inclusão de água no processo, são: a corrosão e desenvolvimento de depósitos e/ou incrustação.

Quando ocorre o desenvolvimento de depósitos em diversos pontos do processo pode, em um primeiro momento, ocasionar entupimentos. Outra possibilidade é que, de maneira intermitente, estes depósitos venham a se desprender e contaminar o produto referente a cada processo ou desencadear entupimentos localizados.

Uma vez analisados estes aspectos, devido à presença da água, cabe a inclusão de uma estimativa quanto ao uso desta. Para tanto, Nunes (2007) apresenta informações que devem ser observadas de possíveis impactos, quando em desacordo com os parâmetros pré-estabelecidos, junto ao sistema produtivo no que se refere ao setor correspondente a máquina de papel (quadro 01).

Parâmetro - analisar	Possíveis impactos junto ao processo
pH	Equilíbrio iônico, corrosão e incrustação
Condutividade	Sólidos dissolvidos
Alcalinidade	Proteção ácida, nível de carbonato e corrosão
Temperatura	Acréscimo de temperatura
Cloreto	Balanço de ânions e corrosão
Alumínio	Balanço de cátions e retenção
Cálcio	Balanço de cátions e retenção
Sódio	Balanço de ânions e corrosão
Dureza total	Sólidos principalmente de cálcio
Cor	Material dissolvido, principalmente matéria orgânica
Turbidez	Material em suspensão
Sólidos totais	Precipitação de sólidos
Sólidos voláteis totais	Acúmulo de sólidos orgânicos
Sólidos totais fixados	Acúmulo de sólidos inorgânicos
Sólidos suspensos	Acúmulo de sólidos fibrosos
Sólidos dissolvidos	Acúmulo de sólidos dissolvidos
Sólidos voláteis dissolvidos	Acúmulo de sólidos orgânicos dissolvidos e balanço de massa orgânica
Sólidos fixos dissolvidos	Acúmulo de sólidos inorgânicos dissolvidos e balanço de massa inorgânica

QUADRO 1 – TESTES PARA CARACTERIZAR A QUALIDADE DE ÁGUA

FONTE: Adaptado de NUNES (2007, p. 66)

Os testes selecionados neste quadro objetivam caracterizar a qualidade da água para reuso, desta forma, os parâmetros em questão têm a intenção de fundamentar as condições inerentes à ocorrência de corrosão ou da formação de depósitos e incrustações nos sistemas hídricos presentes na indústria, no que se refere ao setor de papel Kraft.

2.5.2. Elementos não processuais na indústria de celulose e papel Kraft

Os elementos não processuais têm registro desde a data do ano de 1967 no Canadá, quando W. Howard Rapson apresentou a intenção de recircular o efluente gerado no processo de uma indústria de celulose Kraft branqueada. Sua intenção era a de reduzir o envio de efluente para o rio. Durante a elaboração deste plano algumas tecnologias foram aplicadas, entre as que tiveram maior relevância foram a eliminação do efluente do processo do branqueamento, fato este, buscado com a utilização do fluido para a lavagem de polpa marrom, e também a inclusão de um sistema de recuperação de NaCl, tratado através da evaporação do licor branco (OLIVEIRA, 2003, p. 3-4).

Neste momento destacaram-se os NPE's¹¹, que afetaram intensamente a produção desta indústria, quando ocorreram acúmulos de substâncias no processo.

Existem alguns pontos responsáveis pela introdução dos NPE's na indústria de celulose e papel. Estes elementos têm acesso ao processo através da madeira alimentada, e também, através de produtos químicos comprados de outras indústrias para o uso na produção de celulose e papel. Os elementos que se destacam dentro desta classe são alguns cátions metálicos (Ca^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Cd^{2+} , Al^{3+}) e os ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) (EMUNDS, 2010, p. 18-20).

Quando estes elementos são introduzidos, continuamente, em circuitos fechados de água, eles atingirão seus respectivos valores de saturação, gerando depósitos e incrustações. A consequência, nestes casos, é a redução de produtividade do referido processo. No caso particular de celulose e papel, depósitos gerados na linha de água prejudicam a qualidade do papel e geram entupimentos no sistema hidráulico do processo.

¹¹ NPE – Elementos Não Processuais (Non Process Elements).

2.5.3. Condições operacionais para aplicação do reuso em chuveiros da máquina de papel

O princípio de funcionamento da máquina de papel, prevê a utilização de uma variedade de chuveiros, para limpeza de suas partes móveis.

Dentre as principais aplicações para o uso destes equipamentos verificam-se aqueles destinados a limpeza de feltros e manutenção dos rolos.

A função destes chuveiros é a produção de uma vazão constante, com características que variam em função da localização do dispositivo no processo em questão. Para que este desempenho seja atingido, a água utilizada deve apresentar uma condição que evite entupimentos (PIOTTO, 2003, p. 260-283).

O desenvolvimento de entupimentos nos bocais dos chuveiros tem origem na presença de impurezas na água.

Dentre as análises que quantificam e qualificam a água, as mais significativas para a avaliação do uso em chuveiros são pH, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos totais.

Para o bom uso da água neste ponto, uma característica que deve ser analisada é a presença de sólidos suspensos totais.

A correta aplicação de água nos chuveiros prevê como limite superior o valor de 128 ppm de Sólidos Suspensos Totais (SST), já quanto o objetivo é a diluição este valor sobe para 550 ppm (NUNES, 2007, p. 87).

Outro impacto que deve ser evitado é a contaminação da tela, feltros e do próprio papel por substâncias indesejáveis presentes na água utilizada nos chuveiros.

O consumo médio de água nos chuveiros de uma MP é em torno de 24,6 m³/tonelada de papel produzido. Desta forma, para que seja possível reduzir o consumo de água fresca na MP, é essencial que a técnica de reuso seja aplicada neste ponto (NUNES, 2007, p. 65).

A preocupação com o consumo de água na indústria não é recente. Assim, o reuso em chuveiros já é trabalhado por diversas indústrias de celulose e papel.

Dentre os chuveiros utilizados em uma MP, os modelos mais restritivos em termos de funcionamento são os que operam com os jatos mais finos.

Alguns modelos, principalmente os utilizados na seção das prensas, trabalham com baixas vazões e com jatos de 0,8 mm. Estas condições limitam a contaminação da água que pode ser trabalhada.

Considerando a possibilidade do entupimento dos bicos dos chuveiros e da dificuldade técnica em realizar a desobstrução, existe nas linhas de alimentação destes dispositivos, filtros tipo cartucho.

Condições reais observadas em diversas plantas de máquinas de papel demonstram a necessidade de desobstrução dos filtros.

2.5.4. Requisitos para aplicação do reuso nas bombas de selagem da MP

A presença de uma quantidade de água suficiente para a selagem de uma bomba de vácuo de anel líquido, é fator fundamental ao bom rendimento deste equipamento.

Para que ocorra o fluxo de água de selagem através da bomba, a pressão de operação deve estar na faixa de projeto. Este valor varia entre 10 e 15 psi (0,7 e 1,05 Kgf/cm²).

Sendo a pressão variável de controle da vazão de água de selagem, cabe a esta água não apresentar substâncias contaminantes que venham a provocar obstrução nas linhas ou no rotor da bomba (DEGASPERI, 2006, p. 11-23).

Outra condição que deve ser atendida pela água, para que esta tenha condições de ser utilizada como água de selagem, é a temperatura. Estudos demonstram que águas com temperatura superior a 43 °C reduzem a capacidade de vácuo da bomba (DOUGLAS, 2010, p. 1-2).

Dentre as sugestões observadas ao controle do vácuo da bomba, está o bom dimensionamento do manômetro.

Equipamentos com faixa de medição muito ampla tendem a gerar informações imprecisas. Para as bombas de vácuo utilizadas nas máquinas de papel são recomendados manômetros com escala de 0 à 60 psi (0 à 4,85 Kgf/cm²) (DOUGLAS, 2010, p. 1-2).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA INDÚSTRIA ESTUDADA

O estudo para avaliação da proposta do reuso de águas foi desenvolvido em uma indústria integrada de produção de celulose e papel no Brasil, denominada nesta pesquisa como Indústria CPBR.

A unidade industrial estudada é responsável pela produção de papel e cartão, utilizando a metodologia Kraft de polpação química e o uso de pastas quimiotermomecânica (CTMP). O fluxograma da produção de papel e celulose é demonstrado na figura 5.

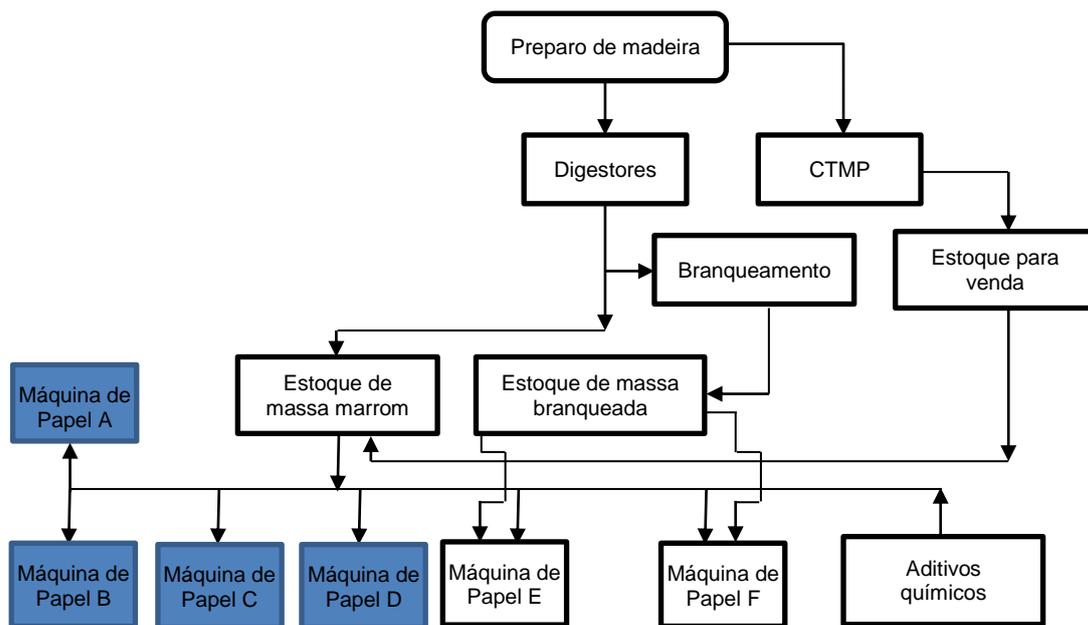


FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DA INDÚSTRIA CPBR

FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2011)

De acordo com a figura 5, o setor que inicia esta linha de produção é o de preparo de madeira, alimentando com cavacos os processos dos digestores e da

CTMP¹², para a produção de massa de celulose que pode ser opcionalmente branqueada e armazenada para a produção de papel.

Os aditivos químicos utilizados para a produção de papel são distribuídos às máquinas de fabricação pelo setor denominado de Cozinha de Couché.

A figura 5 apresenta a distribuição de massa de celulose para as 6 máquinas produtoras de papel da Indústria CPBR, dividindo-as em dois grupos: máquinas A, B, C e D que utilizam massa de celulose marrom, as máquinas E e F que utilizam a massa de celulose marrom e também a branqueada para a sua produção.

O parque industrial da CPBR é composto por 1.500 colaboradores e tem capacidade de produzir 1,1 milhão de toneladas de papel por ano, com uma área de reflorestamento de 300 mil hectares de plantio de pinus e eucalipto.

Somados todos os processos envolvidos para a produção de papel e cartão, aliados aos setores responsáveis por fornecer utilidades, a Indústria CPBR demanda de um consumo de água bruta de 5.000 m³/h, e apresenta a geração de 3.500 m³/h de efluentes que são continuamente lançados aos mananciais.

3.1.1. Descrição da estação de tratamento de água

A Indústria CPBR possui uma planta de Estação de Tratamento de Água (ETA), com capacidade para 5.000 m³/h.

O volume de água disponibilizado é distribuído para a indústria de produção de celulose e papel, e também para um bairro domiciliar situado a 1.000 metros e que é destinado a locação de funcionários desta mesma indústria.

A ETA capta e bombeia água bruta de um rio situado a 900 metros e também de uma represa situada a 1.200 metros.

A água chegando a ETA, é analisada e recebe a dosagem de produtos químicos necessários ao seu tratamento:

- Coagulante - Sulfato de alumínio;
- Bactericida – Cloro;
- Corretor de pH – Cal hidratada;

¹² CTMP – Pasta Químico Termo Mecânica (Chemical Thermo Mechanical Pulping).

- Corretor de alcalinidade – Cal hidratada.

A figura 6 descreve as principais etapas do processo de tratamento de água da Indústria CPBR.

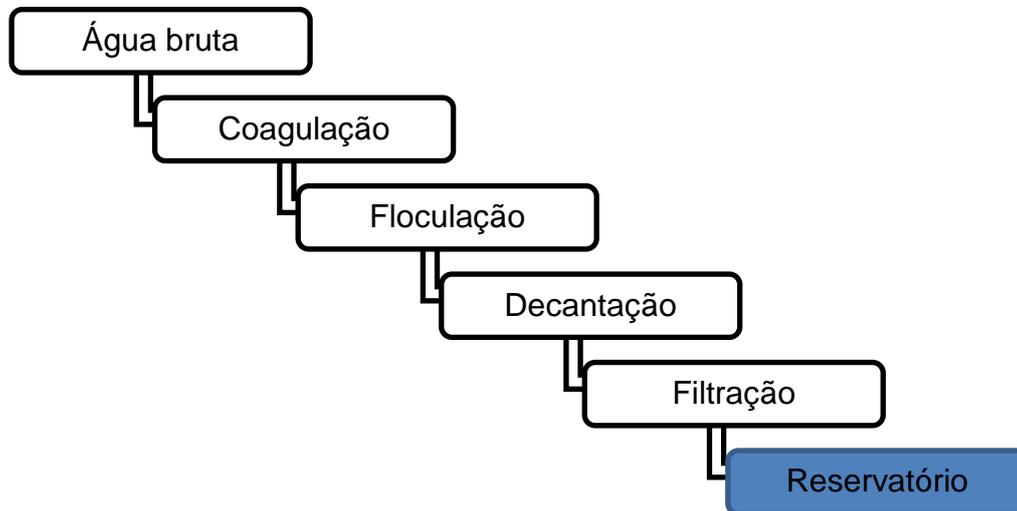


FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
 FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2011)

A água bruta previamente tratada é direcionada para a calha Parshall¹³, melhorando a mistura dos produtos dosados pela turbulência formada.

Essa mistura então é submetida a uma série de operações unitárias, iniciando por misturadores rápidos que homogeneizarão a água a ser tratada e os produtos químicos.

A água homogeneizada é direcionada para quatro câmeras de flocladores de 400 m³ cada. O canal de floculação direciona a água para os decantadores, formados por quatro modelos convencionais e três modelos tubulares:

- Decantadores 1, 2 e 3

Operação realizada com descarga semiautomática. Todos apresentam inclinação de 60 graus para os módulos tubulares, e possuem um poço para depósito de flocos. O volume de cada decantador é 950 m³.

- Decantadores 4, 5 e 6

Estes decantadores são do modelo convencional e têm dimensões 1.100 m³ cada. A inclinação da entrada para a saída é de 5 graus.

¹³ Calha Parshall é um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas (BERNARDO; DANTAS, 2005, p. 66).

- Decantador 7

Apresenta as mesmas características dos decantadores 4, 5 e 6, com exceção ao volume que é de 900 m³.

Na última etapa de tratamento, a água recebe outros produtos químicos para a conclusão do tratamento e é filtrada por um conjunto de doze filtros de carvão antracito, areia e pedra. Os produtos que concluem o tratamento são:

- Gás cloro;
- Cal hidratada.

A água fresca pronta para ser utilizada, é armazenada em um reservatório situado na ETA. A distribuição para a indústria é dada por gravidade e para o bairro de funcionários na forma de bombeamento.

3.1.2. Descrição da estação de tratamento de efluentes

O setor responsável pela produção das águas que se sugere o reuso é o de Meio Ambiente, através da estação de tratamento de efluentes industriais. Os principais equipamentos e processos que compõem este setor são: tratamento preliminar, decantador primário, tratamento secundário de lodos ativados e tratamento terciário de ultrafiltração.

A estação de tratamento de efluentes da Indústria CPBR ilustrada na figura 7, está projetada para receber uma vazão de até 4.000 m³/h. A planta faz uso de equipamentos e instrumentos de medição.

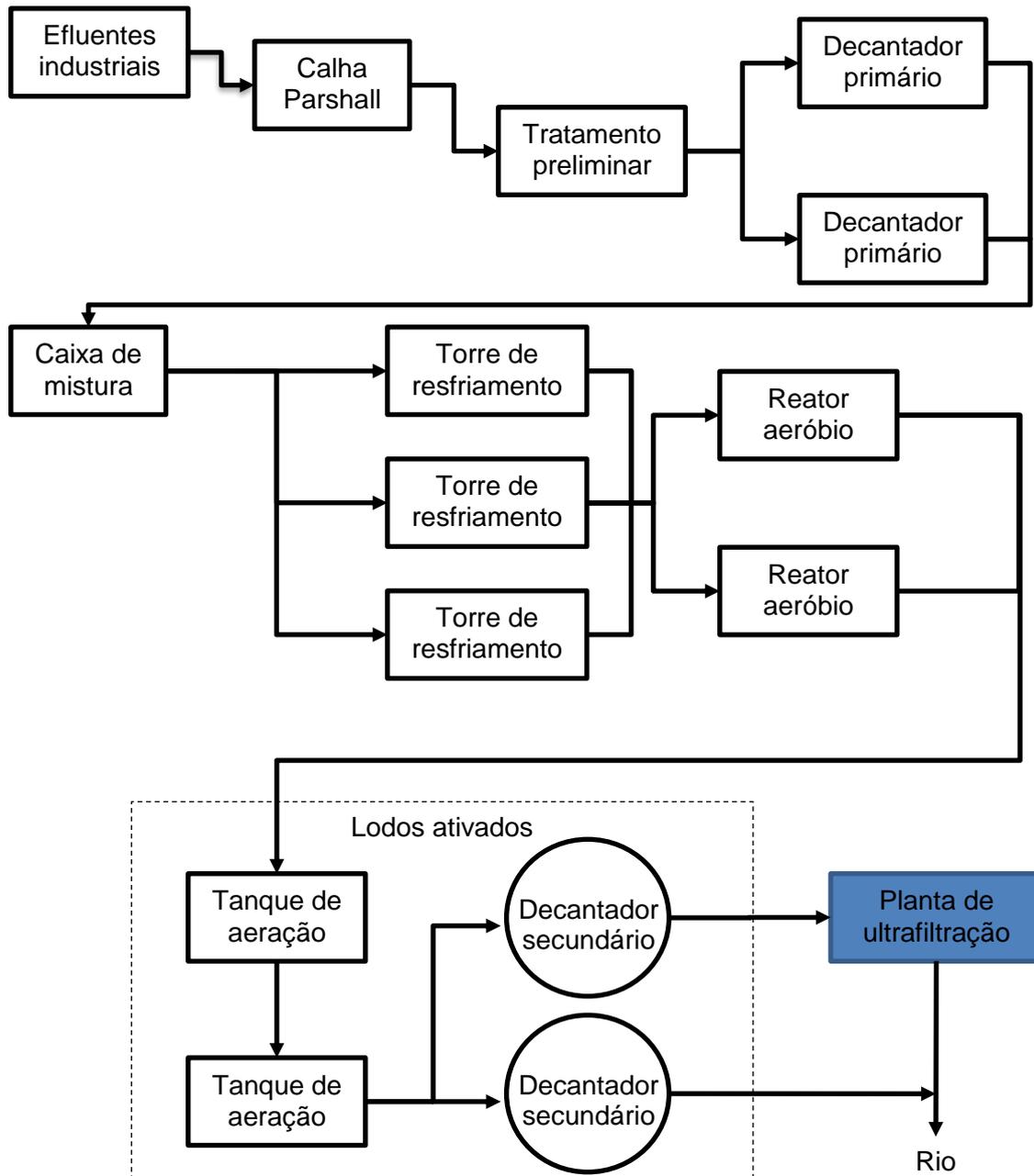


FIGURA 7 - FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA CPBR

FONTE: Adaptado da INDÚSTRIA CPBR (2011)

A planta demonstrada na figura 7 possui torre de resfriamento que mantém a temperatura do efluente em um valor inferior a 40 °C. Para garantir esta condição, esta torre é lavada a cada 28 dias.

No tratamento primário da ETE são removidas fibras, em condições de serem utilizadas para a produção de papel, denominada por esta indústria de fibra recuperada (FRE¹⁴).

A operação de decantação primária é executada convencionalmente através de controle de pH, amperagem da ponte rolante e remoção contínua de lodo.

O efluente classificado no sistema primário é direcionado a etapa secundária de tratamento. Nesta fase, o controle do sistema é feito em função da vazão de reciclo do lodo ativado, para que a partir desta ação sejam monitorados a relação alimento/microorganismo, a idade do lodo e os sólidos presentes neste sistema.

3.1.3. Tecnologia de ultrafiltração utilizada para operacionalizar o reuso de águas

O sistema de ultrafiltração utilizado está projetado para reduzir do efluente, os parâmetros: DQO, DBO₅ e os sólidos sedimentáveis.

As instalações de ultrafiltração são dimensionadas para tratar 1.600 m³/h de efluente, o que significa 40% do total gerado pela indústria. Entretanto, estas instalações prevêm em seus projetos, condições para ampliações futuras chegando a 100% do efluente da fábrica.

Na planta, a alta tecnologia das membranas é protegida por pré-filtro com orifícios de 300µm (10⁻⁶m), que têm a função de impedir que sólidos considerados agressivos à ultrafiltração tenham acesso a esta.

A planta de ultrafiltração trabalha com porosidade de 25 nanômetros (10⁻⁹m). Esta abertura busca a remoção dos sólidos suspensos presentes no efluente, assim como vírus e bactérias.

O efluente da ultrafiltração apresenta em sua composição, elementos com dimensões menores que os 25 nanômetros da membrana. Sais e substâncias coloidais têm dimensões menores e por este motivo têm livre acesso através das membranas que compõem a ultrafiltração.

¹⁴ FRE – Fibras recuperadas no setor de tratamento de efluentes.

Como foi discutido no tópico tratamento de efluentes utilizando membranas, o sistema de ultrafiltração tem como característica a necessidade de realização de contra lavagem. Com exceção deste momento, a planta opera de forma contínua.

A operação de acondicionamento das membranas gera resíduo, que é formado por lodo biológico. A ETE opera com sistema de lodos ativados. Esta planta possui um seletor biológico aeróbio¹⁵.

O seletor biológico foi o ponto definido em projeto para receber os resíduos gerados na contralavagem da ultrafiltração.

Segundo dados operacionais, o envio do lodo da ultrafiltração ao seletor não gera impacto negativo sobre este sistema.

Quando é estabelecida a filtração do efluente num processo de ultrafiltração, um ponto importante é a verificação do nível de remoção de sólidos e micro-organismos, este grau de remoção é ilustrado no quadro 2.

Dimensão das partículas	intervalo atômico ou iônico		Intervalo de micro partículas			Intervalo de macro partículas	
	μm	nm	0,001	0,01	0,1	1	10
Massa molecular	100	200	1000	100000	500000	1000	10000
Solutos	sais aquosos		sílica coloidal		células de levedura		
	íons metálicos		micro solutos		vírus		bactérias
	açúcares				proteínas		
Processos de separação por membranas	electrodíalise						
	osmose inversa						
	nanofiltração				ultrafiltração		
	pervaporação		diálise		microfiltração		

QUADRO 2 – GRAU DE EFICIÊNCIA DA ULTRAFILTRAÇÃO

FONTE: Adaptado de TEIXEIRA (2001)

¹⁵ Seletor biológico aeróbio – processo aplicado para reduzir altos índices de microrganismos filamentosos (SOUZA, 2002, p. 21).

Observando a classificação registrada no quadro 2 de eficiência da ultrafiltração, nota-se que a planta pertencente à unidade da Indústria CPBR está projetada para remover sílica coloidal, vírus, proteínas e micro solutos.

Na figura 8, pode ser observado a vista frontal da planta industrial de ultrafiltração, utilizada para este estudo. Este sistema de tratamento é compacto, mesmo com a alta vazão para a qual está projetada.

A planta de ultrafiltração utilizada é formada por um conjunto de 4 Skids¹⁶, que contém ao todo 160 vasos pressurizados. O projeto desenvolvido nesta indústria apresenta 640 cartuchos de membranas com 1,5 metros de comprimento. Cada vaso de pressão trabalha com 04 destes 640 cartuchos.



FIGURA 8 – VISTA DA PLANTA DE ULTRAFILTRAÇÃO

FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2010)

O efluente é direcionado a um filtro localizado na entrada da planta de ultrafiltração.

Este efluente é coagulado com utilização de PAC¹⁷. Existe também a possibilidade de um condicionamento químico desta água para corrigir seu pH, objetivando uma maior eficiência da coagulação.

¹⁶ Skids – Equipamento pertencente a planta de ultrafiltração, consiste no conjunto formado por 40 vasos de pressão.

¹⁷ PAC – Policloreto de alumínio.

A figura 9 apresenta alguns vasos de pressão (tubulação branca). Cada Skid possui 40 destes vasos e em cada um encontram-se 04 cartuchos de membranas.



FIGURA 9 – DETALHES DA PLANTA DE ULTRAFILTRAÇÃO
 FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2010)

A figura 10 apresenta as partes funcionais de um dos cento e quarenta cartuchos de membranas presentes em cada Skid da planta.



FIGURA 10 – FOTO INTERNA DE UM CARTUCHO DE MEMBRANA
 FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2010)

O sistema terciário registrado neste trabalho está em funcionamento desde março de 2008. Foram iniciados estudos sobre a qualidade do efluente gerado por esta planta, buscando a conformidade com a legislação vigente.

Com o novo cenário observado, surgiu a oportunidade da indústria, viabilizar o uso do efluente gerado na ultrafiltração para a produção de papel.

3.1.4. Descrição da máquina de produção de papel Kraft

A indústria CPBR possui máquinas de papel Kraft, onde são produzidos diversos tipos de papel.

De acordo com as características requisitadas pelos clientes, cada máquina desenvolve sua massa, utilizando diferentes combinações de fibras.

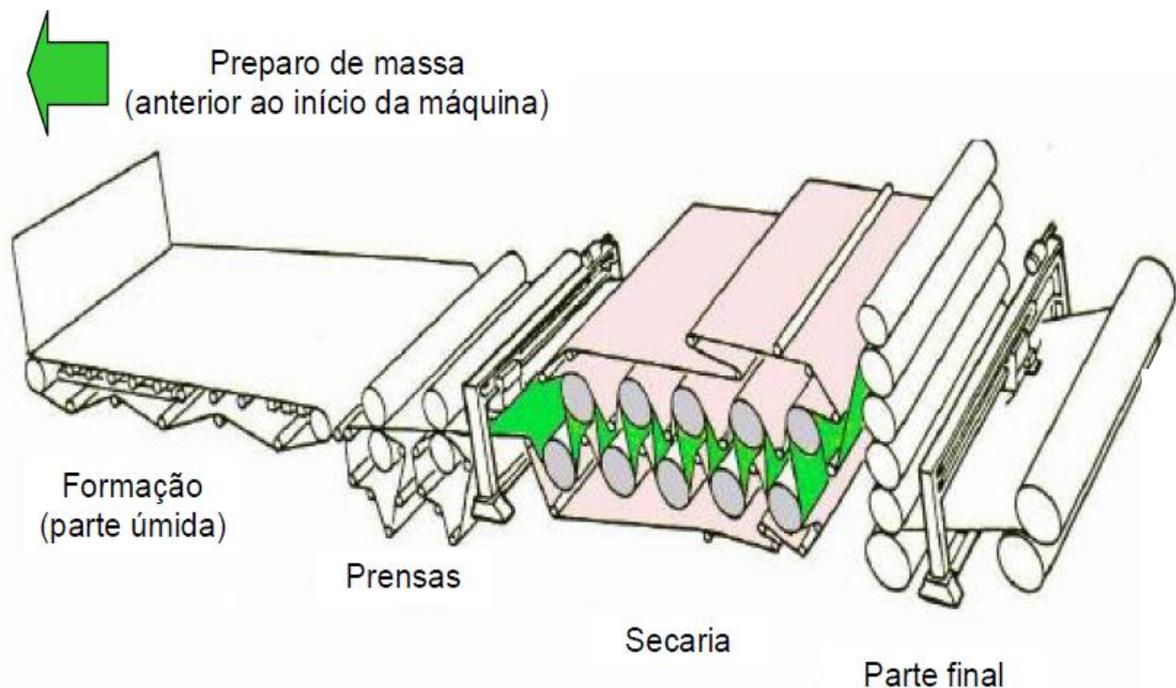


FIGURA 11 – CONFIGURAÇÃO TRADICIONAL DE MÁQUINA DE PAPEL
 FONTE: Acervo técnico da INDÚSTRIA CPBR (2010)

A figura 11 apresenta seções que fazem parte da configuração tradicional de máquina para fabricação de papel: formação, prensas, secaria e parte final.

O sistema da MP compreende desde a caixa de entrada até a saída do setor de secagem, o qual recebe a massa de celulose e estabelece a sua diluição para obtenção de uma distribuição adequada a formação do papel. Posteriormente, de forma gradual é iniciada a remoção da água.

Para uma correta drenagem, a MP trabalha de forma a utilizar a ação da gravidade e também da aplicação de vácuo. A geração de vácuo neste sistema só é possível com a utilização de bombas de vácuo.

Quando a folha está previamente formada, mas ainda com alto teor de umidade, é transferida para as prensas onde é removida a água da folha através da ação do NIP¹⁸ destes equipamentos. Nesta região, o feltro que envolve as prensas recebe água transferida da folha em formação, estando sempre condicionado para a remoção de partículas que ficam aderidas. Para isto a presença de vácuo é essencial, pois acelera o processo de limpeza dos feltros.

O último ponto de remoção de água da folha de papel que se encontra em formação é a secagem. Neste ponto ocorre a evaporação da água, demandando um grande fornecimento de energia.

A MP possui em média um conjunto de 50 cilindros denominados de secadores, onde por contato indireto o vapor transfere energia para a evaporação da água.

A folha de papel que deixa a secagem é armazenada na forma de bobinas, posteriormente, pode ser cortada, analisada e condicionada para o transporte.

3.2. METODOLOGIA

Este tópico apresenta a metodologia utilizada para a realização do estudo.

3.2.1. Levantamento de informações da indústria

Juntamente com profissionais responsáveis pelos setores da indústria, foram definidos os volumes a serem controlados e avaliados, como potenciais receptores para o reuso da água permeada por uma planta de ultrafiltração. Para esta avaliação, foi necessário a descrição dos principais setores envolvidos, que podem ser observados através da figura 12.

¹⁸ NIP – Zona de contato entre rolos na seção de prensagem da máquina de papel.

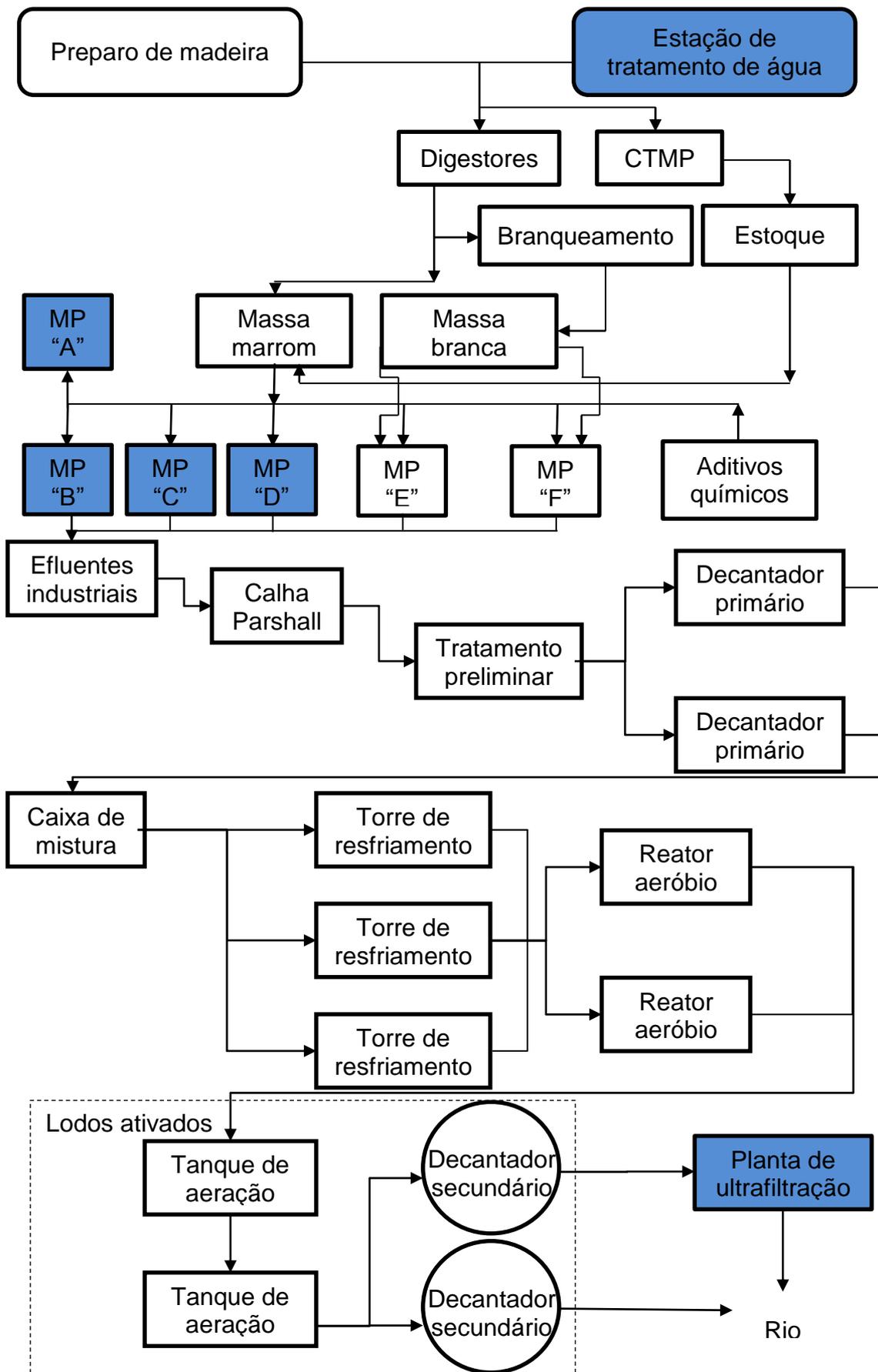


FIGURA 12 – PONTOS ESTUDADOS PARA PROPOSTA DO REUSO

FONTE: Adaptado da INDÚSTRIA CPBR (2011)

Ao avaliar o cenário demonstrado no levantamento de dados do processo, foi definido que, a pesquisa seria desenvolvida de forma a avaliar as características do efluente gerado na ETE, especificamente na planta de ultrafiltração.

Os temas analisados foram: o processo de produção de celulose e papel Kraft, a utilização de água nestas indústrias, as características de seus efluentes industriais, as técnicas e tecnologias disponíveis para a implantação do reuso direto e planejado de efluentes.

Os pontos do processo avaliados restringiram-se aos tópicos destacados na figura 12.

A primeira etapa foi a avaliação das águas geradas na última fase do processo de tratamento de efluentes da Indústria CPBR. Na sequência, foram analisadas as máquinas de produção de papel, que se encontravam a uma distância de 600 metros da planta geradora das águas, a qual sugeriu-se ao reuso.

O último passo seguido, foi a análise do setor que desenvolve a função de fornecer água aos consumidores da Indústria CPBR.

3.2.2. Diagnóstico das características dos efluentes ultrafiltrados

Os efluentes ultrafiltrados são o resultado de uma etapa completa da ETE da Indústria CPBR (figura 12). Para a coleta de amostras e definição da eficiência da planta, foi escolhido um período em que a Indústria CPBR apresentava um ritmo de operação estável, sem paradas prologadas e nem perturbações atípicas.

Com o objetivo de avaliar a possibilidade de implantar a técnica de reuso de efluentes de forma direta e planejada, foi submetido 700 m³/hora de efluentes industriais a ETE que apresentasse sistema primário convencional, seguido de planta de lodos ativados e processo terciário de ultrafiltração. Esses efluentes, foram amostrados por um período de 30 dias, sendo realizado uma coleta por dia, na tubulação de saída do permeado do processo de ultrafiltração. Para a realização dessas análises foi utilizado o laboratório da Indústria CPBR.

Foi avaliada a eficiência da planta de ultrafiltração através de análises de turbidez, cor, DBO e DQO. Estas variáveis foram escolhidas para verificar a redução

de partículas nas águas submetidas ao processo de ultrafiltração e se haveria a possibilidade de contribuição e sugestão do reuso desses efluentes.

Para esta avaliação, foi monitorado também o pH entre 7,0 e 8,5 e temperatura nos limites de 33 à 37 °C. Mesmo com o fato desses dois itens não apresentarem variações durante o processo de ultrafiltração, são variáveis fundamentais à sugestão do reuso dos efluentes, assim, seus respectivos comportamentos foram acompanhados para registros no estudo desenvolvido.

A relação dos parâmetros de controle utilizados e analisados para a proposta do reuso, bem como o número de coletas realizadas está indicada na tabela1.

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA PROPOSTA DE REUSO

Parâmetros de controle	Dias amostrados	Número de coletas por dia
Turbidez	30	1
Cor	30	1
DBO	30	1
DQO	30	1

FONTE: O AUTOR (2011)

O período de amostragem para a análise do processo da ultrafiltração compreendeu 30 dias, com coletas de uma amostra diária. O ponto de coleta das amostras foi na entrada e saída do processo de ultrafiltração com a vazão de 700 m³/hora.

3.2.3. Levantamento e verificação dos pontos de consumo de água nos setores

Para discussão a respeito dos levantamentos realizados, demonstrando os principais consumidores de água fresca na Indústria CPBR, foram avaliadas duas possibilidades.

A primeira delas, consistiu em analisar toda a demanda de água atual. A segunda proposta foi a verificação da necessidade de todos os pontos consumidores de água deste sistema e avaliar a qualidade mínima da água para estes pontos.

Considerando as duas possibilitadas registradas anteriormente, a sequência adotada neste trabalho foi de analisar no circuito de águas da indústria os pontos consumidores onde as substâncias presentes nos efluentes ultrafiltrados não possibilitem influência no processo, buscando indicar a qualidade necessária e a aplicação como água de reuso.

Para a sugestão dos pontos de reuso, foram considerados todos os circuitos de águas pertencentes ao setor das máquinas de papel. Foram analisados os seguintes documentos/fluxogramas:

- Projeto técnico correspondente ao fluxograma de processo;
- Sistema de chuveiros da MP;
- Fluxograma do sistema de vácuo;
- Descritivo da inclusão dos aditivos químicos;

Esta análise possibilitou a identificação dos pontos do processo relevantes para o consumo de água e os principais equipamentos envolvidos nesse uso.

No caso das bombas de vácuo deve-se visualizar dois pontos de consumo: água de serviço para a produção de vácuo e água para selagem.

Nestes pontos deve ser realizado levantamento na área fabril, para análise de:

- Presença de instrumentos que indiquem as vazões da água de trabalho de cada equipamento, avaliando seus respectivos regimes de trabalho para verificação da conformidade destes, com suas capacidades descritas em projeto.

- Levantamento do circuito de águas praticado pela Indústria CPBR, comparando esta informação aos fluxogramas teóricos do sistema.

A partir destas informações, foi possível determinar o conjunto de equipamentos a serem estudados para a sugestão do reuso de águas, considerando os consumos específicos dos equipamentos.

Com a conclusão desta etapa e avaliando os aspectos quantitativos, foi possível decidir quais equipamentos teriam justificativas, no momento em que o estudo foi realizado, para a aplicação do reuso dos efluentes alterando o circuito de águas.

As principais características destes equipamentos estão apresentadas nos resultados do estudo, com os registros dos requisitos das operações quanto ao uso da água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram avaliadas as águas geradas pelo permeado da planta de ultrafiltração e a água tratada na ETA.

Os pontos escolhidos para serem caracterizados e os motivos que na fase inicial do estudo levaram a estas escolhas, foram:

- Planta de ultrafiltração:

Águas geradas na linha de permeado apresentavam alta qualidade e vazão.

- Máquinas de Papel Kraft:

Setor localizado a 600 metros da planta de ultrafiltração, e consumidoras de grande quantidade de águas fresca.

O consumo médio de água fresca na Indústria CPBR pode ser observado no gráfico 1.

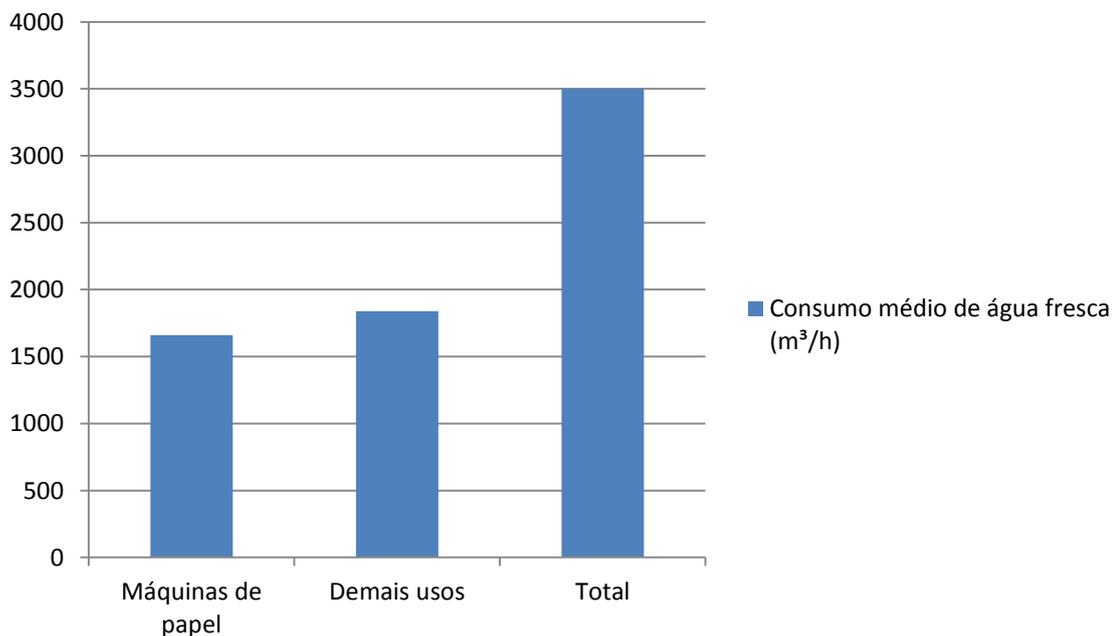


GRÁFICO 1 – CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA FRESCA NA INDÚSTRIA CPBR

FONTE: Adaptado da INDÚSTRIA CPBR (2011)

Dentre as máquinas de fabricação de papel da Indústria CPBR, a MP “A”, “B”, “C” e “D” produzem papel Kraft e, como pode ser analisado no gráfico 2, apresentam um elevado consumo de água fresca. Como registrado na descrição

feita no ítem 3.1.4, vários são os pontos de aplicação de água para a operação da Indústria CPBR.

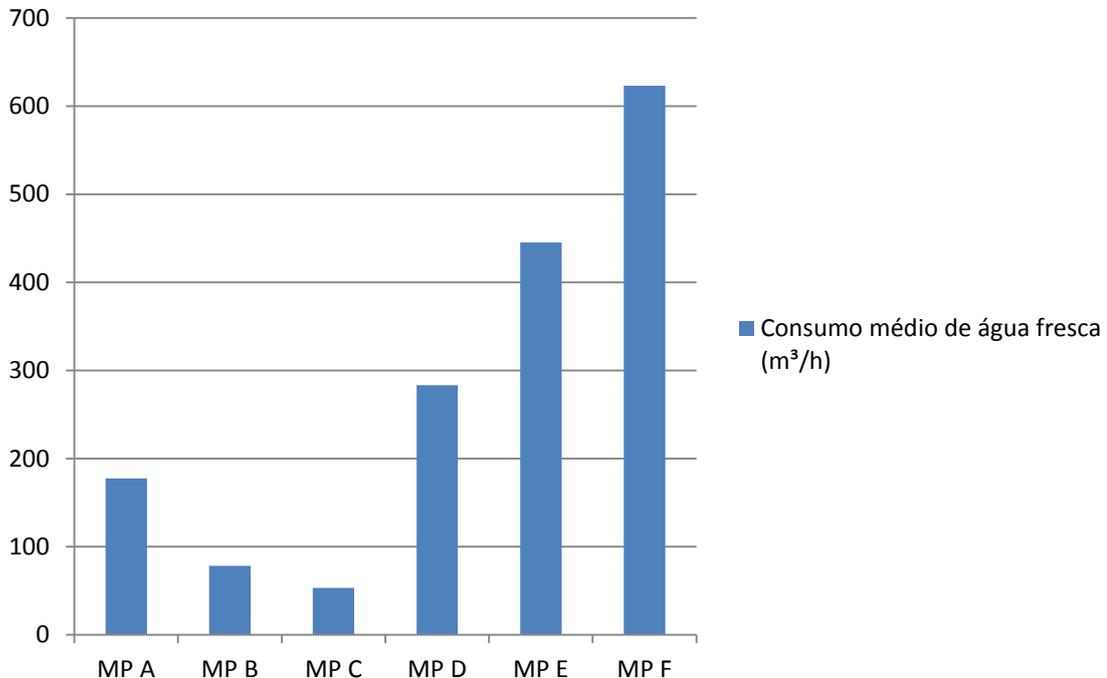


GRÁFICO 2 – CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA FRESCA NAS MÁQUINAS DE FABRICAÇÃO DE PAPEL

FONTE: Adaptado da INDÚSTRIA CPBR (2011)

As MP “E” e “F” não foram avaliadas para a proposta do reuso, pelo fato de produzirem papel para embalagem de alimentos e, visto que o sistema de gestão da qualidade praticado pela Indústria CPBR não permite a utilização de água de reuso para este tipo de papel.

- ETA:

Foi verificado qual é o padrão de qualidade da água fornecida pela ETA aos consumidores da indústria em que o reuso se mostrou favorável, a fim de obter valores de comparação com o padrão de qualidade do efluente ultrafiltrado.

O quadro 3, resume os dados avaliados.

Sistema	Alimentação	Função na indústria	Produção
Planta de ultrafiltração	Efluentes industriais diversos	Tratar os efluentes industriais para devolve-los ao meio ambiente.	Efluentes tratados
ETA	Água bruta de origem de rio e represa	Produzir água em quantidade suficiente para as necessidades de todo o parque industrial.	Água tratada
MP Kraft	Água fresca, vapor de água, produtos químicos e massa celulósica	Produzir com o maior rendimento possível, e atender as diretrizes do sistema de gestão.	Papel Kraft

QUADRO 3 - SISTEMAS AVALIADOS

FONTE: O AUTOR (2011)

4.1. ÁGUAS DO CIRCUITO DA INDÚSTRIA ANALISADAS PARA AVALIAÇÃO DO REUSO

Durante o trabalho realizado foi delimitado, em função do layout da indústria e também da disponibilidade das águas geradas pela planta de ultrafiltração, uma distância máxima do ponto de fornecimento da água de reuso igual a 600 metros. Essa distância foi estipulada, pois, no setor gerador dos efluentes ultrafiltrados não existe consumo de água fresca em quantidade considerável para que essa vazão fosse direcionada, sendo o setor mais próximo aquele que determina a distância de 600 metros.

O efluente submetido ao tratamento pela tecnologia da ultrafiltração foi analisado e verificado parâmetros somatórios para a caracterização de efluentes industriais.

A busca pelos processos consumidores de reuso, bem como a avaliação dos efluentes ultrafiltrados estudados neste trabalho, foi desenvolvida no período em que toda a indústria estava operando em condições consideradas normais, sem variações de produção ou interrupções para manutenção.

4.2. EFICIÊNCIA DA PLANTA DE ULTRAFILTRAÇÃO COMO SISTEMA TERCIÁRIO DA ETE

Os valores dos parâmetros considerados fundamentais à observação da eficiência da ultrafiltração na ETE, são apresentados na tabela 2 e condensados na tabela 3.

TABELA 2 – ANÁLISES REALIZADAS PARA DETERMINAR A EFICIÊNCIA DA ULTRAFILTRAÇÃO

Data	Clarificador secundário				Ultrafiltração				% remoção ultrafiltração				Vazão ETE (m³/dia)	
	DQO	DBO ₅	Cor	Turbidez	DQO	DBO ₅	Cor	Turbidez	DQO	DBO ₅	Cor	Turbidez	Entrada	Saída
	mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	ppm Pt	NTU	mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	ppm Pt	NTU						
1	69,3	9,2	520,0	66,2	53,0	8,2	285,8	0,2	23,5	10,9	45,0	99,7	89.676	87.924
2	75,4	8,3	385,3	60,1	64,3	8,0	325,2	0,2	14,7	3,6	15,6	99,7	85.049	83.383
3	75,0	15,0	525,3	34,5	71,3	9,4	445,3	0,2	4,9	37,3	15,2	99,4	89.496	87.293
4	66,2	7,8	390,5	39,0	64,4	4,0	330,7	0,4	2,7	48,7	15,3	99,0	94.118	92.765
5	81,7	13,0	415,2	34,1	79,5	10,2	290,2	0,3	2,7	21,5	30,1	99,1	89.798	88.485
6	58,3	7,2	460,1	31,4	53,6	6,0	230,6	0,2	8,1	16,7	49,9	99,4	92.098	90.504
7	68,8	11,7	275,6	31,7	64,3	5,3	185,3	0,1	6,5	54,7	32,8	99,7	92.440	89.272
8	93,3	15,9	450,3	42,1	78,3	11,8	255,5	0,2	16,1	25,8	43,3	99,5	94.176	91.218
9	81,2	13,3	415,3	34,1	79,4	10,0	290,5	0,3	2,2	24,8	30,1	99,1	89.798	88.485
10	69,9	10,0	540,3	49,7	51,3	9,8	240,3	0,2	26,6	2,0	55,5	99,6	93.816	91.144
11	66,3	7,9	530,9	39,0	64,9	4,0	330,2	0,4	2,1	49,4	37,8	99,0	94.118	92.765
12	81,3	13,0	540,8	34,1	79,4	10,5	290,4	0,3	2,3	19,2	46,3	99,1	89.798	88.485
13	81,4	13,4	415,2	34,1	79,4	10,0	290,4	0,3	2,5	25,4	30,1	99,1	89.798	88.485
14	66,5	7,2	580,3	39,0	64,7	4,6	330,8	0,4	2,7	36,1	43,0	99,0	94.118	92.765
15	81,9	13,3	415,3	34,1	79,0	10,4	290,0	0,3	3,5	21,8	30,2	99,1	89.798	88.485
16	103,0	15,4	600,4	32,4	90,8	10,5	345,4	0,3	11,8	31,8	42,5	99,1	98.107	96.628
17	66,5	7,8	390,3	39,0	64,0	4,0	330,2	0,4	3,8	48,7	15,4	99,0	94.118	92.765
18	80,4	22,0	600,3	22,6	68,9	20,2	275,4	0,3	14,3	8,2	54,1	98,7	83.134	80.307
19	64,2	9,1	350,3	22,3	60,3	7,4	280,4	0,3	6,1	18,7	20,0	98,7	84.475	82.081
20	87,3	15,3	600,3	27,1	67,4	13,3	244,5	0,3	22,8	13,1	59,3	98,9	87.800	85.509
21	76,3	16,7	480,0	23,9	68,4	15,8	245,4	0,3	10,4	5,4	48,9	98,7	87.924	84.830
22	80,0	22,0	410,5	22,6	68,5	20,3	275,2	0,3	14,4	7,7	33,0	98,7	83.134	80.307
23	64,9	9,8	450,8	22,3	60,5	7,3	280,0	0,3	6,8	25,5	37,9	98,7	84.475	82.081
24	72,5	16,2	340,5	28,4	66,2	9,8	235,8	0,3	8,7	39,5	30,7	98,9	88.742	85.772
25	80,2	22,0	560,7	22,6	68,5	20,2	275,0	0,3	14,6	8,2	51,0	98,7	83.134	80.307
26	64,4	9,7	487,4	22,3	60,8	7,4	280,0	0,3	5,6	23,7	42,6	98,7	84.475	82.081
27	81,2	13,9	415,3	34,1	79,8	10,8	290,2	0,3	1,7	22,3	30,1	99,1	89.798	88.485
28	58,4	7,8	390,3	31,4	53,5	6,4	230,3	0,2	8,4	17,9	41,0	99,4	92.098	90.504
29	69,7	10,2	540,0	49,7	51,4	9,8	240,5	0,2	26,3	3,9	55,5	99,6	93.816	91.144
30	66,0	7,9	390,4	39,0	64,0	4,0	330,3	0,4	3,0	49,4	15,4	99,0	94.118	92.765
Média	76,3	13,3	409,4	37,0	66,4	9,6	280,6	0,3	17,6	28,2	35,9	99,2	90.874	88.608
Desvio padrão	9,8	4,3	83,8	10,5	9,6	4,4	46,9	0,1	7,5	15,0	13,0	0,3	3,941	4.248

FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2011)

NOTA: NTU¹⁹ - unidade nefelométrica de turbidez.

ppm Pt²⁰ – unidade de cor.

¹⁹ Nefelométrica: fotômetro para medições da luz difundida por substâncias translúcidas, com objetivo de se determinar a quantidade de substâncias em suspensão (BERNARDO; DANTAS, 2005, p. 3-10).

²⁰ ppm Pt: unidade de cor é a produzida pôr 1 mg de platina (Pt) dissolvida em 1 litro de água destilada na forma de cloroplatino de cobalto "HAZEN" (BERNARDO; DANTAS, 2005, p. 3-10).

Considerado o fato da alta qualidade observada nas águas tratadas pela ultrafiltração (tabela 2), decidiu-se em buscar no circuito de águas da indústria pontos consumidores de água fresca da ETA, que deveriam ser avaliados para uma eventual sugestão de reuso de águas.

Após o tratamento do efluente com o processo de ultrafiltração, ocorreram reduções de até 99,2% no parâmetro de turbidez.

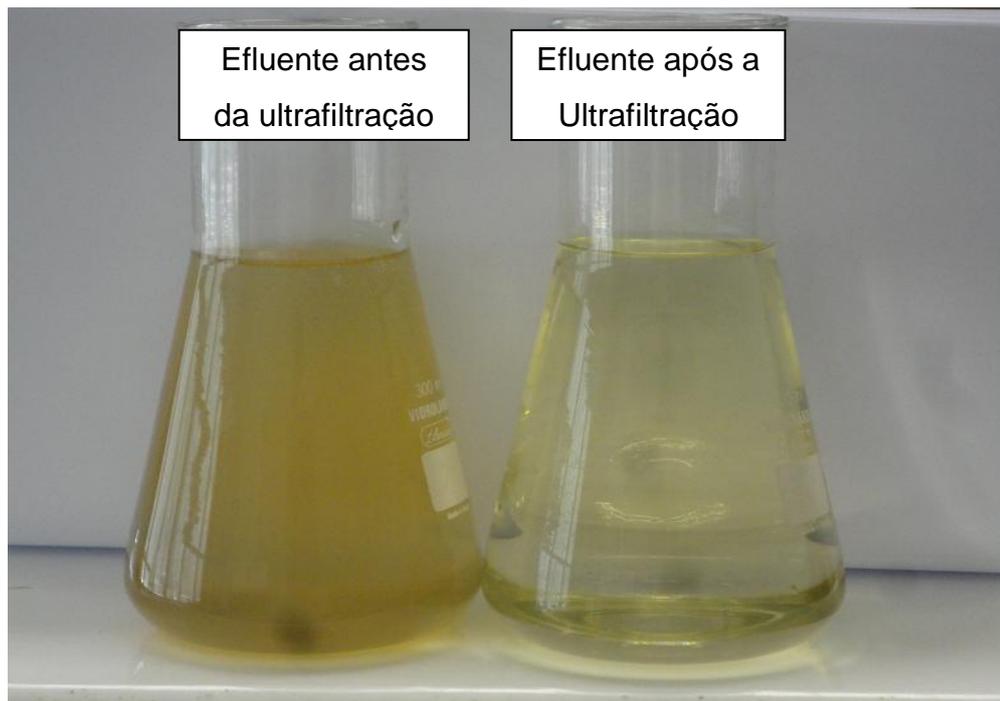


FIGURA 13 – EFLUENTE ANTES X EFLUENTE APÓS A ULTRAFILTAÇÃO
FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2010)

A figura 13 permite uma avaliação visual do impacto positivo proporcionado aos efluentes após passarem pelo sistema terciário de ultrafiltração.

Os parâmetros presentes na tabela 2 são representativos para a avaliação do grau de poluição da água utilizada no processo industrial.

Os valores a serem atendidos pela Indústria CPBR, para o lançamento de seus efluentes, devem atender aos valores máximos permitidos na resolução CONAMA nº 357 – artigo 34, de 17 de março de 2005, e complementadas pela Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011.

A eficiência deste sistema envolvendo a ultrafiltração pode ser comprovada pela redução de turbidez dos efluentes. Durante o estudo realizado registrou-se que

o processo de ultrafiltração foi projetado para remover os sólidos que conferem esta turbidez às águas.

Os sólidos que estão em suspensão indicados pela análise de turbidez, foram retidos pelos poros da ultrafiltração, que limitam o acesso à partículas de dimensões inferiores a 25 nanômetros (10^{-9} m).

Assim pode ser concluído pela eficiência do processo de ultrafiltração, para a remoção de substâncias que efetivamente devem ser eliminadas do processo, segundo o seu princípio de funcionamento. De acordo com Teixeira (2001), pode ser afirmado que dentre as substâncias retidas estão: vírus, proteínas e micro solutos.

A remoção de 99,2% da turbidez dos efluentes ultrafiltrados acompanham os estudos de Afonso e Pinho (2001), que relatam através de dois trabalhos a remoção de 100% dos sólidos em suspensão, quando os efluentes de indústrias de celulose e papel foram submetidos ao processo de ultrafiltração.

Entretanto, a cor de 280,6 ppm Pt, alerta para a presença de substâncias dissolvidas na água. Segundo os estudos de Afonso e Pinho (2001), processos de ultrafiltração executados sob efluentes de indústrias de celulose e papel já chegaram a 90% de eficiência na remoção de cor.

Para atingir este valor, os sistemas necessitam da inclusão de produtos químicos coagulantes, como o policloreto de alumínio, que na Indústria CBPR apresenta o consumo médio de 150 Kg/dia. Este fato, além de elevar os custos operacionais da planta, aumenta consideravelmente a geração de lodo, gerando transtornos operacionais.

Baseado neste contexto, foram buscadas informações de projeto para a remoção de cor do efluente da Indústria CPBR. Foi constatado que esta planta não objetiva remoção da cor, pois haveria a geração de lodo em excesso.

A redução verificada na cor de 409,4 para 280,6 ppm Pt é encarada como satisfatório, para o processo de ultrafiltração da Indústria CPBR.

Os resultados médios dos valores encontrados durante o período de avaliação do processo de ultrafiltração estão apresentados na tabela 3. Estes foram utilizados em função dos baixos valores nos desvios padrões indicados na tabela 2.

TABELA 3 – EFICIÊNCIA DA ULTRAFILTRAÇÃO

Ponto de coleta	Turbidez (NTU)	Cor (ppm Pt)	DQO (mg O ₂ /L)	DBO (mg O ₂ /L)
Saída do Clarificador Secundário	37,0	409,4	76,3	13,3
Saída da planta de Ultrafiltração	0,3	280,6	66,4	9,6
Eficiência média de remoção (%)	99,2	35,9	17,6	28,2

FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2011)

4.3. RESULTADOS ANALÍTICOS DA ÁGUA FRESCA DA ETA

Os dados registrados neste item demonstram as características da água tratada, de origem da ETA da Indústria CPBR. O setor responsável pela produção desta água é o de Utilidades. Busca-se atender o padrão de qualidade considerado ideal por esta indústria para a produção de papel (tabela 4).

TABELA 4 – PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA

Água tratada - coletada na saída da estação de tratamento de água								
Parâmetro	pH	Turbidez (NTU)	Cor (ppm Pt)	Temperatura (°C)	Ferro (mg/L)	Matéria Orgânica (ppm)	Alcalinidade ppm CaCO ₃	Cloro residual (mg/L)
LIC	6,8	0	0	-	-	-	-	0,5
LSC	7,8	1	5	-	0,2	2,5	-	1
VMU	7,1	0,55	2,5	28	0,05	1,7	22	0,8

FONTE: INDÚSTRIA CPBR (2011)

NOTA: LIC – Limite Inferior de Controle

LSC – Limite Superior de Controle

VMU – Valor Médio Utilizado

Cada setor pode, em função de suas necessidades, submeter esta água a processos secundários e até terciários de tratamento, buscando uma qualidade superior, como é o caso dos geradores de vapor de água. Por outro lado, existem

usos menos exigentes, que não demandam necessariamente a qualidade alcançada na ETA.

4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS EFLUENTES ULTRAFILTRADOS E ÁGUA TRATADA CONVENCIONALMENTE PELA ETA

O resultado da qualidade da água fornecida pela ETA para os setores, e os efluentes tratados pela tecnologia de ultrafiltração no setor de meio ambiente da Indústria CPBR foram comparados. Pode-se avaliar se há limitações para a implantação do reuso de efluentes em pontos que consomem água da ETA.

As diferenças encontradas entre o efluente ultrafiltrado e os valores praticados pela ETA estão apresentados na tabela 5.

TABELA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE A ÁGUA DA ETA E OS EFLUENTES ULTRAFILTRADOS

Origem da informação	pH	Turbidez (NTU)	Cor (ppm Pt)	Temperatura (°C)	Ferro (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	DBO (mg O ₂ /L)
Limite inferior de controle da ETA	6,8	0	0	-	-	-	-
Efluente da planta de Ultrafiltração	7,5	0,3	280,6	34	0,6	66,4	9,6
Limite superior de controle da ETA	7,8	1	5	-	0,2	-	-

FONTE: Adaptado da INDÚSTRIA CPBR (2011)

Pelo fato de um sistema de condicionamento de água se tratar de um estudo de caso onde modificações convencionais, sob o ponto de vista físico-químico ocorrem no processo, os limites registrados na tabela 4 são tratados como a base para avaliação da sugestão do reuso de águas.

Foi verificado se existe alguma variável crítica que possa inviabilizar a proposta do reuso para um determinado consumidor da Indústria CPBR.

Através da tabela 5, observa-se que a principal variação dentre as características analisadas, é registrada na concentração de substâncias que conferem cor.

O teor destas substâncias no efluente ultrafiltrado é de 280,8 ppm Pt, o limite superior recomendado na estação de tratamento de água é de 5 ppm Pt.

As limitações impostas pela presença da cor na água ultrafiltrada são consideradas limitantes para o reuso. Neste caso, inviabiliza o uso deste efluente nas máquinas de papel que trabalhem essencialmente com fibras branqueadas.

Durante o levantamento bibliográfico, foi demonstrado que a cor presente na água tende a tingir as fibras, reduzindo assim a sua qualidade (SILVA, D. J., 2000, p. 50-60).

Outro setor que não deve ser indicado para receber este efluente pela presença da cor é o de geração de vapor.

As características físico-químicas das substâncias, que conferem cor somada às condições termodinâmicas as quais o efluente será exposto, caso seja direcionado a este processo, induzem a uma intensa formação de incrustações nas linhas e equipamentos.

Incrustações geradas pelas substâncias formadoras de cor nas águas, têm comportamentos isolantes frente ao fenômeno de transferência de calor, demandando uma maior força motriz para uma mesma quantidade de energia transferida. Este fato pode prejudicar de forma irreversível os equipamentos.

O setor de geração de vapor atua, principalmente, em função de transferência de energia, tendo como força motriz a diferença de temperatura.

Entretanto, não são todos os usos de água que demandam o padrão de qualidade indicado na tabela 4. A quantidade de cor presente na amostra não tem interferência para determinados usos. Assim, o estudo foi direcionado para consumidores de água, cuja presença desta quantidade de cor na água não influencie o seu uso.

Ainda segundo a tabela 5, é verificado que a grande contribuição do processo de ultrafiltração para a redução de substâncias presentes na água é registrado na análise da turbidez, pois o limite superior estipulado para a água da ETA é de 1 NTU, e os efluentes ultrafiltrados apresentaram o valor de 0,3 NTU.

Uma análise conceitual induz que a análise de turbidez apresenta um significado físico maior que a análise de cor, pois esta registra a quantidade de substâncias predominantemente dissolvidas nas águas, enquanto que a turbidez informa a quantidade de substâncias em suspensão.

O pH e a temperatura, variáveis essenciais a sugestão do reuso, também foram comparados.

A operação de ultrafiltração restringe o transporte de certas substâncias presentes na água. Seu princípio de funcionamento não gera oscilações aos valores de pH e temperatura do permeado²¹.

O pH do efluente ultrafiltrado apresentou um valor médio de 7,8. Este valor contribuiu para sugestão do reuso.

A informação da temperatura registrada na tabela 5, segue o mesmo princípio estabelecido para a comparação do pH. O valor da temperatura registrada foi de 34 °C. Atkinson (2010), afirma que a temperatura é variável limitante à sugestão do reuso de água para determinados setores da indústria de celulose e papel.

Como o valor médio da temperatura se manteve próximo ao valor de trabalho praticado pela ETA, uma análise realizada sob esta característica contribuiu para a sugestão da inclusão dos efluentes ultrafiltrados como reuso no circuito de águas desta indústria.

4.5. ANÁLISE NO CIRCUITO DE ÁGUA DA MÁQUINA DE PAPEL KRAFT

Para a análise do circuito de água da MP Kraft, foi realizada a apresentação dos pontos de alimentação da água tratada pela ETA, a fim de identificar como a água é fornecida aos principais consumidores deste processo.

Surgiram assim possibilidades restritas ao reuso, demandando para isto uma água com características semelhantes às aquelas citadas, como padrão de qualidade da água fresca. O fornecimento geral de água tratada na ETA ao setor de produção de papel está ilustrado na figura 14.

²¹ Permeado é o nome dado as águas que passam pela superfície da membrana de ultrafiltração.

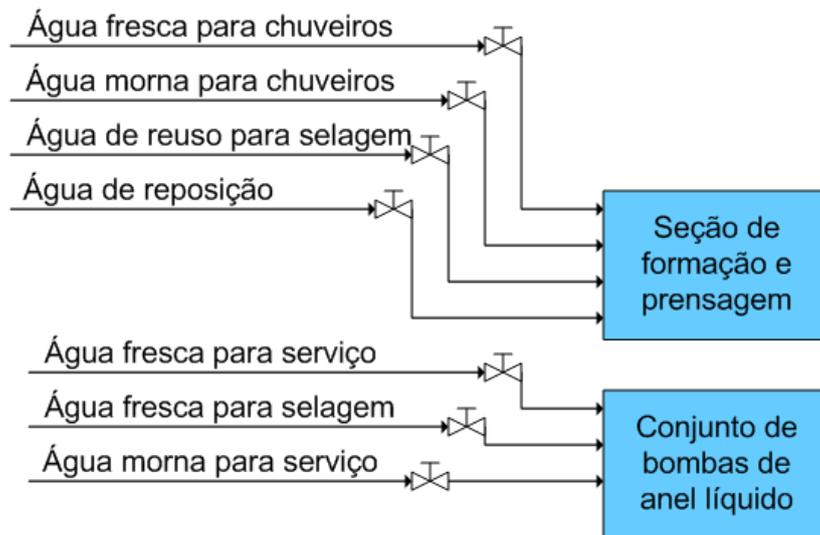


FIGURA 14 - CONSUMO DE ÁGUA FRESCA NA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O AUTOR (2011)

NOTA: Água fresca – tratada pela ETA e fornecida diretamente aos consumidores.

Água morna – água fresca aquecida em condensadores de superfície da planta de evaporação de múltiplo efeito de licor negro²².

Água de reuso – recuperada no circuito da máquina de fabricação de papel.

A figura 14 apresenta os pontos identificados de consumo de água na máquina de fabricação de papel Kraft. A alimentação de água ocorre de forma isolada em sete pontos consumidores, divididos em dois grupos.

O primeiro grupo consumidor de água diz respeito a seção de formação e prensagem da folha de papel em formação, onde são alimentadas a água fresca e a morna.

O conjunto de bombas de anel líquido constitui-se no segundo grupo consumidor de água, onde esta tem dois pontos de alimentação: a água para a formação do anel e a de selagem dos mancais.

²² Durante a produção de celulose Kraft o licor negro é gerado no processo de polpação, sendo uma solução alcalina de compostos orgânicos e inorgânicos.

4.5.1. Fornecimento de água para as máquinas de papel Kraft

Foi avaliado o consumo de água fresca nas máquinas de papel Kraft da Indústria CPBR e os principais pontos consumidores.

Durante o desenvolvimento deste tópico foi verificado que a prática de reuso já é rotina nas operações que fazem parte deste setor. Outra informação relevante ao estudo diz respeito a diferença de consumo de água entre as máquinas. O consumo de água originada na ETA apresenta uma grande variação entre as máquinas que compõem o setor (tabela 6).

TABELA 6 – CONSUMO DE ÁGUA NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT

Máquina de Papel	Demonstração do consumo de água nas Máquinas de Papel Kraft		
	Consumo médio de água fresca (m ³ /h)	% de consumo de toda a água fresca utilizada nas MP Kraft	Consumo mensal de água fresca da ETA (m ³ /mês)
A	177,36	29,94	127.700
B	78,34	13,23	56.406
C	53,28	9,00	38.364
D	283,35	47,84	204.013
Total	592,34	100,00	426.483

FONTE: Adaptado da INDÚSTRIA CPBR (2011)

Dentre as quatro máquinas analisadas, as que apresentaram um maior consumo foram as MP “A” e “D”. Partindo destas informações e de entrevistas realizadas com os gestores do setor, o trabalho para a sugestão de reuso de efluentes da planta de ultrafiltração foi direcionado para a avaliação destas duas máquinas.

Após avaliação dos fluxos de água fornecidos às máquinas, foi verificado que os pontos de consumo de água fresca originadas na ETA, relevantes a este estudo, estavam concentrados na água destinada aos chuveiros, e às bombas de vácuo.

Os pontos de utilização de água fornecida pela ETA nas máquinas (A, B, C e D) de papel Kraft da Indústria CPBR e os pontos destes processos que já praticam o reuso de águas estão apresentados na tabela 7.

TABELA 7 – UTILIZAÇÃO DE ÁGUA NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT

Máquina de Papel	Demonstração da utilização de chuveiros nas Máquinas de Papel Kraft			Demonstração da utilização de Bombas de Vácuo nas Máquinas de Papel Kraft	
	Total de chuveiros instalados	Chuveiros que utilizam água morna da ETA	Chuveiros que utilizam água fresca da ETA	Total de Bombas de Vácuo	Bombas que utilizam água da ETA
A	20	17	3	7	7
B	18	18	0	5	5
C	17	17	0	1	1
D	46	42	4	12	12

FONTE: O AUTOR (2011)

Pode ser observado que os pontos consumidores de água da ETA se dividem em chuveiros e bombas de vácuo. A MP A possui três chuveiros e sete bombas, enquanto que a MP D possui quatro chuveiros e doze bombas de vácuo.

Foi observado para os chuveiros que sob o ponto de vista quantitativo e por estarem instalados em locais distintos das máquinas de papel e apresentarem um baixo consumo de água fresca, pois a maioria já é abastecido por água morna, em reuso já instalado, não justificavam, no momento em que o estudo foi realizado, alterações no circuito de águas para a aplicação do reuso de efluentes para este fim.

Desta forma, o estudo avaliou as principais características do uso de água pelas bombas de vácuo, buscando registrar quais são os requisitos principais desta operação quanto ao uso da água.

4.5.2. Utilização de água nas bombas de vácuo – MP “A”

A água fresca fornecida às bombas de vácuo da MP “A” é aquela produzida pela ETA e fornecida com o mesmo padrão de qualidade a todos os consumidores

da indústria. Esta água é alimentada para o conjunto de bombas de vácuo por uma linha individual, para que, posteriormente, sejam distribuídas as sete bombas de vácuo presentes neste processo. Ao chegar as bombas, o diâmetro das tubulações é reduzido, de acordo com o balanço hidráulico do sistema.

Todas as bombas de vácuo da MP “A” têm a mesma tecnologia e foram dimensionadas para operar com uma introdução de água de serviço a uma pressão de 2,0 kgf/cm². O consumo de água de serviço previsto de cada uma das bombas com a pressão anteriormente demonstrada chega a 60 m³/h.

O levantamento das características das bombas de vácuo de interesse ao estudo, durante o trabalho de campo realizado na Indústria CPBR, estão apresentados na tabela 8.

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DAS BOMBAS DE VÁCUO DA MP “A”

Modelo da bomba de vácuo	Total de bombas	CFM das bombas	Consumo da água de trabalho (m ³ /h)
1	1	1.600	13
2	2	2.000	17
3	1	3.000	20
4	2	6.400	50
5	1	7.100	60
Σ	7	20.100	160

FONTE: Adaptado do acervo técnico da INDÚSTRIA CPBR (2011)

NOTA: CFM²³ – unidade de vazão de ar na linha de vácuo (pés cúbicos por minuto²⁴).

O princípio de operação desta MP não prevê a presença de bombas de vácuo reserva, conseqüentemente, as sete bombas citadas operam de forma contínua.

²³ CFM: tradução do inglês é a forma mais utilizada para escolha de uma bomba de vácuo (GOMES, 2005).

²⁴ Cada pé cúbico por minuto equivale a 1,64 metros cúbicos de ar na linha de vácuo por hora.

A demanda de água total de acordo com a vazão nominal das bombas, apresenta um consumo médio de 160 m³/h de água para a geração do vácuo máximo, ao qual o processo está dimensionado.

A água é fornecida as bombas com uma temperatura média de 28 °C. Este parâmetro é importante para o rendimento destes equipamentos que, recebendo a vazão de água necessária e na temperatura estipulada, consomem em média 70 ampéres, a uma tensão de 4.160 volts para o desenvolvimento de sua operação nominal.

Acima da preocupação com o consumo de energia específica necessária para correta operação das bombas de vácuo, está a eficiência global da MP. O vácuo aplicado para o desaguamento da folha que está em formação, é necessário ao bom funcionamento de todo o sistema de produção de papel. A aplicação de vácuo na parte úmida da MP de forma constante e a uma mesma intensidade deve ser rigorosamente controlada.

O princípio de funcionamento do sistema de vácuo utilizado na MP não prevê o contato do fluido utilizado para a geração do vácuo. A água das bombas não entra em contato com o produto que está sendo produzido. Desta forma, as características necessárias da água utilizada nas bombas de vácuo independem das condições estipuladas para a água que é utilizada quando entra em contato direto com o papel.

4.5.3. Utilização de água nas bombas de vácuo – MP “D”

Seguindo o padrão demonstrado para a alimentação de água nas bombas de vácuo aplicado na MP “A”, a MP “D” tem o sistema de alimentação de água individual para as bombas de vácuo. Este sistema é alimentado exclusivamente por água da ETA.

A produção da MP “D” é a maior dentre as quatro máquinas Kraft desta indústria. Em função da produção, ela apresenta também um maior consumo de água. A MP “D” é a mais nova dentre estas quatro máquinas. Seu projeto apresenta uma maior complexidade para um maior rendimento global do sistema.

As bombas de vácuo que atuam nesta máquina são de quatro modelos, denominados neste estudo de “modelo 1, 2, 3 e 4”.

Esta linha de produção apresenta doze bombas de anel líquido.

A MP “D” possui um sistema de tela superior para produção de papel, que necessariamente atua com intensidade de vácuo diferenciada. Esta condição acarreta um dimensionamento variado para a atuação das bombas de vácuo desta planta.

As características das bombas de vácuo da MP “D” estão apresentadas na tabela 9.

TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS DAS BOMBAS DE VÁCUO DA MP “D”

Modelo da bomba de vácuo	Total de bombas	CFM das bombas	Consumo da água de trabalho (m ³ /h)
1	2	6.000	40
2	3	9.000	80
3	4	5.600	55
4	3	5.600	40
Σ	12	26.200	215

FONTE: Adaptado do acervo técnico da INDÚSTRIA CPBR (2011)

As bombas da MP “D” são alimentadas com água a uma pressão de 2 Kgf/cm².

A utilidade da água de serviço nas bombas de vácuo da MP “D” é a mesma da registrada na MP “A”, e servem de mecanismo para que o vácuo registrado na unidade de CFM (tabela 9) seja atingido. Para que esta máquina de produção de papel trabalhe em seu regime normal, as doze bombas devem estar em pleno funcionamento, conseqüentemente, a demanda de água registrada é contínua em função da operação da MP.

As características da água fornecida a estas bombas mantêm o padrão já registrado na tabela 4, da mesma forma que e o princípio de funcionamento das bombas. Sendo assim, o critério de avaliação a ser utilizado para a substituição da água da ETA pelo efluente ultrafiltrado é o mesmo.

Após servir de mecanismo a formação de vácuo nas bombas, esta água é enviada para a ETE, onde é tratada juntamente com os efluentes gerados em todos os setores da Indústria CPBR.

4.6. PROPOSTA DE REUSO DE EFLUENTES NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT

4.6.1. Sugestão de reuso de efluentes para selagem dos anéis das bombas de vácuo

A sugestão de alimentar as bombas de anel líquido com efluentes ultrafiltrados se fundamenta no fato de que, a utilidade desta água nas bombas de vácuo é para a geração do vácuo.

A proposta da substituição da água tratada na ETA, por outra água com qualidade inferior, visa implantar o reuso de efluentes, sem que o sistema consumidor sofra instabilidades no seu funcionamento.

Como demonstrado no item 4.4, os efluentes gerados por esta planta apresentam características que permitem seu uso nas bombas de vácuo da MP.

Devido à baixa presença de partículas presentes nestas águas e uma temperatura média de 34 °C, que se encontra abaixo de 42 °C, limite de temperatura para a operação das bombas de vácuo.

Outro ponto relevante para a sugestão deste reuso é a alimentação das bombas de vácuo por um circuito isolado. Após o uso, a configuração existente prevê duas opções para a água: direcioná-la para o circuito de águas que têm contato com a folha de papel ou enviá-la ao setor de meio ambiente.

Desta forma a decisão de enviar os efluentes sugeridos ao reuso para o circuito de água, que tem contato com o produto papel, fica sob a responsabilidade dos gestores. A partir disso, sugere-se então que parte da água tratada pelo sistema de ultrafiltração seja direcionada para suprimento da vazão as bombas de vácuo das MP “A” e “D”, caracterizando um sistema de reuso direto e planejado, utilizando os efluentes industriais ultrafiltrados.

A técnica de reuso sugerida apresenta a proposta de gerar impactos positivos do ponto de vista econômico, sendo estes, caracterizados pela redução da demanda de água fresca, possibilitando que a ETA reduza a sua vazão de trabalho, minimizando também os produtos químicos utilizados para o tratamento da água.

A segunda consequência positiva proposta por esta ação, é a redução na geração de efluentes, que trará vantagens econômicas com a redução de químicos e energia elétrica necessários ao tratamento.

Na tabela 10, estão registradas as sugestões de reuso dos efluentes como água de serviço nas bombas de anéis líquidos, nas duas principais máquinas de fabricação de papel Kraft da Indústria CPBR – MP A e MP D.

TABELA 10 – SUGESTÃO DE REUSO DE EFLUENTES PARA SELAGEM DOS ANÉIS DAS BOMBAS DE VÁCUO

Demonstração da sugestão do reuso de efluentes nas Bombas de Vácuo nas Máquinas de Papel "A"				Demonstração da sugestão do reuso de efluentes nas Bombas de Vácuo nas Máquinas de Papel "D"			
Modelo da bomba de vácuo	Total de bombas	CFM das bombas	Consumo da água de trabalho (m³/h)	Modelo da bomba de vácuo	Total de bombas	CFM das bombas	Consumo da água de trabalho (m³/h)
1	1	1.600	13	1	2	6.000	40
2	2	2.000	17	2	3	9.000	80
3	1	3.000	20	3	4	5.600	55
4	2	6.400	50	4	3	5.600	40
5	1	7.100	60	-	-	-	-
Σ	7	20.100	160	Σ	12	26.200	215

FONTE: Adaptado do acervo técnico da INDÚSTRIA CPBR (2011)

O consumo de água de reuso proposta para a geração do vácuo nas bombas apresenta um consumo total de 160 m³/h para a MP "A" e de 215 m³/h na MP "D".

4.7. CONFIGURAÇÃO DA PROPOSTA DE REUSO DE EFLUENTES NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT

A configuração proposta para a aplicação do reuso de efluentes ultrafiltrados, gerados no setor de meio ambiente da Indústria CPBR, está apresentado na figura 15.

A configuração sugerida para a prática do reuso de efluentes é que, primeiramente, a água após ultrafiltração deverá ser direcionada a um tanque de armazenamento, representado pela letra "R" e só então bombeado ao setor consumidor.

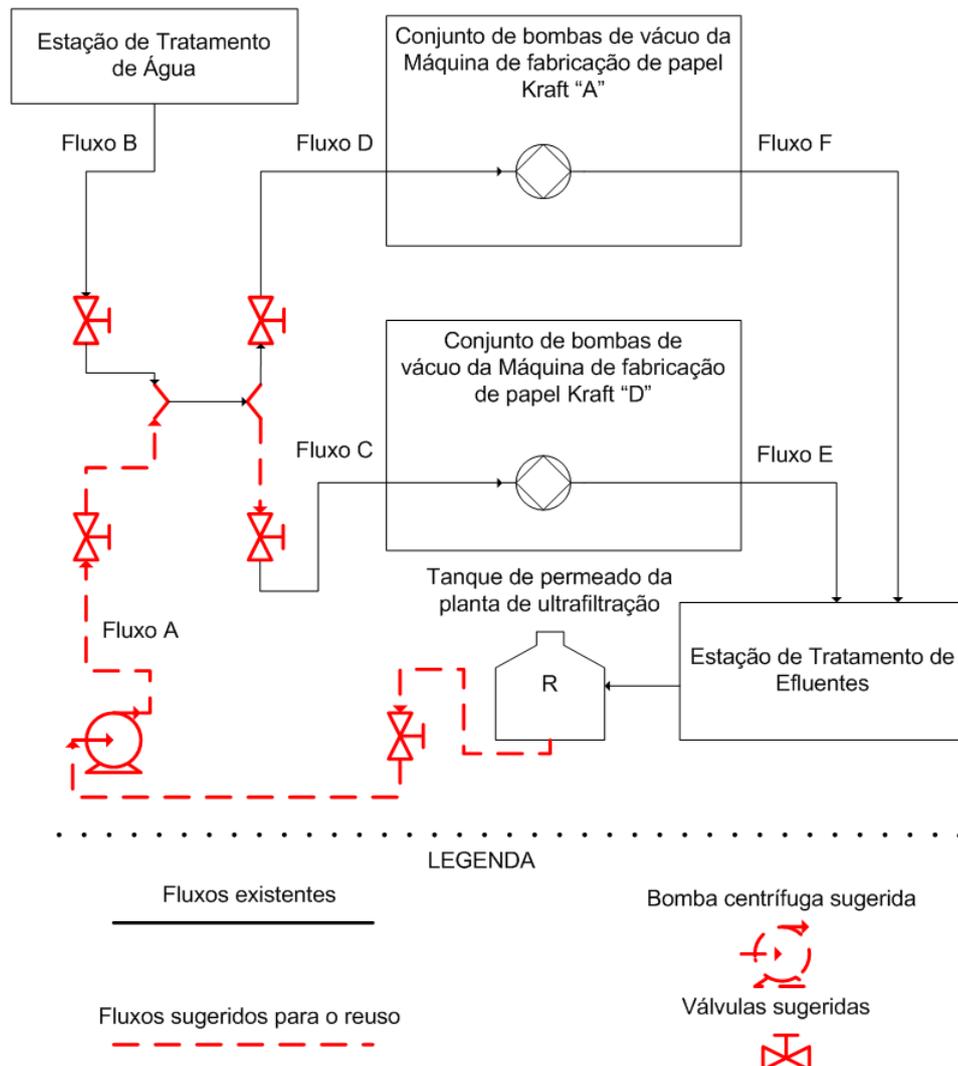


FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE REUSO DE EFLUENTES NAS MÁQUINAS DE PAPEL KRAFT

FONTE: O AUTOR (2011)

Nas máquinas de papel Kraft, a água de reuso pode ser utilizada na forma de água de serviço, nas bombas de anel líquido geradoras de todo o vácuo aplicado nestas máquinas de fabricação de papel para o adequado desaguamento da folha de papel em formação.

A tecnologia de ultrafiltração disponível na Indústria CBPR tem previsto em seu princípio de funcionamento que, em determinados momentos a planta deva ser regenerada.

A configuração proposta para o reuso não prevê a remoção da linha existente de água fresca para as bombas, mas a inclusão de válvulas que possibilitem alimentação pela ETA.

Essa alimentação fornece água ao sistema, enquanto a planta de ultrafiltração estiver em processo de manutenção e/ou lavagem.

O circuito de águas praticado para a operação das bombas de vácuo direciona a água de serviço já utilizada pelas bombas aos canais de desaguamento, que as envia para a ETE. Analisando a figura 15, pode-se observar que nesta distribuição não foram incluídas sugestões para alterações.

Nota-se que, para o reuso da corrente “A” será necessária a instalação de uma linha para enviar as águas de reuso para as máquinas de papel “A” e “D”.

Para o acesso a estes setores na indústria em estudo, a distância do ponto gerador no setor de meio ambiente até as máquinas de papel Kraft é de 600 metros. Entre estes pontos a diferença de cota é de 60 metros.

Para a distribuição do efluente até os equipamentos consumidores, desde o ponto de acesso às máquinas de papel até as bombas de vácuo, as distâncias são de 16 m para a MP “A”, e 13 m para a MP “D”. Esta canalização é a utilizada pela indústria, assim não são necessárias alterações para esta operação.

4.7.1. Caracterização da configuração proposta para implantação do reuso

O processo sugerido para o envio dos efluentes ultrafiltrados inclui a captação destas águas em um tanque, este deve garantir o nível necessário ao bombeamento e a distribuição da água de reuso para todas as bombas consumidoras sugeridas ao reuso deste complexo industrial.

A tabela 11 apresenta o cálculo da área da seção reta da tubulação necessária para reuso.

TABELA 11 – CÁLCULO DA ÁREA DE SEÇÃO RETA DA TUBULAÇÃO NECESSÁRIA PARA O REUSO

Vazão (m³/h)	Vazão (m³/dia)	Diâmetro da tubulação (polegadas)	Área da seção reta da tubulação (m²)	Velocidade de escoamento da água (m/s)
375	9.000	10"	0,0508	2,05
375	9.000	12"	0,0730	1,43

FONTE: O AUTOR (2011)

De acordo com a tabela 11, a tubulação prevista no projeto proposto para o reuso, tem área reta de seção transversal de 0,0730 m². Para realizar os cálculos que levaram a este valor foi adotado para a tubulação de recalque o valor de 12 polegadas.

O diâmetro estipulado para a tubulação permite aumentar a vazão de efluentes, sem a necessidade de substituição da linha.

Os cálculos realizados para a caracterização da configuração proposta para implantação do reuso aconteceram a partir de levantamento realizado na área fabril, esta configuração esta ilustrada na figura 16.

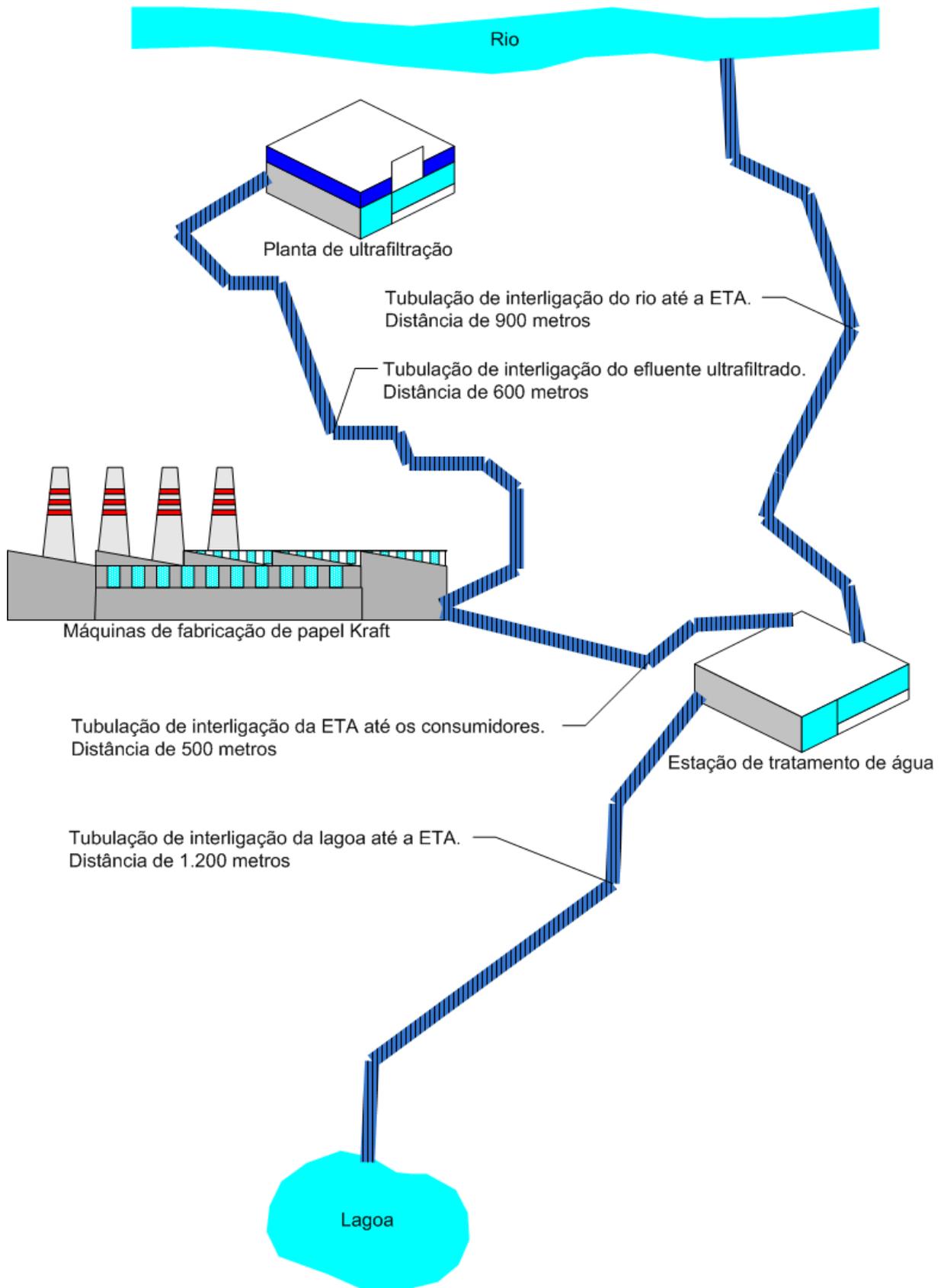


FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO PARA A IMPLANTAÇÃO DO REUSO

FONTE: O AUTOR (2011)

A figura 16 apresenta as distâncias da tubulação de interligação, a ser construída para o reuso, entre a planta de ultrafiltração e o prédio das máquinas de papel. Com as informações registradas neste levantamento, decidiu-se por adotar os equipamentos listados na tabela 12 para a sequência do estudo. A tabela também mostra os cálculos de perda de carga realizados.

TABELA 12 – EQUIPAMENTOS PARA A LINHA DE INTERLIGAÇÃO SUGERIDA

Comprimento e perdas de cargas na tubulação		Diâmetros analisados (polegadas)	
		10"	12"
Extensão da tubulação (m)		600	600
Perda de carga tubulação (m)		11,4	4,8
Perda de carga conexões (m)		10,84	7,42
Perda de carga total (m)		22,24	12,22
Item	Quantidade	Perda de carga (m) unitária para cada diâmetro analisado	
Curva 30°	8	0,08	0,04
Curva 45°	15	0,10	0,05
Curva 90°	15	0,20	0,10
Válvula de retenção	1	0,50	0,25
Válvula manual	4	0,30	0,15
Válvula de controle	1	4,00	4,00
Tubulação perda de carga m/100m	1	1,90	0,80
Diâmetro adotado para a tubulação de recalque	12"		

FONTE: O AUTOR (2011)

As características da bomba definida para realizar a função de recalque dos efluentes ultrafiltrados, até o prédio das máquinas de papel estão apresentadas na tabela 13.

TABELA 13 – CARACTERÍSTICAS DA BOMBA DE RECALQUE NECESSÁRIA PARA O REUSO

BOMBA CENTRÍFUGA DE ROTOR FECHADO		
MODELO	10"	12"
Potência estimada (CV)	163	143
Tensão (V)	660	
Potência instalada (CV)	175	
Rotação (rpm)	1750	

FONTE: O AUTOR (2011)

Para a definição pela bomba indicada na tabela 13, foram respeitadas também a altura geométrica de 60 metros, e a manométrica definida por cálculos no valor de 72 metros.

Na configuração proposta ao reuso, nota-se que a presença da tubulação B indicada na figura 15 representa o circuito já existente, demandando desta forma a inclusão das válvulas (A, B, C, D, E e F). Estas permitirão manobras que possibilitem a interrupção do envio das águas de reuso para uma das máquinas, pois a operação destas é independente e eventualmente a operação da MP "A" ou "D" poderá ser interrompida.

Alguns instrumentos serão necessários para composição da malha de instrumentação destinada ao controle da operação proposta, que serão um medidor de nível, um controlador indicador de vazão e um indicador de condutividade.

Um sistema de controle de vazão será necessário, podendo ocorrer paradas nas máquinas de papel Kraft, que leva à redução do consumo de água de reuso para as bombas de vácuo.

A possibilidade da realização de manobras para a inclusão de água da ETA no circuito das bombas de vácuo, mesmo que de forma intermitente pela necessidade de eventuais paradas da planta de ultrafiltração, garante o fornecimento contínuo de água a este sistema. Esta afirmação é fundamentada pelo princípio de funcionamento das máquinas de papel, que na operação necessitam de uma grande quantidade de vapor. Desta forma, a ETA necessariamente deverá estar

operando, pois, é o processo responsável por produzir a água utilizada pelas caldeiras.

4.7.2. Custos levantados para implantação das ações de reuso sugeridas

Os custos de implantação das ações de reuso foram baseados nas informações da tabela 10 e no layout proposto na figura 15.

A previsão dos custos necessários foi desenvolvida considerando a oferta de efluentes industriais tratados pela planta da Indústria CPBR e calculado em 385 m³/h (ver tabela 10). Esta demanda foi calculada levando em conta o pleno funcionamento das máquinas de papel Kraft "A" e "D".

A tabela 14 indica os custos previstos para a implantação da técnica de reuso macro interno na Indústria CPBR, e que estão detalhados no apêndice.

TABELA 14 – CUSTOS ESTIMADOS PARA A IMPLANTAÇÃO DAS AÇÕES DE REUSO SUGERIDAS

Informações para a determinação do custo		Quantidade	R\$	
			material	mão de obra
tubo aço inox 12"	comprimento (m)	600	454.518,00	216.828,40
inox 12"	curva 30°	10	6.500,00	950,00
inox 12"	curva 45°	10	8.500,00	950,00
inox 12"	curva 90°	15	20.473,50	1.425,00
	bomba centrífuga	1	40.000,00	1.580,00
	válvula retenção	1	3.500,00	718,00
	válvula manual	4	14.098,68	2.872,00
	válvula controle	2		1.436,00
	pestana	14	5.606,86	1.330,00
	flange solto	14	1.990,80	1.330,00
	parafusos		500,00	
	suportação (KG)	2150	6.171,00	24.909,24
Civil	bases / colunas		15.000,00	8.000,00
Elétrica	(175 CV)		55.000,00	15.000,00
Automação			80.500,00	31.000,00
Pintura			20.000,00	15.000,00
Σ			732.358,84	323.328,64
SUB TOTAL			1.055.687,48	
CONTINGÊNCIA 15%			158.353,12	
TOTAL			1.214.040,60	

FONTE: O AUTOR (2011)

Para a avaliação dos custos estimados para a inclusão da técnica de reuso macro interno foi necessária a análise dos custos de aquisição e instalação dos

equipamentos. Para tanto, foram considerados os valores registrados na tabela 14, levantados através de estudo realizado na área fabril, seguido do desenvolvimento da configuração necessária e de cotações realizadas com fornecedores de equipamentos e serviços (base maio/2011).

A partir deste levantamento foi possível realizar uma avaliação do investimento necessário para o desenvolvimento do programa de reuso sugerido. Os equipamentos listados na tabela 14 têm as seguintes funções dentro do sistema de reuso proposto:

- Bomba centrífuga:

Equipamento responsável pelo fornecimento de energia hidráulica a água de reuso, sob a forma de pressão e velocidade, com a finalidade de transportar os efluentes do setor de meio ambiente até as máquinas de fabricação de papel Kraft.

- Tubulações e conexões:

O valor de investimento em tubulações e conexões está superdimensionado, pois, esta ação permite aumentar a vazão de reuso, que pode atender a eventuais demandas futuras. Desta forma os custos podem ser reduzidos, caso se defina pela montagem de uma linha que atenda somente a demanda de água verificada para as bombas de vácuo, registradas neste estudo.

- Serviços de automação, elétrica, civil e pintura:

Foram calculados os valores para serviços em função de cotações realizadas com empresas especializadas no ramo.

Os custos levantados apresentaram o valor de R\$ 1.055.687,48, entretanto, consideram-se valores de contingência, indicados pelo setor de engenharia da Indústria CPBR de 15%, correspondente a R\$ 158.353,12. O valor final foi calculado em R\$ 1.214.040,60 como necessário para a execução da técnica demonstrada e proposta pelo estudo realizado.

4.7.3. Cálculo do tempo de retorno do investimento

Os parâmetros utilizados no cálculo do tempo de retorno do investimento, Pay Back, encontram-se na tabela 14. Este cálculo foi proposto tomando como base de cálculo o custo para o tratamento da água fresca na ETA.

Com base na vazão de efluentes de reuso. A tabela 15 apresenta o tempo de retorno sobre o investimento.

TABELA 15 – TEMPO DE RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO

Investimento total para o reuso (R\$)	1.214.040,60
Redução de custo variável (R\$/ano)	80.772,00
Pay Back (anos)	15,03

FONTE: O AUTOR (2011).

Os valores apresentados na tabela 15 foram calculados a partir de: custo da água da ETA, vazão de água de reuso sugerida, redução da vazão de água da ETA em função do reuso, redução de custo de água da ETA em função do reuso, custo de energia elétrica para o bombeamento da água de reuso aos consumidores, custo da energia elétrica para o bombeamento dos efluentes, custo estimado para operação da planta de ultrafiltração e o custo operacional total. Os valores não estão relatados/detalhados, em função do termo de confidencialidade acordado com a Indústria CPBR para o desenvolvimento deste trabalho.

Com os cálculos demonstrados na tabela 15, foi possível determinar o tempo de 15 anos para que ocorra o retorno sobre o investimento.

Este tempo foi determinado através do Pay back, cálculo financeiro realizado em sua forma simplificada que indica o tempo decorrido entre o investimento para a implantação da proposta e o período necessário para que o lucro líquido acumulado iguale ao valor investido.

Demonstração do cálculo do Pay back simplificado:

$$\text{Pay Back (anos)} = \frac{\text{Investimento total para o reuso (R\$)}}{\text{Redução de custo (R\$/ano)}}$$

$$\text{Redução de custo (R\$/ano)} = \text{Redução de custo de água da ETA em função do reuso (R\$/ano)} - \text{Custo operacional total (R\$/ano)}$$

O investimento total para a configuração do reuso foi de R\$ 1.214.040,602. Este valor foi relacionado, para o cálculo do Pay back, com a redução anual de R\$ 80.772,00.

Para o cálculo da redução anual de custo foi verificado a redução de custo de água da ETA em função do reuso, destes foram descontados os valores referentes ao custo operacional total da planta de ultrafiltração.

5. CONCLUSÕES

O reuso de efluentes industriais necessita de estudos em busca de um detalhamento do processo industrial, a fim de levantar as características dos usuários dentro desse sistema. Na maioria das práticas de reuso, os efluentes são condicionados para atender o grau de qualidade exigido pelo consumidor. Dentre as tecnologias utilizadas para esse condicionamento está a tecnologia de ultrafiltração, instalada como tratamento terciário de efluentes na planta industrial estudada.

A indústria avaliada é uma fábrica integrada de celulose e papel Kraft, que utiliza em seu processo uma vazão de 3.500 m³/h de água fresca. Através de levantamento dos usos dessa planta industrial, verificou-se que 47,4% dessa vazão é utilizada em seis máquinas de papel. Foram analisadas quatro dessas máquinas, as quais são responsáveis pela produção de papel Kraft, que consomem água principalmente nos chuveiros e bombas de vácuo.

Em média, cada máquina de papel Kraft trabalha com 25 chuveiros, que utilizam água para limpeza de telas, feltros, raspas, calhas e demais acessórios das máquinas de papel. Entretanto, pelo fato da maioria dos chuveiros já utilizarem água de reuso, o consumo de água fresca nestes pontos não foi considerado significativo para este estudo.

O número de bombas de vácuo nas máquinas Kraft “A”, “B”, “C” e “D” é respectivamente de 7, 5, 1 e 12, onde a água forma um anel líquido e, desta forma, contribui para a geração do vácuo.

Foi analisado o circuito de águas dos principais setores consumidores dentre as máquinas de papel Kraft. Na máquina “A” foi observado o consumo de 177 m³/h e a máquina “D” registrou a demanda de 283 m³/h.

O fornecimento geral de água tratada é dividido em dois grupos. O primeiro corresponde aos chuveiros da seção de formação e prensagem da folha de papel, já as bombas de vácuo representam o segundo grupo consumidor.

As sete bombas da máquina “A” representam o consumo de 160 m³/h de água tratada, enquanto que a máquina “D” apresenta doze bombas com demanda de 215 m³/h.

Através dos resultados das análises dos efluentes tratados pelo sistema terciário de ultrafiltração foi observado uma redução da turbidez de 99,2%, DBO

média de saída igual a 66,4 mg O₂/L, DQO média de saída de 9,6 mg O₂/L, pH igual a 7,5 e temperatura média de 34 °C. Porém, o resultado obtido para a remoção de cor foi de 280,6 ppm Pt, que mostrou que esse sistema de tratamento não foi projetado para remoção de cor da água, o que pode ser considerado como um fator limitante para o reuso desses efluentes. No entanto, se comparado com os padrões da ETA, são verificadas contribuições importantes do processo de ultrafiltração para a remoção de substâncias presentes nos efluentes como 99,2% de turbidez, 35,9% de cor, 17,6% de DQO e 28,2% de DBO e desta forma, possibilitou a proposta do reuso.

Ao comparar as análises desses efluentes com os padrões de saída da ETA, observa-se que os valores do pH de 7,5 e a temperatura de 34 °C são fundamentais para a utilização deste efluente no processo, pois encontram-se próximos aos valores de trabalho praticados pela ETA. Entretanto, observa-se que o resultado obtido para a cor de 280,6 ppm Pt é superior ao limite recomendado na ETA que é de 5 ppm Pt. Já a turbidez de 0,3 NTU encontrada na análise dos efluentes ultrafiltrados é um valor menor que o limite superior da ETA, que é de 1 NTU.

Dentre os usuários de água que fazem parte do processo são indicados as bombas de vácuo das máquinas de papel “A” e “D” para a técnica de reuso. A escolha destes pontos de reuso foi possibilitada pela qualidade dos efluentes ultrafiltrados, que apresentarem características semelhantes às águas fornecidas pela ETA, exceto quanto ao parâmetro cor, que neste uso pode ser considerado como não impactante.

Também como fator contribuinte para esta avaliação, o layout da indústria, apresenta a distância de 600 metros entre a planta de ultrafiltração e as bombas de vácuo das máquinas de papel Kraft “A” e “D”.

Para a configuração do sistema de reuso foi sugerida uma linha de interligação com 12 polegadas, bomba centrífuga de 175 CV, e válvulas para manobras que permitam interromper a alimentação da água tratada as bombas de vácuo, sem necessariamente eliminar definitivamente esta possibilidade de, eventualmente, operar as bombas de vácuo utilizando a água proveniente da ETA.

Este sistema possibilita retornar efluentes de forma independente do restante do circuito de águas da Indústria CPBR, preservando as demais operações que consomem água fresca nas máquinas de fabricação de papel Kraft.

Para implantação deste sistema de reuso foi estimado um custo aproximado de R\$ 1.214.040 e um período de retorno de 15 anos, considerado pouco atraente para esse ramo industrial nas condições atuais.

Ressalta-se que, existem fatores significativos que contribuem para a aplicação da proposta de reuso, como a busca da melhoria contínua para a utilização dos recursos naturais, exigências do mercado que vieram, de maneira paralela, as leis para monitoramento da carga poluidora lançada aos mananciais.

A proposta do reuso, se implementada, gerará uma redução na captação e bombeamento de 385 m³/h de água bruta, preservando os mananciais para usos prioritários. Esta mesma redução ocorre no envio de efluentes ao meio ambiente.

Outro impacto relevante é a redução de custos com produtos químicos consumidos nas estações de tratamento de água e efluente, através da redução das vazões de entrada nesses dois pontos. Este fato permite maximizar a infraestrutura disponível na ETA e no ETE, através do aumento do tempo de retenção hidráulico nas diversas operações unitárias que compõem estes processos.

Assim, a prática do reuso de efluentes busca melhorar a produtividade industrial, estimulando os usuários de água fresca a consumi-la de forma racional. Este uso sustentável dos recursos hídricos contribui ao racionamento das fontes de água potável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDESSEMED, D.; NEZZAL, G. **Treatment of primary effluent by coagulation-adsorption-ultrafiltration for reuse**. Faculté de Génie Mécanique-Génie des Procédés-Environnement, Département de Génie de l'Environnement, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène, B.P. 32 El Alia 16111, Bab Ezzouar, Alger, Algeria, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916402010858>> Acesso em: 27 jul. 2011.

AFONSO, M. D.; PINHO, M. N. **Membrane separation processes in the pulp and paper industry**. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001191649185146L>> Acesso em: 28 nov. 2010.

AMARAL, K. J. **Uso de água em indústria de papel e celulose sob a ótica da gestão de recursos hídricos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

ARANTES, B. M. *et. al.* **Fechamento do Circuito de Águas do Processo de Fabricação de Papel**. Artigo técnico da revista O Papel. São Paulo, SP, 2000.

ATKLNSON, K. *et al.* **Crossflow Ultrafiltration Properties of Monodisperse Nanoparticle Suspensions in Laminar Flow**. Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 43, No. 11, p. 938–945, Department of Chemical System Engineering, The University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan, 2010.

ATKLNSON, S. **Treatment system tackles water purification and reuse in the pulp and paper industry**. Published by Elsevier Science. EUA, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958211801802652>> Acesso em: 23 nov. 2010.

BERNARDO, L. D.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água 2ª edição**. São Carlos, SP, 2005.

BIZZO, A. W, **Geração, distribuição e utilização de vapor**, Apostila do curso de engenharia mecânica UNICAMP, Campinas, SP, 2003. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP0.pdf>> Acesso em: 13 jul. 2010.

BRESAOLA, J. R.; CANTELLI, D. L. **Tratamento de efluentes líquidos de uma indústria têxtil e seu reuso**. Anais do XXVII Congresso Interamericano de engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-098.pdf>> Acesso em: 23 jul. 2011.

CHANG, I. *et al.* **Membrane Fouling in Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment**. Journal of environmental engineering, november 2002. Acesso em: <http://ascelibrary.org/eo/resource/1/joeeedu/v128/i11/p1018_s1?isAuthorized=no> Acesso em: 14 jul. 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2005.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 26 ago. 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil. Brasília, DF, 2011.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 26 ago. 2011.

COSTA, M. M. *et al.* **Nova tecnologia de branqueamento de celulose adaptada ao fechamento do circuito de água**. Artigo publicado na Revista Árvore. Rio de Janeiro, RJ, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n1/28517.pdf>> Acesso em: 05 jul. 2010.

DEGASPERI, F. T. **Contribuições para análise, cálculo e modelagem de sistemas de vácuo**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000415426>> Acesso em: 13 jun. 2011.

DOUGLAS, F. S. **Fatores que causam baixos níveis de vácuo**. Artigo técnico das indústrias NASH. Campinas, SP, 2010. Disponível em: <http://www.gdnash.com.br/Newsletter/Nash_service.pdf> Acesso em: 21 jul. 2010.

EMUNDS, R. L. **Balanço de elementos não processáveis em uma fábrica de celulose**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000772900>> Acesso em: 27 fev. 2010.

ESTEVA, V. **Uma análise fenomenológica da operação de bomba centrífuga com escoamento bifásico**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000294796>> Acesso em: 25 set. 2010.

FARDIM, P. **Papel e Química de Superfície – Parte I – A Superfície da Fibra e a Química da Parte Úmida**. Artigo técnico da revista O Papel. São Paulo, SP, 2002. Disponível em: <http://www.tappi.org/content/Journal/2002/TJ/09sep02/Fardim1_Port.pdf> Acesso em: 17 ago. 2011.

FIESP. **Conservação e reuso de água**. Manual de orientações para o setor industrial, Volume 1. São Paulo, SP, 2007.

FILHO, D. B. **Reabilitação, expansão e conservação do manancial baixo cotia na região metropolitana de São Paulo, Brasil**. Artigo técnico. São Paulo, SP, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/peru/braapa001.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2011.

FIRJAN. **Manual de conservação e reuso de água na indústria**. Manual de orientações para o setor industrial. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

FOELKEL, C. **Fechamento de Circuitos de Águas em Máquinas de Papel**. Artigo publicado no site Eucalyptus Online Book & Newsletter. Porto Alegre, RS, 2007. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/index.html>> Acesso em: 14 nov. 2010.

FURTADO, M. **Celulose e papel economiza água com produção limpa e reuso**. Texto reproduzido da Revista Química e Derivados Edição nº 471 de Março de 2008. Disponível em: <http://www.institutodeengenharia.org.br/site/noticia.php?id_sessao=4&id_noticia=356> Acesso em: 14 jul. 2010.

Gavrilescu, D. **Energy from biomass in pulp and paper mills**. Environmental Engineering and Management Journal, vol 7. Technical University of Iasi, Faculty of Chemical Engineering and Environmental Protection. Romênia, 2008. Disponível em: <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/pdfs/vol7/no5/9_Gavrilescu_D.pdf> Acesso em: 13 jul. 2011.

GOMES, A. O. **Bombas de vácuo de duplo estágio**. Boletim técnico 5ª edição. São Paulo, SP, 2005.

GRANDE, M. H. D. **Racionalização do uso de água na indústria de celulose: o caso da Bahia Pulp**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2004. Disponível em:
<http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_maria_h_del_grande.pdf> Acesso em: 31 ago. 2010.

HAMAGUCHI, M. **Análise do circuito de água em processo de fabricação de papel imprensa integrada com produção de pastas termomecânicas**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-09012008-175600/fr.php>> Acesso em: 21 ago. 2010.

HARADA, F. H.; CAPELOZA, F. P.; SCARPELINI, L. M. **Novas tecnologias no tratamento terciário de água industrial**. Artigo publicado no 3º International workshop advances in cleaner production. São Paulo, SP, 2011. Disponível em:
<http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5B/4/Harada_FH%20-%20Paper%20-%205B4.pdf> Acesso em: 22 fev. 2011.

JONSSON, A. S. *et al.* **Treatments of paper coating colour effluents by membrane filtration. Desalination**. Department of Chemical Engineering, Lund University, Estocolmo, Sweden, 1996. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0011916496000823>> Acesso em: 03 mar. 2011.

JUNIOR, A. O. **Avaliação de tecnologias avançadas para o reuso de água em indústria metal-mecânica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006. Disponível em:
<<http://www.scielo.br/pdf/esa/v12n3/a08v12n3.pdf>> Acesso em: 03 set. 2010.

JUNIOR, V. L. **Análise dinâmica de prensas de máquinas de papel**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1993. Disponível em:
<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000064112&opt=1>> Acesso em: 03 dez. 2010.

LLAMAS, P. *et al.* **A novel viscosity reducer for Kraft process black liquors with a high dry solids content**. Dpto. Ingeniería, Química Física y Química Orgánica, Facultad de Ciencias Experimentales, Campus El Carmen, 21001 Huelva, Spain, 2006. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270106001590>>

Acesso em: 22 jun. 2011

MAARTENS, A.; JACOBES, E. P.; SWART, P. **UF of pulp and paper effluent: membrane fouling-prevention and cleaning**. Department of Biochemistry, University of Stellenbosch, Private Bag, Matieland 7602, South Africa, 2002. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738802002661>> Acesso em: 30 jan. 2011.

MANN, J. G. **Cultural changes and water-asset realignment to support water-reuse projects**. The Dow Chemical Company, 2301 N. Brazosport Blvd, B-1226, Freeport, TX 77541, USA, 2003. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344902000976>> Acesso em: 14 mar. 2011.

MÄNTTÄRI, M.; VIITIKKO, K.; NYSTRÖM, M. **Nanofiltration of biologically treated effluents from the pulp and paper industry**. Lappeenranta University of Technology, Department of Chemical Technology, Laboratory of Membrane Technology and Technical Polymer Chemistry, P.O. Box 20, FIN-53851, Lappeenranta, Finland, 2005. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738805005740>> Acesso em: 19 fev. 2011.

MCKINNON, J. T. **Advanced Filtration of Pulp Mill Wastes**. Research reports of the Office of Research and Development, U S Environmental Protection Agency. This document is available to the public through the National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1979. Disponível em:

<<http://www.p2pays.org/ref/18/17406.pdf>> Acesso em: 19 ago. 2011.

MIELI, J. C. A. **Sistemas de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/3/TDE-2008-02-27T064616Z-996/Publico/texto%20completo.pdf> Acesso em: 28 jul. 2010.

MODESTO, D. A.; MORAES, R. O. **Dimensionamento de estoque em processo numa fábrica de celulose**, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, 2008. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_490_11518.pdf> Acesso em: 14 set. 2010.

MONTEBELLO, A. E. S. **Análise da evolução da indústria brasileira de celulose no período de 1980 a 2005**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-07032007-164206/pt-br.php>> Acesso em: 23 mar. 2011.

MORAES, P. B. **Caracterização de efluentes**. Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental. Universidade Estadual de Campinas, Campina, SP, 2008. Disponível em: <http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-293205/apoio/1/Resumo_aula_06-03_caracteriza_o_de_efluentes.pdf> Acesso em: 07 mar. 2001.

MOREIRA, M. R. **Natureza das interações celulose-água**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/76/76132/tde-04032009-074227/pt-br.php>> Acesso em: 13 fev. 2011.

NASH. **Bombas e compressores**. Publicações do web site das indústrias Nash, 2011. Disponível em: <http://www.gdnash.com/2BE3_Compressors.aspx> Acesso em: 21 ago. 2011.

NIETO, R. **Legislação e normalização**. 3º Workshop uso e reuso de águas residuárias. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2009. Disponível em: <http://www.nupegel.usp.br/reuso2009/Palestras/Regis_Nieto.pdf> Acesso em: 07 jul. 2010.

NUNES, D. C. L. **Conservação de água em máquina de fabricação de papel – O caso da Bahia Sul Papel e Celulose S. A.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá, MG, 2007. Disponível em: <<http://adm-net-a.unifei.edu.br/phl/pdf/0032099.pdf>> Acesso em: 14 nov. 2010.

OLIVEIRA, C. R. **Aplicação de ultrafiltração na reciclagem de água na indústria de celulose e papel**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003. Disponível em: <<http://www.openthesis.org/documents/de-na-reciclagem-celulose-e-339161.html>> Acesso em 22 out. 2010.

O Papel. **Benchmarking ambiental na indústria de celulose e papel**. Informe técnico da revista O Papel junho/2009. São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1251302938_d9dd1703fb7ee71abcc8e5c37473a806_27356785.pdf> Acesso em: 08 out. 2010.

PAPPI, D. R. **Semana de atualização em máquina de papel parte úmida.** Congresso realizado pela Associação brasileira técnica de celulose e papel. São Paulo, SP, 1995.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/teses/tese_zeila_c_piotto.pdf> Acesso em: 01 jul. 2010.

PIZZICHINI, M.; RUSSO, C.; MEO, C. **Purification of pulp and paper wastewater, with membrane technology, for water reuse in a closed loop.** Biotec Department, ENEA, C.R. Casaccia, Via Anguillarese 301, 00060 Rome, Italy, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916405002626>> Acesso em: 23 jan. 2010.

POMPEO, R. P. **Avaliação técnica e econômica da utilização do efluente da ETE Martinópolis.** Dissertação de Mestrado. São José dos Pinhais, PR, 2007. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/14079/POMPEO%20DISSERTA%c3%87%20%c3%83O.pdf?sequence=1>> Acesso em: 17 jan. 2011.

RABELO, M. D. **Avaliação da aplicação combinada dos processos foto-fenton e biológico no tratamento de efluentes da indústria de celulose Kraft branqueada.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005. Disponível em: <<ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/agroquimica/2005/192240f.pdf>> Acesso em: 24 dez. 2010.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água – tecnologia atualizada 6ª edição.** São Paulo, SP, 2005.

SHREVE, R. N. **Indústrias de processos químicos.** Tradução de: Chemical process industries. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

SILVA, D. J. **Química da parte úmida em processo de fabricação de papel – Integrações em interfaces sólido-líquido.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-13082010-115730/fr.php>> Acesso em: 24 jul. 2010.

SILVA, F. G. **Descarbonatação da água branca visando o reuso em fábricas integradas de celulose e papel alcalino**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000219070&fd=y>> Acesso em: 16 ago. 2011.

SILVA, J. S. **Instrumento de governança da água nas bacias hidrográficas do município de Urubici, SC, no contexto das tecnologias sociais**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010. Disponível em: <http://www.gthidro.ufsc.br/arquivos/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Julia_Santos_Silva_Final.pdf> Acesso em: 18 nov. 2010.

SMOOK, G. A. **Handbook for Pulp&Paper Technologists**. Tappi. USA, 2002.

SMOOK, G. A. **Manual para técnicos de pulpa y papel**. Tappi Press. USA, 1934.

SOUZA, C. A. **Controle do intumescimento filamentososo em um sistema de lodos ativados utilizando seletores biológicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2007-10-10T110539Z-805/Publico/texto%20completo.pdf> Acesso em: 17 jan. 2011.

SOUZA, J. C. L. **Remoção de cálcio de efluente de máquina de papel por precipitação coprecipitação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007. Disponível em: <<ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/agroquimica/2007/205430f.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2010.

SOUZA, J. D. **Modelo espaço-temporal em SIG para análise de qualidade da água em uma bacia hidrográfica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2004. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/handle/1884/6465>> Acesso em: 21 fev. 2011.

TAPPSA. **Informe técnico**. Conferência nacional e exposição – Estudo de caso para projeto de expansão RB 720(Baía Richards). África do Sul, 2011. Disponível em: <http://www.tapps.co.za/archive2/APPW_2004/Title2004/Applying_best_sustainable_prac/applying_best_sustainable_prac.html> Acesso em: 25 ago. 2011.

TEIXEIRA, M. M. C. G. R. **Ultrafiltração no tratamento de águas para o consumo humano**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova Lisboa, Lisboa, Portugal, 2001. Disponível em:

<http://w3.ualg.pt/~mribau/Textos/TeseMSc_M_R_Teixeira.pdf> Acesso em: 23 dez. 2010

WENTEN, I. G. **Ultrafiltration in water treatment and its evaluation as pré-treatment for reverse osmosis system**. Institut Teknologi Bandung. Ganesha 10 Bandung, Indonesia, 2010.

VARGAS, G. D. L. P. **Tratamento terciário de esgoto sanitário através de processos oxidativos avançados para a obtenção de águas de reuso**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008. Disponível em: <<http://www2.enq.ufsc.br/teses/d051.pdf>> Acesso em: 29 set. 2010.

XAVIER, M. F. **Reuso e minimização do consumo de água em indústrias químicas utilizando regeneração diferenciada de contaminantes**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/tesesimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1213> Acesso em: 24 dez. 2010.

ŽARKOVIĆ, D. B.; OGNJANOVIĆ, V. N. R.; RAJAKOVIĆ, L. V. **Conservation of resources in the pulp and paper industry derived from cleaner production approach**. Belgrade Polytechnic College, University of Belgrade, Brankova 17, Belgrade, Serbia, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911001467>> Acesso em: 02 ago. 2011.

APÊNDICE

MEMORIAL DESCRITIVO DEFINIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E CÁLCULOS NECESSÁRIOS PARA CONSTRUÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DE REUSO PROPOSTA

- Considerações e parâmetros de projeto

A configuração projetada terá fins industriais e sua utilização final será interligar a planta de ultrafiltração do setor de meio ambiente, até o setor das máquinas de papel Kraft da Indústria CPBR.

Todos os itens registrados no trabalho são indicativos, devendo as empresas que eventualmente realizarão os serviços, orçar a obra, analisando todas as ações, materiais e quantitativos necessários à execução da configuração de reuso de efluentes.

No tocante ao dimensionamento hidráulico, foram considerados os conceitos e condições abaixo relacionados.

- Definição dos principais equipamentos:

<p>Tubulação de aço inoxidável</p> 	<p>Tubulação projetada com material que possui grande característica de resistência a corrosão e à temperatura.</p> <p>A decisão por este material teve como base a durabilidade e o fato de não necessitar manutenções periódicas, como a pintura.</p> <p>A distância de 600 metros, indicados na configuração para o reuso, foi definida através de medições realizadas no parque industrial.</p>
<p>Curva de 30°, 45° e 90°</p> 	<p>Encaixe de tubulações instalado entre dois pedaços de tubulações, a necessidade destes equipamentos é a de permitir mudanças de direção da tubulação de interligação.</p> <p>As curvas necessárias se devem a topografia do terreno da Indústria CPBR.</p> <p>O layout da planta apresenta também a necessidade de inclusões de caminhos que não prejudiquem o deslocamento na fabrica.</p> <p>Assim a tubulação deverá acessar o setor consumidor através de suportes suspensos, o que fez aumentar o número de curvas.</p> <p>Todos os fatores enunciados justificam a necessidade das 35 curvas indicadas na configuração, registrada nesta dissertação.</p>

<p>Bomba centrífuga</p> 	<p>Equipamento responsável por movimentar o efluente até os consumidores sugeridos para o reuso. Esta movimentação ocorre através da aplicação de forças que são desenvolvidas na massa de água, com a utilização de um motor elétrico.</p>
<p>Válvula de retenção</p> 	<p>São equipamentos de proteção das instalações, visam proteger instalações hidráulicas do refluxo de água quando da paralisação das bombas.</p> <p>Existe também a função secundária, manter a coluna da água durante eventuais períodos de paralisação.</p> <p>A válvula de retenção foi indicada em função das necessidades operacionais da configuração de reuso, que se restringem a ações do setor gerador e no setor consumidor das águas de reuso.</p>
<p>Válvula manual</p> 	<p>Permite o fechamento manual da linha para manutenção.</p> <p>Através da válvula manual, as tubulações e equipamentos da configuração de reuso podem ser bloqueados para eventuais manutenções.</p>
<p>Válvula de controle</p> 	<p>Permite o controle automático de vazão da linha adequando as necessidades do processo.</p> <p>Este equipamento permite alterar a vazão de água de reuso aos setores consumidores, evitando excessos de vazões nestes pontos.</p>
<p>Pestana</p> 	<p>Pestana de aço inoxidável forjado, com extremidade para solda de topo, contendo face com ranhura. Permite a conexão da tubulação com as válvulas e bomba centrífuga.</p>
<p>Flange solto</p> 	<p>Este é um item para ligações tipicamente industriais. Sua utilização tem a intenção de facilitar a montagem e desmontagem de tubulações. A tubulação flangeada é composta por um par de flanges, um jogo de parafusos e uma junta para vedação.</p>
<p>Parafuso</p> 	<p>Elemento de fixação dos diversos itens presentes na instalação.</p>
<p>Suportação</p> 	<p>As tubulações indicadas na configuração da instalação deverão ser organizadas em suportes elevados.</p>

- Os cálculos para o dimensionamento da configuração da proposta de reuso foram realizados através das seguintes:

Equação da continuidade utilizada para o cálculo da vazão da água de reuso:

$Q = A \cdot v$, sendo:

Q = Vazão de água de reuso, em m^3/s

A = área de secção transversal, em m^2 .

v = velocidade de escoamento, em m/s .

Equação de Bernoulli utilizada para o cálculo da potência necessária ao bombeamento:

$H_1 + H_B - h = H_2$, sendo:

H_1 : energia total do efluente na planta de ultrafiltração, localizada no setor de meio ambiente, em m.

H_B : energia adquirida pelo fluido, pela ação da bomba centrífuga proposta para o reuso, em m.

h : perda de carga total, considerando a localizada nos equipamentos e a distribuída ao longo dos 600 m de tubulação, em m.

H_2 : energia total do efluente nas máquinas de fabricação de papel, localizadas no setor de meio ambiente, em m.

Teorema de Bernoulli utilizado para o cálculo da potência necessária ao bombeamento:

$H_n = z_1 + v_1^2/2.g + p_1/y = z_2 + v_2^2/2.g + p_2/y$, sendo:

H_n = energia total no ponto "n", em m.

z_n = energia geométrica no ponto "n", em m.

p_n/y = energia piezométrica no ponto "n", em m.

$v_n^2/2.g$ = energia dinâmica do fluido no ponto "n", em m.

p_n = pressão no ponto "n", em Kgf/m^2 .

y = massa específica, em Kg/m^3 .

v_n = velocidade do fluido no ponto "n", em m/s .

g = aceleração da gravidade, em m/s .

- Exemplo de cálculo para o dimensionamento da configuração da proposta de reuso:

Demonstração do cálculo da vazão da água de reuso:

$$\text{Vazão (m}^3/\text{s)} = \frac{\text{Área da secção reta da tubulação (m}^2)}{\text{da tubulação (m}^2)} * \text{Velocidade de escoamento da água (m/s)}$$

$$\text{Vazão (m}^3/\text{s)} = 0,0730 * 1,43$$

$$\text{Vazão (m}^3/\text{s)} = 0,104$$

$$\text{Vazão (m}^3/\text{h)} = 375$$

Demonstração do cálculo da perda de carga localizada e distribuída.

Exemplo realizado para a vazão de 100 m³/h:

$$\text{Perda de carga tubulação (m)} = \frac{\text{Tubulação perda de carga m/100m} * \text{Extensão da tubulação (m)}}{100}$$

$$\text{Perda de carga acessórios (m)} = \sum (\text{Acessórios de tubulação} * \text{Perda de carga unitária para cada diâmetro analisado})$$

$$\text{Perda de carga total (m)} = \text{Perda de carga tubulação (m)} + \text{Perda de carga conexões (m)}$$

$$\text{Perda de carga tubulação (m)} = \frac{1,90 * 100}{100}$$

$$\text{Perda de carga tubulação (m)} = 1,9$$

$$\text{Perda de carga acessórios (m)} = 0,04 * 1 + 0,05 * 1 + 0,10 * 1 + 0,25 * 1 + 0,15 * 1 + 4,00 * 1$$

$$\text{Perda de carga acessórios (m)} = 4,59$$

$$\text{Perda de carga total (m)} = 1,9 + 4,59$$

$$\text{Perda de carga total (m)} = 6,49$$

Os cálculos realizados, referentes a perda de carga, fornecem uma estimativa da energia perdida durante o bombeamento das águas propostas ao reuso.

Estes cálculos consideram a perda de energia localizada nos equipamentos que fazem parte da linha de interligação, bem como a distribuída ao longo desta tubulação.