

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

CONSERVAÇÃO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA DO PAPELÃO ONDULADO – ESTUDO DE
CASO

CRISTIANO CORRÊA WEBER

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, dezembro de 2009.

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Luiz Fernando Cybis da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientado pelo Prof. Lademir Luiz Beal da Universidade de Caxias do Sul.

Torno público os meus agradecimentos,

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul por ceder-me a oportunidade de estar apresentando e defendendo esta dissertação. Sou grato, também, pelos conhecimentos que me foram prestados através do experiente corpo docente do Programa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Luiz Fernando Cybis, pela lúcida e persistente orientação.

Ao meu co-orientador, Prof. Lademir Luiz Beal, pela motivação e acessibilidade.

Aos colegas de empresa, Gilmar Maffei e Edesel Schultz, por cederem os recursos de que necessitei para a elaboração da pesquisa.

A minha esposa, Fernanda, pela compreensão e por todo o apoio dado nos momentos em que nossos filhos mais demandaram a minha presença.

Aos meus pais e avós pelos motivos mais especiais que, devido a sua magnitude, não tive como descrever aqui.

RESUMO

Neste trabalho, a conservação da água é proposta como meio de melhorar o desempenho de uso da água e de geração de efluentes na indústria de papelão ondulado (PO). Para tanto, o uso racional e o reúso da água são as ferramentas de conservação adotadas. A sua aplicação em uma planta produtora de embalagens de PO, localizada em Farroupilha no estado do Rio Grande do Sul, teve o objetivo de avaliar e validar a conservação da água como metodologia de melhoria no gerenciamento da água e dos efluentes industriais. Nesse estudo de caso, os tipos de consumo e suas respectivas demandas por água e geração de efluentes foram levantados e classificados de modo a se identificar os pontos críticos a serem trabalhados na indústria do PO. Com base nesses levantamentos, intervenções de racionalização do uso e de reúso da água foram planejadas e adotadas, e seu reflexo sobre indicadores predeterminados foi avaliado. Os indicadores utilizados representaram o desempenho do empreendimento quanto à conservação da água em qualidade e em quantidade e quanto ao atendimento à questão legal. Após as intervenções, o consumo médio de água foi reduzido em 45%, o consumo específico caiu de 213,11 mililitros de água por metro quadrado de papelão ondulado (mL.m^{-2}) para 89,41 mL.m^{-2} , a estação de tratamento de efluentes foi revitalizada e a emissão de cargas poluentes ao corpo receptor sofreu queda da ordem de 90%, melhorando o atendimento aos limites legais de emissão de efluentes estabelecidos na licença de operação da planta fabril. Portanto, a conservação da água demonstrou-se eficaz no gerenciamento da água e dos efluentes das indústrias de papelão ondulado.

ABSTRACT

In this work, the water conservation is proposed as a way to improve the water use and the wastewater generation in the paperboard package industry. Therefore, the rational use and reuse of water are the conservation tools adopted. These tools were applied in a paperboard package plant, located in the Farroupilha city (Rio Grande do Sul, Brazil), and had the objective to evaluate and validate the water conservation as a methodology for water and industrial wastewater management improvement. Here, the water consumption types and their water demands and effluent generation were identified and classified in a way to find the critical points to be worked in the paperboard package industry. Based on these informations, rational use and reuse interventions were planned and adopted, and their repercussions were evaluated employing predetermined indicators. These indicators represented the industry performance in terms of water conservation (quantity and quality) and legal issues. After conservative interventions, the average water consumption decreased 45%, the specific consumption was reduced from 213.11 milliliters of water per square meters of corrugated paperboard (mL.m^{-2}) to 89.41 mL.m^{-2} , the wastewater treatment plant (WWTP) was revitalized and the pollutants load emissions to the water body has decreased in a range of 90%, improving the observance of legal limits for wastewater emissions established on the factory's operational license. Thus, the water conservation demonstrated to be effective for the paperboard package industry's water and wastewater management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Distribuição regional de população e disponibilidade hídrica no Brasil.....	3
Figura 1.2 – Equilíbrio entre os meios econômico, social e ambiental proposto pelo Desenvolvimento Sustentável.....	9
Figura 1.3 – Hierarquia das práticas de gestão ambiental.	9
Figura 1.4 – Relação dos compartimentos econômicos com a regulação ambiental para a obtenção do uso sustentável da água.	12
Figura 1.5 – Geofone eletrônico e seu uso.....	18
Figura 1.6 – Torneiras para lavatórios classificadas conforme sistema de fechamento de fluxo de água.....	21
Figura 1.7 – Sistema de lavagem em contracorrente usado em galvanoplastias.	28
Figura 1.8 – Diagrama esquemático para a obtenção da variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso devido ao reúso de efluentes.	38
Figura 1.9 – Sistema de gestão da água para a indústria.	40
Figura 1.10 – Componentes do macrofluxo em uma indústria.....	42
Figura 1.11 – Imagem de um face simples (conjunto de um elemento plano aderido a um elemento ondulado).....	44
Figura 1.12 – Imagem de uma chapa de PO parede simples (esquerda) e de uma caixa de PO....	45
Figura 1.13 – Expedição total de produtos de papelão ondulado em 2003.	46
Figura 1.14 – Ciclo das embalagens de PO a partir da obtenção das fibras de papel até a fabricação e consumo final das embalagens.	48
Figura 1.15 – Processo de Ondulação: transformação do papel em chapas de PO.	49
Figura 1.16 – Caixa de papelão ondulado do tipo normal aberta (esquerda) e fechada (direita). .	49
Figura 1.17 – Sistema de aquecimento por vapor utilizado nos tanques de preparo de adesivo das unidades de fabricação de cola.	53

Figura 1.18 – Fluxograma das correntes líquidas entre caldeira, sistema de resfriamento, central de cola e a onduladeira.....	56
Figura 1.19 - Estrutura química do corante azo RR2.	62
Figura 1.20 – Diagrama de fluxos de água e vapor de um sistema de geração de vapor utilizado em fábricas de PO.	66
Figura 1.21 – Diagrama de fluxos de água e vapor de um sistema de geração de vapor utilizado em fábricas de PO cuja água de reposição recebe tratamento avançado.	67
Figura 1.22 – Diagrama de fluxo de água e ar em um sistema de resfriamento de água tipo <i>chiller</i>	68
Figura 1.23 – Diagrama de fluxo de água e ar em um sistema de resfriamento de água tipo torre de resfriamento.	69
Figura 1.24 – Planta baixa da indústria com a localização dos pontos de oferta, de consumo de água e de geração de efluentes.....	73
Figura 1.25 – Componentes do balanço hídrico da indústria estudada.	74
Figura 1.26 – Fluxograma dos processos de tratamento da ETE.....	75
Figura 1.27 – Hidrômetros multijato magnéticos com vazão nominal de $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Usos típicos da água na indústria.....	24
Tabela 1.2 – Critérios de qualidade para a água de reúso.....	27
Tabela 1.3 – Requisitos de qualidade de água para uso na indústria química.....	27
Tabela 1.4 – Classificação dos corpos d’água e seus respectivos usos possíveis e níveis de tratamento requeridos para consumo humano.	30
Tabela 1.5 – Faixas típicas de concentração dos constituintes das “águas brancas” das fábricas de papel.....	31
Tabela 1.6 – Operações e processos unitários usados no tratamento de efluentes para reúso e seu potencial para remoção de contaminantes.	32
Tabela 1.7 – Limites de qualidade e níveis mínimos de tratamento dos efluentes industriais para reúso nos estados norte americanos.	36
Tabela 1.8 – Critérios de qualidade requeridos antes da adição de substâncias químicas na água de reposição de aquecedores e caldeiras.....	54
Tabela 1.9 – Critérios de qualidade requerida antes da adição de substâncias químicas na água de resfriamento do tipo Torre.	57
Tabela 1.10 – Espécies oxidantes ordenadas pelo poder de oxidação.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPO	Associação Brasileira de Papelão Ondulado
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APHA	American Public Health Association
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul
CORSAN	Companhia Rio Grandense de Saneamento
DEPA	Danish Environmental Protection Agency
EPA	Environmental Protection Agency
ETA	Estação de tratamento de água
ETE	Estação de tratamento de efluentes
ETSU	East Tennessee State University
EUA	Estados Unidos da América
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FURG	Universidade Federal do Rio Grande
Inc.	Incorporated
LO	Licença de operação

Ltd.	Limited (limitada)
Méd.	Média
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Móv.	Móvel
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
P+L	Produção Mais Limpa
PCA	Programa de Conservação da Água
PCI	Placa de circuito impresso
PCRA	Planos de Conservação e Reúso da Água
Per.	Períodos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
POA	Processo oxidativo avançado
PURA	Programa de Uso Racional da Água
RDC	Resolução de Diretoria Colegiada
RR2	Reactive Red 2
RS	Rio Grande do Sul
S/A	Sociedade Anônima
SABESP	Companhia de Água e Esgoto do Estado de São Paulo
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SNGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TAPPI	Technical Association of the Paper and Pulp Industry
UCS	Universidade de Caxias do Sul

UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USP	Universidade Federal de São Paulo
WWTP	Wastewater treatment plant

LISTA DE NOTAÇÕES E UNIDADES DE MEDIDA

α	Nível de significância do teste de Student
°C	Graus Celsius
A	Alimentação de água em um sistema
AD	Adesivo de amido fornecido à onduladeira
AR	Água de resfriamento fornecida às bacias de cola das onduladeiras
AR1	Água de resfriamento emitida com efluente
A_T	Perda líquida por arraste em torres de resfriamento
B	Bom ($25\% < \text{remoção} < 50\%$) – classificação para a eficiência de remoção de um poluente específico por um processo de tratamento
bar	Unidade de pressão
C	Concentração
CEA	Consumo específico de água em mL de água por m ² de PO (mL.m ⁻²)
Cl_R	Cloro residual
COT	Carbono orgânico total
CT	Coliformes totais
DBO ou DBO ₅	Demanda bioquímica de oxigênio em 5 dias de incubação
DOM	Ponto de amostragem do efluente doméstico na entrada do tanque de equalização da ETE
DQO	Demanda química de oxigênio
E	Eficaz ($\text{remoção} \geq 50\%$) – classificação para a eficiência de remoção de um poluente específico por um processo de tratamento
E1, E2 e E3	Etapas de racionalização do uso da água na geração de vapor
EF	Ponto de amostragem no final do processo de tratamento terciário da ETE

E_T	Perda líquida por evaporação em torres de resfriamento
EVAP	Perda de água por evaporação em um sistema
FP	Efluente de tratamento primário da ETE estudada
FT	Efluente de tratamento terciário da ETE estudada
g	Gramas
H	Hidrômetro instalado no sistema de geração de vapor da indústria estudada
h	Hora
hab	Habitante
I	Intervenções conservativas
INC	Perda de água devida à incorporação aos produtos de uma atividade produtiva
IP	Impressora
kg	Quilograma
km	Quilômetro
L	Litro
LA	Lodos ativados
m	Metro
m^3	Metro cúbico
mca	Metro de coluna d'água
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mS	Milisiemens
n	Cenários de reúso da água ($n = A, \dots, F$).
NA	Nível da água
NAP	Nível da água no poço tubular

NE	Não eficaz (remoção $\leq 25\%$) – classificação para a eficiência de remoção de um poluente específico por um processo de tratamento
NEs	Não especificado
NH ₃ -N	Amônia expressa como nitrogênio
NMP	Número mais provável
NO ₃ -N	Nitrato expresso como nitrogênio
NTK	Nitrogênio total Kjeldhal
OD	Oxigênio dissolvido
OH•	Radicais livres hidroxilas
P	Fósforo
P1	Ponto de amostragem do efluente no início do processo de tratamento primário da ETE estudada
P2	Ponto de amostragem do efluente no final do processo de tratamento primário da ETE estudada
P3	Ponto de amostragem do efluente no início do processo de tratamento secundário da ETE estudada
P4	Ponto de amostragem do efluente no início do processo de tratamento terciário da ETE estudada
pH	Potencial hidrogeniônico
PO	Papelão ondulado
P _T	Perda líquida por purga em torres de resfriamento
Pt-Co	Platina-cobalto
Q	Vazão
R1	Reúso da água na produção de adesivo de amido

R2	Reúso da água nos processos de limpeza de equipamentos e na diluição de reagentes da ETE
R3	Reúso da água nas descargas sanitárias
RAD	Retorno de adesivo de amido após circular pelas bacias de cola
RAR	Retorno da água ao sistema de resfriamento (caso de circuito fechado)
RC	Retorno de condensado à caldeira
R _T	Água de reposição em torres de resfriamento
S1 e S2	Sensores eletromagnéticos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SST	Sólidos suspensos totais
<i>t</i>	Teste estatístico de Student
t	Tonelada
T1 a T5	Tipos de uso não potável de água na planta estudada
uH	Unidade de Hazen
uT ou UNT	Unidade nefelométrica de turbidez
V	Volt
VP	Vapor fornecido às seções aquecidas da onduladeira
V _S	Válvula solenóide

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
LISTA DE NOTAÇÕES E UNIDADES DE MEDIDA	x
SUMÁRIO	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O SETOR INDUSTRIAL E SEU PAPEL FRENTE ÀS SITUAÇÕES DE ESCASSEZ E DE POLUIÇÃO DA ÁGUA	2
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	5
1.3 A EVOLUÇÃO HUMANA NA DIREÇÃO DO USO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA	6
1.4 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA	14
1.4.1 Uso racional da água.....	16
1.4.1.1 Eliminação de perdas físicas.....	17
1.4.1.2 Otimização de processos que usam água.....	18
1.4.1.3 Adequação de equipamentos e componentes hidráulicos.....	20
1.4.1.4 Correção da pressão do sistema hidráulico.....	21
1.4.2 Reúso da Água	22
1.4.2.1 Padrões de qualidade necessários ao reúso.....	24
1.4.2.2 Tecnologias de tratamento para reúso de efluentes	29
1.4.2.3 Concentração de contaminantes no sistema.....	37
1.4.3 Implantação da conservação da água em indústrias	38
1.5 A INDÚSTRIA DE EMBALAGENS DE PAPELÃO ONDULADO.....	43
1.5.1 Processo de fabricação de embalagens de papelão ondulado	47
1.5.2 Consumos e emissões líquidas e oportunidades de conservação da água	51
1.5.2.1 Ondulação: uso da água e geração de efluentes.....	52
1.5.2.2 Conversão: uso da água e geração de efluentes	61

1.5.2.3	Oportunidades de conservação da água	64
1.6	DESCRIÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	72
2	CONSERVAÇÃO DA ÁGUA APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE PAPELÃO ONDULADO.....	79
3	REÚSO DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE REVITALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES	92
4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS	105
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
6	ANEXOS	123
A1	NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS DA REVISTA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (13/11/2009).....	124

1 INTRODUÇÃO

O Capítulo 1 é constituído pela presente introdução a qual inicia pela apresentação do problema abordado, ou seja, a escassez e a poluição da água. A contribuição da indústria de embalagens de papelão ondulado (PO) para essa situação de estresse dos recursos hídricos constitui o enfoque deste estudo, portanto os objetivos e a revisão bibliográfica, apresentados também neste Capítulo, referem-se à conservação da água na indústria do papelão ondulado como solução à situação de escassez e poluição apresentada.

Os Capítulos 2 e 3 são constituídos por dois artigos submetidos a uma revista científica, estando ambos apresentados de acordo com suas normas de submissão. Cada artigo contém materiais e métodos dos experimentos realizados, apresentação e discussão dos resultados obtidos, além de suas respectivas conclusões.

O artigo do Capítulo 2, intitulado CONSERVAÇÃO DA ÁGUA APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE PAPELÃO ONDULADO, apresenta a primeira parte do estudo de caso na qual se aplicou ferramentas de conservação em uma planta industrial produtora de PO. O objetivo principal desse artigo foi avaliar a conservação da água como ferramenta de melhoria do desempenho de uso da água e de geração de efluentes na indústria de papelão ondulado e estabelecer estratégias para sua implantação.

O artigo do Capítulo 3, intitulado REÚSO DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE REVITALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES, apresenta a segunda parte do estudo de caso cujo objetivo foi avaliar as práticas de reúso da água e sua capacidade potencial de revitalizar estações de tratamento de efluentes subdimensionadas. Esse estudo foi desenvolvido na mesma indústria produtora de embalagens de PO citada no Capítulo 2.

As Conclusões e Recomendações Finais, apresentadas no Capítulo 4, correspondem à discussão geral da dissertação, integrando os demais capítulos já apresentados.

No Capítulo seguinte, Capítulo 5, são apresentadas as referências bibliográficas citadas nos Capítulos 1 a 4.

As normas das revistas científicas, às quais os artigos foram submetidos, são apresentadas nos Anexos.

1.1 O SETOR INDUSTRIAL E SEU PAPEL FRENTE ÀS SITUAÇÕES DE ESCASSEZ E DE POLUIÇÃO DA ÁGUA

À medida que a população mundial aumenta, a sociedade se obriga a propor novas soluções para os problemas gerados por essa explosão demográfica. Um exemplo disso é a revolução industrial, pois permitiu explorar os recursos naturais de maneira intensiva. As produções fabris e agrícolas também foram beneficiadas, levando a um crescimento demográfico ainda mais acelerado. Por outro lado, por mais que a tecnologia se desenvolva e o homem consiga extrair cada vez mais da natureza, esses recursos são limitados. Outro fator que, aliado à questão da extração, proporciona estresse aos recursos naturais é a poluição. Quanto mais se produz, mais resíduos são gerados e, conseqüentemente, mais poluição. Logo, além dos recursos naturais serem limitados, os seres humanos aceleram a chegada de sua escassez contaminando-os com seus dejetos.

É neste cenário de escassez e poluição que se encontra o recurso natural água. Para o mesmo volume de água potável, constante e limitado existente no planeta terra, a população de seres humanos triplicou desde 1900 e, graças a adventos tecnológicos, conseguiu aumentar o consumo de água entre seis e sete vezes no mesmo período (Czapski, 2004). Esse ritmo de

crescimento associado à má distribuição hídrica traz a perspectiva de que até dois terços da população terrestre sofrerá de escassez hídrica até 2025 (Simpósio Internacional, 2003).

Muito embora o Brasil detenha 13,7% das reservas de água doce superficiais do planeta (ANA, 2005a), também sofre de má distribuição hídrica. Conforme mostra a Figura 1.1, apenas as regiões Norte e Centro-Oeste do país apresentam a disponibilidade hídrica superior à distribuição populacional em termos percentuais.

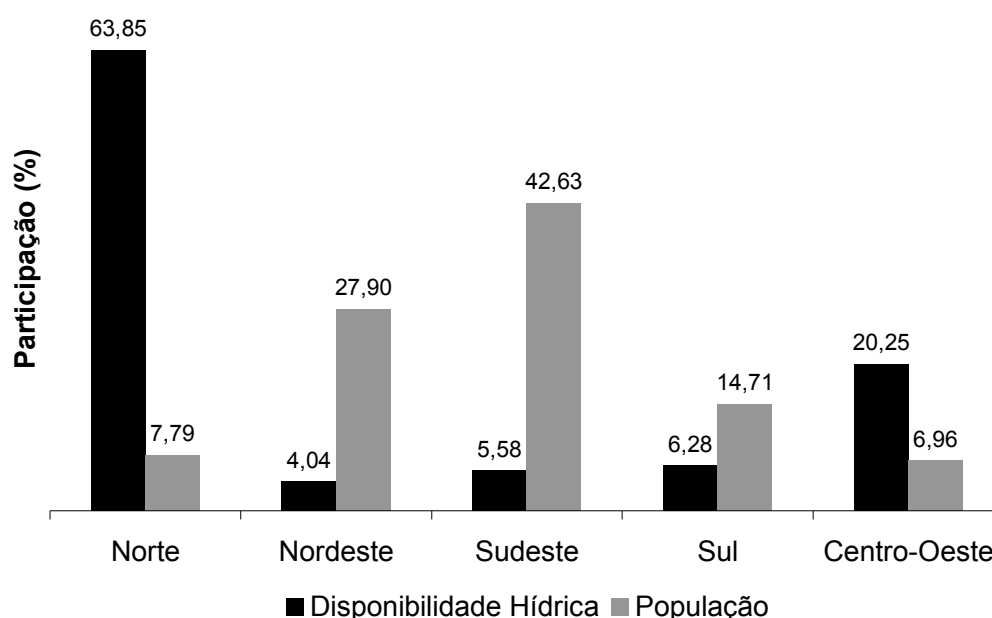


Figura 1.1 – Distribuição regional de população e disponibilidade hídrica no Brasil (Seminário sobre Tecnologias Limpas, 2005a).

Além da má distribuição hídrica, há, também, o problema da baixa qualidade da água. A sua contaminação por fontes poluidoras diversas tem dificultado, inclusive, seu tratamento para consumo humano, implicando em consequências diretas sobre a vida da população. As doenças de origem e de veiculação hídrica são exemplos dessas limitações nos recursos hídricos, pois segundo o World Water Council (2000), 3,3 milhões de crianças menores de 5 anos morrem de diarreia anualmente. Portanto, o bem estar do ser humano sobre a face da Terra, é motivo fundamental para a preservação da água através de sua conservação.

Sob este contexto, a indústria apresenta-se como fonte de poluição pontual, cujos impactos sobre os recursos hídricos são amplos devido à diversidade das substâncias contaminantes que emite. As águas utilizadas nos processos industriais acabam contaminadas com os mais diversos tipos de produtos químicos e, ao serem despejadas nos corpos receptores, contribuem para a degradação da sua qualidade e para a ocorrência de doenças de origem hídrica (World Water Council, 2000).

Tendo-se em vista a reversão deste quadro, o manual de orientações para a indústria visando à conservação da água, editado pela FIESP (2004), explicita:

No que se refere ao uso racional da água nas plantas industriais, será preciso investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na implantação de sistemas de tratamento avançado de efluentes, em sistemas de conservação, em redução de perdas e no reúso da água. Isto levará a significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma planta industrial produtora de embalagens de papelão ondulado (PO), cujos efluentes líquidos tratados encontravam dificuldades em atender os padrões de lançamento estabelecidos na resolução nº128/2006 do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (CONSEMA, 2006) por motivos de aumento na geração de efluentes do processo industrial. A solução clássica para esse tipo de problema, sob o paradigma das tecnologias de “fim-de-tubo”, costuma ser a ampliação dos processos que compõem os sistemas de tratamento de efluentes. No entanto, o conceito de desenvolvimento sustentável leva a uma escolha ambientalmente mais adequada: a implantação de técnicas de conservação da água. A racionalização do uso e o reúso da água foram, portanto, as ferramentas de conservação adotadas nesse estudo devido a sua capacidade

potencial de reduzir os volumes e as cargas poluentes a serem tratados e, conseqüentemente, revitalizar os processos de tratamento de efluentes.

O estudo de caso, a ser aqui desenvolvido, representa uma oportunidade de ampliação do conhecimento das técnicas de conservação da água e, simultaneamente, aproxima a indústria da visão acadêmica proposta pela universidade. Essa, por sua vez, tem a oportunidade de ver a pesquisa aplicada às práticas industriais que movimentam a economia nacional.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Objetivo geral:

Avaliar a conservação da água como ferramenta de melhoria do desempenho de uso da água e de minimização da geração e da emissão de efluentes líquidos na indústria de papelão ondulado (PO).

Objetivos específicos:

- ↳ Identificar indicadores de desempenho ambiental para o uso da água na indústria de PO;
- ↳ Identificar oportunidades de redução do consumo da água e de geração de efluentes nesta atividade industrial;
- ↳ Identificar e implementar intervenções de ordem comportamental e física que promovam o uso racional da água;
- ↳ Identificar oportunidades de reúso da água no segmento industrial estudado;
- ↳ Utilizar o reúso da água como técnica de revitalização de estações de tratamento de efluentes de indústrias de PO;

1.3 A EVOLUÇÃO HUMANA NA DIREÇÃO DO USO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA

A preocupação do homem com a água é um acontecimento historicamente recente. A partir da segunda guerra mundial, houve um grande desenvolvimento econômico despreocupado com a questão ambiental de preservação dos recursos naturais. As obras de engenharia e as tecnologias da época visavam, apenas, a produção em larga escala e a consequente obtenção de maiores lucros, deixando de lado as questões ambientais.

Após a Segunda Guerra Mundial, a reconstrução da Europa aumentou a demanda por água e a poluição dos cursos d'água com despejos domésticos e industriais. O crescimento da França foi acompanhado pela ampliação das redes de esgotos que chegavam aos rios sem tratamento. Na Inglaterra, esse mesmo tipo de prática levou o Rio Tamisa a tornar-se um esgoto a céu aberto em seu perímetro urbano. As inovações tecnológicas proporcionadas pela Segunda Guerra Mundial trouxeram consigo novas substâncias químicas e radioativas que contaminaram o solo, a água e o ar, assim como na agricultura, os novos fertilizantes sintéticos contaminaram tais compartimentos ambientais (Barros, 2008).

Entre as décadas de 60 e 80, deu-se início a pressão ambiental sobre entidades governamentais e sobre as indústrias (Tucci *et al.*, 2000). As comunidades começavam a perceber que o meio em que viviam já não tinha a mesma qualidade de outrora. Nesse período, surgiu, na França, o conceito de poluidor-pagador, ou seja, o causador de um dano ambiental teria a responsabilidade de arcar com os custos pelo combate à poluição gerada (Leripio, 2001).

Erroneamente, este conceito levou as empresas ao entendimento de que a questão da poluição e da proteção do meio ambiente resolver-se-ia num simples pagar, numa mera equação econômica do tipo pago, logo posso poluir (Benjamin, 1993). Sob esse enfoque, deu-se

prioridade ao desenvolvimento de tecnologias de tratamento de emissões, evidenciando a cultura de “fim-de-tubo” nas quais se gera o agente poluidor para tratá-lo posteriormente.

Os acidentes ambientais ocorridos na década de 80 evidenciaram o insucesso do homem em lidar com o meio ambiente utilizando apenas o conceito do poluidor-pagador. Em Bhopal, na Índia, cerca de 3.800 pessoas morreram ou ficaram gravemente feridas devido a um vazamento químico em uma planta da Union Carbide Corporation, fabricante de pesticidas (Broughton, 2005). Além desse acidente, podem-se citar os ocorridos em Basle e Chernobyl com 10.000 mortes imediatas. A popularidade das indústrias na Inglaterra, que era de 50% na década de 70, caiu para 33% em 1987 devido aos visíveis efeitos do descaso com o meio ambiente (Industry Canada, 1997).

Nos países desenvolvidos, começavam, então, a surgir conceitos que vinham a complementar o princípio do poluidor-pagador através da prevenção da poluição. Em 1985, por exemplo, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas suportou a premissa de que nenhuma água de boa qualidade deveria ser utilizada para usos que tolerassem águas de qualidade inferior (Hespanhol, 2001). No Brasil, nesta mesma década, recém surgiam as primeiras legislações ambientais, demonstrando a preocupação com a qualidade da água. A resolução número 20 do CONAMA, publicada em 30/07/1986, estabeleceu a classificação da água quanto a critérios de qualidade e de usos possíveis (CONAMA, 1986).

Na década de 90, as tecnologias de “fim-de-tubo” cederam lugar às técnicas de prevenção da poluição. A Lei de Prevenção da Poluição de 1990, emitida pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 1990), definiu a prevenção da poluição como:

... toda prática que minimize a quantidade de substâncias tóxicas, poluentes ou contaminantes que componham todo e qualquer efluente ou emissão ao meio ambiente (incluindo emissões fugitivas) priorizando-a frente à reciclagem, tratamento ou disposição final; e qualquer prática que minimize os riscos à saúde pública e ao meio ambiente associados ao descarte de tais substâncias, poluentes ou contaminantes.

A prevenção da poluição apresentava um novo enfoque sobre como lidar com as questões ambientais. As ações passaram, a partir de então, a vislumbrar o combate às causas da poluição ao invés do ataque às suas consequências conforme preconizavam as tecnologias de “fim-de-tubo”.

Ainda na década de 90, surge, então, um conceito ainda mais abrangente que a prevenção da poluição: o desenvolvimento sustentável. Definiu-se, em 1994, no Simpósio de Oslo, o termo “desenvolvimento sustentável” como:

... O uso de bens e serviços que responde às necessidades básicas e traz uma melhor qualidade de vida enquanto minimiza o uso dos recursos naturais, materiais tóxicos e emissões de resíduos e poluentes para o meio ambiente, ou seja, sem pôr em risco as necessidades das gerações futuras.

Este conceito propunha o equilíbrio entre os meios econômico, social e ambiental, ou seja, visava atender, simultaneamente, o crescimento dos ganhos econômicos, a melhoria contínua da qualidade de vida e a preservação das condições ambientais necessárias ao desenvolvimento das gerações futuras (Figura 1.2).

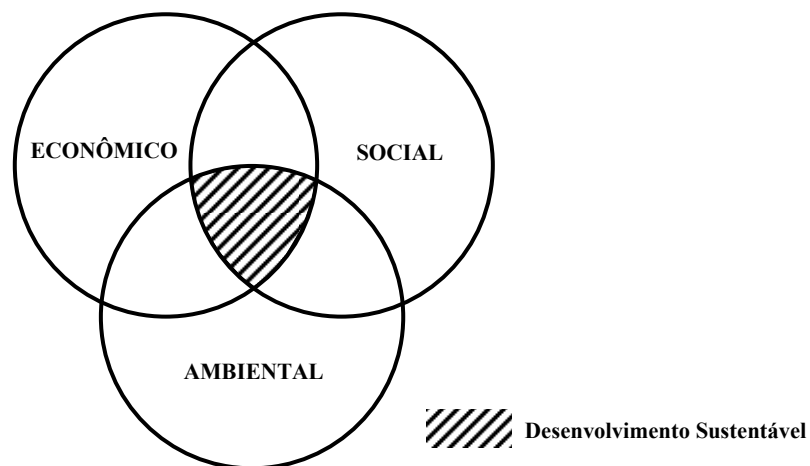


Figura 1.2 - Equilíbrio entre os meios econômico, social e ambiental proposto pelo Desenvolvimento Sustentável (Seminário sobre Tecnologias Limpas, 2005b).

O desenvolvimento sustentável originou a hierarquia de práticas na gestão ambiental que agregou, ao conceito de poluidor-pagador, o conceito de usuário-pagador na gestão dos recursos hídricos (Figura 1.3). Esse novo conceito introduziu a idéia de que a preservação da água não deveria ser feita apenas pelo controle da emissão de poluentes, mas, primordialmente, pela redução de seu consumo.

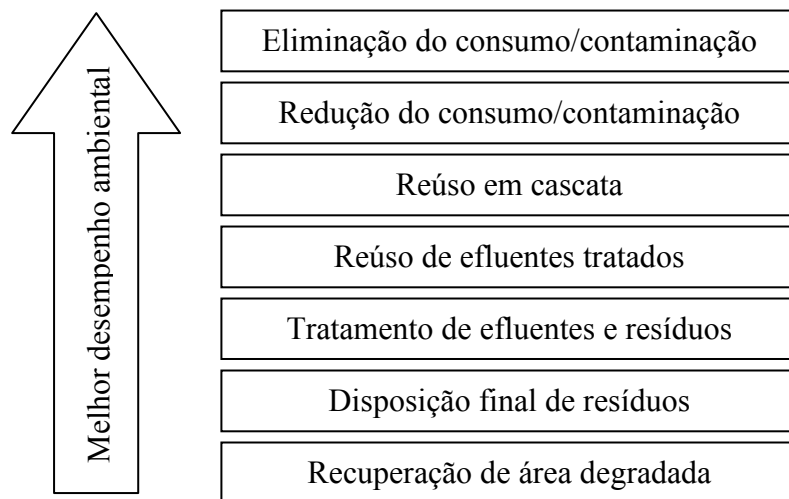


Figura 1.3 - Hierarquia das práticas de gestão ambiental (adaptado de Barbosa, 2009).

Para que os conceitos de poluidor-pagador e usuário-pagador pudessem ser implementados conjuntamente, sob a visão holística do desenvolvimento sustentável, a

Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, aprovou a Agenda 21 em que se afirmava a inevitabilidade da adoção do planejamento e do manejo integrado dos recursos hídricos. Enfatizava-se, nesse momento, o escasseamento progressivo do recurso água em escala global e as limitações que essa realidade impunha ao desenvolvimento dos países (ANA, 2007). Dizia, enfim, a Agenda 21:

O manejo holístico da água doce como um recurso finito e vulnerável e a integração de planos e programas hídricos setoriais aos planos econômicos e sociais nacionais são medidas de importância fundamental para a década de 90 e o futuro.

Em seu capítulo 18, no qual a Agenda 21 trata da proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos, é ressaltada a importância da conservação da água segundo a hierarquia apontada na Figura 1.3. Os parágrafos seguintes, extraídos do texto da Agenda 21 Global (MMA, 2009), demonstram isso:

18.12 (l) Promover a conservação da água por meio de planos melhores e mais eficientes de aproveitamento da água e de minimização do desperdício para todos os usuários, incluindo o desenvolvimento de mecanismos de poupança de água;

18.12 (j) Desenvolver fontes novas e alternativas de abastecimento de água, tais como dessalinização da água do mar, reposição artificial de águas subterrâneas, uso de água de pouca qualidade, aproveitamento de águas residuais e reciclagem da água;

18.17. O papel da água como um bem social, econômico e sustentador da vida deve se refletir em mecanismos de manejo da demanda e ser implementado por meio de conservação e reutilização da água, avaliação de recursos e instrumentos financeiros.

18.39 (b) Identificar todas as fontes potenciais de água e preparar planos para a proteção, conservação e uso racional delas;

18.40 (IV) Introduzir a abordagem precautória no manejo de qualidade da água, quando apropriada, centrada na minimização e prevenção da poluição por meio do uso de novas tecnologias, mudança de produtos e processos, redução da poluição na fonte e reutilização, reciclagem e recuperação, tratamento e eliminação ambientalmente segura de efluentes;

Observa-se que os termos eliminação, redução, minimização, reutilização, reciclagem são constantes no texto que recomenda, a todos os 179 países participantes da conferência, a implementação de programas que garantam tais práticas e o consequente uso sustentável da água.

A preocupação do Brasil com o manejo integrado da água, recomendado na Agenda 21 Global, ficou evidenciada, principalmente, através da Lei 9.433 de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGREH). Essa lei introduziu o fundamento de que a água é um recurso natural limitado, de domínio público e de valor econômico, e estabeleceu as bacias hidrográficas como unidades territoriais de controle (Brasil, 1997).

Um dos instrumentos mais importantes, contemplado nesta Política, são os Planos de Recursos Hídricos. Eles são definidos como planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da PNRH e o gerenciamento dos recursos hídricos (art. 6º), devendo ser elaborados por bacia hidrográfica (Plano de Bacia), por Estado (Planos Estaduais) e para o País (Plano Nacional), conforme o art. 8º da referida lei.

O subprograma VI.2 do Plano Nacional de Recursos Hídricos trata da gestão da oferta, ampliação, racionalização e reúso das disponibilidades hídricas. Seu objetivo é o de ampliá-las,

através de alternativas estruturais que propiciem o armazenamento e o controle de vazões, por medidas de racionalização de uso e de tecnologias de reúso de águas servidas, pela captação de águas de chuva, ou, ainda, por intermédio da adoção de mecanismos institucionais e econômicos que induzam a mudanças de comportamento por parte dos usuários de recursos hídricos (MMA, 2006). A Figura 1.4 ilustra o espaço para a aplicação desses mecanismos institucionais de regulação e de cobrança pelo uso da água sobre os setores usuários (usuário-pagador), tais como saneamento, indústria, energia, irrigação, navegação e lazer dentre outros.

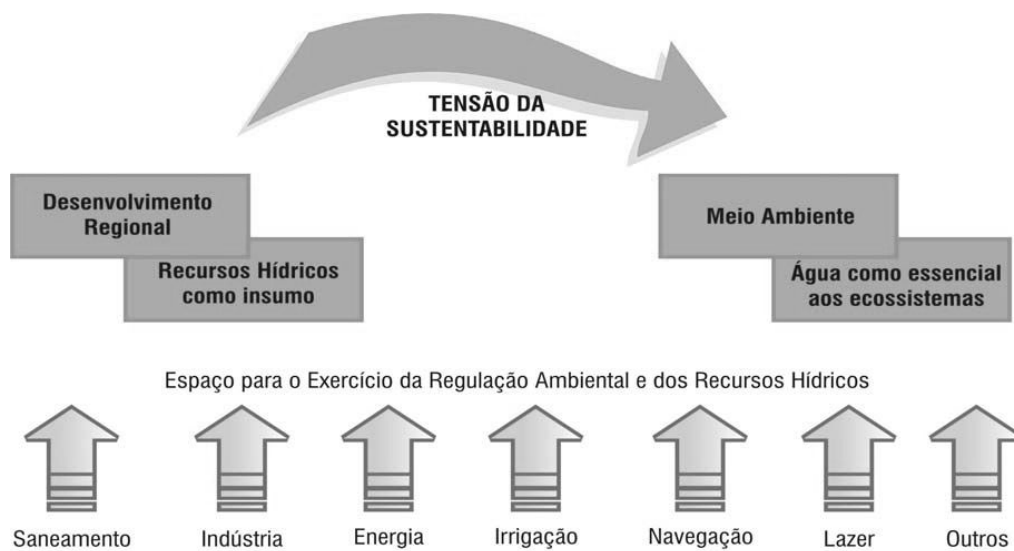


Figura 1.4 – Relação dos compartimentos econômicos com a regulação ambiental para a obtenção do uso sustentável da água (ANA, 2005b).

A tensão da sustentabilidade demonstrada na Figura 1.4, representa os impactos causados ao meio ambiente quando ocorre a apropriação da água, ou seja, quando ela passa a ser um recurso hídrico. O acréscimo dessa tensão representa o uso não sustentável da água. Sob esse enfoque, a Lei 9.433 de 1997 entra como mecanismo de regulação utilizando-se de ferramentas como a outorga e a cobrança pelo uso da água.

A outorga parte do princípio que a água não pode ser privadamente apropriada e, conseqüentemente, cria mecanismos para moderar eventuais contradições entre diferentes

usuários de uma mesma bacia hidrográfica. O usuário da água recebe a outorga apenas após o poder outorgante realizar avaliação prévia da disponibilidade quantitativa e qualitativa de água em detrimento dos demais usos da região. Desse modo, a outorga ordena e regulariza os diversos usos da água e protege o próprio usuário contra o mau uso pelos demais (ANA, 2007).

Similarmente à outorga, a cobrança pelo uso da água é vista como grande incentivador para a racionalização do uso e para o reúso da água. A cobrança pelo uso da água permitirá a introdução de tecnologias eficientes e a redução da demanda ineficiente; a participação pública no gerenciamento, realizado em nível das bacias hidrográficas; descentralização das ações; e o equilíbrio entre as forças de mercado, sociais e ambientais (Tucci *et al.*, 2001). Os fundos arrecadados pelo sistema de cobrança devem ser reinvestidos nas próprias unidades de gerenciamento através da educação, pesquisa, obras de saneamento ambiental, regularização de vazões, fiscalização, dentre outras. Entretanto, devido à morosidade em se operacionalizar esse sistema, apenas duas bacias hidrográficas brasileiras realizam, atualmente, a cobrança pelo uso da água.

Ainda que a legislação brasileira não esteja completamente em vigor, regulando os setores usuários dos recursos hídricos e incentivando ações de conservação da água, é importante realçar que a conservação já é praticada por alguns segmentos da economia nacional como, por exemplo, a indústria. Nela, essa prática já é corrente, pois ajuda a incrementar seu desempenho ambiental e a reduzir custos com o tratamento e disposição de efluentes e resíduos. Trabalhos de Produção Mais Limpa (P+L), realizados através da assessoria do Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL/SENAI), evidenciam esse incremento simultâneo no desempenho econômico e ambiental de mais de 400 empresas da América do Sul e África (CNTL, 2009).

A mobilização destes setores da economia na busca de melhor desempenho ambiental e a criação de sistemas de gerenciamento das bacias hidrográficas, ainda parcialmente implantados, demonstra o despertar das forças econômicas, sociais e governamentais brasileiras para a situação de estresse para a qual os recursos hídricos estão sendo conduzidos. Nesse sentido, a conservação da água surge como ação necessária na busca pelo equilíbrio entre a demanda por água e a disponibilidade hídrica, aliviando-se, assim, a tensão da sustentabilidade.

1.4 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

A conservação da água deve ser compreendida como a busca pela gestão sustentável do uso da água. Segundo Oliveira (1999), essa gestão pode ocorrer em três níveis sistêmicos: macro, meso e micro.

O primeiro nível trata dos sistemas hidrográficos que, no Brasil, são regulados pela Agência Nacional de Águas (ANA) a qual deve disciplinar o uso da água das bacias, evitando desperdícios e a poluição (Lei 9.984 de 2000). Ou seja, a finalidade da ANA é implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

O nível meso abrange os sistemas públicos de tratamento e abastecimento de água, e de coleta e tratamento de efluentes. As concessionárias brasileiras, tais como a Companhia Rio Grandense de Saneamento (CORSAN) e a Companhia de Água e Esgoto do Estado de São Paulo (SABESP), enquadram-se nesse nível de gestores de água. Programas de redução de perdas nas redes de distribuição e de conscientização dos usuários finais da água fazem parte dos programas de conservação conduzidos por essas entidades. A SABESP, por exemplo, iniciou uma parceria com a Universidade Federal de São Paulo (USP), em 1995, que consistiu na criação de um

programa de racionalização do uso da água chamado PURA (Programa de Uso Racional da Água).

Os usuários finais da água, ao trabalharem com processos prediais, industriais e agrícolas, compõem o nível micro de gestão. É nesse nível que ocorre, em grande escala, o uso consuntivo da água, ou seja, aquele que altera o montante disponível em quantidade e em qualidade (ANA, 2009). Por esses motivos, esse grupo deve ser alvo de ações que visem à conscientização, educação, incentivo econômico, desenvolvimento tecnológico, regulação e a fiscalização quanto ao uso da água e à geração de efluentes. Os usuários, motivados por esses estímulos de ordem cultural, política e econômica, acabam adotando práticas de conservação da água.

Objetivando-se reduzir o uso consuntivo de água, é importante que se defina a maneira como os usuários de nível micro podem colaborar com esse processo. Esses usuários finais devem ser orientados para que possam contribuir positivamente com a conservação, devendo, sob esse enfoque, conhecer o que significa essa expressão.

Segundo o Manual de Conservação da Água para Usuários Comerciais, Institucionais e Industriais (New Mexico Office of the State Engineer, 1999), a conservação da água é representada por toda e qualquer ação que reduza a quantidade de água extraída das fontes de suprimento, que reduza o uso consuntivo, as perdas e o desperdício de água, que aumente a eficiência de seu uso, sua reciclagem e seu reúso ou que previna a sua poluição.

O conceito de conservação da água prevê a sua preservação em quantidade e em qualidade através da tomada de dois tipos de ação: gestão da demanda e gestão da oferta de água. O primeiro fica evidenciado quando se fala em redução do uso da água, ou seja, usar a água de modo racional evitando perdas e desperdícios. O segundo tipo trata da gestão da oferta da água quando se cita o uso de fontes alternativas tais como o reúso.

1.4.1 Uso racional da água

A partir da Lei 9.433 de 1997 (Brasil, 1997), a água se tornou um bem de valor econômico. Esse recurso natural não é mais visto como inesgotável e barato. Por isso, muitos gerentes industriais passaram a entender que a água desperdiçada é um recurso fora de seu devido lugar, ou seja, um sintoma de mau gerenciamento (Gumbo *et al.*, 2003).

Ao se implantar medidas economizadoras de água, ocorre uma redução da demanda, evitando a sobrecarga do sistema de abastecimento e, conseqüentemente, diminuindo a captação necessária no manancial. Igualmente, há uma redução dos esgotos a serem tratados, o que aumenta a eficiência no tratamento e diminui a poluição dos corpos receptores. Ambos os lados mitigam a degradação dos recursos hídricos e dos sistemas ambientais (Hafner, 2007).

A redução do consumo de água, além das vantagens ambientais, também proporciona vantagens econômicas. A mais direta é a economia do usuário no faturamento mensal. Além disso, a redução no consumo de energia elétrica e na manutenção dos equipamentos, bombas e aquecedores também representam uma vantagem econômica. Por sua vez, a sociedade é beneficiada com a redução nos custos de operação dos sistemas de suprimento de água e de esgotamento sanitário, já que, com uma menor demanda de água, há uma redução dos produtos químicos necessários para o tratamento nas estações de tratamento de água (ETA). Além disso, os sistemas de saneamento, incluídas as elevatórias e as estações de tratamento de água e esgotos, tem sua vida útil e capacidade aumentadas, prorrogando as expansões e evitando a construção de novas infra-estruturas hidráulicas (Hafner, 2007 e USEPA, 1998).

Portanto, usar a água racionalmente significa, não apenas, aproveitar ao máximo cada gota de água, mas agregar resultados econômicos e ambientais aos empreendimentos. Esse conceito é posto em prática através de medidas tais como a eliminação de vazamentos,

substituição de equipamentos ineficientes, mudança de hábitos de consumo e alteração de processos. Sautchúk (2004) classifica essas intervenções de racionalização do uso da água em 4 categorias: eliminação de perdas físicas, otimização de processos que usam água, adequação de equipamentos e componentes hidráulicos, e correção da pressão do sistema hidráulico.

1.4.1.1 Eliminação de perdas físicas

As perdas físicas consistem de vazamentos de água, ou seja, quando há perdas nos sistemas através de tubulações, conexões, reservatórios e equipamentos.

As perdas podem ser classificadas como visíveis e invisíveis sendo que Oliveira (1999) relaciona as formas de identificação das perdas invisíveis conforme segue:

- ↳ Manchas de umidade em pisos e paredes;
- ↳ Sons de escoamento de água;
- ↳ Sistemas de recalque continuamente ligados;
- ↳ Constante entrada de água em reservatórios.

A correção dessas perdas ou vazamentos pode trazer resultados muito importantes à conservação da água. Em trabalho realizado nas unidades do campus universitário da UNICAMP, Pedroso (2002) cita reduções no consumo de água que chegaram a ser superiores a 50% após a eliminação de vazamentos.

As perdas invisíveis, por emitirem sons dificilmente identificáveis sem o auxílio de equipamentos, podem ser localizadas pelo uso de técnicas que usam haste de escuta mecânica, geofone eletrônico (Figura 1.5) e correlacionador de ruídos (Gonçalves e Alvim, 2005).



Figura 1.5 – Geofone eletrônico e seu uso (Gonçalves e Alvim, 2005).

1.4.1.2 Otimização de processos que usam água

Segundo Sautchúk (2004), adequar um processo de uso de água significa estabelecer procedimentos e rotinas que definam maneiras específicas de usá-la em quantidade e qualidade adequadas à necessidade, evitando-se desperdícios.

Como exemplo de otimização de processo, pode-se citar a alteração de um procedimento para tingimento de algodão realizada em uma indústria têxtil (Wenzel e Knudsen, 2005). Segundo o autor, os banhos de remoção do excesso de corantes e pigmentos aplicados no algodão podem ser reduzidos e não contar mais com detergentes e agentes complexantes em sua formulação. Para isso, bastaria se alterar o processo de tingimento através de um pré-tratamento de algodão e realizar o banho pós-tingimento usando água abrandada. A redução no consumo de água chega à ordem dos 50% e os detergentes e demais químicos usados nos banhos são eliminados.

No exemplo citado, a alteração do processo ocorreu nas duas formas citadas por Sautchúk (2004). A água dos banhos passou a ser utilizada apenas na quantidade necessária, pois teve queda de 50% no volume usado, e na qualidade necessária também, pois passou a ter características diferentes ao ser abrandada e não sofrer a adição de detergentes e complexantes.

Outro fator, que talvez seja o mais importante para a otimização de processos que usam água, são as barreiras mentais. Segundo Puplampu e Siebel (2005), os maiores entraves à conservação da água nas empresas são os próprios empregados devido às três seguintes barreiras mentais:

- ↳ Justificação: na qual as pessoas defendem os motivos pelos quais acreditam que a racionalização do uso não dará certo;
- ↳ “Já tentamos isso antes”: ocorre quando as pessoas citam experiências passadas de racionalização que não foram bem sucedidas usando-as como motivo para não realizarem novas intervenções; e
- ↳ “Isso não é trabalho meu”: nessa barreira, as pessoas alegam que, dentre as atribuições da função para a qual foi contratada, não está incluído usar a água racionalmente ou colaborar para que isso aconteça.

Segundo Corral-Verdugo (2002), as barreiras mentais provêm de crenças utilitárias sobre água nas quais os indivíduos pensam nela como um recurso ilimitado e, conseqüentemente, não se sentem compelidos a conservá-la. A literatura pertinente mostra que uma forma de mudar crenças ambientais é a educação ambiental (Legault e Pelletier, 2000), neste caso, dirigida a instigar os cidadãos a desenvolver uma visão pró-ecológica da água como um recurso limitado.

1.4.1.3 Adequação de equipamentos e componentes hidráulicos

Os componentes hidráulicos devem ser escolhidos de acordo com os usos específicos de cada ponto de consumo.

Adequar componentes e equipamentos equivale a trocar aqueles que não sejam adequados ao uso racional da água. Os componentes especificados devem ser compatíveis com a pressão de utilização e com o tipo de uso e de usuário característicos de cada tipo de consumo, devendo proporcionar conforto ao usuário e otimização do consumo de água necessários ao bom desempenho da atividade (FIESP, 2004).

Exemplos de adequação podem ser encontrados nos mais variados segmentos econômicos. Na indústria, um exemplo é a APW Electronics Ltd. Essa fabricante de placas de circuito impresso (PCI) trocou os bicos aspersores utilizados no processo de limpeza das PCI's por bicos autolimpantes de baixo fluxo. Essa adequação de componentes proporcionou uma redução de consumo de água de 40% na atividade, devida a queda de consumo de 3,0 para 1,8 L.min⁻¹ em cada bico (Envirowise, 2001).

Na construção civil, nos últimos anos, popularizou-se o uso de dispositivos economizadores de água nas instalações prediais. Nos locais de uso público que caracterizam uso intenso de água, as torneiras convencionais passaram a ser substituídas por outras de fechamento hidromecânico ou acionado por sensores de presença. Como exemplo de racionalização do uso da água através da instalação desses dispositivos, tem-se o programa PRO-ÁGUA implantado na Universidade Estadual de Campinas (Pedroso, 2002). Foram instalados 2347 componentes economizadores, dentre os quais, 1897 são torneiras de lavatório e 450 são válvulas de mictório. Além disso, foram substituídos 7 mictórios tipo calha por 25 mictórios individuais. Com a

instalação dos componentes economizadores, a redução no consumo de água chegou a 46%. A Figura 1.6 apresenta alguns modelos de torneiras de acordo com seu sistema de acionamento.



Figura 1.6 – Torneiras para lavatórios classificadas conforme sistema de fechamento de fluxo de água (Docol, 2009).

1.4.1.4 Correção da pressão do sistema hidráulico

A pressão elevada pode contribuir para as perdas e os desperdícios de água no sistema hidráulico através do aumento da frequência de rupturas devidas aos golpes de aríete ou do fornecimento de água em quantidade superior à necessária nos pontos de uso. Segundo estudos existentes, a redução de pressão de 30 mca para 17 mca pode resultar em economia de aproximadamente 30% do consumo de água (FIESP, 2004). Constatada a existência de pressão superior à necessária, devem ser especificados os dispositivos adequados para cada atividade, como, por exemplo, constritores de vazão ou válvulas redutoras de pressão.

Como exemplo pode-se citar a redução de 12% do consumo de água de uma indústria de laticínios pela ação de controle da pressão no sistema hidráulico da fábrica por meio da instalação de válvulas redutoras de pressão em pontos estratégicos das tubulações de água, significando uma economia em torno de 14% nos custos de tratamento de água da ETA da fábrica, além das economias geradas nos custos de tratamento de efluentes e de energia elétrica (FIESP, 2004).

1.4.2 Reúso da Água

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), o reúso da água corresponde ao *uso de efluentes, tratados ou não, para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis*.

A expressão “uso de efluentes” pressupõe o uso de uma água de menor qualidade que a água potável e, por isso, constitui uma alternativa mais plausível para que sejam satisfeitas demandas de água menos restritivas. Desse modo, fundamentalmente em regiões que sofrem com o estresse hídrico, libera-se água de melhor qualidade para usos mais nobres, tais como o abastecimento doméstico (Hespanhol, 2001). Ou seja, evita-se o desperdício de água em qualidade.

O reúso pode, ainda, ser classificado de diversas maneiras: direto ou indireto; parcial ou total; planejado ou não planejado; macro externo ou macro interno; e potável ou não potável (Lavrador Filho, 1987; OMS, 1973; Mierzwa e Hespanhol, 2005; Westerhoff, 1984; FIRJAN, 2006):

- ↳ Reúso direto ou reúso de efluentes tratados: ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso. Assim, sofrem em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não são, em momento algum, descarregados ao meio ambiente. Uma variante do reúso direto é o reúso de efluentes brutos, também chamado de reúso em cascata. Nesse caso, o efluente de um determinado processo é usado, sem tratamento, em outro processo subsequente cujas especificações de qualidade de água não o restrinjam.
- ↳ Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante de forma diluída.

- ↳ Reúso parcial: consiste na utilização de uma parcela do efluente gerado. Este processo é indicado quando ocorre a variação da concentração dos contaminantes no efluente com o tempo.
- ↳ Reúso total: consiste na utilização de todo o efluente gerado.
- ↳ Reúso planejado: uso adequadamente concebido e disciplinado, direto ou indireto de efluentes líquidos, tratados ou não, mantendo-se, permanentemente, o controle da qualidade da água associado à modalidade de uso correspondente.
- ↳ Reúso não planejado: uso não deliberado, incidental ou inconsciente, direto ou indireto, de efluentes líquidos, tratados ou não, sem controle da qualidade da água associado à modalidade de uso correspondente.
- ↳ Reúso macro externo: reúso de efluentes provenientes de estações de tratamento administradas por concessionárias ou de outra indústria.
- ↳ Reúso macro interno: uso interno de efluentes tratados ou não provenientes de atividades realizadas na própria indústria.
- ↳ Reúso potável: ocorre quando a água de reúso é utilizada para fins potáveis.
- ↳ Reúso não potável: inversamente ao uso potável, ocorre quando a água de reúso é utilizada para fins não potáveis.

Independentemente do tipo de reúso praticado, essa é uma ação conservadora de água que traz ganhos importantes ao meio ambiente. Ao substituir água de fonte mais nobre, o reúso preserva as fontes naturais de água de duas formas: reduzindo a depleção dos recursos hídricos ao diminuir os volumes captados (quantidade) e reduzindo as cargas poluentes lançadas às estações de tratamento de efluentes e corpos receptores (qualidade) (USEPA, 2004).

Embora estes benefícios sejam importantes, devem-se considerar os riscos associados ao reúso. O controle de riscos inicia pela determinação da qualidade mínima necessária à água

demandada pelas atividades consumidoras. Tais critérios de qualidade devem ser respeitados no momento de se alocar a água de reúso a essas atividades, tomando-se o cuidado de manter as características físicas, químicas e biológicas da água de reúso dentro desses limites (Mancuso e Santos, 2003).

1.4.2.1 Padrões de qualidade necessários ao reúso

A identificação da qualidade necessária à água de reúso passa, primeiramente, pela identificação dos tipos de uso da água existentes. A Tabela 1.1 apresenta quais são os principais tipos praticados na indústria.

Tabela 1.1 – Usos típicos da água na indústria (adaptado de FIESP, 2009b).

Local	Tipos de uso da água
Escritórios	Higiene pessoal • Dessedentação
Refeitórios	Preparação das refeições e lavagem da louça • Limpeza geral
Pátios e jardins	Lavagem de pátios e áreas livres • Rega de gramados e jardins
Fábrica	Processos • Limpeza • Enxágues/ banhos • Resfriamento
Caldeiras	Geração de vapor • Tratamento da água
Expedição	Lavagem de veículos

A escolha das atividades que receberão a água de reúso depende dos riscos associados a cada uma delas. Quando se trata de saúde pública, adotam-se princípios gerais para avaliação do risco sanitário conforme citado por Mancuso e Santos (2003):

- ↳ O reúso não potável é mais seguro que o reúso potável; e
- ↳ O reúso indireto, no qual o processo de recuperação da qualidade inclui um estágio de depuração na natureza, é mais seguro que o reúso direto.

Deve-se considerar, também, o tipo de contato que o usuário terá com essa água, fator determinante do grau de risco associado. Segundo Mancuso e Santos (2003), esse contato pode ocorrer das seguintes maneiras:

- ↳ Ingestão direta da água de reúso;
- ↳ Ingestão de alimentos crus e verduras irrigadas consumidas cruas;
- ↳ Ingestão de alimentos processados (caso de alimentos enlatados que foram irrigados com água de reúso);
- ↳ Contato pela pele por banhos em lagos contendo água de reúso;
- ↳ Inalação de aerossóis formados, por exemplo, em sistemas de irrigação por aspersão ou em aeração superficial de lagoas;
- ↳ Contato por meio da visão e olfato como ocorre em descargas sanitárias.

Com vistas nos riscos à saúde citados, o setor industrial tem optado por praticar o reúso da água em atividades tais que os minimizem e que consumam volumes expressivos de água. Segundo diversos autores (Asano, 1991; Crook, 1996; Hespanhol, 1997; Beeckman, 1998; *apud* Mierzwa e Hespanhol, 2005) as principais aplicações de reúso de água na indústria são:

- ↳ Refrigeração;
- ↳ Reposição de água de caldeiras;
- ↳ Água de processo;
- ↳ Construção pesada;
- ↳ Lavadores de gases;
- ↳ Lavagem de pisos e peças; e
- ↳ Irrigação de áreas verdes;

A apresentação de uma relação de atividades capazes de receberem água de reúso parece simplificar essa prática, contudo, para cada atividade listada, os critérios de qualidade exigidos para a água podem variar. Essa é uma característica típica do setor industrial, pois os usos de água e as tecnologias envolvidas são bastante diversificados. Exemplo disso é o da água usada em lavagens e em processos industriais. Na indústria de eletrônicos, a qualidade da água de lavagens das placas de circuito impresso e de outros componentes eletrônicos deve ser quase destilada. Por outro lado, em curtumes a água pode ser de qualidade muito baixa e nas indústrias têxteis, da polpa e papel e metal-mecânica a qualidade requerida é intermediária. Portanto, a determinação da viabilidade técnica para reúso deve passar por estudos específicos que identifiquem a real necessidade de cada tipo de uso (USEPA, 2004).

Ainda que não existam padrões únicos estabelecidos para a qualidade da água de reúso, existem critérios de qualidade orientativos ou estabelecidos em legislações. Dentre esses critérios, a NBR 13969 (ABNT, 1997) cita a turbidez, os coliformes totais (CT), os sólidos suspensos totais (SST), o pH, oxigênio dissolvido (OD) e o cloro residual (Cl_R) com a finalidade de se preservar a saúde pública, o patrimônio e de evitar a objeção ao uso devido aos aspectos estéticos da água.

Segundo Metcalf e Eddy (2003), a turbidez proporciona uma medida do aspecto visual da água que, quando elevada, causa objeção ao uso. O Cl_R é um indicador de segurança ao usuário da água de reúso, pois indica que existe capacidade desinfetante residual. A presença de microrganismos, tais como coliformes totais, indica que o processo de desinfecção é ineficiente e que o usuário corre riscos de contaminação. O SST pode abrigar microrganismos da ação dos desinfetantes e, também, formar depósitos sobre veículos quando limpos com água de reúso. O pH dos efluentes, dependendo da faixa, pode auferir caráter corrosivo ou incrustante à água,

danificando equipamentos e o OD baixo favorece a anaerobiose com o surgimento de odor e de vetores. Os limites para esses parâmetros, citados na NBR 13969, encontram-se na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Critérios de qualidade para a água de reúso (adaptado de ABNT, 1997).

Classe	Atividade	Critérios de qualidade
1	Lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário	Turbidez < 5 uT CT ⁽¹⁾ < 200 NMP.100 mL ⁻¹ SST < 200 mg.L ⁻¹ 6 < pH < 8 0,5 mg.L ⁻¹ < Cl _R ⁽²⁾ < 1,5 mg.L ⁻¹
2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5 uT CT < 500 NMP.100 mL ⁻¹ Cl _R > 0,5 mg.L ⁻¹
3	Descargas em vasos sanitários.	Turbidez < 10 uT CT < 500 NMP.100 mL ⁻¹
4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagem para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	CT < 5000 NMP.100 mL ⁻¹ OD ⁽³⁾ > 2,0 mg.L ⁻¹

Na bibliografia, encontram-se limites orientativos para os parâmetros de qualidade da água usada nos processos industriais. A Tabela 1.3 apresenta exemplos para a indústria química.

Tabela 1.3 – Requisitos de qualidade de água para uso na indústria química (adaptado de Nemerow e Dasgupta, 1991).

Indústria de produtos químicos	Cor (UH)	Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	Cloro (mg.L ⁻¹)	Dureza (mg.L ⁻¹)	Ferro (mg.L ⁻¹)	Manganês (mg.L ⁻¹)	Nitrato (mg.L ⁻¹)	pH	Sulfato (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	Sílica (mg.L ⁻¹)	Cálcio (mg.L ⁻¹)	Magnésio (mg.L ⁻¹)	Bicarbonato (mg.L ⁻¹)
Cloro e Álcali	10	80		140	0,1	0,1		6,0 - 8,5			10		40	8	100
Carvão de alcatrão	5	50	30	180	0,1	0,1		6,5 - 8,3	200	400	5		50	14	60
Compostos orgânicos	5	125	25	170	0,005	0,1		6,5 - 8,7	75	250	5		50	12	128
Compostos inorgânicos	5	70	30	250	0,005	0,1		6,5 - 7,5	90	425	5		60	25	210
Plásticos e resinas	2	1,0	0	0	0,1	0,005	0	7,5 - 8,5	0	1,0	2,0	0,02	0	0	0,1
Borracha sintética	2	2	0	0	0,2	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,05	0	0	0,5
Produtos Farmacêuticos	2	2	0	0	1,0	0,005	0	7,5 - 8,5	0	2,0	2,0	0,02	0	0	0,5
Sabão e detergentes	5	50	40	130	0,1	0,1		6,5	150	300	10,0		30	12	60
Tintas	5	100	30	150	0,1	0,1		6,5 - 8,0	125	270	10		37	15	125
Madeira e resinas	200	200	500	900	0,005	0,2	5	6,5 - 8,5	100	1000	30	50	100	50	250
Fertilizantes	10	175	50	250	0,005	0,2	5	6,8	150	300	10	25	40	20	210
Explosivos	8	100	30	150	0,1	0,1	2	6,0 - 9,0	150	200	5	20	20	10	120
Petróleo			300	350	0,2			6,0 - 8,5		1000	10		75	30	

Quando se identifica uma fonte de oferta de água de reúso cujos parâmetros encontram-se dentro de limites como os citados na Tabela 1.3, pode-se realizar o reúso em cascata, ou seja, reusa-se um efluente que não passou por sistemas de tratamento. Um exemplo do reúso em cascata é o que ocorre nos sistemas de lavagem em contracorrente nas galvanoplastias. Nessas lavagens, as peças que sofreram banhos químicos seguem no sentido contrário ao fluxo da água e dos efluentes. Desse modo, o efluente de um ciclo de lavagem é utilizado na lavagem do ciclo anterior, sendo que a peça vai aumentando seu grau de limpeza através da utilização de água de reúso em quase todos esses ciclos (Figura 1.7).

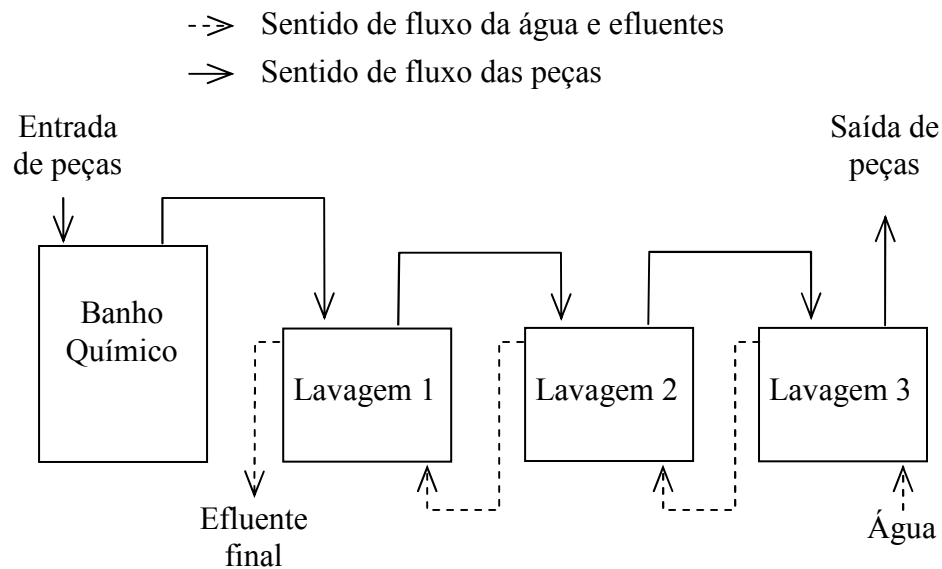


Figura 1.7 – Sistema de lavagem em contracorrente usado em galvanoplastias (adaptado de Pacheco, 2002).

Quando o reúso de efluentes não tratados (bruto) não é tecnicamente viável devido à baixa qualidade desse efluente, pode-se praticar o reúso parcial. Essa opção requer a mistura de água do sistema de abastecimento de modo que as concentrações de poluentes, tais como SST e DBO₅, por exemplo, sejam reduzidas até níveis aceitáveis (Mierzwa e Hespanhol, 2005).

Como resultado do reúso, a demanda por água do sistema de abastecimento e a geração de efluentes diminuem. Por outro lado, a concentração dos contaminantes no efluente remanescente

aumenta, pois a carga de contaminantes não muda. Por esse motivo, os sistemas de tratamento de efluentes podem necessitar de readequações após as medidas de racionalização de água e de reúso em cascata terem sido operacionalizadas. Portanto, a opção pelo reúso de efluentes tratados só deve ser considerada após avaliação e implantação de todas as alternativas que lançam mão da racionalização do uso da água e do reúso em cascata (Mierzwa e Hespanhol, 2005).

1.4.2.2 Tecnologias de tratamento para reúso de efluentes

A escolha das tecnologias de tratamento para a obtenção da qualidade especificada em cada modalidade de uso requer, primeiramente, a identificação da qualidade da água disponível para reúso. Um exemplo de reúso historicamente praticado, cuja qualidade da água ofertada é amplamente conhecida, é o reúso indireto. No Brasil, a água doce que compõe os corpos hídricos superficiais constitui a fonte de oferta para esse tipo de reúso e tem sua qualidade conhecida e classificada conforme a resolução nº 357 do CONAMA (2005). Essa resolução classifica a água doce, por exemplo, em cinco níveis de qualidade e determina quais são os usos possíveis e os tratamentos necessários a cada nível para que o consumo humano possa ser praticado.

No caso da água doce, para que ela possa ser classificada como classe 1, por exemplo, é necessário que atenda uma série de restrições qualitativas tais como:

- ↳ Materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;
- ↳ Óleos e graxas: virtualmente ausentes;
- ↳ Substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;
- ↳ Corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;
- ↳ Resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;
- ↳ DBO₅ até 3 mg de O₂.L⁻¹;
- ↳ OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg.L⁻¹ O₂;

- ↳ Turbidez até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT);
- ↳ Cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt-Co.L⁻¹;
- ↳ pH entre 6,0 e 9,0.

A Tabela 1.4 aponta quais são os níveis de tratamento requeridos para que cada classe de água doce, apresentada na resolução n° 357 do CONAMA, possa ser usada para consumo humano e quais são os demais usos possíveis sem tratamento. Ou seja, essa resolução determina critérios para reúso indireto com e sem tratamento.

Tabela 1.4 – Classificação dos corpos d’água e seus respectivos usos possíveis e níveis de tratamento requeridos para consumo humano (adaptado de CONAMA, 2005).

Classe	Tratamento para consumo humano	Demais usos possíveis
Especial	Desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas. • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	Tratamento simplificado	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção das comunidades aquáticas. • Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho. • Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película. • Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	Tratamento convencional	<ul style="list-style-type: none"> • Proteção das comunidades aquáticas; • Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho. • Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto. • Aquicultura e à atividade de pesca.
3	Tratamento convencional ou avançado	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. • Pesca amadora. • Recreação de contato secundário. • Dessedentação de animais.
4	Vetada ao consumo humano	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação. • Harmonia paisagística.

Por outro lado, no setor industrial, o tipo de reúso praticado costuma ser o direto, ou seja, realiza-se o reúso do efluente antes dele ter sido despejado, diluído e depurado na natureza. A qualidade dos efluentes industriais tem uma variabilidade muito grande, pois cada atividade gera efluentes com características muito particulares (Mancuso e Santos, 2003). Ainda que gerados em um mesmo ramo de atividade industrial, os efluentes podem ser muito diferentes entre si. Um exemplo disso pode ser observado na Tabela 1.5 a qual demonstra que o pH das “águas brancas”

das fábricas de papel pode oscilar entre 4,9 e 7,3 e a concentração de alguns metais pode apresentar variações da ordem de 100 vezes.

Tabela 1.5 – Faixas típicas de concentração dos constituintes das “águas brancas” das fábricas de papel (adaptado de ETSU, 1997).

Parâmetro	Faixa
pH	4,9 – 7,3
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	3 – 11
DQO (mg.L ⁻¹)	4500 – 22000
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	2000 – 8000
SST (mg.L ⁻¹)	4500 – 23000
SDT (mg.L ⁻¹)	1000 – 10000
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	240 – 2350
Cloretos (mg.L ⁻¹)	130 – 2950
Sódio (mg.L ⁻¹)	100 – 800
Cálcio (mg.L ⁻¹)	360 – 2040
Magnésio (mg.L ⁻¹)	30 – 110
Ferro (mg.L ⁻¹)	0,1 – 47
Alumínio (mg.L ⁻¹)	0,5 – 53
Microorganismos aeróbios (10 ⁶ NMP.100 mL ⁻¹)	100 – 300
Microorganismos anaeróbios (10 ⁶ NMP.100 mL ⁻¹)	15 – 950

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), devido a esta variabilidade na qualidade dos efluentes industriais, eles deverão ser caracterizados previamente assim como a qualidade requerida para cada atividade em que se pretende fazer reúso da água. Posteriormente, devem-se identificar quais são as opções de tratamento que proporcionam a adequação necessária conforme os parâmetros que se deseja ajustar.

Em muitos casos, o tratamento adotado para a obtenção de água de reúso utiliza as mesmas tecnologias empregadas no tratamento de água de abastecimento humano, mas muitas vezes torna-se necessário lançar mão do uso de tecnologias adicionais, as quais são específicas para a remoção de contaminantes presentes nos efluentes. De maneira similar ao que ocorre com

o tratamento de água, pode ser necessário promover a combinação entre duas ou mais tecnologias para que sejam obtidos resultados satisfatórios (Mierzwa e Hespanhol, 2005). Na Tabela 1.6 são apresentadas algumas das tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes com vistas ao reúso da água.

Tabela 1.6 – Operações e processos unitários usados no tratamento de efluentes para reúso e seu potencial para remoção de contaminantes (adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Parâmetros	Tratamento primário	Lodos ativados (LA)	Nitrificação	Desnitrificação	Filtro biológico	Biodisco	Coagulação Floculação Sedimentação	Filtração após Lodos Ativados	Adsorção por carvão ativado	Stripping de amônia	Cloração ao breakpoint	Troca iônica	Osmose reversa	Ozonização
DBO	B	E	E	NE	E	E	E	B	E	NE		B	E	NE
DQO	B	E	E	NE	E		E	B	B	NE		B	E	E
SST	E	E	E	NE	E	E	E	E	E	NE		E	E	
NH ₃ -N	NE	E	E	B		E	NE	B	B	E	E	E	E	
NO ₃ -N				E			NE	B	NE	NE				
Fósforo	NE	B	E	E			E	E	E	NE			E	
Alcalinidade		B					B	E		NE				
Óleos e Graxas	E	E	E				B		B	NE				
Coliformes totais		E	E		NE		E		E	NE	E			E
SDT														E
Arsênio	B	B	B				B	E	NE	NE				
Bário		B	NE				B	NE		NE				
Cádmio	B	E	E		NE	B	E	B	NE	NE				
Cromo	B	E	E		NE	E	E	B	B	NE				
Cobre	B	E	E		E	E	E	NE	B	NE				
Fluoreto							B		NE	NE				
Ferro	B	E	E		B	E	E	E	E	NE				
Chumbo	E	E	E		B	E	E	NE	B	NE				
Manganês	NE	B	B		NE		B	E	B	NE			E	
Mercurio	NE	NE	NE		NE	E	NE	B	NE	NE				
Selênio	NE	NE	NE				NE	E	NE	NE				
Prata	E	E	E		B		E		B	NE				
Zinco	B	B	E		E	E	E		E	NE				
Cor	NE	B	B		NE		E	B	E				E	E
Surfactantes	B	E	E		E		B		E				E	NE
Turbidez	B	E	E	NE	B		E	E	E				E	
COT	B	E	E	NE	B		E	B	E	NE		NE	E	E

E = Eficaz (remoção ≥ 50%), B = Bom (25% < remoção < 50%), NE = Não eficaz (remoção ≤ 25%)

As células em branco representam insuficiência de dados, resultados não conclusivos ou aumento da concentração.

O tratamento primário, citado na Tabela 1.6, envolve a remoção dos sólidos suspensos presentes no efluente. O gradeamento e a sedimentação normalmente são utilizados nesse processo de separação. O efluente desse tipo de tratamento estará composto por uma quantidade considerável de compostos orgânicos e terá DBO final relativamente elevada (Metcalf e Eddy, 2003).

Os sistemas de tratamento biológico, tipo lodos ativados, nitrificação, desnitrificação, filtro biológico e biodiscos, constituem a etapa chamada de tratamento secundário. Nessa fase, os sistemas de tratamento removem matéria orgânica e sólidos suspensos que passaram pelo tratamento primário. Os efluentes de tratamento secundário de esgotos domésticos apresentam baixa DBO₅ e de SST com valores médios em torno de 30 mg.L⁻¹ para ambos. É importante ressaltar que muitos compostos orgânicos são refratários aos tratamentos biológicos e, por isso, permanecem no efluente tratado. A maioria desses compostos provém de produtos artificiais tais como detergentes, óleos, pesticidas, fenóis e compostos nitrogenados (Lundin, 2000).

A coagulação, floculação e sedimentação são processos que, associados, objetivam a remoção de compostos coloidais e sólidos suspensos de baixa densidade. Esse tipo de tratamento é, muitas vezes, incluído como tratamento primário, pois também tem o objetivo de remover material em suspensão. O que os diferencia é que, na coagulação, floculação e sedimentação, adicionam-se produtos químicos tais como o sulfato de alumínio, cloreto férrico e polieletrólitos para que se consiga remover a parcela suspensa e coloidal de difícil remoção. Essa adição química promove a desestabilização das partículas coloidais, permitindo que seu tamanho aumente devido à colisão entre partículas. Formam-se, então, coágulos e flocos com densidade suficiente para serem removidos por sedimentação (Metcalf e Eddy, 2003).

O processo de filtração após os lodos ativados tem por objetivo remover do efluente tratado as partículas que ainda se encontram presentes. A remoção ocorre através de um meio filtrante composto, principalmente, por areia. Além do meio filtrante, também fazem parte de um sistema de filtração a camada que suporta este meio, o sistema de alimentação, o sistema de drenagem e o sistema de retro-lavagem do filtro, já que este apresenta uma capacidade limitada de retenção das partículas (Mierzwa, 2002).

A adsorção por carvão ativado ocorre, basicamente, quando o carvão em pó é dosado no efluente ou quando o efluente flui através de um leito de carvão ativado granular. Esse tipo de tratamento remove matéria orgânica solúvel presente no efluente através de sua adsorção na superfície do carvão. As forças químicas como pontes de hidrogênio, interação dipolo-dipolo e forças de Van der Waals são as responsáveis pela adsorção. Esse processo tem sido muito utilizado no tratamento de efluentes industriais para a obtenção de qualidade suficiente para o reúso (Metcalf e Eddy, 2003).

O *stripping* ou extração de amônia pode ser feito com ar ou vapor e consiste em transferir contaminantes voláteis de uma fase líquida para uma fase gasosa. Um exemplo desse tipo de sistema são as colunas de recheio nas quais se injeta ar pela base e o efluente na parte superior da coluna, em contrafluxo. À medida que as duas correntes passam pelo recheio da coluna, há o aumento da superfície de contato e os componentes mais voláteis são removidos. A eficiência de remoção da amônia, componente volátil presente em efluentes tratados biologicamente, chega a ser de 90% nas torres de recheio (Mierzwa e Hespanhol, 2005).

A cloração ao *breakpoint* tem o mesmo objetivo que o *stripping*, ou seja, remover o nitrogênio amoniacal presente no efluente. Por outro lado, a cloração é um processo químico que usa o cloro para oxidar o oxigênio amoniacal. Esse processo, quando devidamente controlado,

consegue remover toda a amônia do efluente, porém oferece uma série de inconvenientes que faz com que ele seja pouco usado na atualidade. A cloração ao *breakpoint* aumenta o SDT e os compostos organoclorados presentes no efluente podendo prejudicar equipamentos industriais e oferecer riscos de câncer à população devido aos organoclorados (Metcalf e Eddy, 2003).

A ozonização é um processo químico de oxidação utilizado para diversos fins no tratamento de água e de efluentes, pois é capaz de remover cor, melhorar o sabor e o odor, promover a desinfecção, oxidar íons metálicos e compostos orgânicos como o ferro, o manganês, cianetos, fenóis, benzeno, antrazina e outros poluentes. O ozônio tem poder de oxidação 50% superior ao do cloro e é um excelente composto para tratamento de efluentes de origem industrial, pois pode aumentar a sua biodegradabilidade, ou seja, a relação DBO₅/DQO (Lundin, 2000).

A troca iônica pode ser usada na remoção de cátions e ânions de presença indesejável nas águas de reúso. O cálcio e o magnésio, por exemplo, são cátions que atribuem dureza à água de alimentação de caldeiras, podendo prejudicá-las devido a potencial formação de depósitos em suas tubulações. Na remoção desses cátions, usam-se resinas chamadas de catiônicas as quais possuem grupos funcionais ácidos responsáveis pelo aprisionamento dos cátions. O equipamento que compõe esse processo é composto por uma coluna recheada com a resina granular por onde o efluente permeia. Quando saturadas, as resinas passam por processos de regeneração através de banhos ácidos quando as resinas são catiônicas e básicos quando são aniônicas (Lundin, 2000).

A osmose inversa corresponde a um processo de separação por membranas capaz de remover íons inorgânicos, moléculas orgânicas residuais de tratamentos anteriores, turbidez, vírus e bactérias. Nela, a solução cujos contaminantes deseja-se remover é pressionada contra a membrana através de pressão hidráulica. Duas correntes formam-se então: uma que permeia a

membrana (permeado) e fica “livre” dos contaminantes e a outra, chamada de concentrado, que fica altamente concentrada desses contaminantes (Lundin, 2000).

A osmose inversa é adequada para tratar águas cuja concentração de sais dissolvidos varia entre 5 mg.L^{-1} e 34.000 mg.L^{-1} com uma recuperação superior a 90% em relação ao volume alimentado ao sistema. As principais vantagens desse tipo de processo é o baixo consumo de energia, de investimento e de operação, porém a presença de materiais em suspensão e de alguns compostos químicos pode danificar as membranas e inutilizá-las precocemente. Outro fato importante a ser considerado na instalação de um sistema de osmose inversa é o destino final do concentrado, pois não pode ser descartado diretamente na natureza e estações de tratamentos de efluentes poderão sofrer problemas de queda de eficiência caso não estejam dimensionadas para recebê-lo (Mierzwa e Hespanhol, 2005).

Muito embora a escolha por um dos tipos de tratamento citados ou pela combinação deles requeira estudo mais aprofundado das características do efluente disponível para reúso, alguns limites para os níveis de tratamento e qualidade da água de reúso industrial são citados em legislações internacionais conforme mostra a Tabela 1.7.

Tabela 1.7 – Limites de qualidade e níveis mínimos de tratamento dos efluentes industriais para reúso nos estados norte americanos (adaptado de USEPA, 2004).

	Califórnia	Flórida	Hawaii	Texas	Washington
Tratamento ⁽¹⁾	Oxidação e desinfecção	Tratamento secundário e desinfecção básica	Oxidação e desinfecção	NEs	Oxidação e desinfecção
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	NEs	20	NEs	20	NEs
SST (mg.L ⁻¹)	NEs	20	NEs	NEs	NEs
Turbidez (UNT)	NEs	NEs	NEs	3	NEs
Coliformes (NMP.100 mL ⁻¹)	Totais	Fecais	Fecais	Fecais	Totais
	23 (média)	200 (média)	23 (média)	200 (média)	23 (média)
	240 (máximo em 30 dias)	800 (máximo)	200 (máximo)	800 (média)	200 (média)

⁽¹⁾ Todos os níveis de tratamento especificados representam o mínimo. Tratamento adicional poderá ser necessário dependendo do nível de exposição pública à água de reúso.

⁽²⁾ NEs = não especificado.

1.4.2.3 Concentração de contaminantes no sistema

A implantação de um sistema de reúso da água pode resultar no aumento da concentração de contaminantes cujos processos de tratamento não conseguem remover eficientemente. Os sais dissolvidos totais (SDT) são um exemplo disso e podem causar danos a equipamentos quando se encontram em concentrações muito elevadas e condições específicas de pH e temperatura da água.

Visando identificar antecipadamente problemas como este e tornar o reúso uma prática sustentável, é preciso que se avalie a concentração destes contaminantes no sistema. Isso permite determinar o potencial máximo de reúso de efluentes sem que se ultrapassem os padrões de qualidade requeridos e os limites máximos de lançamento de efluentes (Mierzwa e Hespanhol, 2005). No caso de SDT, os índices de Ryznar e Langelier (Metcalf e Eddy, 2003) devem ser calculados previamente para que se determine se a água terá ou não caráter incrustante ou corrosivo. Ao confirmar-se uma tendência dessas, é necessário avaliar a viabilidade do reúso de água dessa fonte. Conforme visto anteriormente, tecnologias de tratamento tais como a osmose inversa ou o reúso parcial desse efluente viabilizariam o reúso tecnicamente.

A avaliação da viabilidade técnica e da opção a ser adotada é realizada através do balanço de massa para os contaminantes. Essa é uma ferramenta que permite identificar antecipadamente se ocorrerá a concentração de contaminantes no sistema. A partir de dados disponíveis sobre a demanda de água, perda por evaporação e efluentes lançados ao meio ambiente, pode-se chegar à carga de contaminantes incorporada à água durante os processos produtivos desenvolvidos (Mierzwa, 2002).

A Figura 1.8 apresenta um exemplo de delimitação de sistema para que se faça o balanço de massa para o SDT. Nessa Figura, “Q” representa a vazão e “C” a concentração de SDT.

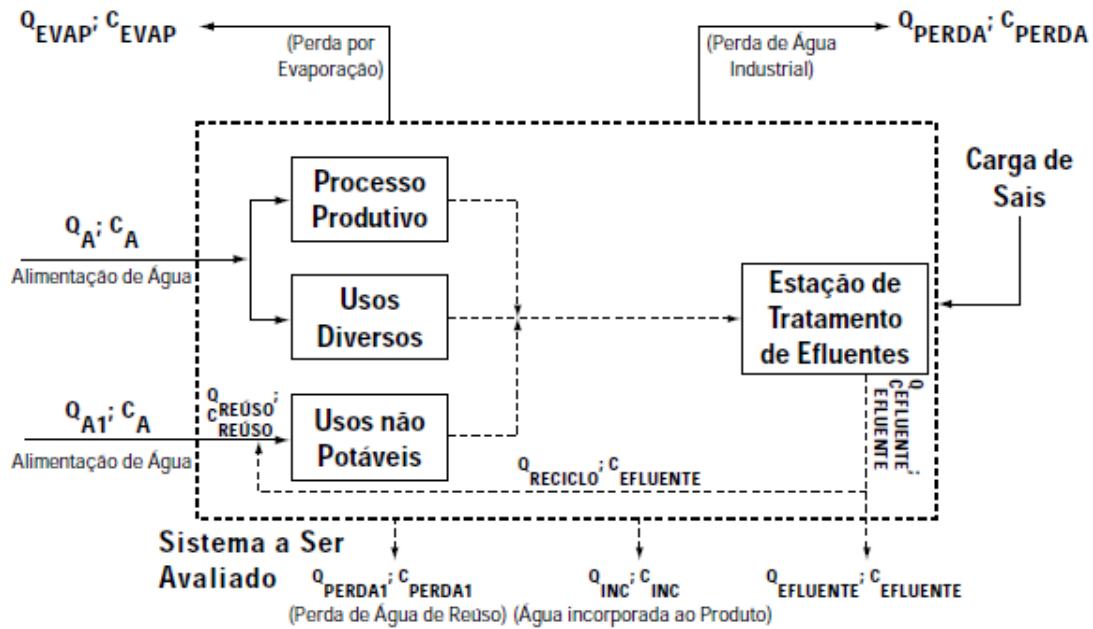


Figura 1.8 – Diagrama esquemático para a obtenção da variação da concentração de SDT no efluente e na água de reúso devido ao reúso de efluentes (FIESP, 2004).

O limite de concentração “C” para a água de reúso será dado pelas restrições devidas aos tipos de uso nos quais ela será aplicada e pelas limitações que imporá à operação da estação de tratamento de efluentes. Na Figura 1.8, identifica-se essas limitações de qualidade em $C_{RECICLO}$ e $C_{EFLUENTE}$, pois a primeira precisa atender à qualidade exigida pelos usos não potáveis e a segunda aos limites estabelecidos em legislação para o lançamento de efluentes.

1.4.3 Implantação da conservação da água em indústrias

A conservação da água constitui uma das ferramentas dos sistemas de gestão ambiental e, por isso, deve estar em consonância com suas diretrizes. Segundo Sans *et al.* (1998), um bom sistema de gestão ambiental deve:

- ↪ Atender a legislação ambiental vigente;
- ↪ Prevenir impactos acidentais ao meio ambiente;
- ↪ Proporcionar boa imagem pública à empresa;

- ↳ Obter benefícios econômicos através da minimização do uso de energia, água e demais recursos; e
- ↳ Obter benefícios econômicos através da redução na geração de resíduos.

Visando o atendimento destas diretrizes, a conservação da água foi consolidada através de programas chamados de PCA (Programas de Conservação da Água). Eles são compostos por diretrizes que visam à obtenção da conservação da água através do atingimento das metas dos sistemas de gestão ambiental. Segundo o Manual de Conservação e Reúso de Água para a Indústria (FIESP, 2004), os resultados de um PCA que contribuem para as metas dos sistemas de gestão ambiental são:

- ↳ Geração de economia pela redução do consumo de água;
- ↳ Geração de economia pela redução dos efluentes gerados;
- ↳ Geração de economia resultante da redução no uso de outros insumos como: energia e produtos químicos;
- ↳ Eliminação da necessidade de ampliação de ETE's e de ETA's devido ao aumento da produção;
- ↳ Redução de custos operacionais e de manutenção dos sistemas hidráulicos e de equipamentos;
- ↳ Aumento da disponibilidade de água (proporcionando aumento da produção sem incremento de custos de captação e tratamento);
- ↳ Agregação de valor aos produtos;
- ↳ Minimização dos impactos da cobrança pelo uso da água; e
- ↳ Complementação das ações de responsabilidade social da empresa.

Segundo Sautchúk (2004), a implantação de um PCA consiste da aplicação das ferramentas de conservação da água, ou seja, da racionalização do uso e do reúso da água, de forma sistêmica. Isso significa dizer que as técnicas conservativas são parte integrante de um

sistema de gestão da água fundamentado, basicamente, em etapas de planejamento, desenvolvimento, ação e controle conforme mostra a Figura 1.9.

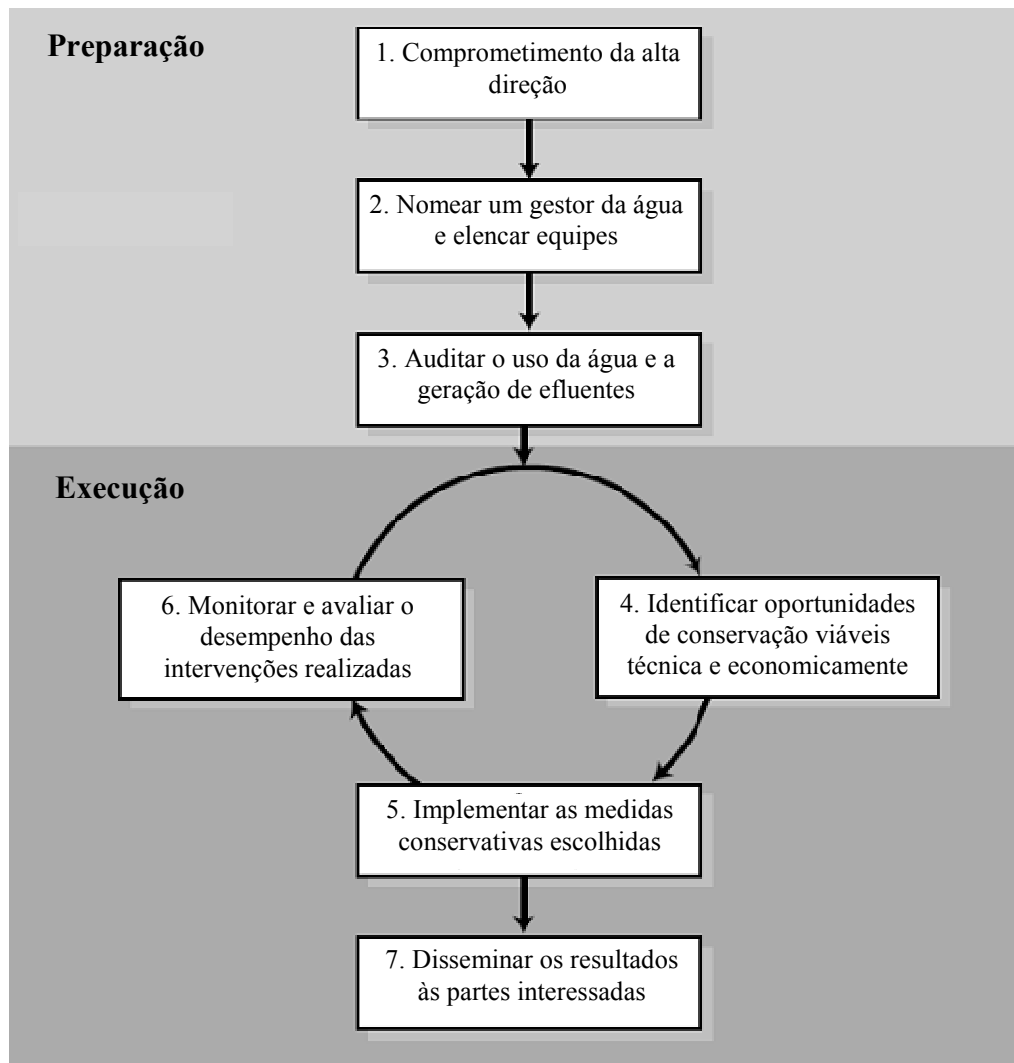


Figura 1.9 – Sistema de gestão da água para a indústria (adaptado de ETSU, 1997).

É justamente na etapa da execução do PCA, mostrada na Figura 1.9, que a conservação da água propriamente dita ocorre. Ela deve iniciar pela definição de indicadores que representem a situação inicial de uso da água de modo que essa possa ser reavaliada após as ações conservativas terem sido tomadas. Indicadores de consumo específico costumam ser adotados para tanto, pois representam a eficiência do uso da água ou da geração de efluentes. Na produção de papel e de

produtos químicos, por exemplo, adota-se o volume de água consumido e de efluente gerado para a produção de cada tonelada de produto fabricado ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$) (ETSU, 1997).

O Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria (FIRJAN, 2006) propõe a aplicação de Planos de Conservação e Reúso da Água (PCRA) os quais correspondem à execução dos passos 3, 4 e 5 apresentados na Figura 1.9, ou seja, aos passos de planejamento e execução das intervenções conservativas.

Segundo FIRJAN (2006), um PCRA é composto por uma sequência de 3 etapas:

- ↳ Levantamento de dados;
- ↳ Otimização do uso da água; e
- ↳ Reúso da água.

Durante o levantamento de dados, faz-se uma análise dos documentos referentes ao uso da água e à geração de efluentes. Dentre eles, pode-se citar: características da produção industrial; registros sobre o consumo de água nas atividades industriais; laudos de caracterização dos efluentes; qualidade da água requerida nos processos produtivos; manuais de rotinas operacionais; e planos e programas futuros de expansão industriais que poderão alterar a conservação da água (FIRJAN, 2006).

A outra fonte de consulta para a obtenção de dados são as visitas de campo. Nelas, coletam-se informações que não estão disponíveis na documentação e verifica-se se os dados presentes nos documentos são correspondidos pelas práticas vistas em campo (Sautchúk, 2004). Durante essas visitas, identificam-se, também, os pontos de consumo de água nos quais deverão ser instalados medidores de vazão. Desse modo, consegue-se monitorar o consumo nos setores e equipamentos com importante potencial de conservação da água.

Ao final do levantamento de campo, obtém-se o macro e o microfluxo do uso da água e da geração de efluentes. O macrofluxo consiste da determinação das entradas e saídas de água do sistema cujos limites correspondem aos limites físicos da indústria ou da edificação estudada (FIESP, 2004). Um exemplo das entradas e saídas de água a serem consideradas no macrofluxo é apresentado na Figura 1.10.

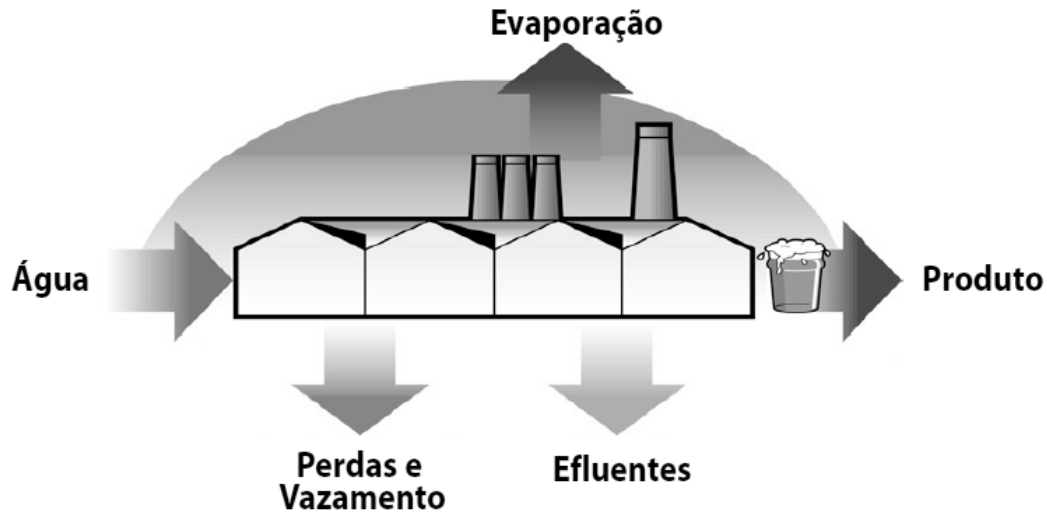


Figura 1.10 – Componentes do macrofluxo em uma indústria (FIESP, 2009b).

O microfluxo, por sua vez, é resultante da compilação de dados coletados nos medidores de consumo instalados. A apresentação desses dados pode ser feita sob forma de fluxogramas expressando as correntes líquidas, e de gráficos e tabelas representando a participação de cada setor no consumo de água e na geração de efluentes (FIRJAN, 2006).

A etapa de otimização do uso da água corresponde à racionalização do uso descrita no item 1.4.1 deste Capítulo. Nela, a demanda de água levantada na etapa anterior é avaliada e metas de redução do consumo são estabelecidas. Um plano de minimização de perdas físicas e de desperdícios é, então, traçado e posto em prática (FIRJAN, 2006).

Esgotadas as oportunidades de racionalização do uso, passa-se à avaliação das oportunidades de reúso da água conforme apresentado no item 1.4.2 do presente Capítulo. A

qualidade requerida para a água usada em cada processo e a qualidade da água de reúso disponível nos efluentes brutos e tratados, determinada durante o levantamento de dados, são avaliadas e confrontadas com a finalidade de se identificar oportunidades de reúso. Depois de compatibilizadas as qualidades, a alocação dos volumes é prevista conforme a disponibilidade na oferta e a quantidade demandada para reúso. Traçam-se, então, novas metas de conservação da água e implanta-se o reúso (FIRJAN, 2006).

Após as intervenções de uso racional e reúso da água terem sido tomadas, volta-se a monitorar os micro e macrofluxos assim como os demais indicadores estabelecidos como, por exemplo, o consumo específico da água. Esse monitoramento permite a aquisição de dados para a realização do controle dos possíveis desvios referentes às metas estabelecidas para melhoria da conservação (FIRJAN, 2006).

Os resultados positivos provenientes do acompanhamento destes indicadores de conservação da água devem ser divulgados às partes interessadas frequentemente, conforme previsto no passo 7 do fluxograma apresentado na Figura 1.9. Segundo o New Mexico Office of the State Engineer (1999), a divulgação de resultados positivos motiva essas partes a continuarem participando, pois percebem que seus esforços foram válidos e contribuíram para a conservação.

1.5 A INDÚSTRIA DE EMBALAGENS DE PAPELÃO ONDULADO

O primeiro registro de um material que sofreu ondulação foi em 1856 na Inglaterra, através da patente dada a Edward Charles Healey e Edwards Ellis Allen: o papel ondulado serviu de estrutura para o cilindro formador das cartolas (Maltenfort, 1988).

O uso do papel ondulado como embalagem se iniciou em 1871, quando o norte americano Albert L. Jones recebeu a patente por seu trabalho intitulado “Aperfeiçoamento do Papel para

Embalagens”. Essas embalagens eram constituídas por uma única folha ondulada e tiveram uso inicial na proteção de garrafas e de lampiões a querosene (Maltenfort, 1988).

O maior problema desse tipo de embalagem era a falta de estabilidade da forma ondulada, ou seja, o papel apresentava a tendência a retomar sua forma plana inicial. Desse modo, ele perdia a capacidade de proteger do impacto os produtos que embalava. Surgiu, então, em 1874, o chamado “face simples” (Figura 1.11) que era constituído por duas folhas de papel: uma ondulada e outra plana. Essa nova combinação atribuía a esse tipo de embalagem a resistência necessária ao impacto com a vantagem de manter sua forma inicial e, conseqüentemente, sua capacidade de proteger os produtos (Maltenfort, 1988).



Figura 1.11 – Imagem de um face simples (conjunto de um elemento plano aderido a um elemento ondulado) (Trombini, 2004).

Nos anos seguintes, o face simples recebeu mais um elemento plano, surgindo a primeira chapa de papelão ondulado de parede simples, elemento constituinte das caixas de papelão ondulado (PO) até os dias atuais (Figura 1.12). No início, as chapas de PO eram usadas apenas como divisórias internas das caixas de madeira e na substituição de materiais como serragem e palha (Maltenfort, 1989).

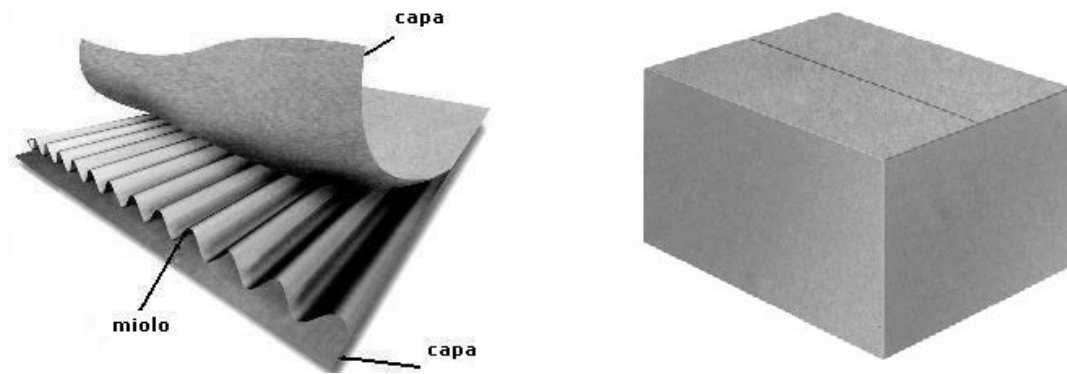


Figura 1.12 – Imagem de uma chapa de PO parede simples (esquerda) e de uma caixa de PO (Trombini, 2004).

Com o passar dos anos, houve melhorias tecnológicas que permitiram a produção de papéis mais resistentes e de menor gramatura e de chapas e de caixas de PO em larga escala. A descoberta e aplicação de novos insumos de produção atribuíram maior resistência das embalagens à umidade. Contudo, o princípio de fabricação das embalagens de PO permanece o mesmo até os dias de hoje.

As caixas de papelão ondulado enfrentaram uma resistência inicial muito grande por parte dos fabricantes de caixas de madeira. Nos EUA, país de origem das caixas de PO, o momento que demarcou o início da conquista do mercado americano por essas embalagens ocorreu em 1914. Nesse ano, foi declarado que não havia diferenças entre as caixas de PO e de madeira para o transporte de mercadorias. Essa decisão recaiu sobre as tarifas de transporte que passaram a ser iguais para ambos os tipos de embalagens (Maltenfort, 1988).

A produção e o consumo de embalagens de PO, desde a época de sua invenção, tem crescido vertiginosamente. No período de 1995 a 1998, o consumo mundial de caixas de papelão ondulado cresceu à taxa média anual de 2,8%, destacando-se a América Latina e a Ásia/Oceania com 5,3% e 3,3% respectivamente. No Brasil o crescimento nesse período foi de 6,1% ao ano (BNDES, 1999).

Apesar de o Brasil estar em crescimento acelerado em termos de consumo de embalagens, dados da Associação Brasileira de Papelão Ondulado (ABPO) demonstram que ainda existe um grande potencial de crescimento. Ao analisar-se o consumo *per capita*, percebe-se que o Brasil estava em 22º lugar na classificação mundial de 2003. Os EUA apareciam em 1º lugar com 86,1 kg.hab⁻¹.ano⁻¹ enquanto que o Brasil estava com o consumo *per capita* em 10,7 kg.hab⁻¹.ano⁻¹, ou seja, com um consumo, aproximadamente, 8 vezes inferior. Na classificação mundial, em termos de expedição total de produtos de PO, o Brasil encontrava-se em 8º lugar em 2003 (Figura 1.13).

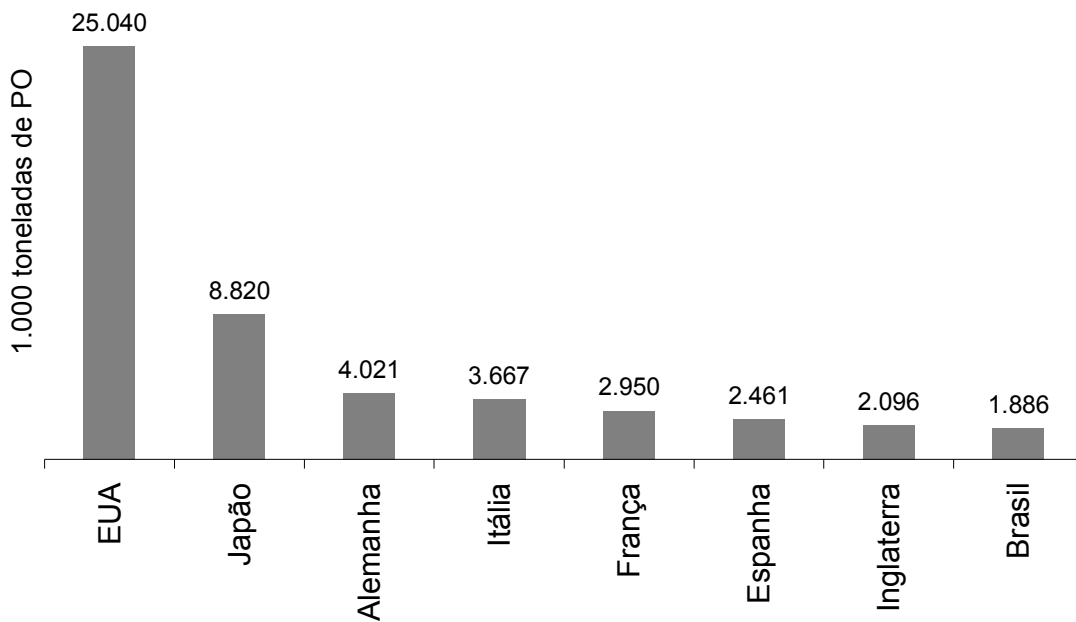


Figura 1.13 – Expedição total de produtos de papelão ondulado em 2003 (ABPO, 2003).

Observando-se o ritmo atual de crescimento da economia mundial e, particularmente, o excelente desempenho da economia brasileira, faz-se o prognóstico de que a expedição e o consumo *per capita* nacionais de produtos de papelão ondulado continuem crescendo em ritmo cada vez mais intenso. A tendência mundial de seguir os padrões norte-americanos de consumo atribui ao Brasil um enorme potencial de crescimento em produção *per capita* de papelão ondulado. O estudo sobre os padrões de consumo no Brasil (Motta, 2002) identifica claramente essa tendência. Enquanto a população brasileira cresceu 15% no período 1986-1987/1995-1996, o

consumo de máquinas secadoras de roupa, freezers e máquinas de lavar louça, pelas classes mais altas, aumentou respectivamente 173%, 211% e 275%. Nos grupos de baixa renda, devido à disponibilização de linhas de crédito, esse aumento foi ainda maior. O autor cita, também, dados de crescimento no consumo *per capita* de energia elétrica, de combustível fóssil e de água, reafirmando a tendência de alta dos padrões nacionais de consumo.

1.5.1 Processo de fabricação de embalagens de papelão ondulado

A fabricação de embalagens de PO ocorre em ciclo fechado, pois se recicla o refugo de papel proveniente de embalagens descartadas e de resíduos de outros tipos de papel. No que tange à produção das embalagens de PO, há duas etapas básicas de fabricação: a ondulação e a conversão.

Na ondulação, a matéria prima principal é o papel que pode ser composto por fibras virgens, recicladas ou por ambas. Esses papéis apresentam-se sob forma de bobinas e podem ter gramaturas diversas (Perkins e Schnell, 2000).

A transformação do papel em papelão ondulado é realizada em uma máquina chamada de ondulateira. Esse é o primeiro processo em uma indústria de embalagens de papelão ondulado. Nele, as bobinas de papel são consumidas formando as chapas de PO, constituídas por elementos planos chamados de capas e por elementos ondulados chamados de miolos, conforme visto na Figura 1.14.

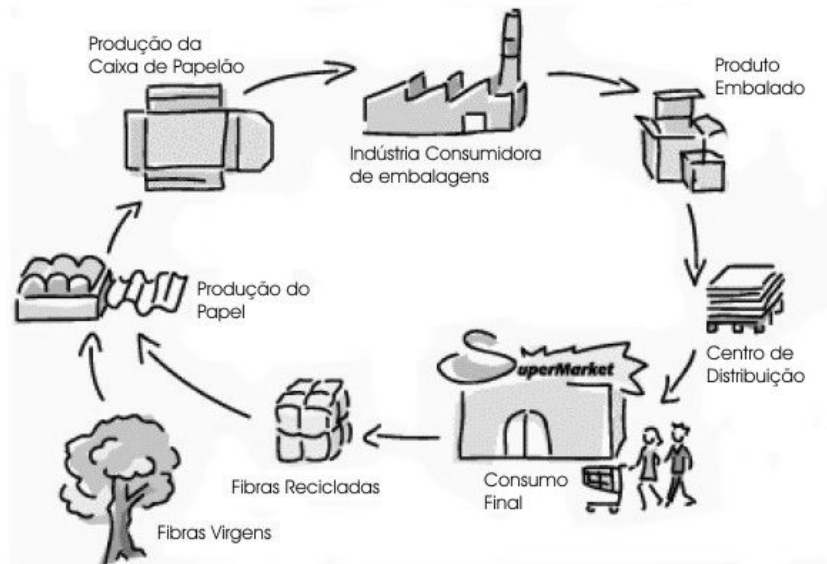


Figura 1.14 – Ciclo das embalagens de PO a partir da obtenção das fibras de papel até a fabricação e consumo final das embalagens (Packforsk, 2002).

Na máquina onduladeira, o processo inicia nos corpos onduladores responsáveis pela ondulação do papel miolo e por sua colagem a um papel capa, formando o face simples. Esse processo é realizado a temperaturas de máquina da ordem de 170°C que é transferida ao papel para proporcionar a correção de sua umidade, a conformação e a colagem.

A próxima etapa é a de colagem do face simples à capa externa da embalagem, ou seja, ao elemento plano que não ficará em contato com o produto a ser embalado. Essa etapa da ondulação ocorre no conjunto composto pela unidade de cola e pela forradeira. Na primeira parte do conjunto, o elemento ondulado do face simples recebe o adesivo na crista de suas ondas e, na entrada da forradeira, recebe o papel da capa externa. Assim como os corpos onduladores, a forradeira é aquecida e proporciona a cura do adesivo, mantendo as folhas unidas para o processo seguinte (Perkins e Schnell, 2000).

O produto que sai da forradeira já é a chapa de papelão, porém ainda não tem as dimensões que atendam o projeto final da embalagem. Esse processo é realizado na próxima parte da onduladeira que é constituída pela vincadeira e pelos facões. Nas vincadeiras, as chapas

são cortadas e vincadas na largura e, nos facões, cortadas no comprimento (Trombini, 2004). O fluxograma da Figura 1.15 mostra as etapas do processo de ondulação.

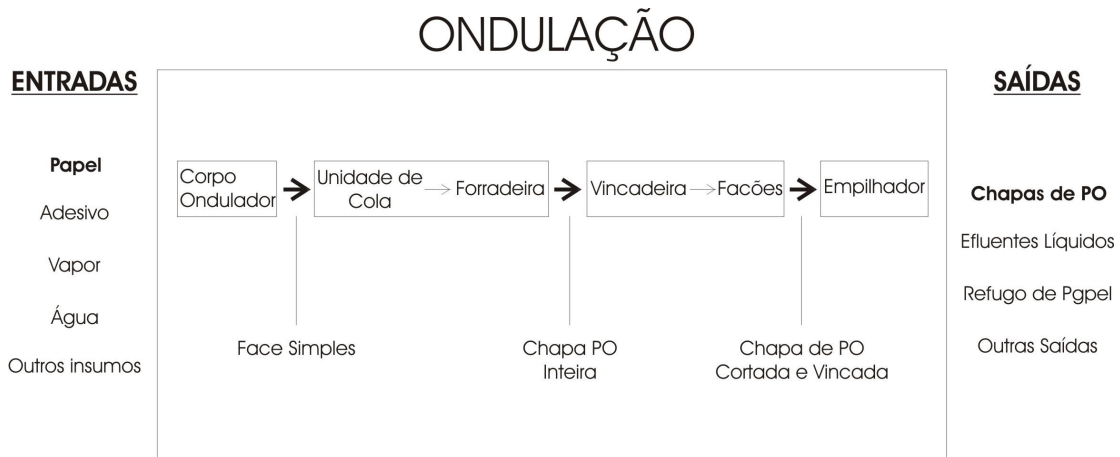


Figura 1.15 – Processo de Ondulação: transformação do papel em chapas de PO (Trombini, 2004).

A etapa final de obtenção das chapas de PO na onduladeira é o empilhamento. Nessa etapa, as chapas, já cortadas em sua dimensão final, são empilhadas e disponibilizadas para o próximo processo produtivo: a conversão.

Na conversão, as chapas de PO constituem a matéria-prima do processo. As máquinas que realizam a conversão das chapas em caixas são chamadas de impressoras. O formato final de uma caixa de PO tem uma configuração similar àquela apresentada na Figura 1.16.

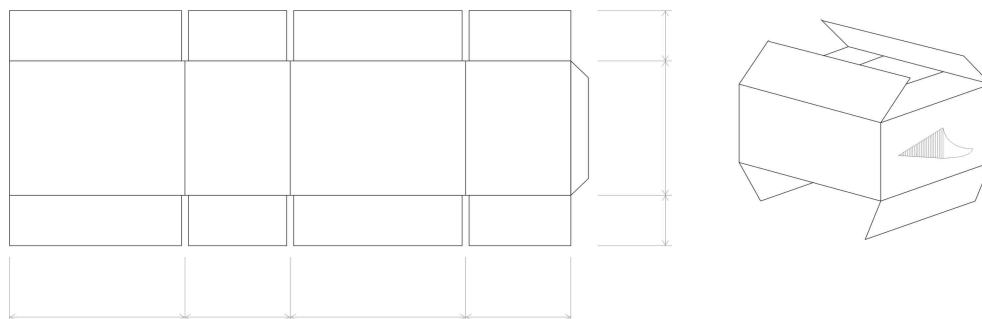


Figura 1.16 – Caixa de papelão ondulado do tipo normal aberta (esquerda) e fechada (direita) (Pressanto, 2004).

Uma impressora para caixas normais, chamada de *flexographic folder-gluer* ou simplesmente flexo, é composta por cinco seções básicas: o alimentador, a seção de impressão, a seção de cortes e vincos, a dobradeira-coladeira e a seção de saída (Perkins e Schnell, 2000).

A seção de alimentação corresponde ao local onde as chapas são introduzidas nas impressoras. As pilhas de chapas de PO são tracionadas para dentro da impressora uma a uma, através de correias e/ou de vácuo de modo a serem conduzidas à próxima seção chamada de seção de impressão.

Na parte de impressão, o processo é o flexográfico, uma derivação da tecnologia de impressão dos antigos jornais. A tinta é transferida, para a capa externa da embalagem, a partir de uma base flexível chamada de clichê. Essa base funciona como um negativo da imagem a ser impressa de modo que o clichê apresenta-se em relevo: as partes mais altas são as que transferem a tinta para a superfície das caixas.

A próxima seção é a de cortes e de vincos. Nela, as chapas já impressas recebem trabalhos de cortes e de vincos para que adquiram o formato final previsto no projeto da embalagem.

Na dobradeira-coladeira, as caixas são dobradas de modo a estarem prontas para receberem o adesivo na junta de fechamento ou *lap*. Essa junta está representada na Figura 1.16 na extremidade direita da caixa aberta. A junta de fechamento é colada à lateral na coladeira e as caixas passam para a etapa seguinte.

Na seção de saída, as caixas são empilhadas, podendo ser amarradas no formato final de entrega ao cliente que são os fardos. Esses são empilhados manualmente sobre estrados de madeira para serem expedidos posteriormente.

1.5.2 Consumos e emissões líquidas e oportunidades de conservação da água

As indústrias, de modo geral, podem ter o consumo e as emissões líquidas classificadas como industriais e não-industriais ou produtivas e não-produtivas. As emissões e consumos não-produtivos são aquelas provenientes de refeitórios, bebedouros, lavatórios, rega de jardins e sanitários, ou seja, aquelas que não foram originadas pelos processos fabris.

No caso da água de uso produtivo, segundo Puigjaner *et al.* (2000), ela é usada, principalmente, para três propósitos: ser incorporada em produtos específicos, como um fluido térmico para de aquecimento ou resfriamento e para eliminar componentes indesejáveis.

Segundo Nordell (1961) *apud* Mierzwa (2002), a água utilizada para fins industriais deveria:

- ↳ Ser abundante, de forma a atender as necessidades presentes e futuras;
- ↳ Estar disponível na vazão e pressão necessárias para atender as demandas de pico e fornecer uma adequada proteção contra incêndio; e
- ↳ Apresentar qualidade adequada para os diversos usos.

Com relação à quantidade de água consumida para uso industrial, existe a dependência de alguns fatores. De acordo com o ramo de atividade e com a capacidade de produção, o consumo de água poderá variar. Além desses fatores, as condições climáticas, a disponibilidade de água, o método de produção, a “idade” da instalação, as práticas operacionais e a cultura da empresa e da comunidade local interferem significativamente quando se compara indústrias de um mesmo ramo (Mierzwa, 2002).

No ramo do papelão ondulado, percebe-se esta mesma variação no consumo de água quando se observa o desempenho de consumo de plantas fabris distintas. De qualquer modo, identificar os usos de água em uma indústria é fundamental para o entendimento dessas

diferenças. Em fábricas de embalagens de papelão ondulado, o consumo produtivo ocorre tanto nos setores de ondulação quanto no de conversão, assim como em suas áreas de apoio. Os usos industriais estão descritos a seguir conforme essa divisão.

1.5.2.1 Ondulação: uso da água e geração de efluentes

No setor de ondulação, o consumo de água ocorre na onduladeira, na caldeira, no sistema de resfriamento e na central de cola para os seguintes fins:

- ↳ Produção de vapor;
- ↳ Produção de água de resfriamento;
- ↳ Produção de adesivo de amido;
- ↳ Diluição de insumos de impermeabilização do papel;
- ↳ Aplicação direta sobre o papel; e
- ↳ Limpezas de máquina.

A produção de vapor constitui um dos maiores consumos de água em uma indústria de PO. Ele é utilizado no aquecimento dos cilindros e mesas metálicas da forradeira, na aplicação direta sobre papel (vapor vivo) e no aquecimento do adesivo de amido durante seu processo de preparo e armazenamento.

A quantidade de água consumida na geração de vapor poderá variar de acordo com uma série de fatores, tais como: capacidade de produção da onduladeira e de sua demanda por vapor vivo, do tipo de circuito de vapor da cozinha de cola, da eficiência da caldeira, da sua manutenção e da manutenção de suas linhas, e da qualidade da água que a alimenta.

O vapor vivo, quando utilizado, não retorna como condensado e, por isso, representa uma perda de água do sistema. Nas onduladeiras, ele é aplicado sobre o papel com o objetivo de

facilitar a sua ondulação. Nas unidades de fabricação de cola, o vapor vivo também pode ser usado, contudo as máquinas mais modernas tem sistema de aquecimento por serpentina no qual o vapor não se perde durante a produção do adesivo. Esses sistemas de aquecimento da cola por vapor podem ser observados na Figura 1.17.

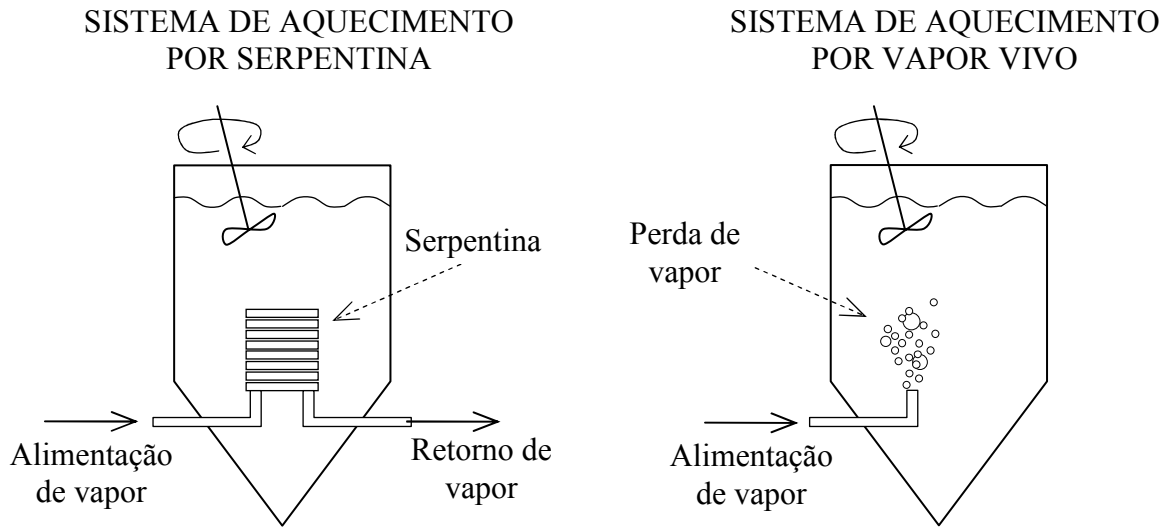


Figura 1.17 – Sistema de aquecimento por vapor utilizado nos tanques de preparo de adesivo das unidades de fabricação de cola (adaptado de Perkins e Schnell, 2000).

Embora não existam padrões ou recomendações estabelecidos para volumes de água usados em caldeiras, sabe-se que essa água deve apresentar qualidade elevada, pois pode provocar incrustações e corrosões caso não seja suficientemente pura. Em casos extremos, as caldeiras podem sofrer perda de eficiência na troca térmica ou danos estruturais causados pela corrosão. A Tabela 1.8 apresenta critérios de qualidade estabelecidos em literatura para a água usada na geração de vapor e de energia elétrica.

Tabela 1.8 – Critérios de qualidade requeridos antes da adição de substâncias químicas na água de reposição de aquecedores e caldeiras (adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Características	Pressão da caldeira			Utilidades Elétricas
	Baixa < 10 bar	Intermediária 10 a 50 bar	Alta > 50 bar	
Sílica (mg.L ⁻¹)	30	10	0,7	0,01
Alumínio (mg.L ⁻¹)	5	0,1	0,01	0,01
Ferro (mg.L ⁻¹)	1	0,3	0,05	0,01
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,3	0,1	0,01	0,01
Cálcio (mg.L ⁻¹)	(1)	0,4	0,01	0,01
Magnésio (mg.L ⁻¹)	(1)	0,25	0,01	0,01
Amônia (mg.L ⁻¹)	0,1	0,1	0,1	0,07
Bicarbonato (mg.L ⁻¹)	170	120	48	0,50
Sulfato (mg.L ⁻¹)	(1)	(1)	(1)	(1)
Cloreto (mg.L ⁻¹)	(1)	(1)	(1)	(1), (2)
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	700	500	200	0,50
Cobre (mg.L ⁻¹)	0,5	0,05	0,05	0,01
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	350	100	40	1
Dureza (mg.L ⁻¹)	350	1	0,07	0,07
Zinco (mg.L ⁻¹)	(1)	0,01	0,01	0,01
pH	7,0 - 10,0	8,2 - 10,0	8,2 - 9,0	8,8 - 9,4
Orgânicos - Azul de Metileno (mg.L ⁻¹)	1	1	0,5	0,10
Orgânicos - Tetracloreto de Carbono (mg.L ⁻¹)	1	1	0,5	(1), (3)
DQO (mg.L ⁻¹)	5	5	1	1
Ácido Sulfídrico (mg.L ⁻¹)	(1)	(1)	(1)	(1)
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	2,5	0,07	0,07	0,07
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)
Sólidos Suspensos (mg.L ⁻¹)	10	5	0,5	0,05

(1) Aceito conforme recebido; nunca houve problemas com as concentrações ou valores encontrados.

(2) Controlado pelo tratamento de outros constituintes.

(3) Ausente ou não detectado por testes.

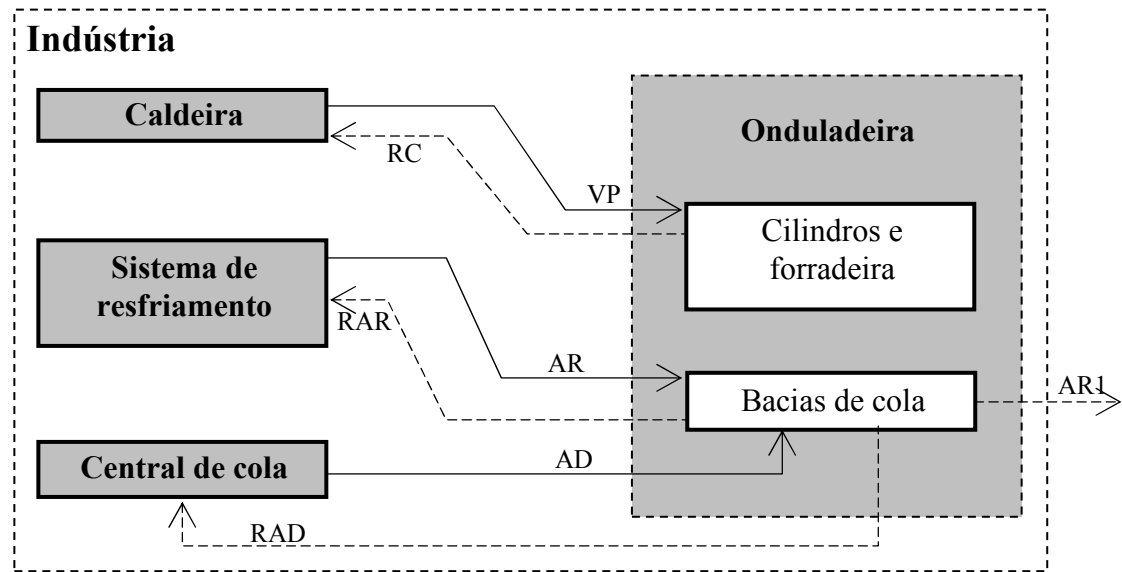
Em caldeiras, a geração de efluentes ocorre durante as purgas ou descargas de fundo e durante as suas inspeções internas. Durante a geração e o fornecimento de vapor, perdas de água por evaporação ocorrem e sólidos concentram-se no interior da caldeira. Esses sólidos formam uma espécie de lama que se deposita no fundo do equipamento e nas suas tubulações de troca térmica podendo causar incrustações e corrosões. As purgas são realizadas com a finalidade de

manter a concentração dos sólidos dissolvidos, dentre outras características da água, dentro de limites de controle, evitando-se os problemas citados.

Assim como ocorre nas purgas, abrem-se as válvulas de fundo das caldeiras nas inspeções periódicas. Nesses casos, porém, ocorre o esvaziamento completo da água existente em seu interior. Esse efluente, assim como o das purgas, também deve ser tratado, pois suas características costumam não atender os padrões de lançamento estabelecidos em legislação. O fósforo total presente na água de caldeiras, componente dos dispersantes dosados para tratamento dessa água, chega a ser superior a 50 mg.L^{-1} e, conforme a resolução CONSEMA nº 128 (2006), não pode ultrapassar os 4 mg.L^{-1} para emissão de efluentes industriais aos corpos receptores.

Similarmente aos sistemas de produção de vapor, os sistemas de resfriamento usam a água como fluido de troca térmica. A água de resfriamento, produzida nesses sistemas, serve para arrefecer as bacias de cola da onduladeira. Como o ponto de aplicação desse adesivo está exposto a temperaturas que chegam a 60°C , a cola presente nas bacias próximas a ele pode gelatinizar prematuramente e perder o poder de adesão. Com a finalidade de evitar essa degradação em sua qualidade, as bacias de cola são resfriadas com água (Trombini, 2004).

Em muitas onduladeiras, esse sistema de resfriamento é aberto e o desperdício de água é grande, pois se descarta como efluente uma água de boa qualidade. Atualmente, equipamentos tais como torres de resfriamento e *chillers* tem sido instalados nesses sistemas que passam a trabalhar em circuito de água fechado ou semi-aberto, reduzindo tais desperdícios. A Figura 1.18 ilustra como ocorrem os fluxos entre os sistemas de resfriamento e a onduladeira.



VP – Vapor fornecido às seções aquecidas da onduladeira.
 RC – Retorno de condensado à caldeira.
 AR – Água de resfriamento fornecida às bacias de cola.
 AR1 – Água de resfriamento emitida com efluente.
 RAR – Retorno da água ao sistema de resfriamento (caso de circuito fechado).
 AD – Adesivo de amido fornecido à onduladeira.
 RAD – Retorno de adesivo de amido após circular pelas bacias de cola.

Figura 1.18 – Fluxograma das correntes líquidas entre caldeira, sistema de resfriamento, central de cola e a onduladeira (adaptado de Trombini, 2004).

Os sistemas de resfriamento, assim como ocorre nas caldeiras, também passam por problemas de incrustação e corrosão. Adicionalmente a eles, pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos e a formação de *fouling* nos sistemas em circuito fechado. Embora existam esses problemas adicionais, os critérios de qualidade para a água de resfriamento são mais brandos que aqueles requeridos na geração de vapor, pois são sistemas que não trabalham sob pressão elevada e que concentram menos substâncias em seu interior por terem menores perdas por evaporação. Esses critérios de qualidade podem ser verificados na Tabela 1.9.

Tabela 1.9 – Critérios de qualidade requerida antes da adição de substâncias químicas na água de resfriamento do tipo Torre (adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Características	Circuito aberto		Circuito fechado	
	Água doce	Água salobra ¹	Água doce	Água salobra ¹
Sílica (mg.L ⁻¹)	50	25	50	25
Alumínio (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	0,1	0,1
Ferro (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	0,5	0,5
Manganês (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	0,5	0,02
Cálcio (mg.L ⁻¹)	200	420	50	420
Magnésio (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	(2)	(2)
Amônia (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	(2)	(2)
Bicarbonato (mg.L ⁻¹)	600	140	24	140
Sulfato (mg.L ⁻¹)	680	2.700	200	2.700
Cloreto (mg.L ⁻¹)	600	19.000	600	19.000
Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	1.000	35.000	500	35.000
Cobre (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	(2)	(2)
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	500	115	350	115
Dureza (mg.L ⁻¹)				
Zinco (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	(2)	(2)
pH	5,0 – 8,3	6,0 – 8,3	(2)	(2)
Orgânicos - Azul de Metileno (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	1	1
Orgânicos - Tetracloroeto de Carbono (mg.L ⁻¹)	(3)	(3)	1	2
DQO (mg.L ⁻¹)	75	75	75	75
Ácido Sulfídrico (mg.L ⁻¹)	(2)	(2)	(2)	(2)
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Presente	Presente	(2)	(2)
Temperatura (°C)	(2)	(2)	(2)	(2)
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	5.000	2.500	100	100

⁽¹⁾ Concentração de sólidos dissolvidos é acima de 1.000 mg.L⁻¹.

⁽²⁾ Aceito conforme recebido; nunca houve problemas com as concentrações ou valores encontrados.

⁽³⁾ Ausência de óleos flutuantes.

A demanda por água também é grande na produção do adesivo de amido. Segundo Perkins e Schnell (2000), a água tem as seguintes funções nos sistemas de colagem das chapas de PO:

- ↪ Gelatinizar o amido no processo de fabricação do adesivo;
- ↪ Diluir os ingredientes do adesivo;
- ↪ Ser o meio de transporte entre os tanques de armazenamento e a onduladeira;
- ↪ Servir como veículo para que o adesivo de amido penetre no substrato do papel;

Para que estas funções possam ser cumpridas, Perkins e Schnell (2000) recomendam que a água esteja livre de microrganismos, tenha o pH entre 7 e 8 e valores baixos de dureza e de sólidos dissolvidos totais.

A presença de microrganismos proporciona a queda da viscosidade do adesivo, pois o amido cozido serve de alimentos aos microrganismos. Durante a degradação microbiológica, as moléculas componentes do amido são quebradas, resultando na queda da viscosidade e na perda das propriedades de adesão da cola. Para reduzir os impactos proporcionados por esse ataque microbiológico, se costuma dosar biocidas nas bateladas de colas (Trombini, 2004).

As oscilações no pH da água de preparo, por sua vez, alteram a ação do NaOH usado na preparação da cola, que é dosado sempre na mesma quantidade conforme a formulação do adesivo. Como a função do NaOH é reduzir a temperatura necessária à gelatinização do amido, responsável pela colagem, variações no pH da água podem alterar o efeito do NaOH deslocando a temperatura de gelatinização de seu ponto correto. Consequentemente, o processo de colagem que ocorre na ondulateira pode ficar fora de controle aumentando o refugo por motivo de descolamento.

A dureza e os sais dissolvidos totais, presentes na água de preparo do adesivo, também ocasionam problemas. A formação de depósitos sobre os cilindros de aplicação e limitadores de cola é um exemplo disso e pode ser contornada através do uso de água de melhor qualidade. Caso isso não seja possível, pode-se dosar agentes quelantes que complexam o cálcio e amenizam a ocorrência do problema. Lavagens ácidas das partes atingidas também podem ser adotadas como medida corretiva caso não se consiga evitar a formação dos depósitos (Perkins e Schnell, 2000).

Muito embora existam estas recomendações gerais para a qualidade da água de fabricação do adesivo de amido, estudos específicos devem ser realizados em cada planta produtiva. Do mesmo modo, devem-se avaliar os volumes demandados na sua produção.

O volume de água consumido no preparo do adesivo depende diretamente da produção de PO, pois esse adesivo é parte constituinte das chapas fabricadas. Esse consumo depende, por sua vez, da escala de produção, da tecnologia de aplicação de cola e da manutenção da ondulateira, da qualidade do papel e da capacitação técnica da mão-de-obra (Trombini, 2004). Ou seja, uma avaliação de demanda de água para esse tipo de uso industrial requer estudo focado na operação de ondulateiras.

A diluição de insumo de impermeabilização, a aplicação direta sobre o papel e a limpeza de máquinas são os outros usos de água praticados nas ondulateiras. Os dois primeiros tipos requerem cuidados especiais quanto à qualidade da água empregada, pois consistem da aplicação sobre as superfícies externas das chapas de PO. Em embalagens de alimentos, os quais entram em contato com essas superfícies, a resolução RDC número 130/02 da ANVISA (2002) proíbe a presença de bifenilas policloradas em níveis iguais ou superiores a 5 mg.kg^{-1} e de pentaclorofenol em níveis iguais ou superiores a $0,10 \text{ mg.kg}^{-1}$ de papel. Além disso, as embalagens e equipamentos celulósicos não devem transferir aos alimentos constituintes antimicrobianos. Ou seja, é importante usar água de fontes isentas dessas substâncias quando se pretende realizar a aplicação direta sobre o papel ou a diluição de insumo impermeabilizante utilizado na ondulateira.

As limpezas de máquinas, por outro lado, não requerem água com qualidade que atenda aos mesmos padrões estabelecidos pela ANVISA. Contudo, cuidados especiais também devem ser tomados, pois a maioria dos processos de limpeza é manual e requer contato direto do

trabalhador com a água. Para tanto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997) definiu padrão de qualidade para água de reúso, oriunda de efluentes domésticos ou similares, a ser utilizada na lavagem de carros e para outros usos que requeiram contato direto:

Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP.100 mL⁻¹; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg.L⁻¹; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg.L⁻¹ e 1,5 mg.L⁻¹.

Além do aspecto qualidade da água usada na limpeza, é importante observar a qualidade e regime de geração dos efluentes provenientes dessas operações de limpeza. Durante as paradas de máquina, todo o sistema de produção, armazenamento e distribuição do adesivo de amido e do insumo de impermeabilização são lavados. Como essas limpezas são pouco frequentes, pois as ondulateiras são máquinas que trabalham em regime constante e contínuo de produção, a geração de efluentes não é contínua (Perkins e Schnell, 2000).

Agregado a esse regime de geração, está o aspecto qualidade desse efluente. O pH do adesivo de amido alcança valores próximos a 13 e é altamente carregado de sólidos (20% a 30%). O insumo de impermeabilização é composto por resinas acrílicas e parafínicas que também atribuem características particulares ao efluente gerado (Trombini, 2004). Devido a essa oscilação no regime de geração e na qualidade dos efluentes da ondulateira, é recomendável a segregação e a equalização de tais correntes líquidas para que se possa obter o controle necessário sobre os processos de tratamento de efluentes que venham a recebê-las. A segregação desse tipo de efluente, ou seja, que requer tratamento específico, é pré-requisito para que o reúso da água possa ser praticado (FIESP, 2004).

1.5.2.2 Conversão: uso da água e geração de efluentes

O uso de água nas impressoras ocorre basicamente na lavagem dos sistemas de aplicação de tinta dessas máquinas. A qualidade da água a ser utilizada para esse fim pode seguir o mesmo critério já citado para a lavagem da onduladeira.

Quanto às emissões líquidas, o setor de conversão costuma ser o maior gerador de efluentes de uma indústria de embalagens de PO. Isso se deve às operações de lavagem das seções de impressão da máquina. Como uma mesma impressora produz embalagens de cores distintas ao longo dos turnos de trabalho, existe a necessidade de lavá-la quando se troca a cor da tinta durante a mudança de ordens de fabricação (Trombini, 2004).

As operações de limpeza podem ter sua frequência e volume de água consumido determinados pelo tamanho médio dos pedidos, sequência com que eles são programados para produção e pelo tipo da cor que está sendo substituída. Como as lavagens ocorrem apenas ao término de uma ordem de fabricação, quando essas ordens são pequenas, haverá um consumo maior de água para lavagem. Pedidos mais extensos são, portanto, mais vantajosos para a conservação da água.

Caso a sequência de programação de ordens privilegie o tipo de cor, ou seja, ordene em sequência todos os pedidos que usam a mesma cor, o consumo de água e a geração de efluentes serão menores. Como as ordens seguintes usarão as mesmas cores, não é necessário lavar o sistema de impressão ao terminar a ordem que está em produção.

Os processos de limpeza das impressoras geram um efluente composto por tintas flexográficas de base água. Na formulação dessas tintas, são usados os seguintes componentes (FIESP, 2009a):

- ↳ Resinas: colofônia saponificada, resinas acrílicas e fumáricas;
- ↳ Pigmentos orgânicos: amarelo e laranja benzidina, azul ftalocianina, vermelho naftol;
- ↳ Pigmentos inorgânicos: negro de fumo, dióxido de titânio, sulfato de bário, cromato e molibdato de chumbo;
- ↳ Corantes básicos: rodamina, azul vitória, violeta metil e verde cristais;
- ↳ Solventes: glicóis, solução de amônia e água; e
- ↳ Ceras à base de polietileno.

Assim como ocorre na indústria têxtil, a cor das tintas usadas na produção de embalagens provém, predominantemente, de pigmentos e corantes do tipo azóico. Eles são obtidos artificialmente e são classificados de acordo com o número de ligações azo (N=N) que apresentam: monoazo, diazo, triazo e poliazo (Genç, 2004). A Figura 1.19 apresenta um exemplo de corante azo.

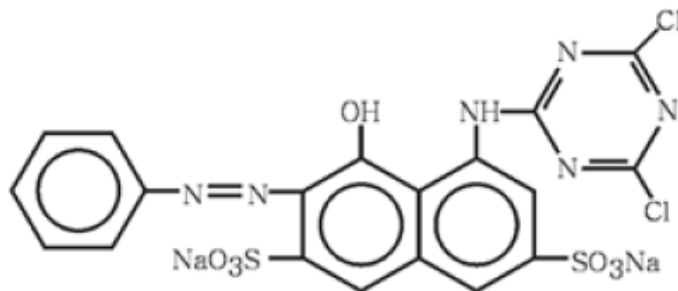


Figura 1.19 - Estrutura química do corante azo RR2 (adaptado de Santos *et al.*, 2007).

O projeto destes corantes prevê a resistência da tinta ao suor, à luz, água, agentes oxidantes e ao ataque microbiano, logo eles são dificilmente removidos dos efluentes através da aplicação de tratamentos convencionais tais como degradação microbiológica por lodos ativados e adsorção por carvão ativado (DEPA, 1998 e Weisburger, 2002). Considerando-se que a presença dos pigmentos azóicos em águas de abastecimento para consumo humano represente

risco potencial de câncer de bexiga dentre outros (DEPA, 1998), deve-se buscar meios de evitar o lançamento dessas substâncias nos mananciais de água.

Técnicas inovadoras de tratamento de efluentes, tais como os processos oxidativos avançados (POA), surgiram como alternativa de destruição de compostos tóxicos recalcitrantes às técnicas convencionais de tratamento como é o caso dos corantes azo. Os POA ocorrem através da geração de radicais livres hidroxilas ($\text{OH}\bullet$) que são oxidantes químicos poderosíssimos e não seletivos cuja reação ocorre de um milhão a um bilhão de vezes mais rapidamente do que aquelas ocorridas pelo uso do ozônio e do peróxido de hidrogênio (Vogelpohl, 2001). A Tabela 1.10 demonstra o alto poder oxidante do $\text{OH}\bullet$ quando comparado a outros agentes oxidantes convencionais, fator que explica a sua rapidez e não-seletividade de oxidação.

Tabela 1.10 – Espécies oxidantes ordenadas pelo poder de oxidação (adaptado de Rodríguez, 2003 e Cantelli, 2003).

Espécies oxidantes	Fórmula química	Potencial Redox (V)
Fluoreto	F^-	3,03
Radical Livre Hidroxila	$\text{OH}\bullet$	2,80
Oxigênio Atômico	O	2,42
Ferrato (VI)	FeO_4^{2-}	2,20
Ozônio	O_3	2,07
Peróxido de Hidrogênio	H_2O_2	1,77
Permanganato	MnO_4^-	1,67
Ácido Hipobromoso	HBrO	1,59
Dióxido de Cloro	ClO_2	1,50
Ácido Hipocloroso	HClO	1,49
Ácido Hipoiodoso	HIO	1,45
Cloreto	Cl^-	1,36
Brometo	Br^-	1,09
Iodeto	I^-	0,54

Os POA podem mineralizar completamente os compostos orgânicos tóxicos, transformando-os em dióxido de carbono e água ou converter poluentes perigosos a substâncias de menor risco potencial e de maior biodegradabilidade (Winterbotton *et al.*, 1997).

A remoção de cor de efluentes pela fotocatalise através do uso do TiO_2 como fotocatalisador, um tipo de POA, tem sido muito estudada em efluentes de indústrias têxteis (Li e Zhang, 1996, Arslan *et al.*, 2001 e Lizama *et al.*, 2001) que, assim como ocorre nas indústrias de embalagens de papelão ondulado, usam pigmentos e corantes de origem azóica.

Estudos recentes demonstram que a degradação microbiológica dos corantes azo também é possível. Sob condições anaeróbias e na presença de mediadores redox, os corantes azo podem ser reduzidos a aminas aromáticas (Santos *et al.*, 2007). Braúna *et al.* (2009) chegaram a eficiências de 90% na remoção de cor utilizando esse tipo de processo para o corante azo RR2 (Figura 1.19).

Por outro lado, embora existam alternativas de tratamento que destruam estes corantes azo, é importante ressaltar que resolver o problema dessa forma significa priorizar as técnicas de “fim-de-tubo”. A hierarquia de gerenciamento ambiental apresentada na Figura 1.3 mostra que, primeiramente, deve-se eliminar a geração do contaminante ou sua emissão aos mananciais, ou seja, optar pela prevenção da poluição prevista nas diretrizes do desenvolvimento sustentável.

1.5.2.3 Oportunidades de conservação da água

O conceito de que a água usada para fins industriais deve ser abundante, de forma a atender as necessidades presentes e futuras (Nordell, 1961 *apud* Mierzwa, 2002) ocasionou uma interpretação equivocada no seguimento industrial, ou seja, de que a água não precisa ser poupada. A mudança desse tipo de comportamento, segundo Pumplampu e Siebel (2005), deve ser obtida após o vencimento de algumas barreiras existentes na mente dos trabalhadores.

Nas indústrias de embalagens de papelão ondulado, esta realidade não é diferente. A barreira da justificação (Pumplampu e Siebel, 2005) costuma ser um dos maiores entraves à

redução do consumo de água. Existe sempre um motivo pelo qual a água não é poupada, surgindo argumentos do tipo:

... Eu tive que deixar o registro da água aberto porque precisei realizar outra tarefa urgente na máquina;

... O registro da água fica muito distante do ponto onde eu uso a água, logo tenho que deixá-lo aberto.

... Este vazamento é problema do setor de manutenção.

Afirmativas como estas, explicitam a necessidade de ações de âmbito comportamental que visem a racionalização do uso da água. Os processos nos quais os volumes consumidos dependem da ação humana devem ser vistos sob esse enfoque e, por isso, os setores de ondulação e de impressão representam boas oportunidades de conservação da água através das alterações dos hábitos de consumo.

O uso da água nos processos de limpeza de máquinas e de equipamentos, tais como onduladeiras e impressoras, são os pontos mais sujeitos à implantação das mudanças comportamentais. Como as atividades de lavagem são, em sua maioria, manuais, decidir a quantidade de água que será usada nessas operações fica a critério dos trabalhadores. Trabalhos de conscientização através da educação ambiental demonstram-se ações eficientes na obtenção de práticas operacionais condizentes com a preservação dos recursos hídricos (Legault e Pelletier, 2000).

As mudanças comportamentais que levam à mudança nos hábitos de consumo de água costumam constituir a primeira etapa de um trabalho de conservação, pois requerem menores intervenções físicas, traduzindo-se em ações de menores custos econômicos e ambientais.

Sequencialmente a essas intervenções de ordem comportamental seguem-se, então, as intervenções físicas. Elas proporcionam a racionalização do uso da água representada pela correção de perdas e de processos que geram desperdícios de água.

Neste sentido, as caldeiras são pontos com importante potencial de redução de consumo. Por consumirem volumes abundantes de água, elas devem estar entre os primeiros pontos a serem estudados na busca por oportunidades de racionalização. Essas oportunidades traduzem-se em dois tipos de solução: a correção de perdas físicas e a alteração de processos.

As perdas físicas ocorrem através de vazamentos de água e de vapor nas linhas de vapor e de condensado, nas linhas de reposição e de alimentação de água, em purgadores e nos reservatórios e devem ser identificados através de levantamento de campo para que sejam corrigidos posteriormente (Figura 1.20).

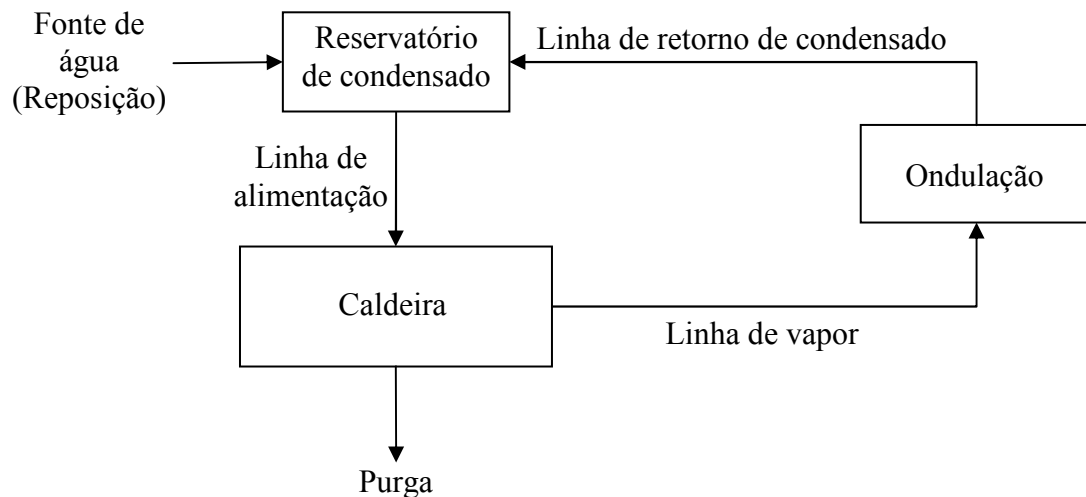


Figura 1.20 – Diagrama de fluxos de água e vapor de um sistema de geração de vapor utilizado em fábricas de PO (adaptado de Perkins e Schnell, 2000).

A racionalização através da alteração de processos passa, basicamente, pela alteração da qualidade da água usada na reposição. Quando muito concentrada em sólidos dissolvidos, tais como silicatos, sais de cálcio e de magnésio, dentre outros, essa água acaba formando muita lama

no interior da caldeira a qual precisa passar por regimes de purga mais frequentes, aumentando os volumes de água consumidos (Mierzwa, 2002). Adotar fontes com água de maior qualidade ou tratá-la previamente ao seu ingresso na caldeira está entre as alterações de processo mais adotadas na busca pela economia de água e de energia na geração de vapor. A instalação de abrandadores ou de membranas de osmose inversa (Figura 1.21) é recomendada para caldeiras de maior porte, de modo a se fornecer uma água de reposição com menos sais dissolvidos e, conseqüentemente, reduzir os desperdícios resultantes das purgas (Department of Water Affairs and Forestry, 1996).

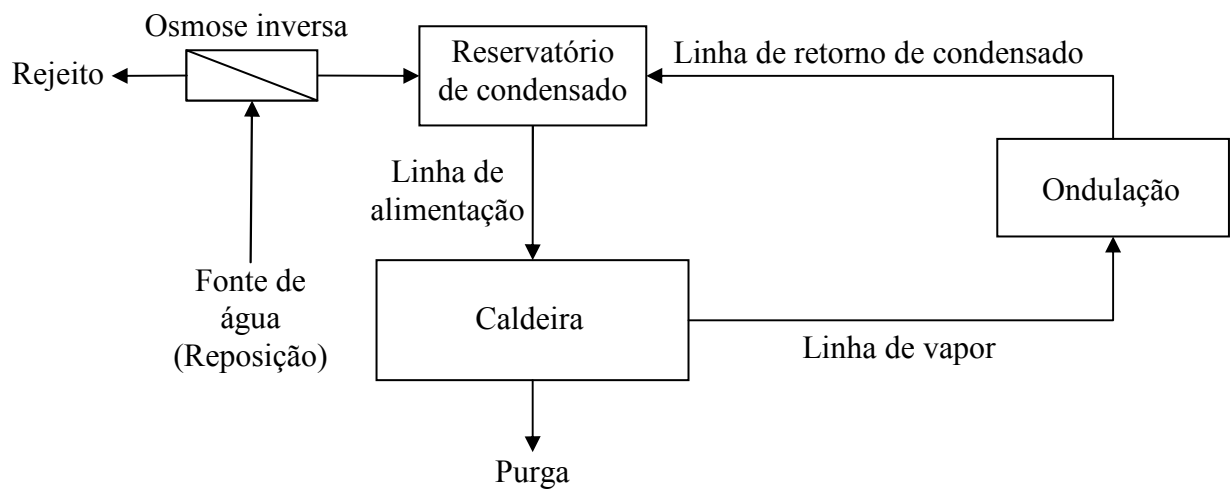


Figura 1.21 – Diagrama de fluxos de água e vapor de um sistema de geração de vapor utilizado em fábricas de PO cuja água de reposição recebe tratamento avançado (adaptado de Perkins e Schnell, 2000).

É importante considerar que a conservação da água ocorrerá, em quantidade, quando o volume de água descartado através das purgas da caldeira e do rejeito da osmose for menor que o volume descartado na situação anterior à instalação das membranas de osmose inversa (Figura 1.21). Em qualidade, a água de rejeito é mais pura que a água das purgas, pois se realiza tratamento químico da água da caldeira de modo que a lama possa ser formada e purgada. Produtos a base de fosfatos são dosados para a dispersão de alguns contaminantes e esse fósforo serve como nutriente prejudicando, por exemplo, os sistemas de tratamento de efluentes. Por

outro lado, o rejeito da osmose é apenas mais concentrado em sais o que viabiliza o seu reúso, por exemplo, em atividades de limpeza de máquinas.

O consumo de água da caldeira depende, também, dos processos que ela alimenta com vapor. O uso de vapor vivo na produção de adesivo aumenta significativamente a demanda por água na produção de vapor. A alteração do circuito de aquecimento da cola para fechado, através da instalação de serpentina no tanque de preparo de adesivo, constitui uma importante alteração de processo para racionalização o uso da água. Quanto ao vapor vivo usado no condicionamento do papel, poucas são as intervenções possíveis. Esse uso é inerente ao processo de produção de chapas de papelão ondulado e alterações nas características de fornecimento de vapor podem provocar graves problemas de qualidade ao produto final.

O uso excessivo de água nos sistemas de resfriamento das bacias de cola da onduladeira, sob o aspecto de se ter água abundante para os processos industriais, ainda ocorre naquelas instalações fabris que adotaram o circuito aberto de água. A troca desse tipo para o circuito fechado traz resultados importantes para a redução do consumo, que chega a ser superior a 90% quando ocorre o fechamento do circuito através da instalação de *chillers* (Figura 1.22).

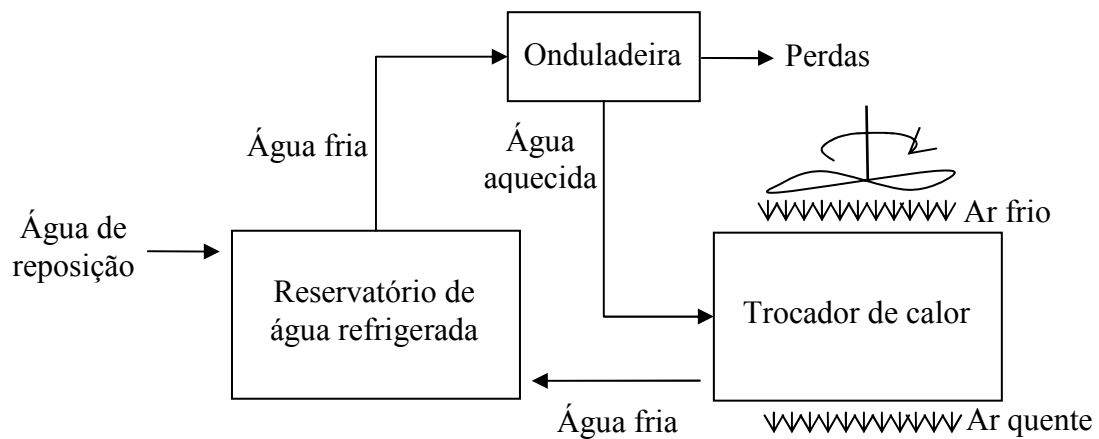


Figura 1.22 – Diagrama de fluxo de água e ar em um sistema de resfriamento de água tipo *chiller* (adaptado de Perkins e Schnell, 2000).

Quando o circuito de água de resfriamento é fechado através do uso de torres de resfriamento, a redução no consumo de água é menor. Torres de resfriamento sofrem 3 tipos de perdas líquidas: evaporação (E_T), purga (P_T) e arraste (A_T). Desse modo, a água de reposição (R_T) entra no sistema em volumes maiores que aquele que ingressa nos *chillers* seguindo a Equação 1.1 (New Mexico Office of the State Engineer, 1999).

$$R_T = E_T + P_T + A_T \quad (1.1)$$

A perda por evaporação é expressiva, pois a água aquecida entra em contato direto com o ar que circula pelo corpo da torre. A perda por purgas ocorre como consequência da evaporação, pois os sólidos dissolvidos presentes na água concentram-se e, assim como ocorre nas caldeiras, precisam ser removidos do sistema. O arraste de gotículas de água é resultado da ação da exaustão a qual é responsável por resfriar a água no interior da torre. Como a água aquecida é aspergida, as gotas mais leves acabam sendo arrastadas para o meio ambiente, ou seja, saem do sistema. A Figura 1.23 exemplifica essa situação.

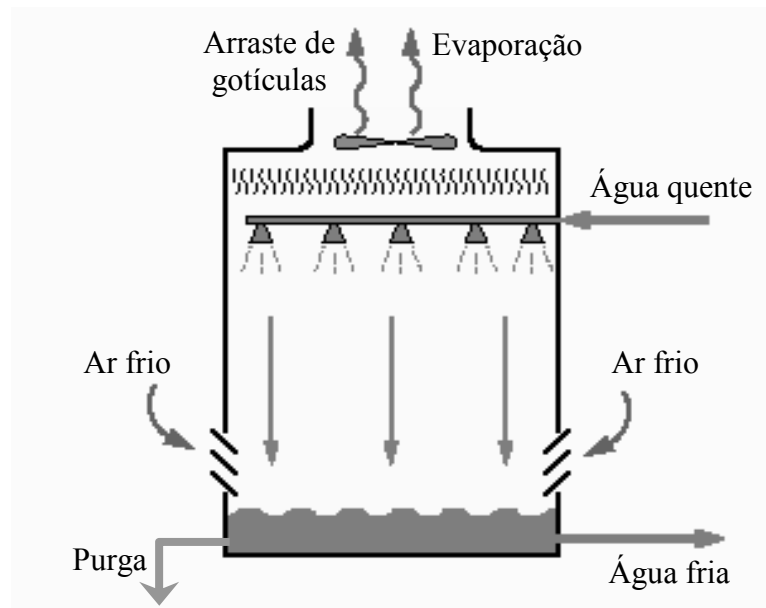


Figura 1.23 – Diagrama de fluxo de água e ar em um sistema de resfriamento de água tipo torre de resfriamento (adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Além dos desperdícios por uso de volumes excessivos de água, é importante destacar os desperdícios devidos ao uso de água com qualidade superior àquela necessária. A água usada na limpeza das máquinas e equipamentos, por exemplo, costuma ser a mesma utilizada para consumo humano, ou seja, água potável. O mesmo ocorre na produção de adesivo de amido, na diluição de insumos de impermeabilização e na aplicação direta de água sobre o papel. Em algumas fábricas de PO, o uso de água de fontes alternativas, tais como efluentes tratados e água de chuva, já é prática corrente.

O reúso do efluente tratado pode ser adotado na limpeza de máquinas e na diluição de tintas de impressão. Todavia, alguns cuidados devem ser tomados, pois a cor final desse efluente, que pode chegar a $1000 \text{ mg Pt-Co.L}^{-1}$ devido aos corantes azóicos, pode alterar a qualidade da tinta ou manchar os equipamentos. A corrosividade da água de reúso é outro fator a ser considerado, pois pode degradar equipamentos quando usada na limpeza. Para isso, índices como os de Langelier e Ryznar (Metcalf e Eddy, 2003) devem ser calculados durante a fase de planejamento de modo a se verificar a viabilidade técnica desse tipo de reúso.

O resfriamento das bacias de cola, por exemplo, também tem sido um ponto de aplicação de técnicas de reúso de água. Em um projeto aplicado a uma indústria de PO, $500 \text{ m}^3.\text{mês}^{-1}$ de água de resfriamento que eram descartados no corpo receptor após resfriar as bacias da onduladeira, passaram a ser reusados na produção de adesivo de amido (Julião, 2006). Esse tipo de reúso configura o reúso em cascata ou reúso de efluentes brutos.

Um exemplo importante de programa de conservação da água aplicado a uma indústria de embalagens de PO é o da Geórgia-Pacific Inc., situada em West Monroe (EUA). O volume de água consumido diariamente era de 150 metros cúbicos e após a aplicação de um programa de redução de consumo de água, esse número teve um decréscimo de 90%, passando para 15,16

metros cúbicos diários. Consequentemente, a geração de efluentes caiu proporcionalmente e a empresa obteve retornos econômicos devidos a menor quantidade de químicos e de energia elétrica gastos no seu tratamento.

Posteriormente à implantação do programa de redução de consumo de água e de geração de efluentes, foi instalado um sistema de tratamento primário do efluente industrial com o consequente uso dessa corrente líquida tratada como água de reúso na fabricação do adesivo de amido. Todos os 15,16 metros cúbicos de efluente industrial passaram a ser usados, diariamente, na fabricação do adesivo utilizado na onduladeira (Treadaway e Johnson, 1997).

Embora as práticas de reúso na produção de adesivo de amido proporcionem resultados significativos à conservação da água, Rothstrom e Kohl (2001) alertam sobre os cuidados que devem ser tomados ao se usar o efluente tratado como água de reúso para tal finalidade. Alterações no pH da água de reúso podem ocasionar, por exemplo, variações na viscosidade do adesivo e, consequentemente, provocar sérios problemas de descolamento nas chapas de PO e, consequentemente, incrementar a geração de refugo.

A fabricação de adesivo de amido aceita, além do efluente industrial tratado, o uso de efluente bruto da limpeza das impressoras como água de reúso (TAPPI, 2001). Esse tipo de reúso, chamado de reúso em cascata, representa uma técnica ambientalmente mais correta devido à redução proporcionada no consumo de produtos químicos de tratamento, no consumo de energia elétrica para bombeamento e na geração de lodo primário. Por outro lado, o adesivo resultante sofre alteração de suas propriedades de colagem, tornando esse tipo de reúso menos usual. A queda da produtividade, o refugo gerado e a redução na qualidade das chapas de PO são resultados indesejados dessa prática (Rothstrom e Snyder, 2000).

Segundo Rothstrom e Snyder (2000), trabalhos de conscientização e treinamento com as equipes de produção, a instalação de dispositivos de controle de vazão, a medição setorizada e por turnos e o reúso de água de resfriamento da ondulateira devem ser aplicadas às indústrias de PO. Desse modo, podem-se obter ganhos adicionais quanto à conservação da água.

1.6 DESCRIÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre as técnicas de conservação da água e de aplicá-las na indústria de embalagens de papelão ondulado (PO), realizou-se o trabalho sob forma de estudo de caso. A planta produtiva de embalagens de PO escolhida para tanto se localiza no município de Farroupilha (-29°13'30"; -51°20'52"), distante 111 km da cidade de Porto Alegre/RS, e possui capacidade de produzir 35.000 m².h⁻¹ de PO.

Uma ondulateira, oito impressoras (Figura 1.24) e 500 funcionários são os recursos tecnológicos e humanos que garantem o volume de produção e que, simultaneamente, são responsáveis pelo consumo de água e pela geração de efluentes da planta.

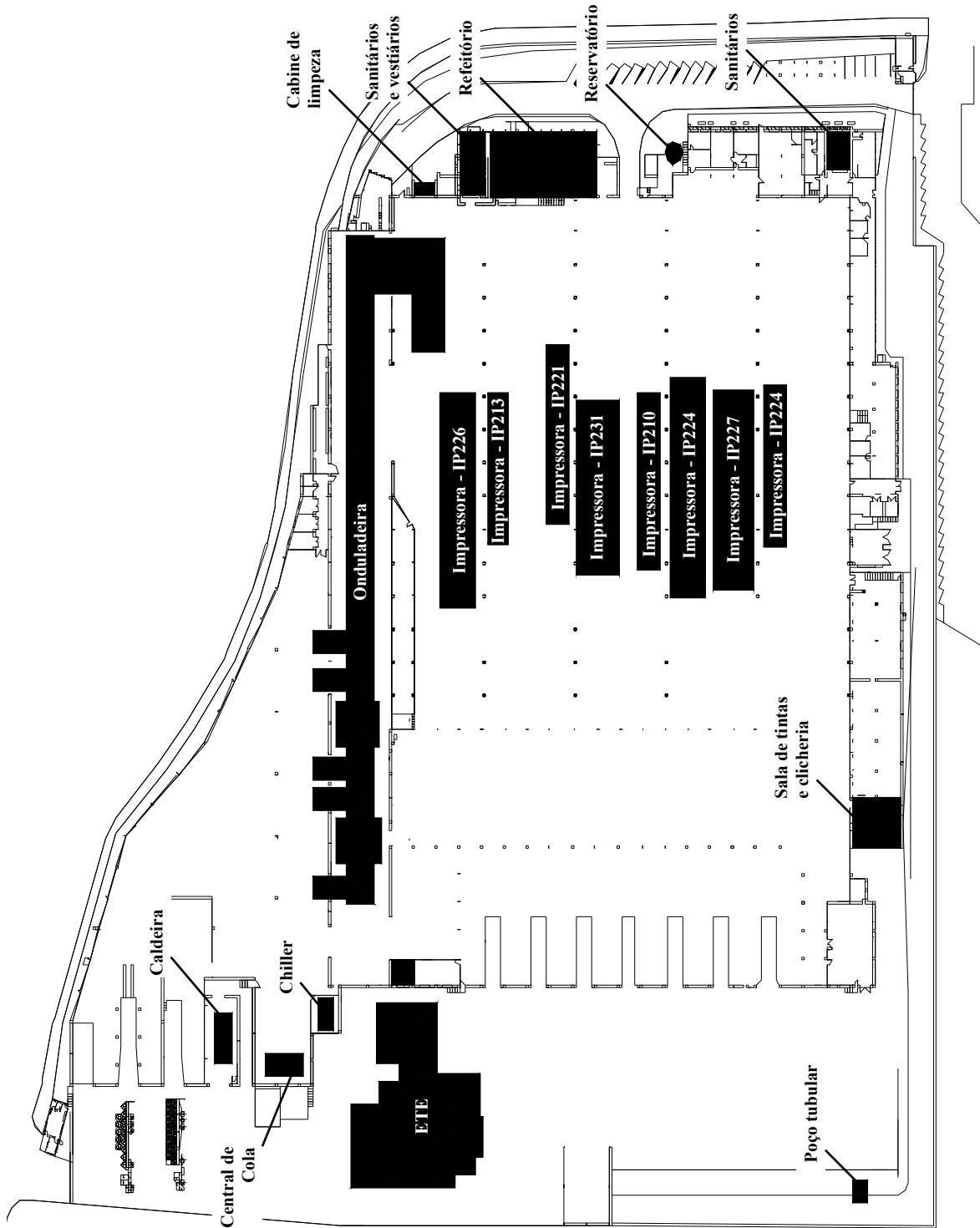


Figura 1.24 – Planta baixa da indústria com a localização dos pontos de oferta, de consumo de água e de geração de efluentes.

A água utilizada na empresa provém de duas fontes de oferta: um poço tubular profundo e a concessionária estadual (CORSAN) e os efluentes gerados, tanto de origem industrial quanto de origem não-industrial (doméstica), são tratados em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) (Figura 1.24). A figura 1.25 apresenta as entradas e saídas de água que compõem o esquema hídrico da empresa.

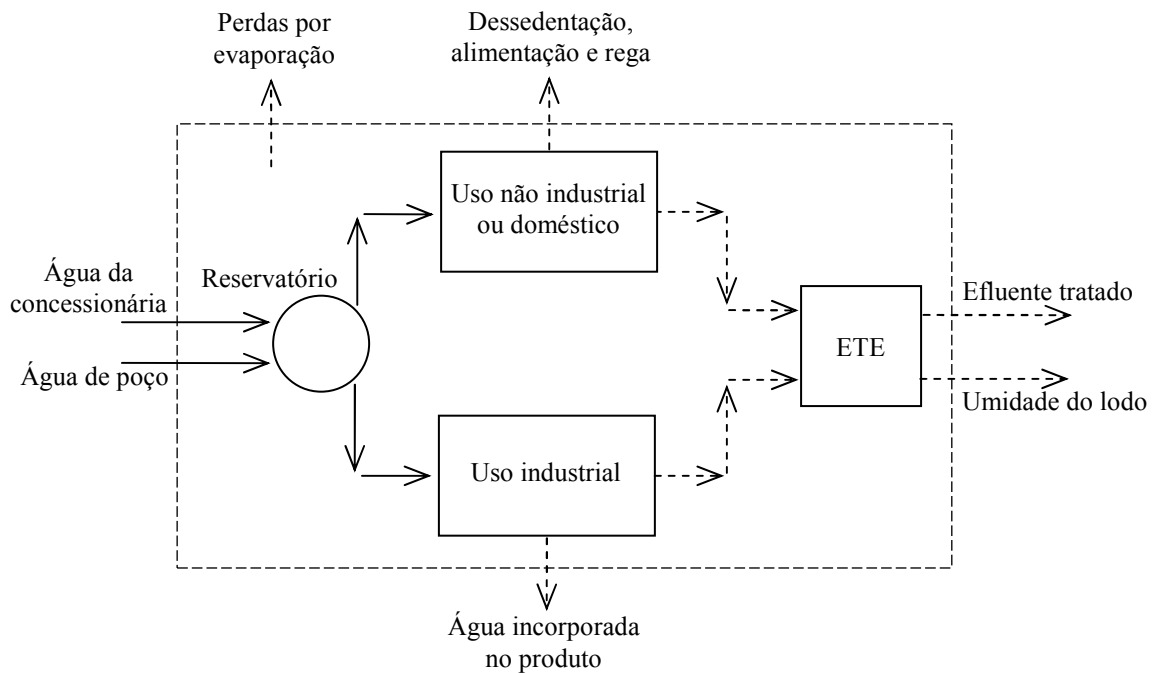


Figura 1.25 – Componentes do balanço hídrico da indústria estudada.

O processo de tratamento de efluentes é composto por, conforme terminologia convencional neste trabalho, pré-tratamento através de gradeamento e sedimentação; tratamento primário por coagulação, floculação e sedimentação; tratamento secundário por lodos ativados com aeração prolongada; e tratamento terciário por filtração rápida em leito de areia e adsorção em leito de carvão ativado granular (Figura 1.26).

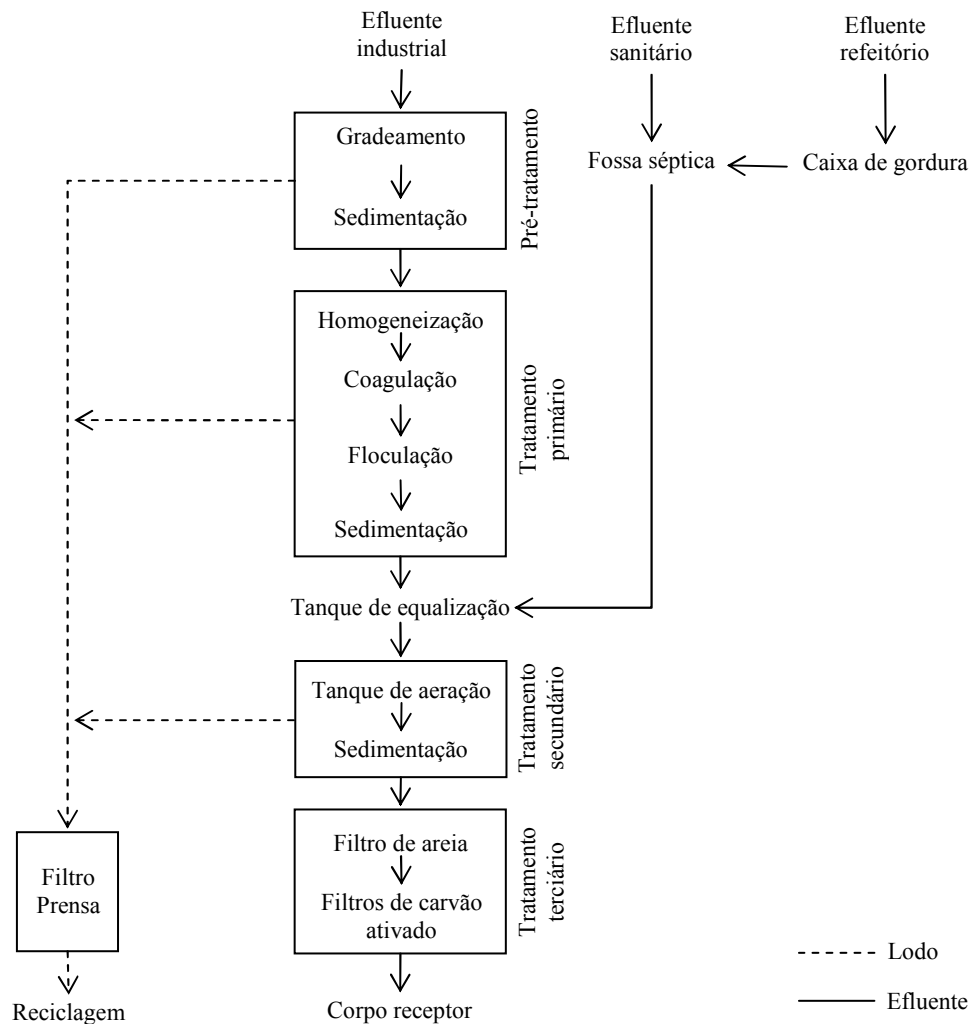


Figura 1.26 – Fluxograma dos processos de tratamento da ETE.

As informações provenientes das interações da empresa com o meio ambiente através das entradas de água do poço e da CORSAN e das emissões de efluentes a partir da ETE (Figura 1.25) forneceram subsídios para a composição de macro-indicadores que representassem o desempenho ambiental da planta industrial. O consumo diário e o nível médio de água do poço tubular, o consumo de água por unidade de produção, e as cargas de poluentes enviadas ao corpo hídrico foram alguns dos indicadores adotados na determinação da situação inicial de conservação da água na empresa. Além desses, indicadores de ordem legal foram estabelecidos para representar o atendimento à legislação vigente quanto ao uso da água e à geração de

efluentes. A outorga do poço tubular e a licença de operação foram utilizadas na sua composição e a situação inicial de conservação da água pode, então, ser diagnosticada legal e tecnicamente.

A identificação de oportunidades de racionalização do uso da água foi o passo seguinte do trabalho e necessitou da instalação de medidores de vazão (Figura 1.27) nos pontos de consumo levantados previamente (Figura 1.24). A leitura dos volumes de água consumidos permitiu a identificação de perdas físicas, de oportunidades de otimização de processos, e de adequação de equipamentos e de componentes hidráulicos. Assim sendo, medidas corretivas com vistas à racionalização do uso da água foram planejadas e adotadas.



Figura 1.27 – Hidrômetros multijato magnéticos com vazão nominal de $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Implantadas as intervenções de racionalização, partiu-se para a identificação de oportunidades de reúso. Inicialmente, os efluentes brutos foram considerados como fonte de oferta e, posteriormente, os efluentes tratados. Os reúsos possíveis foram determinados de acordo com a qualidade e com os volumes de água demandados nos pontos de uso tais como onduladeira e impressoras.

Após as intervenções conservativas, focadas na racionalização do uso e no reúso da água, terem entrado em funcionamento, foi avaliado o seu reflexo sobre os macro-indicadores de

conservação escolhidos inicialmente. Esses resultados e o detalhamento das ações voltadas à conservação da água são apresentados no Capítulo 2.

Os macro-indicadores de ordem legal, elencados durante o estudo de conservação da água mostrado no Capítulo 2, demonstraram que os processos de tratamento de efluentes perderam eficiência de remoção de poluentes com o passar do tempo e, por conseguinte, a ETE deixara de atender aos padrões de lançamento ao corpo hídrico estabelecidos em sua licença de operação.

O estudo das causas da ineficiência da ETE passou por um levantamento histórico de dados sobre a geração e sobre as características dos efluentes aportando ao sistema de tratamento. Esses dados históricos foram, então, confrontados com os parâmetros estabelecidos no projeto dos processos de tratamento e, a partir disso, evidenciou-se uma sobrecarga da etapa secundária de tratamento, devida tanto ao acréscimo histórico de vazões quanto de concentração de alguns contaminantes.

Como a fonte de oferta de efluente tratado para água de reúso, escolhida durante o estudo de conservação da água, foi o efluente de tratamento primário (Figura 1.26), identificou-se uma possível redução de cargas e volumes aportando ao processo de tratamento secundário por lodos ativados. Portanto, o reúso foi identificado como oportunidade de revitalização do sistema de tratamento de efluentes e uma modelagem matemática, baseada no balanço de massas para os contaminantes críticos, foi utilizada na determinação de seus reflexos sobre o desempenho global da ETE.

Após os dados resultantes da modelagem mostrarem que o reúso seria uma alternativa viável de revitalização da ETE, ele foi implantado e seus impactos sobre a eficiência dos processos de tratamento foram monitorados. Os dados provenientes do monitoramento foram as vazões tratadas no sistema de lodos ativados e nos demais processos de tratamento, e as

concentrações dos contaminantes críticos presentes no efluente do tratamento secundário. Essas concentrações receberam tratamento estatístico de *Student* de modo a se determinar se houve significância para a hipótese do reúso ter revitalizado o sistema de tratamento de efluentes. Os resultados dessa análise estatística e demais avaliações realizadas sobre a revitalização dos processos de tratamento de efluentes encontram-se no Capítulo 3.

2 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE PAPELÃO ONDULADO

Artigo submetido à Revista ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL em 07/12/2009.

1 **CONSERVAÇÃO DA ÁGUA APLICADA A UMA INDÚSTRIA DE PAPELÃO**
2 **ONDULADO**

3 **WATER CONSERVATION APPLIED TO A CORRUGATED PACKAGING**
4 **PLANT**

5 *CRISTIANO CORRÊA WEBER*

6 Engenheiro Civil pela UFRGS. Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no
7 Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Supervisor de Meio Ambiente da Trombini
8 Industrial S/A.

9 *LUIZ FERNANDO CYBIS*

10 Engenheiro Civil pela UFRGS. PhD em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade de
11 Leeds. Professor adjunto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

12 *LADEMIR LUIZ BEAL*

13 Engenheiro Químico pela FURG. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo
14 Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Professor adjunto do Centro de Ciências Exatas e
15 Tecnologia da UCS.

16 Endereço para correspondência: Cristiano Corrêa Weber – Rua Thomaz Edison, 159/104 –
17 Centro – CEP95180-000 – Farroupilha – RS – Brasil – Tel.: +55 (54) 2109.7000 – e-mail:
18 cegalu@gmail.com

19 **RESUMO**

20 O principal objetivo deste artigo foi estabelecer estratégias para a conservação da água em uma
21 indústria de embalagens de PO. O uso racional e o reúso da água foram as ferramentas de
22 conservação escolhidas para melhorar o desempenho ambiental da planta estudada. Após essas
23 intervenções, o consumo médio de água foi reduzido em 45% e o consumo específico caiu de
24 213,11 mililitros de água por metro quadrado de papelão ondulado (mL.m^{-2}) para 89,41 mL.m^{-2} .
25 Como resultado final, além da redução no consumo de água, os efluentes tratados passaram a
26 cumprir a legislação ambiental.

27 **Palavras chave:** conservação da água; uso racional; reúso da água; indústria; papelão ondulado.

28 **ABSTRACT**

29 The main goal of this article was establish water conservation strategies in a corrugated
30 packaging plant. The rational water use and reuse was the water conservation tools chosen to
31 improve the environmental performance of this plant. After the conservative interventions, the
32 plant average water consumption was reduced at 45% and the specific water consumption decay
33 from 213.11 milliliters of water per square meters of corrugated paperboard (mL.m^{-2}) to 89.41
34 mL.m^{-2} . As final result, further water consumption reduction, the wastewater streams began to
35 comply with the environmental legislation.

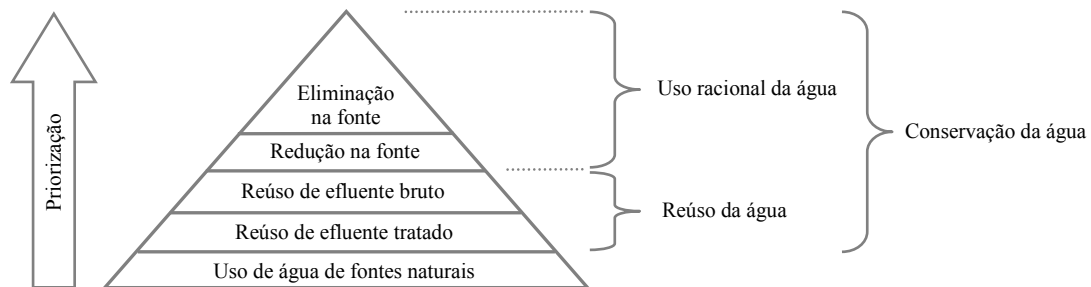
36 **Keywords:** water conservation; rational use; water reuse; industry; corrugated paperboard.

37 INTRODUÇÃO

38 O aumento da população mundial somado ao consumo crescente dos recursos hídricos colabora
39 para uma perspectiva futura de escassez da água. A redução dos volumes disponíveis para cada
40 habitante e a degradação de sua qualidade são os dois aspectos que configuram esse quadro de
41 escassez: quantidade e qualidade (FIESP, 2004).

42 Inserido neste contexto, encontra-se o segmento industrial que é responsável por,
43 aproximadamente, 25% do consumo mundial de água e é constituído por atividades
44 potencialmente poluidoras (Mancuso e Santos, 2003). A indústria de embalagens de PO, por
45 exemplo, ao utilizar tintas recalcitrantes aos processos de tratamento convencionais, representa
46 importante capacidade poluidora. Os corantes azóicos, constituintes dessas tintas, chegam aos
47 corpos receptores após passarem pelo tratamento de efluentes e, quando incorporados às águas de
48 abastecimento, oferecem risco de câncer aos seres humanos (DEPA, 1998). Além desses riscos,
49 os corantes azo elevam as cargas de DBO₅, DQO e de nitrogênio total Kjeldhal (NTK) dos
50 efluentes lançados, colaborando para a degradação da qualidade dos corpos receptores.

51 A escassez da água, seja ela causada por consumo excessivo ou por poluição, encontra solução
52 através das ferramentas de conservação. Segundo New Mexico Office of the State Engineer
53 (1999), a conservação é definida como toda e qualquer ação que reduza a quantidade de água
54 extraída da natureza, seu consumo, suas perdas e desperdícios, que torne seu uso mais eficiente,
55 que promova sua reciclagem e seu reuso ou previna sua poluição. Contudo, Wan Alwi *et al.*
56 (2008) acrescenta que a maximização dos resultados dessas ações deve ser obtida através do
57 ordenamento delas conforme a priorização apresentada na Figura 1.



58
59

Figura 1 – Priorização das ações de conservação da água (adaptado de Wan Alwi *et al.*, 2008).

60 Neste trabalho, estudou-se uma indústria de embalagens de PO da região Nordeste do Rio Grande
61 do Sul cujo sistema de tratamento de efluentes encontrava dificuldades em atender os padrões de
62 lançamento estabelecidos pelo órgão ambiental e cujo consumo da água era excessivo nas
63 atividades produtivas desenvolvidas. A solução desse problema e o incremento do desempenho
64 ambiental da planta fabril foram buscados através da aplicação das técnicas de conservação da
65 água conforme apresentado na Figura 1.

66 METODOLOGIA

67 A primeira etapa do estudo consistiu na elaboração de um diagnóstico inicial de uso da água na
68 indústria. Para tanto, indicadores foram estabelecidos de modo que representassem o atendimento
69 à legislação ambiental, premissa básica de um sistema de gerenciamento ambiental (Sans *et al.*,
70 1998), e a conservação da água em quantidade e em qualidade.

71 Os indicadores fornecidos pela legislação ambiental advieram da Licença de Operação da fábrica
72 (LO) emitida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM) e
73 da outorga do poço tubular, fonte de abastecimento de água da empresa, emitida pela Secretaria
74 Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA). O não atendimento dos limites de
75 emissão de efluentes para DBO₅, DQO, NTK e P_{total} (fósforo total) presentes na LO e dos limites

76 de consumo diário e de nível de água presentes na outorga do poço gerava não conformidades
77 legais. O percentual dessas não conformidades sobre o total de registros compôs os indicadores
78 de atendimento à legislação.

79 Referentemente à conservação da água, três indicadores foram estabelecidos: o consumo
80 específico de água (CEA), o nível da água no poço tubular (NAP) e as cargas dos poluentes
81 DBO_5 (Carga_{DBO}), DQO (Carga_{DQO}), NTK (Carga_{NTK}) e P_{total} (Carga_P) lançadas ao corpo receptor
82 representando, CEA e NAP, a preservação da água em quantidade e os demais em qualidade. O
83 CEA foi calculado de acordo com volume de água consumido (mL) para produzir um metro
84 quadrado de papelão ondulado, logo é expresso na unidade $mL.m^{-2}$. O NAP representa a
85 profundidade da lâmina d'água do poço tubular medida a partir de sua superfície. Os indicadores
86 de qualidade (cargas de poluentes), por sua vez, foram compostos através da multiplicação da
87 concentração de cada poluente, presente no efluente tratado, pela vazão média lançada ao corpo
88 receptor.

89 De posse dos indicadores, iniciou-se a identificação dos pontos de consumo de água e de geração
90 de efluentes. Esse passo é fundamental para a determinação dos tipos de uso da água praticados e
91 das oportunidades de racionalização do uso e de reúso. Para tanto, foram realizadas visitas a
92 campo, analisados documentos históricos e instalados medidores de vazão nos setores
93 consumidores de água conforme proposto por Sautchúk (2004). Os dados resultantes desses
94 levantamentos foram organizados em gráficos de barras dispostas em ordem decrescente de
95 consumo de água conforme os setores e os tipos de uso identificados.

96 Os setores e usos de maior consumo receberam a atenção inicial na busca de oportunidades de
97 conservação da água. As primeiras ações adotadas seguiram a priorização exposta na Figura 1, ou
98 seja, a racionalização do uso da água. Para tanto, as perdas físicas e os hábitos e procedimentos
99 operacionais que geravam desperdício foram identificados e, consecutivamente, intervenções de
100 ordem comportamental e físicas foram adotadas. As intervenções comportamentais foram
101 compostas por medidas de caráter educativo visando obter mudanças de hábito no uso da água
102 através da conscientização (Corral-Verdugo, 2002). As intervenções físicas, por sua vez,
103 passaram pela eliminação de perdas de água, tais como vazamentos em tubulações e
104 reservatórios, e de desperdícios por processos ineficientes de uso.

105 Esgotadas as oportunidades de racionalização do uso, partiu-se para a identificação das
106 oportunidades de reúso da água. Estudou-se o reúso de efluentes brutos e de efluentes tratados em
107 substituição à água de poço tubular nos processos produtivos, ou seja, o reúso não potável da
108 água. Os processos capazes de receber água de reúso foram elencados e tiveram sua qualidade e
109 quantidade mínima de água determinadas. Depois de verificadas essas demandas, verificou-se as
110 fontes de oferta de água de reúso disponíveis. Parâmetros de qualidade e de quantidade da água
111 proveniente dessas fontes também foram determinados. Após esses levantamentos, se analisou as
112 possibilidades de reúso caso a caso, realizando-se as alocações de água viáveis conforme o tipo
113 de uso. A ordem de estudo e implantação das atividades de reúso seguiu a premissa de não se
114 usar água com qualidade superior à mínima necessária a cada tipo de uso.

115 Ao final do estudo, após as intervenções de racionalização do uso e de reúso da água terem sido
116 aplicadas à planta fabril, realizou-se uma análise dos resultados dessas ações. Avaliou-se,
117 novamente, sob os critérios de desempenho estabelecidos na etapa de diagnóstico, o atendimento
118 à legislação ambiental e a conservação da água em quantidade e em qualidade. Os resultados
119 encontrados foram confrontados com os valores iniciais, determinando-se o incremento obtido no
120 desempenho ambiental do empreendimento.

121 RESULTADOS E DISCUSSÃO

122 Diagnóstico da empresa

123 Os parâmetros de emissão de efluentes ao corpo receptor, DBO₅, DQO, NTK e P_{total},
 124 encontravam-se em desacordo com os limites estabelecidos na LO emitida pela FEPAM. A
 125 Tabela 1 mostra que as concentrações de nutrientes no efluente tratado, representadas por NTK e
 126 P_{total}, excediam, respectivamente, os limites máximos de lançamento em 82% e 65% dos laudos
 127 de análise observados. Referentemente à matéria orgânica carbonácea passível de degradação,
 128 representada pela DBO₅ e DQO, as não conformidades eram menos frequentes, contudo ainda
 129 havia o desrespeito à legislação. Similarmente ao que ocorria com os parâmetros de qualidade do
 130 efluente tratado, o limite máximo de consumo de água do poço tubular, estabelecido em outorga
 131 emitida pela SEMA, era ultrapassado em algumas situações, chegando a alcançar um valor médio
 132 de 149 m³.dia⁻¹ em maio de 2006, ou seja, 29 m³.dia⁻¹ acima do máximo determinado. Ou seja, à
 133 exceção do nível da água no poço tubular, todos os parâmetros de controle estabelecidos
 134 legalmente encontravam-se não conformes entre 27% e 82% das vezes.

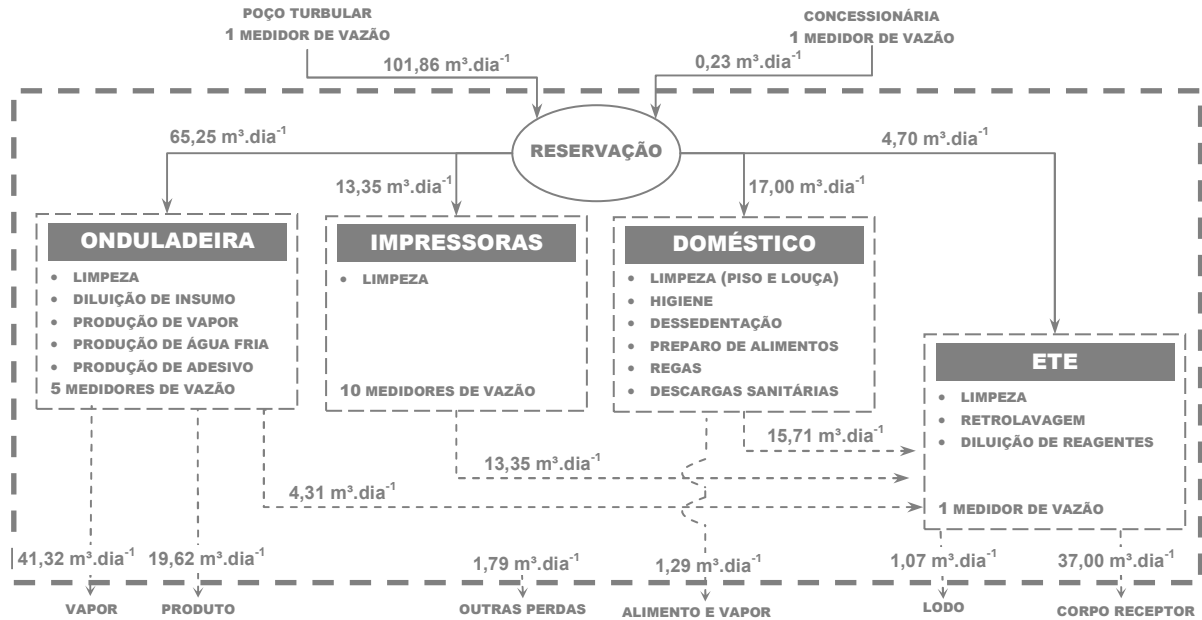
135 **Tabela 1 – Dados estatísticos sobre a qualidade do efluente tratado, consumo de água e nível do poço tubular.**

Período: junho/2003 a janeiro/2007	Efluente final tratado				Poço tubular	
	DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	NTK (mg.L ⁻¹)	P _{total} (mg.L ⁻¹)	NAP (m)	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)
Média	163	368	35,1	2,3	54,10	101,86
Desvio padrão	124	239	29,5	2,1	0,93	32,29
Limite mínimo legal					51,68	
Limite máximo legal	135	405	10	1	57,43	120
Observações (un)	72	72	72	72	658	129
Não conformidades (un)	37	26	59	47	0	35
Não conformidades (%)	51%	36%	82%	65%	0%	27%

136 Referentemente aos indicadores de conservação da água adotados, obteve-se CEA igual a 213,11
 137 mL.m⁻², acima dos 160 mL.m⁻² encontrados na literatura internacional (Weyerhaeuser, 2008), e
 138 NAP de 54,10 m. As cargas lançadas ao corpo receptor, considerando-se uma vazão média de
 139 efluente tratado de 37 m³.dia⁻¹, chegaram aos valores de 6,03 kg.dia⁻¹, 13,60 kg.dia⁻¹, 1,30 kg.dia⁻¹
 140 e 0,09 kg.dia⁻¹, respectivamente, para Carga_{DBO5}, Carga_{DQO}, Carga_{NTK} e Carga_p.

141 Tais indicadores, representando o atendimento à legislação ambiental e a situação inicial de
 142 conservação da água, apontavam para a necessidade imediata de se melhorar o desempenho do
 143 uso da água e da geração de efluentes da planta estudada. A identificação dessas oportunidades
 144 de melhoria passou, inicialmente, pela identificação dos usos da água. O seu consumo foi, então,
 145 classificado como produtivo e não-produtivo conforme a finalidade do uso. O primeiro tipo
 146 envolve as atividades que consomem água na área fabril e de utilidades e o segundo tipo envolve
 147 as atividades chamadas de atividades de apoio.

148 O uso da água no setor produtivo da planta industrial ocorre nas áreas de ondulação, de impressão
 149 e de tratamento de efluentes. No setor de ondulação a água é consumida nos seguintes pontos:
 150 produção de vapor, fabricação de adesivo de amido, produção de água refrigerada, diluição da
 151 resina de impermeabilização do papel, sistemas de limpeza de máquina e aplicação direta sobre o
 152 papel como pode ser visto na Figura 2.



153 **Figura 2 – Diagrama de fluxos para o consumo de água e para a geração de efluentes na fábrica estudada**
 154 **(linhas cheias representam os fluxos de água entrando no sistema e nos processos e as linhas tracejadas as**
 155 **perdas de volumes dos processos e do sistema através de efluentes, vapores e água incorporada ao produto).**
 156

157 A área de impressão consome água, principalmente, quando as impressoras trocam a embalagem
 158 que está em produção por outra que requer cores distintas daquelas que estão sendo usadas.
 159 Exerce-se, então, a limpeza de todo o sistema de impressão, gerando o consumo de água e a
 160 emissão de efluentes. Além dessa, ocorrem limpezas periódicas de manutenção nas quais as
 161 partes móveis das impressoras são desmontadas e lavadas em uma cabine. Existe, também, uma
 162 área que coordena a logística de fornecimento de tintas e de peças de impressão (clichês) às
 163 impressoras, chamada de sala de tintas. Nela, consome-se água durante a lavagem das
 164 embalagens vazias de tinta e dos clichês.

165 Na estação de tratamento de efluentes, o consumo da água ocorre durante a diluição de reagentes,
 166 nas operações de retrolavagem dos filtros e nos processos de limpeza.

167 Os usos não-produtivos da água são: descargas sanitárias, higiene pessoal, limpeza de louças e
 168 preparo de refeições, dessedentação humana e rega de jardins.

169 Conhecidos os tipos e pontos de uso da água, instalaram-se medidores de vazão, com a finalidade
 170 de se obter registros de consumo por setor e por tipo de uso, priorizando-se os setores de
 171 produção. Um total de 15 medidores de vazão foi instalado na onduladeira e nas impressoras
 172 (Figura 2) e, nos setores que não receberam medidores, o consumo de água foi estimado.

173 Ordenando-se os dados de vazão adquiridos, por setor e por tipo de uso, obtiveram-se os gráficos
 174 da Figura 3. Ao analisá-los, observa-se que o consumo majoritário da água ocorria no setor de
 175 ondulação, representando 64% do consumo total de água da planta. O setor de impressão era o
 176 segundo maior consumidor para fins produtivos com 13% do consumo de água da fábrica que,
 177 somado ao setor de ondulação, acumulava 77% do consumo diário médio de água da empresa
 178 (78,60 m³.dia⁻¹).

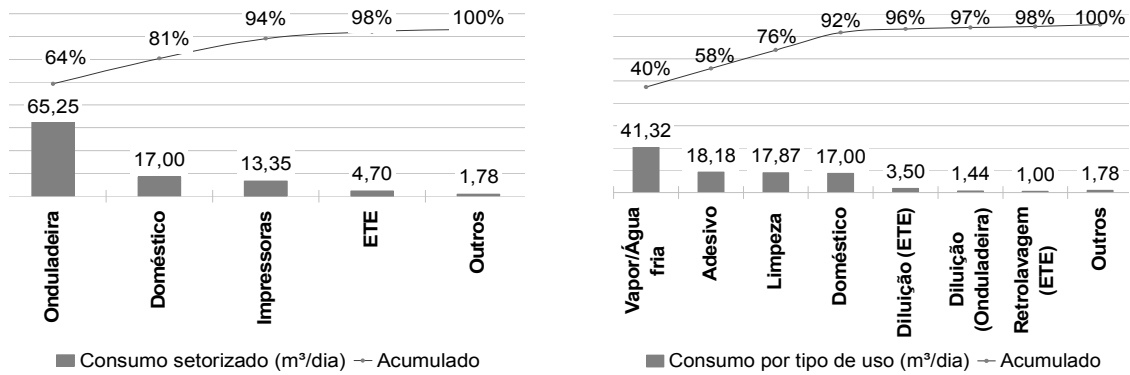


Figura 3 – Distribuição do consumo de água por setor e por tipo de uso.

179
180

181 De acordo com o tipo de uso, a Figura 3 mostra que 76% do uso da água ocorria em três
182 atividades: produção de vapor e de água fria (ondulação); produção de adesivo de amido
183 (ondulação) e na limpeza de máquinas, equipamentos e peças de impressão (ondulação,
184 impressão e ETE).

185 Uso racional da água

186 Após a instalação de hidrômetros e da obtenção dos primeiros registros de consumo de água,
187 iniciou-se um trabalho focado na mudança comportamental quanto ao uso desse recurso natural.
188 A inclusão dos setores consumidores em um programa de treinamento e de conscientização sobre
189 a importância da preservação da água foi o cerne das intervenções comportamentais.

190 Visto que os processos de limpeza dos equipamentos eram em sua maioria manuais, as ações
191 foram focadas nos operadores de onduladeira e de impressoras. A primeira etapa ocorreu em sala,
192 com uma explicação sobre a importância da água para o homem e para o meio ambiente, seguida
193 de acompanhamento nas áreas de trabalho. A segunda etapa ocorreu através da participação na
194 limpeza do arroio Centenário, corpo receptor dos efluentes domésticos e industriais tratados,
195 proporcionando aos envolvidos a visão real sobre a gravidade do problema abordado.

196 Devido à existência, na onduladeira, de uma metodologia de limpeza padrão que contemplava as
197 boas práticas operacionais de uso da água, os efeitos desta ação foram menos significativos no
198 setor. No caso das 8 impressoras, pode-se identificar uma importante redução no consumo de
199 água através da mudança de hábitos operacionais. O maior controle sobre o tempo necessário de
200 escoamento da água para a limpeza dos tinteiros das impressoras foi responsável por uma
201 redução de 13,5% no consumo médio diário desse setor, passando de 13,35 m³ para 11,55 m³. Em
202 termos de consumo específico, a redução foi ainda maior, passando de 27,9 mL.m⁻² para 18,3
203 mL.m⁻², representando uma diminuição de 34,2% no indicador do setor. Isso demonstra que a
204 queda no consumo da água foi alcançada apesar do aumento na produção de embalagens ocorrido
205 durante o período de realização das intervenções, reforçando a consistência do resultado.

206 Realizadas as intervenções comportamentais, trabalhou-se naquelas de ordem física. Sendo
207 assim, o foco inicial foi no setor de ondulação por ser o maior consumidor de água. Nele, os
208 volumes mais expressivos davam-se na produção de vapor onde, diariamente, 41,26 m³ de água
209 de reposição eram consumidos, ou seja, 63% do total do setor.

210 Ao se estudar as características relativas ao consumo de água na geração de vapor, fornecidas
211 pelo fabricante da caldeira, percebeu-se que ela deveria consumir entre 14 e 20 m³ na reposição
212 ao invés dos 41,26 m³ registrados historicamente. Uma busca por perdas físicas foi realizada na
213 linha da alimentação da caldeira, nos pontos de consumo de vapor e no purgador do tanque de
214 alimentação. Identificou-se que o controle de nível do condensado, existente no tanque de
215 alimentação, era falho e a água perdia-se sob regime contínuo através de seu purgador (Figura 4).

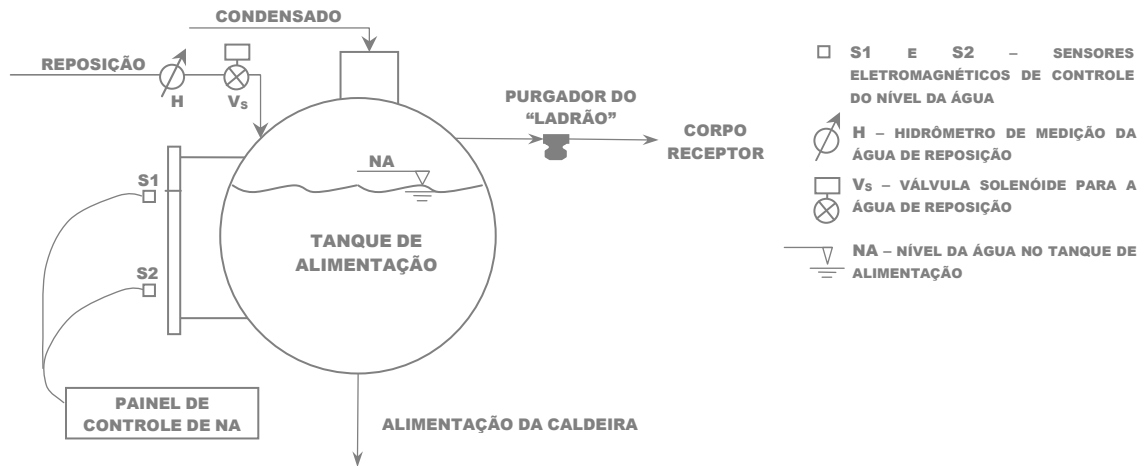


Figura 4 – Representação do tanque de alimentação da caldeira.

216
217

218 A correção da perda física ocorreu em duas etapas: controle visual do nível da água no tanque de
219 alimentação pelos operadores da caldeira (E1); e o controle automático do nível da água no
220 tanque de alimentação através dos sensores S1 e S2 (E2). Posteriormente, uma etapa (E3) de
221 eliminação de desperdício através de alteração de processo, na qual o cancelamento do
222 aquecimento da água por vapor vivo no tanque de alimentação proporcionou uma redução ainda
223 maior no consumo de água. A Tabela 2 apresenta as reduções obtidas através das intervenções no
224 processo de produção de vapor do setor de ondulação.

225

Tabela 2 – Resultados das intervenções de racionalização do uso da água no processo de produção de vapor.

Etapa	Ação	Tipo	Consumo anterior (m ³ .dia ⁻¹)	Consumo final (m ³ .dia ⁻¹)	Redução (%)
E1	Controle visual do NA no tanque de alimentação	Eliminação de perdas	41,26	30,68	25,6
E2	Controle automático do NA no tanque de alimentação	Eliminação de perdas	30,68	23,04	24,9
E3	Cancelamento do aquecimento da água no tanque de alimentação	Alteração de processo	23,04	15,36	33,3
Final			41,26	15,36	62,8

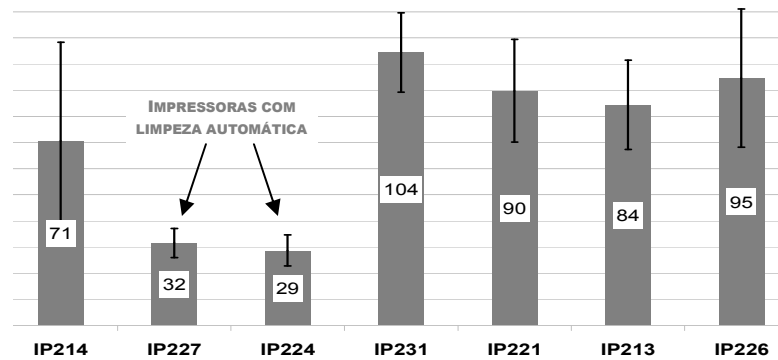
226

Seguindo-se a ordem das atividades que mais consumiam água, conforme mostra a Figura 3, tem-se a produção de adesivo como segundo maior consumo. A primeira opção de racionalização, nesse caso, seria a redução de aplicação de adesivo sobre o papel com a consequente redução no consumo de água, contudo a onduladeira existente na planta já detém tecnologia de aplicação precisa de adesivo. Esse fato pode ser comprovado através do comparativo com a onduladeira anterior que tinha o consumo de água de 52,3 mL.m⁻², superior aos 38,0 mL.m⁻² atuais.

232

O terceiro maior consumo produtivo de água ocorria na limpeza de máquinas e equipamentos. No setor de impressão, conforme se pode verificar na Figura 5, existe uma diferença significativa entre a demanda de água de limpeza das impressoras IP224 e IP227 e a demanda das demais. A análise comparativa dos ciclos de lavagem dessas máquinas mostrou a importância da diferença tecnológica. As IP224 e IP227 apresentam sistema automático de limpeza o que lhes atribui um consumo médio, pelo menos, 50% inferior ao das outras máquinas instaladas. Além desse ganho, a automação do processo de lavagem proporciona menor variabilidade do consumo de água como pode ser observado através de seu desvio padrão (Figura 5). Ou seja, a demanda por água nos processos de limpeza fica menos suscetível aos erros humanos que, nesse caso, são provenientes do uso sem critério de volumes de água, muitas vezes excessivos, durante as operações de limpeza.

242



243
244

Figura 5 – Consumo específico médio de água nas impressoras, em L.acerto⁻¹, e seu desvio padrão.

245 Através da análise da Figura 5, pode-se concluir que automatizando a limpeza de todas as
246 impressoras haveria uma redução aproximada de 40% no consumo diário médio no setor, ou seja,
247 o consumo passaria de 11,55 m³.dia⁻¹ para 6,93 m³.dia⁻¹.

248 Reúso da água

249 A identificação das oportunidades de reúso da água iniciou pela determinação dos tipos de uso
250 que permitiriam essa prática. Na Tabela 3, são apresentados os tipos T1 a T5 nos quais se poderia
251 realizar o reúso não potável. A análise dos dados fornecidos pelos hidrômetros resultou nas
252 faixas de consumo apresentadas na Tabela 3, as quais são necessárias para a alocação posterior da
253 água de reúso em cada atividade consumidora.

254

Tabela 3 – Tipos de uso que aceitam reúso não potável da água.

Tipo de reúso	Atividade	Consumo de água (m ³ .dia ⁻¹)	Consumo de água acumulado (m ³ .dia ⁻¹)
T1 Industrial	Produção de adesivo 1	8,0 – 10,0	8,0 – 10,0
	Produção de adesivo 2	8,0 – 10,0	16,0 – 20,0
T2 Industrial	Diluições na ETE	3,0 – 4,0	19,0 – 24,0
T3 Industrial	Limpeza da onduladeira	4,0 – 5,0	23,0 – 29,0
	Limpeza das impressoras	10,0 – 12,0	33,0 – 41,0
	Limpeza de baldes e clichês	2,0 – 3,0	35,0 – 44,0
	Limpezas diversas	0,1 – 0,3	35,1 – 44,3
T4 Industrial	Geração de vapor e de água refrigerada	14 - 18	44,1 – 54,3
T5 Doméstico	Descargas sanitárias	9 – 10	58,1 – 72,3

255 As seguintes fontes de oferta de água de reúso foram consideradas para o reúso de efluentes
256 brutos: efluente de limpeza das impressoras e efluente de limpeza da onduladeira. Para o reúso de
257 efluentes tratados, consideraram-se as seguintes fontes: efluente do tratamento primário e
258 efluente do tratamento terciário da ETE.

259 Dentre as fontes de oferta de efluente bruto, aquele gerado na limpeza da onduladeira foi a
260 primeira hipótese a ser avaliada. Apresentando valores de pH na faixa de 10 a 13, teor de sólidos
261 acima de 10% e alta biodegradabilidade devida à presença de amido, essa corrente líquida foi
262 desqualificada tecnicamente para esse tipo de reúso.

263 A água de limpeza das impressoras, segundo o artigo técnico da TAPPI (2001), poderia ser
264 reusada na produção de adesivo de amido. Contudo, o mesmo artigo cita que, por ser carregado
265 com pigmentos, corantes, detergentes e outros compostos químicos característicos do processo
266 flexográfico de impressão, esse tipo de efluente apresenta teor de sólidos entre 5% e 8%, podendo
267 desestabilizar as propriedades de adesão do adesivo. Por conseguinte, essa corrente líquida não
268 foi adotada para a prática de reúso.

269 Depois de descartada a possibilidade de reúso de efluentes brutos, avaliou-se o reúso de efluentes
270 tratados. As vazões médias disponíveis, provenientes dos processos de tratamento primário (FP) e
271 terciário (FT) eram, respectivamente, 19,07 m³.dia⁻¹ e 34,86 m³.dia⁻¹ conforme indica a Figura 6.

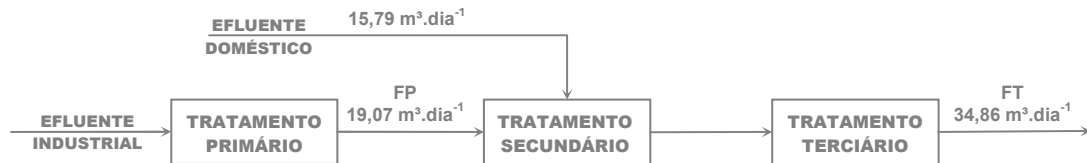


Figura 6 – Diagrama de fluxos simplificado do sistema de tratamento de efluentes (ETE).

A alocação dos volumes de água de FP e FT para os tipos de uso citados na Tabela 3 foi baseada no conceito de prevenção da poluição. Por isso, definiu-se que as atividades que receberiam água de reúso seriam aquelas que consumissem maior volume da fonte de oferta FP, ou seja, aquela com água de menor qualidade e menor nível de tratamento.

Dentre os tipos de uso elencados na Tabela 3, T1 apresentava viabilidade técnica para receber água de reúso de FP. Treadaway e Johnson (1997) adotaram essa prática em uma planta produtora de PO da Georgia-Pacific Corporation (EUA). Na indústria descrita no presente artigo, aplicou-se esse mesmo tipo de reúso, ou seja, na produção de adesivo de amido. O controle de pH da água de reúso, a dosagem de um biocida e de um agente complexante de cálcio às bateladas de adesivo foram medidas de controle usadas na prevenção da perda de qualidade do adesivo e da formação de incrustação na OD. O consumo médio de água de reúso para esse fim, após a implantação do sistema, está sendo de $18,6 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ na planta estudada.

Esgotadas as possibilidades de reúso de FP, estudou-se a viabilidade técnica de reúso de FT nos tipos T2 a T5 da Tabela 3. A diluição de reagentes do tratamento de efluentes (T2) foi testada em planta através da produção de 60 bateladas de coagulante e de polieletrólito floculante no processo primário de tratamento. Nenhum efeito adverso à eficiência do tratamento foi constatado, pois tanto a sedimentabilidade e o volume final de lodo formado, e o consumo de reagentes permaneceram inalterados durante os testes de reúso.

Nos processos de limpeza industrial (T3), a água de reúso proveniente do tratamento terciário atenderia a todos os padrões de qualidade expressos para a Classe 1 da NBR13969 (1997) exceto pelos sólidos dissolvidos totais (SDT). Todavia, esse parâmetro não representa riscos ao reúso uma vez que os índices de Langelier e de Ryznar (Metcalf e Eddy, 2003) indicam que o comportamento dessa água, quanto à corrosão ou à formação de depósitos, varia entre neutro e levemente incrustante. Além disso, a água de poço que tem outorga para uso industrial também apresenta SDT acima do limite indicado na NBR citada, porém não compromete as atividades atuais de limpeza das máquinas e de seus componentes.

Em T5, ou seja, para reúso em descargas sanitárias, a NBR13969 apresenta limites ainda mais brandos e não há restrições para SDT, logo o reúso seria completamente viável perante a norma brasileira citada.

No caso do reúso para a geração de vapor na caldeira (T4), a situação é mais crítica visto que a alcalinidade e o SDT são muito elevados mesmo na água proveniente do tratamento terciário. Essa água necessitaria de tratamento adicional que garantisse a qualidade exigida para caldeiras. Embora tecnologias de tratamento tais como osmose inversa e a troca iônica viabilizem tecnicamente esse reúso, elas só se justificariam economicamente quando aplicadas a sistemas de geração de vapor de maior escala.

Muito embora o reúso de FT em T2, T3 e T5 tenha se demonstrado viável e capaz de consumir entre $18,1 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ e $30,3 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de água, eliminando a emissão de efluentes ao meio ambiente, ele ainda não foi implantado.

312 Análise dos resultados

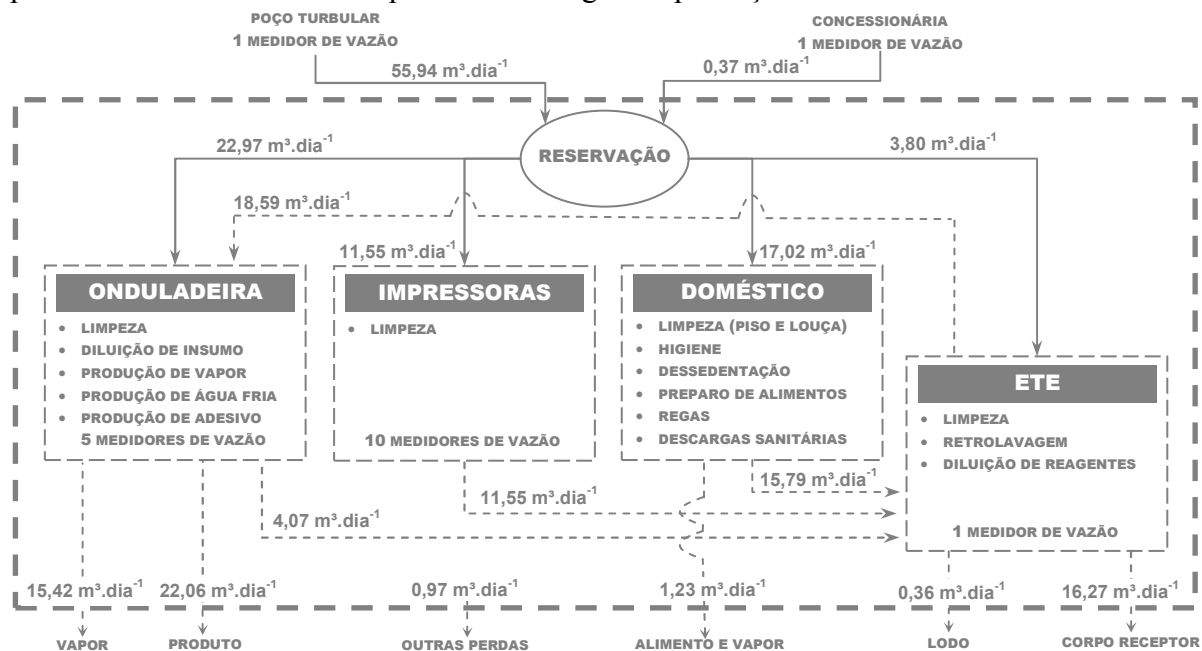
313 As intervenções implantadas na busca da conservação da água estão descritas na Tabela 4. Nela,
314 observa-se que um dos resultados da implantação das medidas conservativas foi a redução de 44
315 $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ na captação de água.

316 **Tabela 4 – Intervenções conservativas implantadas e suas reduções no consumo de água de fontes externas.**

Intervenções (I)			Consumo da água		
Descrição	Tipo	Tipo/setor de uso	Antes "I" ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$)	Após "I" ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$)	Redução (%)
Treinamento e conscientização	Comportamental	Limpeza/Impressoras	13,35	11,55	13,5
Controle do NA no tanque de alimentação	Eliminação de perdas	Vapor/Onduladeira	41,26	23,04	44,2
Cancelamento do aquecimento da água na alimentação	Alteração de processo	Vapor/Onduladeira	23,04	15,36	33,3
Reúso na produção de adesivo	Reúso	Adesivo/Onduladeira	18,18	2,12	88,3

317 A redução apontada refletiu, diretamente, sobre o consumo médio de água de fontes externas que
318 passou de $102,09 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ para $56,31 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ após a realização das intervenções. Como as
319 produções de PO, referentes a esses consumos foram de $479.069 \text{ m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ e $629.862 \text{ m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$, o
320 consumo específico da água passou de $213,11 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ para $89,41 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$, ou seja, diminuiu
321 58,04%. Esse valor mostra-se bastante abaixo dos $160 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ citados em referências
322 internacionais para setor de papelão ondulado (Weyerhaeuser, 2008).

323 A Figura 7 descreve graficamente o sistema estudado e os fluxos de água e de efluentes internos e
324 externos a ele. Comparativamente à Figura 2, este diagrama apresenta um fluxo adicional
325 representando a linha instalada para reúso da água na produção do adesivo.



326 **Figura 7 – Diagrama de fluxos para o consumo de água e geração de efluentes após as intervenções (linhas**
327 **cheias representam os fluxos de água entrando no sistema e nos processos e as linhas tracejadas o reúso e as**
328 **perdas de volumes dos processos e do sistema através de efluentes, vapores e água incorporada ao produto).**
329

330 É importante notar que as interações do sistema com o meio ambiente são menores quando
331 comparadas ao momento anterior à conservação da água. A captação de água do poço tubular e
332 da concessionária, as perdas de água através do vapor, do lodo e dos efluentes foram reduzidas
333 como consequência das ações voltadas à racionalização do uso e ao reúso da água.

334 Outra consequência da redução de consumo foi a recuperação do nível médio da água ou
335 profundidade da lâmina d'água (NAP) do poço que passou de 54,10 m para 50,74 m (medida
336 realizada a partir da superfície até a lâmina). Essa recuperação de nível superou, inclusive, o nível

337 estático máximo identificado em levantamento geológico do poço, o qual era de 51,68 m antes
338 das intervenções.

339 A Tabela 5 mostra a alteração das características do efluente final tratado após a aplicação da
340 conservação da água. O reúso de FP em T1 foi o grande responsável pela redução de 56% na
341 vazão emitida ao corpo receptor. Além disso, proporcionou a diminuição das cargas afluentes ao
342 tratamento secundário, resultando em um efluente de melhor qualidade em FT. Com exceção do
343 fósforo total, os demais parâmetros tiveram as cargas poluentes reduzidas em mais de 80%.

344 **Tabela 5 – Concentrações e cargas de poluentes presentes no efluente lançado ao corpo receptor.**

Período	Efluente final tratado					
	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)		DBO ₅	DQO	NTK	P _{total}
Antes das intervenções	37,00	Concentração (mg.L ⁻¹)	163,06	367,53	35,10	2,31
Q _{ETE} = 37,00 m ³ .dia ⁻¹		Carga (kg.dia ⁻¹)	6,03	13,60	1,30	0,09
Após as intervenções	16,27	Concentração (mg.L ⁻¹)	28,29	128,00	7,99	5,92
Q _{ETE} = 16,27 m ³ .dia ⁻¹		Carga (kg.dia ⁻¹)	0,47	2,13	0,13	0,10
Diferença			-92%	-84%	-90%	10%

345 Relativamente à legislação aplicável à emissão de efluentes, após a conservação da água, apenas
346 o fósforo total permaneceu não atendendo aos padrões de lançamento. Esse problema pode ser
347 contornado através da adição de matéria orgânica carbonácea no afluente do sistema de lodos
348 ativados. Desse modo, se corrigiria a relação DBO₅:NTK:P_{total} melhorando a eficiência de
349 remoção do nutriente. Outra solução viável é a dosagem de FeCl₃ na entrada do sedimentador
350 secundário, precipitando o fósforo que seria removido juntamente com os descartes de lodo
351 ativado.

352 Os limites estabelecidos na outorga de uso da água do poço passaram a ser atendidos plenamente,
353 pois todos os registros de vazões respeitaram o limite máximo de 120 m³.dia⁻¹.

354 CONCLUSÃO

355 A conservação da água, através do uso racional e do reúso, demonstrou-se uma ferramenta eficaz
356 na preservação dos recursos hídricos. Os ganhos ambientais foram obtidos tanto através da
357 redução na captação de água quanto da redução na emissão de poluentes ao meio ambiente,
358 preservando esse recurso natural em quantidade e qualidade. Uma evidência disso foi o aumento
359 da conformidade legal referentemente à demanda de água do poço e aos padrões de lançamento
360 de efluentes ao corpo receptor.

361 As intervenções de ordem comportamental e físicas aumentaram a eficiência de uso da água, pois
362 reduziram seu uso sem comprometer as atividades consumidoras. O reúso, por outro lado,
363 proporcionou apenas a substituição de uma água de qualidade superior por outra de qualidade
364 mínima necessária, ou seja, não promoveu aumento na eficiência de uso da água. Desse modo,
365 confirmou-se a ordem de priorização das ações propostas na Figura 1, na qual a racionalização do
366 uso da água aparece em primeiro lugar.

367 Embora os ganhos proporcionados pelas técnicas aplicadas tenham sido expressivos, ainda há um
368 grande potencial de conservação de água na planta estudada. A automação dos sistemas de
369 limpeza das impressoras, seguida pelo reúso na diluição de reagentes da ETE, nos processos de
370 limpeza e nas descargas sanitárias possibilitariam a eliminação da emissão de efluentes ao corpo
371 receptor e a conseqüente redução no consumo de água do poço em 16,18 m³.dia⁻¹. Caso sejam
372 estudadas e adotadas outras fontes alternativas de água, tais como a água de chuva, a redução no
373 consumo de água do poço poderia chegar a mais de 30 m³.dia⁻¹ devido à demanda ainda existente.
374 O consumo específico da água, considerando-se este potencial de redução, chegaria a 41,2
375 mL.m⁻² o que representa menos de 50% do valor obtido após a realização das intervenções atuais.
376 Estudos de caso como este, demonstram a carência da área industrial por estudos específicos
377 voltados à conservação da água. A falta de padrões de qualidade para reúso dificulta a
378 implantação dessa prática que, quando adotada sem critérios, pode trazer riscos a equipamentos e

379 à saúde humana. A criação de bancos de dados com critérios de qualidade específicos se
380 demonstra necessária à implantação bem sucedida da conservação na indústria.

381 REFERÊNCIAS

- 382 1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). *NBR13969 - Tanques sépticos*
383 *- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos -*
384 *Projeto, construção e operação*. 60 p.
- 385 2. Corral-Verdugo, V. (2002). *A structural model of pro-environmental competency.*
386 *Environmental e Behavior*. v. 34, p. 531-549.
- 387 3. DEPA, Danish Environmental Protection Agency (1998). *Survey of azo-colorants in*
388 *Denmark: Consumption, use, health and environmental aspects.*
389 <http://www.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-548-8/pdf/87-7909-546-1.pdf>
390 (14/09/2009).
- 391 4. FIRJAN, Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (2006). *Manual de*
392 *conservação e reúso da água na indústria*.
- 393 5. FIESP, Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (2004). *Conservação e*
394 *reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial*. v. 1. São Paulo. 92 p.
395 <http://www.ana.gov.br> (05/08/2005).
- 396 6. Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. (2003). *Reúso de água*. 1 ed. São Paulo. Ed. Manole
397 Ltda, 579 p.
- 398 7. Metcalf e Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 4.
399 ed. New York. Ed. McGraw - Hill Book, 1815p.
- 400 8. New Mexico Office of the State Engineer (1999) *A water conservation guide for*
401 *commercial, institutional and industrial users*. [http://www.ose.state.nm.us/water-](http://www.ose.state.nm.us/water-info/conservation/pdf-manuals/cii-users-guide.pdf)
402 [info/conservation/pdf-manuals/cii-users-guide.pdf](http://www.ose.state.nm.us/water-info/conservation/pdf-manuals/cii-users-guide.pdf) (12/06/2009).
- 403 9. Sans, R.; Ribo, J. M.; Alvarez, D.; Forné, C.; Puig, M. D.; Puig, F. (1998). *Minimization*
404 *of water use and wastewater contaminant load. Journal of Cleaner Production*, v. 6, p.
405 365-369.
- 406 10. TAPPI, Technical Association of the Paper and Pulp Industry (2001). *Using washup*
407 *water as the vehicle in starch based corrugating adhesive*. TIP 0304-44.
408 <http://www.tappi.org> (23/08/2009).
- 409 11. Treadaway, E.; Johnson, U. (1997). *Recycling treated process wastewater in starch*
410 *adhesive at a corrugated packaging plant. TAPPI proceedings. Environmental*
411 *Conference & Exhibit*. v. 2, p. 149-150.
- 412 12. Wan Alwi, S. R.; Manan, Z. A.; SAMINGIN, M.H.; MISRAN, N. (2008). *A holistic*
413 *framework for design of cost-effective minimum water utilization network. Journal of*
414 *Environmental Management*, v. 88, p. 219-252.
- 415 13. Weyerhaeuser (2008). *2007 Sustainability report*. 61 p. <http://www.weyerhaeuser.com>
416 (02/03/2009).

3 REÚSO DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE REVITALIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Artigo submetido à Revista ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL em 15/06/2009.

1 **REÚSO DA ÁGUA COMO FERRAMENTA DE REVITALIZAÇÃO DE UMA**
 2 **ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

3 **WATER REUSE AS A WASTEWATER TREATMENT PLANT**
 4 **REVITALIZATION TOOL**

5 *CRISTIANO CORRÊA WEBER*

6 Engenheiro Civil pela UFRGS. Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental no
 7 Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Supervisor de Meio Ambiente da Trombini
 8 Industrial S/A.

9 *LUIZ FERNANDO CYBIS*

10 Engenheiro Civil pela UFRGS. PhD em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade de
 11 Leeds. Professor adjunto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

12 *LADEMIR LUIZ BEAL*

13 Engenheiro Químico pela FURG. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo
 14 Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Professor pesquisador do Centro de Ciências
 15 Exatas e Tecnologia da UCS.

16 Endereço para correspondência: Cristiano Corrêa Weber – Rua Thomaz Edison, 159/104 –
 17 Centro – CEP95180-000 – Farroupilha – RS – Brasil – Tel.: +55 (54) 2109.7000 – e-mail:
 18 cegalu@gmail.com

19 **RESUMO**

20 O objetivo deste artigo é avaliar o emprego do reúso de água como ferramenta de revitalização de
 21 uma estação de tratamento de efluentes (ETE). Para comprovação em um caso real, este estudo
 22 foi desenvolvido em uma indústria de embalagens de papelão ondulado, cuja ETE apresentava
 23 baixo desempenho. A identificação de oportunidades de reúso e a simulação matemática de seu
 24 impacto sobre a ETE, através do balanço de cargas, apontaram para o reúso do efluente de
 25 tratamento primário como oportunidade de revitalização. Por conseguinte, esse efluente foi
 26 reusado na produção de adesivo de amido, reduzindo em mais de 60% a carga de DBO₅ afluente
 27 ao processo de lodos ativados (59,14 kg.dia⁻¹ para 22,15 kg.dia⁻¹). Assim, a eficiência da ETE foi
 28 aumentada significativamente, resultando em uma redução substancial da carga despejada no
 29 corpo hídrico com conseqüente observação dos padrões de lançamento estabelecidos pelo órgão
 30 ambiental.

31 **Palavras chave:** reúso da água; tratamento de efluentes; revitalização; indústria.

32 **ABSTRACT**

33 This article goal is to evaluate the water reuse as a wastewater treatment plant (WWTP)
 34 revitalization tool. To verify a real case, this study was developed in a corrugated paperboard
 35 package industry whose WWTP presented a low performance. The reuse opportunities
 36 identification and a mathematic simulation of its impacts over the WWTP, through a load
 37 balance, pointed to the reuse of primary treatment effluent as a revitalization opportunity.
 38 Therefore this effluent was reused to starch adhesive production, reducing the affluent BOD into
 39 the activated sludge over 60% (59.14 kg.d⁻¹ to 22.15 kg.d⁻¹). Thus the WWTP performance was
 40 significantly raised, resulting in a substantial reduction in contaminant load dumped into the
 41 water body with consequent observation of the effluent release environmental regulation
 42 standards.

43 **Keywords:** water reuse; wastewater treatment; revitalization; industry.

44 INTRODUÇÃO

45 O reúso planejado de águas residuárias é um conceito já praticado há muitos anos em todo o
46 mundo (Crook, 1993) e que, no Brasil, se intensificou com a Lei 9.433 (1997) que instituiu a
47 cobrança pelo uso dos recursos hídricos como um instrumento de gestão.

48 Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), o reúso da água corresponde ao uso de efluentes, tratados
49 ou não, para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis. A
50 expressão “uso de efluentes” pressupõe o uso de uma água de menor qualidade que a água
51 potável e, por isso, constitui uma alternativa mais plausível para que sejam satisfeitas demandas
52 de água menos restritivas. Portanto, fundamentalmente em regiões que sofrem com o estresse
53 hídrico, libera-se água de melhor qualidade para usos mais nobres e evita-se o desperdício de
54 água (Wenzel e Knudsen, 2005).

55 Além da redução do desperdício, Rulkens (2005) cita que o reúso tem a capacidade potencial de
56 reduzir a emissão de poluentes industriais aos corpos hídricos quando a água de reúso é
57 incorporada ao produto, prevenindo a poluição. Essa prevenção pode, também, beneficiar os
58 processos de tratamento de efluentes industriais, pois juntamente com a água de reúso, os
59 poluentes são incorporados ao produto, reduzindo as cargas afluentes aos processos de tratamento
60 e prolongando sua vida útil (EPA, 2004).

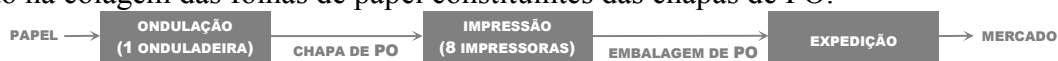
61 Por outro lado, esta redução de cargas, também pode ocasionar impactos negativos sobre os
62 processos de tratamento de efluentes. Quando a água de reúso não sai do sistema, ou seja, ele é
63 fechado, os poluentes tem sua concentração aumentada a cada ciclo de reúso. Desse modo, os
64 processos de tratamento podem ser sobrecarregados e ter sua eficiência comprometida (Metcalf e
65 Eddy, 2003). Contudo essa sobrecarga pode ser prevista previamente e, para tanto, Mierzwa e
66 Hespanhol (2005) propõem a modelagem matemática do sistema de reúso baseada no balanço de
67 cargas dos poluentes. Assim, os impactos sobre o tratamento de efluentes e sobre a qualidade da
68 água de reúso podem ser planejados antes da implantação do sistema de reúso.

69 Neste trabalho, o reúso da água foi estudado com o objetivo de se revitalizar a estação de
70 tratamento de efluentes (ETE) de uma indústria de embalagens de papelão ondulado (PO) que, de
71 acordo com seu projeto, encontrava-se subdimensionada e, portanto, não atendia aos padrões
72 estaduais de lançamento de efluentes estabelecidos em sua licença operacional (LO) (FEPAM,
73 1989). O reúso foi proposto como meio de se reduzir vazões e cargas poluentes afluentes à ETE.

74 METODOLOGIA

75 A metodologia empregada neste trabalho foi baseada em Sautchúk (2004) e Mierzwa e
76 Hespanhol (2005), modificada para as necessidades do estudo. Dessa forma, foi separada nas
77 etapas de diagnóstico inicial, reúso da água e diagnóstico final.

78 O **diagnóstico inicial** foi baseado em uma análise de documentos e de dados históricos de
79 produção e da ETE. O fluxograma da Figura 1 mostra que a produção de embalagens de PO
80 inicia pela conformação do papel em chapas de PO que, no processo de impressão, são
81 convertidas em embalagens de PO para posterior expedição. A geração de efluente industrial
82 ocorre, principalmente, nas etapas de ondulação e de impressão durante os processos de limpeza
83 de equipamentos. Os maiores consumos de água apresentam-se no setor de ondulação para a
84 geração de vapor, utilizado no aquecimento do papel, e para a produção de adesivo de amido
85 utilizado na colagem das folhas de papel constituintes das chapas de PO.

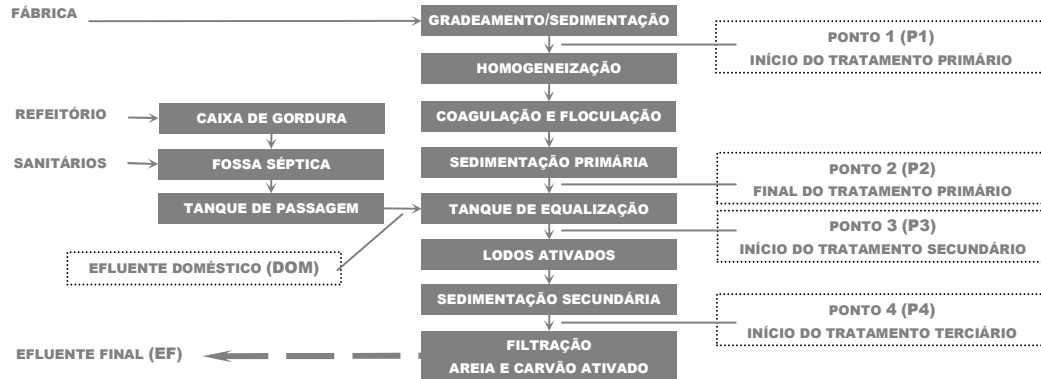


86

87 **Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo de embalagens de PO.**

88 Os efluentes industriais e domésticos são tratados até o nível terciário na ETE (Figura 2). O
89 efluente industrial, originário dos processos produtivos, é tratado por coagulação-floculação e

90 sedimentação antes de ser misturado ao efluente doméstico no tanque pulmão (equipado com
 91 agitador). Por conseguinte, essa mistura alimenta o sistema de lodos ativados com aeração
 92 prolongada e zona anóxica para remoção de NTK. Posteriormente, o efluente passa por filtros
 93 pressurizados de areia e carvão ativado, constituintes do tratamento terciário. A leitura das vazões
 94 é realizada através de leitores eletromagnéticos com aquisição dos valores em tempo real,
 95 instalados em DOM e EF da Figura 1.



96
 97 **Figura 2 – Diagrama de fluxo dos processos de tratamento de efluentes constituintes da ETE.**

98 O histórico de análises foi composto por laudos obtidos a partir de abril de 2002 e a legislação
 99 observada que forneceu os limites de emissão foi a licença de operação da empresa,
 100 fundamentada na Portaria n° 5/89 da FEPAM e na resolução CONAMA n° 357/2005. A Tabela 1
 101 mostra os parâmetros considerados nesse estudo com os respectivos métodos analíticos, de
 102 amostragem e limites de emissão.

103 **Tabela 1 – Parâmetros analisados nos pontos indicados na Figura 1.**

Parâmetro	Período de amostragem	Tipo de amostragem	Métodos analíticos (APHA, 2005)	Limite de emissão
Demanda bioquímica de oxigênio - DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	Quinzenal	Composta	Winkler (titulométrico)	135
Demanda química de oxigênio - DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	Quinzenal	Composta	Refluxo aberto com K ₂ Cr ₂ O ₇	405
Nitrogênio total Kjeldahl - NTK (mg N.L ⁻¹)	Quinzenal	Composta	Digestão e titulométrico	10
Fósforo total - P (mg P.L ⁻¹)	Quinzenal	Composta	Colorimetria do ácido ascórbico	1

104 O período no qual os limites de emissão deixaram de ser atendidos em EF foi determinado
 105 graficamente. Os valores históricos dos parâmetros da Tabela 1 e seus respectivos limites de
 106 emissão foram marcados em um gráfico tempo x concentração e a média móvel aritmética de 4
 107 períodos para as concentrações foi traçada como meio de identificar a tendência de seus valores.
 108 Ao final do diagnóstico inicial, foi analisada a eficiência de remoção dos parâmetros da Tabela 1
 109 em cada etapa do processo de tratamento de efluentes. Essa análise considerou o período anterior
 110 e posterior à perda de controle dos limites de emissão e as possíveis causas relacionadas à
 111 geração de efluentes foram buscadas nos dados de produção.

112 Esta perda de controle dos processos de tratamento demonstrava a necessidade de intervenções.
 113 O **reúso da água**, por ter capacidade de reduzir as cargas de contaminantes que aportam às
 114 ETE's, representa uma tecnologia de prevenção da poluição que pode eliminar a necessidade de
 115 ampliação de processos de tratamento (EPA, 2004). Sob essa premissa, ele foi estudado como
 116 alternativa de revitalização da ETE.

117 A identificação dos potenciais pontos de consumo de água de reúso e a qualidade requerida em
 118 cada um deles deu início ao estudo. Simulando-se a alocação da água de reúso ofertada nesses
 119 pontos de consumo, pode-se estimar a correspondente redução de cargas que ocorreria na ETE e
 120 avaliar o respectivo impacto teórico sobre a eficiência dos processos de tratamento de efluentes.
 121 Para tanto, as seguintes ações foram tomadas:

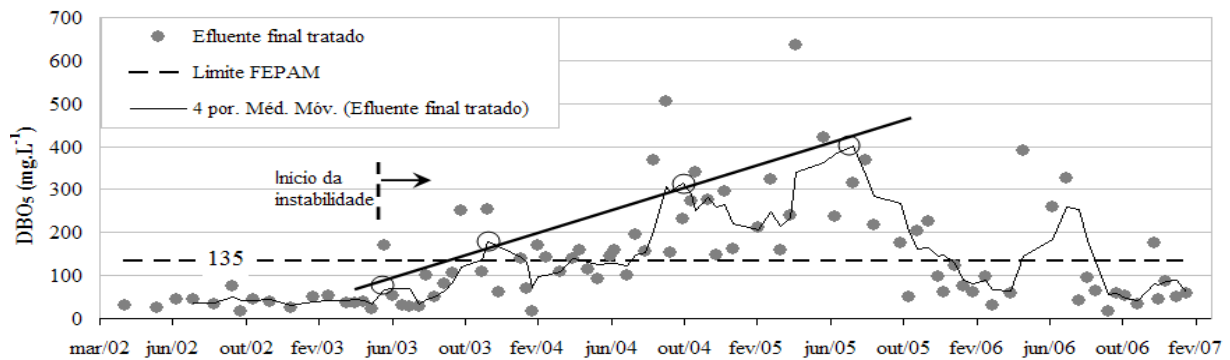
- 122 ✓ Determinação dos volumes e características da água de reúso;
- 123 ✓ Modelagem matemática da ETE, baseada no balanço de cargas de DBO₅, DQO, N e P; e
- 124 ✓ Implantação do sistema de reúso.

125 Um **diagnóstico final** do estudo foi realizado após a implantação do reúso. O seu objetivo foi
 126 validar as ações tomadas, ou seja, comparar a situação pré e pós reúso da água com vistas às
 127 mudanças esperadas para a eficiência da ETE e características do efluente tratado. A ferramenta
 128 adotada foi o teste de hipóteses utilizando a análise estatística de *Student* (Costa Neto, 2002)
 129 aplicada aos dados de caracterização dos efluentes para os três períodos desse estudo: antes da
 130 ocorrência do problema; durante sua ocorrência; e após o reúso da água ter sido implantado.

131 RESULTADOS E DISCUSSÃO

132 Diagnóstico inicial

133 A evolução dos valores de DBO₅ no efluente final tratado é apresentada na Figura 3 na qual se
 134 observa que o valor limite estabelecido pela FEPAM (135 mg.L⁻¹) deixou de ser atendido a partir
 135 de junho de 2003. Os picos da média móvel de quatro períodos aplicada aos valores de DBO₅
 136 passaram a ser crescentes a partir desse momento conforme mostra a Figura 3. O mesmo
 137 comportamento foi observado para os valores de DQO, N e P presentes no efluente final,
 138 demonstrando que o período identificado marca o início da instabilidade dos processos de
 139 tratamento de efluentes.



140
141

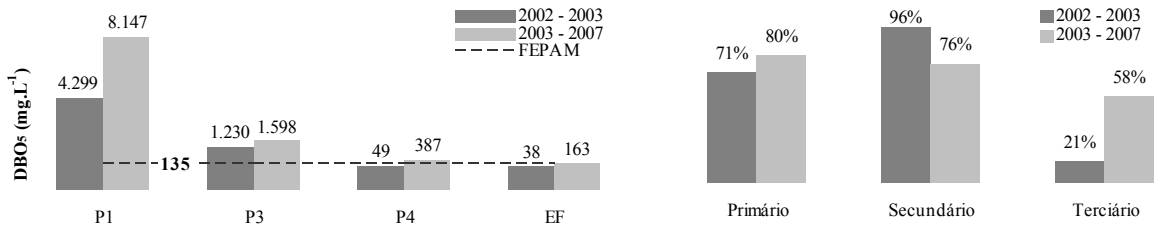
140
141 **Figura 3 – Concentração da DBO₅ em mg.L⁻¹ no efluente final tratado da ETE.**

142 A análise estatística dos dados de concentração de poluentes em EF confirmou o não atendimento
 143 dos padrões de lançamento e a alta variabilidade dos valores a partir junho de 2003.
 144 Considerando-se os valores médios, todos os parâmetros encontravam-se fora dos limites
 145 estabelecidos pela FEPAM, com exceção da DQO. Porém, quando são considerados também os
 146 valores de desvio padrão, a DQO apresenta uma variação significativa, característica de
 147 processos instáveis (Tabela 2).

148 **Tabela 2 – Qualidade do efluente final tratado e limites máximos estabelecidos pela FEPAM para a DBO₅,**
 149 **DQO, NTK e P.**

		DBO ₅	DQO	NTK	P
Abril/02 – Maio/03	Média (mg.L ⁻¹)	38,4	152,5	7,7	0,85
	Desvio padrão (mg.L ⁻¹)	14,2	44,4	3,0	0,53
	Observações	16	16	16	16
Junho/03 – Janeiro/07	Média (mg.L ⁻¹)	163,1	367,5	35,1	2,31
	Desvio padrão (mg.L ⁻¹)	123,7	238,5	29,5	2,12
	Observações	72	72	72	72
Limite máximo FEPAM		135	405	10	1

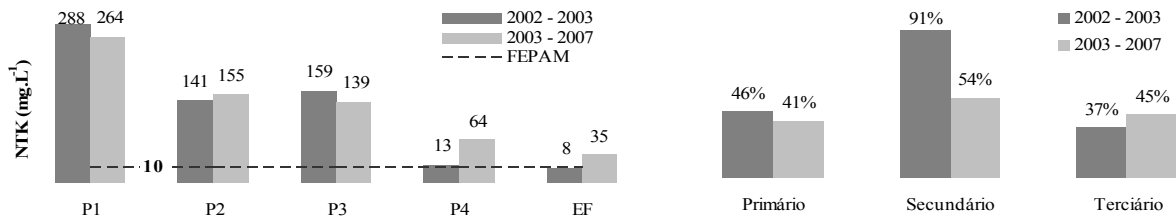
150 Evidenciado o problema e a data aproximada em que iniciou, avaliou-se a eficiência média de
 151 cada processo de tratamento individualmente. A figura 4, por exemplo, mostra a concentração de
 152 DBO₅ à montante de cada processo e a eficiência desses processos em removê-la.



153
154 **Figura 4 – Concentração de DBO₅ nos pontos indicados na Figura 2 e a eficiência de remoção de DBO₅ pelos**
155 **processos de tratamento da ETE.**

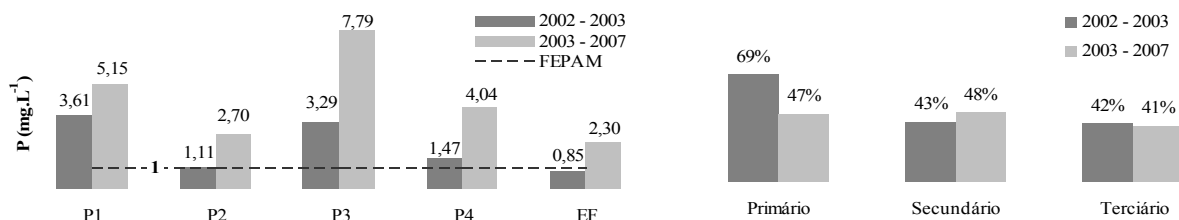
156 No ponto P1, conforme mostra a Figura 4, a DBO₅ quase dobrou sua concentração após junho de
157 2003 indicando o acréscimo da carga orgânica média proveniente dos efluentes do processo
158 fabril. Na Figura 4, observa-se, também, que o processo secundário de tratamento por lodos
159 ativados sofreu perda de capacidade de remoção de DBO₅ a qual caiu de 96% para 76%,
160 enquanto os processos primário e terciário melhoraram a eficiência de remoção desse mesmo
161 contaminante.

162 A DQO assim como ocorreu com a DBO₅, sofreu acréscimo em P1, por outro lado, o NTK não
163 teve o mesmo comportamento. A figura 5 mostra que o NTK sofreu redução de concentração em
164 P3, ou seja, na entrada do processo de lodos ativados o qual, ainda assim, teve a eficiência de
165 remoção desse poluente reduzida de 91% para 54%.



166
167 **Figura 5 – Concentração de NTK nos pontos indicados na Figura 2 e a eficiência de remoção de NTK pelos**
168 **processos de tratamento da ETE.**

169 Diferentemente do nitrogênio, o fósforo sofreu aumento significativo de concentração no efluente
170 fabril (P1). Somado ao aporte desse nutriente no ponto P3, aonde chegavam os efluentes de
171 origem doméstica (sanitários e refeitório), o fósforo teve sua concentração média aumentada em
172 236% na entrada do sistema de lodos ativados.



173
174 **Figura 6 – Concentração de P nos pontos indicados na Figura 2 e a eficiência de remoção de P pelos processos**
175 **de tratamento da ETE.**

176 A análise das figuras 4 a 6 indica que a qualidade do efluente industrial (P1) pode ter sofrido
177 alterações e que o processo de lodos ativados perdera eficiência de remoção de matéria orgânica
178 carbonácea e de NTK a partir de junho de 2003. No entanto, é necessário o conhecimento do
179 histórico de vazões aportando em P3 e dos parâmetros de projeto da ETE para que se possa
180 relacionar a perda de eficiência do processo de lodos ativados com as alterações sofridas na
181 qualidade dos efluentes.

182 Os dados históricos de vazão da ETE, obtidos a partir de 2003, demonstraram que a vazão média
183 diária de efluente tratado era de 37 m³ e que os valores diários oscilavam entre 30 e 45 m³. Por
184 outro lado, a vazão máxima utilizada no projeto da planta de tratamento foi de 12,45 m³.dia⁻¹.
185 Embora não se tenha um histórico de vazões da ETE para o período anterior a junho de 2003, a

186 redução de 10% ocorrida no quadro de funcionários da empresa a partir de 1997 reforçou a
 187 hipótese de que o aumento na geração de efluentes teria ocorrido na área fabril. O efluente
 188 industrial, posteriormente a 2003, apresentou um valor médio de 21 m³.dia⁻¹, ou seja, somente
 189 essa contribuição era 67% superior à vazão de projeto. Os dados da Tabela 3 apresentam o
 190 reflexo do aumento de vazões sobre as cargas afluentes do tratamento secundário.

191

Tabela 3 – Cargas poluentes de DBO₅, DQO, NTK e P afluentes ao tratamento secundário (P3).

		DBO ₅	DQO	NTK	P
Abril/02 - Maio/03	Concentração média (mg.L ⁻¹)	1.230	2.799	159,4	3,29
	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)	-	-	-	-
	Carga (kg.dia ⁻¹)	-	-	-	-
Projeto	Concentração máxima (mg.L ⁻¹)	1.784	4.207	99,0	19,79
	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)	12,45	12,45	12,45	12,45
	Carga (kg.dia ⁻¹)	22	52	1,2	0,25
Junho/03 - Janeiro/07	Concentração média (mg.L ⁻¹)	1.598	3.040	138,6	7,79
	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)	37,00	37,00	37,00	37,00
	Carga (kg.dia ⁻¹)	59	113	5,1	0,29

192 As concentrações médias afluentes ao tratamento secundário, apresentadas na Tabela 3, com
 193 exceção do NTK, não excederam os valores de projeto do sistema de tratamento de efluentes
 194 após junho de 2003. No período anterior ao início do problema, os valores médios de NTK já
 195 eram superiores ao de projeto, logo não teriam sido determinantes para a perda de eficiência do
 196 processo de lodos ativados. Por outro lado, ao se observar as cargas poluentes aportando a esse
 197 processo, percebe-se que são muito superiores ao projetado para a ETE fato resultante das vazões
 198 reais serem superiores à projetada.

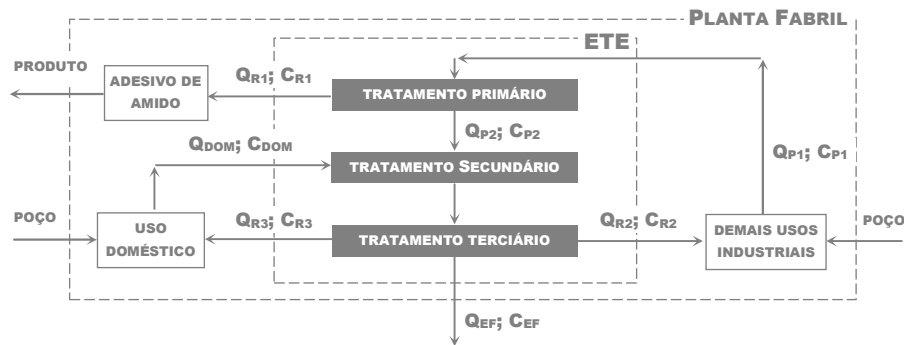
199 Analisando-se os dados históricos de produção, identificou-se que o início das alterações de
 200 qualidade do efluente fabril e o acréscimo de vazões coincidiram com a mudança da lógica de
 201 programação da produção. Essa nova lógica aumentou o número de ciclos de lavagem das 8
 202 impressoras da planta produtiva, cuja tinta corresponde ao principal integrante do efluente
 203 industrial. A cada ciclo de limpeza dessas máquinas, baldes de tinta e demais peças de impressão
 204 são trocados e lavados. O aumento da frequência desses ciclos elevou o consumo médio de tintas
 205 de 1,67 g.m⁻² de papelão impresso para 2,24 g.m⁻² e levou altas cargas de DBO₅, DQO e P ao
 206 ponto P1 da ETE.

207 Reúso da água

208 Após junho de 2003, previamente ao reúso da água, intervenções focadas nos procedimentos e
 209 controles operacionais da ETE (Beal, Monteggia e Giustina, 2006) melhoraram a eficiência do
 210 processo de lodos ativados. A segregação dos efluentes industriais da ondulateira e das
 211 impressoras, o aumento do controle de pH no tratamento primário, melhorias no sistema de
 212 retrolavagem e a troca mais frequente do material de enchimento dos filtros rápidos, e a correção
 213 da relação DBO₅:NTK:P através da adição de fósforo em P3 melhoraram o desempenho global
 214 da ETE contudo não foram suficientes para atingir a eficiência necessária ao atendimento dos
 215 limites de lançamento ao corpo hídrico.

216 Estando a causa real da perda da eficiência da ETE ligada à sobrecarga do processo de lodos
 217 ativados e considerando a capacidade do reúso da água aliviar essa sobrecarga, essa solução
 218 passou a ser estudada. O reúso do efluente industrial foi proposto, também, com a finalidade de
 219 desenvolver ações visando à sustentabilidade ambiental e a realização de menores intervenções
 220 físicas e econômicas, pois a outra alternativa seria a ampliação da ETE.

221 O efluente primário tratado (P2) foi estudado como fonte de água de reúso nas atividades
 222 produtivas de maneira que fosse incorporado ao produto e não retornasse à ETE. Desse modo, as
 223 cargas seriam eliminadas do sistema e não retornariam à ETE, conforme pode ser visto na Figura
 224 7.



225
226
227
228
229

Figura 7 – Fluxograma dos afluentes e efluentes da ETE e da planta fabril (Q = vazão; C = concentração; P1, P2, DOM e EF = pontos indicados na Figura 1; Poço = água proveniente de poço tubular; R1 = reúso na produção de adesivo de amido; R2 = reúso nos processos de limpeza de equipamentos e na diluição de reagentes da ETE; R3 = reúso nas descargas sanitárias).

230
231
232
233
234
235
236
237

Os pontos de consumo cuja qualidade mínima requerida permite o reúso não potável da água são apresentados na Tabela 4. Dentre eles, o uso da água na produção do adesivo de amido (Figura 7) representa a oportunidade de reúso na qual o efluente de tratamento primário pode ser incorporado ao produto. Os volumes de água consumidos na produção do adesivo assim como nas demais oportunidades de reúso foram obtidos através dos dados históricos coletados nos hidrômetros instalados nas impressoras e na onduladeira. A água consumida nas descargas sanitárias foi estimada considerando-se que cada um dos 480 funcionários acionaria duas vezes ao dia as válvulas com vazões de 10 L.fluxo^{-1} .

238
239

Tabela 4 – Tipos de uso que aceitam reúso não potável da água com sua respectivas vazões e destino dos efluentes gerados (vazões médias diárias obtidas a partir de janeiro de 2007).

Tipo de uso	Vazões ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$)	Destino
Produção de adesivo 1	9,0	Produto
Produção de adesivo 2	9,0	Produto
Diluições na ETE	3,5	P1 da ETE
Limpeza da onduladeira	4,0	P1 da ETE
Limpeza das impressoras	10,8	P1 da ETE
Limpeza de baldes e clichês	2,5	P1 da ETE
Limpezas diversas	0,2	P1 da ETE
Descargas sanitárias	9,6	DOM da ETE
Total	48,6	

240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252

Pesquisas realizadas por Rothstrom e Kohl (2001) e TAPPI (2001) indicam que tanto o efluente bruto dos processos de limpeza das fábricas de embalagens de PO quanto os efluentes de tratamento primário podem ser reusados na produção de adesivo de amido. Contudo, Rothstrom e Kohl (2001) alertam que o reúso de efluente bruto pode ocasionar problemas de qualidade ao adesivo. 16. Treadaway e Johnson (1997) apresentam um estudo de caso bem sucedido de reúso do efluente de tratamento primário na produção de adesivo, portanto essa prática também foi adotada neste trabalho para que as cargas afluentes ao processo de lodos ativados passassem a ser incorporadas ao produto e não retornassem à ETE. Segundo a tabela 4, o reúso nas etapas 1 e 2 da produção do adesivo de amido apresenta um consumo potencial de água de $18 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$. Com o objetivo de revitalizar a ETE, simularam-se vazões crescentes de reúso na produção de adesivo de amido e o respectivo impacto da redução de carga correspondente no processo de lodos ativados (P3). Para tanto, utilizou-se a equação 1 e os resultados da simulação sobre as cargas afluentes a P3 encontram-se na Tabela 5.

253

$$(Q_{P2} \times C_{P2} + Q_{DOM} \times C_{DOM}) \div 1000 = \text{Carga}_{P3} \quad (1)$$

254

Q_n = Vazão no ponto “n” indicado na Figura 1 (n = P2 ou DOM);

255

C_n = Concentração de poluente (DBO₅, DQO, N ou P) no ponto “n” indicado na Figura 1 (n = P2

256

ou DOM);

257 Carga_{P3} = Carga de poluente na entrada do tratamento secundário (P3).

258 **Tabela 5 – Simulação das vazões e concentrações afluentes ao sistema de lodos ativados, de origem industrial**
 259 **(P2) e de origem doméstica (DOM), e da vazão de reúso (P2) e os respectivos impactos sobre as cargas**
 260 **afluentes ao tratamento secundário.**

Vazões (m ³ .dia ⁻¹)				Concentração – P2 (mg.L ⁻¹)				Concentração – DOM (mg.L ⁻¹)				Carga – P3 (kg.dia ⁻¹)			
P2	DOM	P3	Reúso	DBO ₅	DQO	NTK	P	DBO ₅	DQO	NTK	P	DBO ₅	DQO	NTK	P
21	16	37	0	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	59,13	112,48	5,13	0,29
19	16	35	2	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	55,02	104,51	4,82	0,28
17	16	33	4	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	50,91	96,54	4,51	0,28
15	16	31	6	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	46,80	88,56	4,20	0,27
13	16	29	8	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	42,69	80,59	3,89	0,27
11	16	27	10	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	38,58	72,61	3,58	0,26
9	16	25	12	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	34,48	64,64	3,27	0,26
7	16	23	14	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	30,37	56,66	2,96	0,25
5	16	21	16	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	26,26	48,69	2,65	0,24
3	16	19	18	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	22,15	40,71	2,35	0,24
1	16	17	20	2.055	3.987	154,5	2,7	999	1.797	117,6	14,5	18,04	32,74	2,04	0,23

261 Ao se comparar os dados de carga da Tabela 5 com os dados de carga de projeto apresentados na
 262 Tabela 3, percebe-se que o reúso de 18 m³.dia⁻¹ do efluente industrial enquadraria a operação da
 263 ETE aos critérios de projeto. A única exceção seria o NTK, contudo com a flexibilização ocorrida
 264 no seu limite máximo de lançamento estabelecido pela FEPAM (SEMA, 2006), passando de 10
 265 mg N.L⁻¹ para 20 mg N.L⁻¹, e com a retomada de sua eficiência de remoção no processo de lodos
 266 ativados o problema seria resolvido.

267 Caracterizado o reúso da água ofertada em P2 como solução de revitalização da ETE, modelou-se
 268 os processos de tratamento de efluentes matematicamente, considerando-se o ponto EF como
 269 fonte de oferta de água de reúso também (Figura 7). Esse modelo foi baseado no balanço de
 270 cargas da ETE e foi aplicado para determinar como os reúsos apontados na Tabela 4 poderiam
 271 afetar o tratamento secundário frente às condições de projeto. As equações 1 a 8 foram utilizadas
 272 para gerar os valores apresentados nas colunas das Tabela 5 e 6.

$$273 Q_{P2} = Q_{P1} - Q_{R1} \quad (2)$$

$$274 Q_{EF} = (Q_{P2} + Q_{DOM}) - (Q_{R2} + Q_{R3}) \quad (3)$$

$$275 C_{R2} = C_{R3} = C_{EF} \quad (4)$$

$$276 C_{P1n} = [(Q_{P1} \times C_{P1})_A + (Q_{R2} + Q_{R3})_n \times C_{EFn}] \div Q_{P1n} \quad \therefore n = B...F \quad (5)$$

$$277 C_{P2n} = C_{P2A} + (C_{P1n} - C_{P1A}) \quad \therefore \text{quando } (Q_{R2n} + Q_{R3n}) > Q_{R1n} \quad \therefore n = B...F \quad (6)$$

$$278 C_{P2n} = C_{P2A} \quad \therefore \text{quando } (Q_{R2n} + Q_{R3n}) \leq Q_{R1n} \quad \therefore n = B...F \quad (7)$$

$$279 \text{Carga} = (Q \times C) \div 1000 \quad (8)$$

280 **Tabela 6 – Simulação da carga de DBO₅ afluente ao tratamento secundário após o reúso da água.**

n	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)							DBO ₅ (mg.L ⁻¹)				Carga DBO ₅ (kg.dia ⁻¹)				
	Q _{P1}	Q _{P2}	Q _{DOM}	Q _{R1}	Q _{R2}	Q _{R3}	Q _{EF}	C _{P1}	C _{P2}	C _{DOM}	C _{EF}	P1	P2	DOM	P3	Projeto
A	21,0	21,0	16,0	0,0	0,0	0,0	37,0	8.147	2.055	999	163	171,1	43,2	16,0	59,14	
B	21,0	12,0	16,0	9,0	0,0	0,0	28,0	8.147	2.055	999	101	171,1	24,7	16,0	40,64	
C	21,0	3,0	16,0	18,0	0,0	0,0	19,0	8.147	2.055	999	39	171,1	6,2	16,0	22,15	
D	21,0	3,0	16,0	18,0	3,5	0,0	15,5	8.154	2.055	999	39	171,2	6,2	16,0	22,15	22,21
E	21,0	3,0	16,0	18,0	7,5	0,0	11,5	8.161	2.055	999	39	171,4	6,2	16,0	22,15	
F	21,0	3,0	16,0	18,0	19,0	0,0	0,0	8.182	2.090	999	39	171,8	6,3	16,0	22,25	

281 **Tabela 7 – Simulação da carga de NTK afluente ao tratamento secundário após o reúso da água.**

n	Vazão (m ³ .dia ⁻¹)							NTK (mg.L ⁻¹)				Carga NTK (kg.dia ⁻¹)				
	Q _{P1}	Q _{P2}	Q _{DOM}	Q _{R1}	Q _{R2}	Q _{R3}	Q _{EF}	C _{P1}	C _{P2}	C _{DOM}	C _{EF}	P1	P2	DOM	P3	Projeto
A	21,0	21,0	16,0	0,0	0,0	0,0	37,0	264	155	118	35	5,54	3,24	1,88	5,13	
B	21,0	12,0	16,0	9,0	0,0	0,0	28,0	264	155	118	21	5,54	1,85	1,88	3,74	
C	21,0	3,0	16,0	18,0	0,0	0,0	19,0	264	155	118	8	5,54	0,46	1,88	2,35	
D	21,0	3,0	16,0	18,0	3,5	0,0	15,5	265	155	118	8	5,57	0,46	1,88	2,35	1,23
E	21,0	3,0	16,0	18,0	7,5	0,0	11,5	267	155	118	8	5,60	0,46	1,88	2,35	
F	21,0	3,0	16,0	18,0	19,0	0,0	0,0	271	161	118	8	5,69	0,48	1,88	2,37	

282 Os cenários “n” apontados nas tabelas 6 e 7 representam as etapas da implantação do reúso da
283 água previstas:

- 284 ✓ A: sem reúso da água;
- 285 ✓ B: reúso apenas na etapa 2 de produção do adesivo de amido. Para esse cenário, estimou-
286 se que a C_{EF} assumiria valores intermediários entre a situação antes e após junho de 2003;
- 287 ✓ C: reúso nas etapas 1 e 2 da produção de adesivo de amido. C_{EF} retomaria os valores
288 encontrados anteriormente a junho de 2003;
- 289 ✓ D: idem ao cenário “C” acrescido do reúso na diluição de reagentes na ETE;
- 290 ✓ E: idem ao cenário “D” acrescido do reúso na limpeza da onduladeira;
- 291 ✓ F: idem ao cenário “E” acrescido do reúso na limpeza das impressoras.

292 Nas tabelas 6 e 7, observa-se que a vazão da ETE não seria suficiente para atender todos os
293 reúsos previstos e, por isso, não foi criado um cenário que contemplasse as descargas sanitárias.

294 Quanto ao comportamento da DBO_5 , percebe-se que ela retomaria as condições de projeto a
295 partir do cenário “C”. No cenário “F”, ela ficaria, teoricamente, na situação de projeto (apenas
296 0,18% superior).

297 No caso do nitrogênio, todos os cenários previstos não seriam suficientes para atender às
298 condições projetadas para o sistema de lodos ativados. Ainda assim, a partir do cenário “C” a
299 redução da carga de NTK, devida à incorporação no produto, seria superior a 50% quando
300 comparada ao cenário “A”. Isso, teoricamente, melhoraria a eficiência do tratamento de efluentes,
301 cabendo destacar, também, que a situação prévia a junho de 2003 era mais crítica que as previstas
302 nos cenários de reúso. Por conseguinte, a remoção correspondente de NTK também passaria a
303 atender aos limites de emissão conforme ocorria anteriormente a junho de 2003.

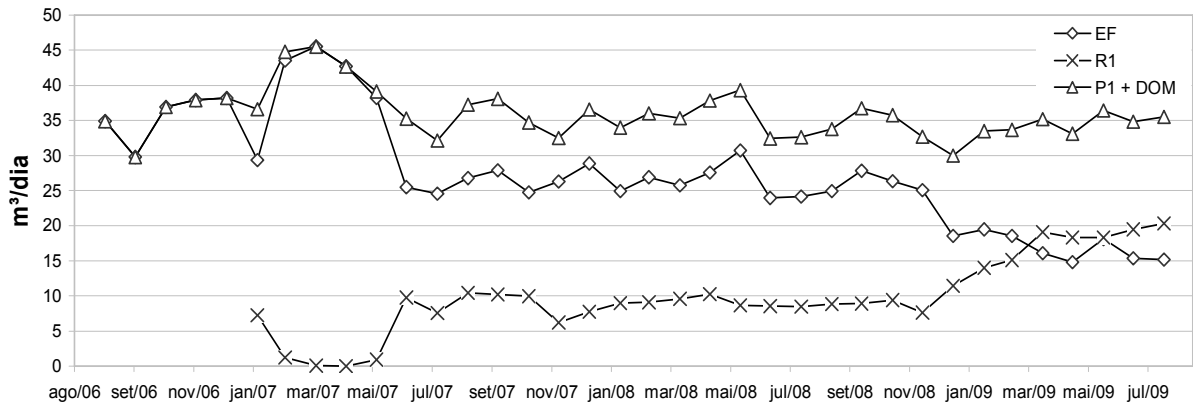
304 Nos cenários simulados, o comportamento da DQO e do P foram similares ao da DBO_5 , ou seja,
305 desde o cenário “C”, todas as cargas afluentes ao tratamento secundário respeitaram os limites
306 máximos projetados para os respectivos parâmetros.

307 Visto que o cenário “C” resolveria a situação do sistema de tratamento de efluentes e
308 representaria a opção de menor custo, foi adotado através da conversão do tanque pulmão da
309 Figura 2 em reservatório de água de reúso.

310 Inicialmente, apenas o cenário “B” foi implantado para que os reflexos do reúso sobre a
311 qualidade do adesivo pudessem ser estudados. Acompanhou-se a viscosidade e o ponto gel do
312 adesivo (Perkins e Schnell, 2000) e a qualidade da adesão das folhas que constituíam as chapas
313 de PO. Adotou-se o controle de pH da água de reúso e instalou-se um misturador no reservatório
314 dessa água para atenuar possíveis alterações de qualidade. A adição de biocida às bateladas de
315 adesivo complementou as medidas de controle da oscilação da viscosidade e do ponto gel
316 diagnosticada durante o cenário “B”.

317 **Diagnóstico final**

318 O cenário “B” foi completamente implantado a partir de julho de 2007 e o cenário “C” a partir de
319 janeiro de 2009. A Figura 8 ilustra o comportamento das vazões: enviadas ao corpo receptor
320 (EF); de reúso no adesivo (R1); e total tratada na ETE (P1 + DOM).



321
322

Figura 8 – Comportamento histórico das vazões afluentes e efluentes à ETE.

323 A redução de vazão lançada ao corpo receptor, considerando o valor médio de $37 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, foi
 324 56%, visto que após a implantação do cenário “C”, esta foi reduzida para $16,27 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$. Quando
 325 se considera a vazão máxima de $45,5 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ a redução é de 64,24%. Embora o cenário final de
 326 reúso tenha sido implantado, ainda há um potencial 2,5 a $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ a ser reusado na fabricação
 327 do adesivo e que está usando água de poço. Isso se deve a um conservadorismo do setor de
 328 produção quanto a uma das formulações do adesivo que necessita de maior capacidade de adesão.
 329 A análise da eficiência da ETE teve que ser realizada através das características do efluente do
 330 tratamento secundário apenas. A conversão do tanque pulmão em reservatório de água de reúso,
 331 embora tenha proporcionado o melhor aproveitamento do espaço físico limitado da ETE e
 332 reduzido custos com a construção de um novo reservatório, levou à perda da equalização de
 333 concentração de poluentes originados nos processos industriais, sanitários e refeitório. Mesmo
 334 tendo-se perdido esse ponto de referência para que se pudesse calcular a eficiência do tratamento
 335 secundário, realizou-se a análise estatística (teste de hipóteses através do cálculo de *Student*)
 336 sobre a concentração de poluentes remanescente no efluente desse tratamento (P4 da Figura 1).
 337 Os testes de hipótese verificaram se houve diferença significativa entre essas concentrações para
 338 os quatro períodos que esse estudo compreendeu:

- 339 ✓ Período 1: antes de junho de 2003;
- 340 ✓ Período 2: entre junho de 2003 e janeiro de 2007 (perda da eficiência da ETE);
- 341 ✓ Período 3: entre julho de 2007 e dezembro de 2008 (cenário “B” de reúso);
- 342 ✓ Período 4: entre de janeiro e agosto de 2009 (cenário “C” de reúso).

343 A Tabela 7 mostra o comportamento estatístico e os testes de hipótese para a DBO_5 em cada um
 344 dos períodos indicados.

345

Tabela 7 – Evolução da concentração de DBO_5 no efluente do tratamento secundário.

	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Média ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	48,88	387,25	131,74	46,49
Desvio padrão ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	14,35	432,35	64,94	22,12
Número de dados	16	72	36	7
$t_{\text{calculado}}$ (Período _(n-1) e Período _n) $\alpha=0,05$		-6,63	4,91	6,23
$t_{\text{crítico}}$ (unicaudal) (Período _(n-1) e Período _n) $\alpha=0,05$		1,67	1,67	1,70

346 Os testes estatísticos para a DBO_5 indicam que houve diferença significativa entre médias nas
 347 três transições entre períodos, pois $|t_{\text{calculado}}| > t_{\text{crítico}}$ com 95% de certeza. Os valores médios de
 348 DBO_5 observados no efluente convergiram para valores abaixo daqueles exigidos pelo órgão
 349 ambiental ($135 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) mesmo antes de receberem o tratamento terciário. Além disso, o desvio
 350 padrão também é decrescente e a situação do sistema de lodos ativados direciona-se à realidade
 351 existente no período 1. O mesmo comportamento foi observado para a DQO sendo que, após o
 352 cenário “C” ser implantado, as concentrações médias desse parâmetro e da DBO_5 no ponto EF
 353 foram reduzidas para 128 e $28,3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectivamente.

354

Tabela 8 – Evolução da concentração de NTK no efluente do tratamento secundário.

	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Média (mg.L ⁻¹)	13,15	63,99	32,09	11,51
Desvio padrão (mg.L ⁻¹)	6,55	49,11	37,11	9,45
Número de dados	16	72	36	7
$t_{calculado}$ (Período _(n-1) e Período _n) $\alpha=0,05$		-8,45	3,77	2,88
$t_{critico}$ (unicaudal) (Período _(n-1) e Período _n) $\alpha=0,05$		1,66	1,66	1,69

355 Os valores apresentados para NTK na Tabela 8 demonstram que esse parâmetro também
356 convergiu para a situação prévia à perda de eficiência da ETE, chegando a ser inferior aquele
357 obtido no período 1. Logo, assim como ocorreu para a DBO₅ e para a DQO, os valores médios de
358 NTK passaram a atender os limites de emissão antes de o efluente receber o tratamento terciário.
359 Após o cenário “C” do reúso, o NTK médio foi reduzido para 7,99 mg.L⁻¹ no ponto EF.
360 O fósforo, por outro lado, teve sua concentração aumentada na saída do processo de lodos
361 ativados após a implantação do cenário “C” de reúso. Isso se deveu ao aumento da
362 disponibilidade desse nutriente na alimentação do tratamento secundário, pois o efluente
363 industrial tratado primariamente, reusado na produção de adesivo, apresentava alta concentração
364 de DBO₅ e de NTK, porém era pobre em P. Desse modo, o efluente de origem doméstica, rico em
365 fósforo, passou a alimentar o sistema de lodos ativados em uma relação aproximada de 3 a 4 kg
366 P.100 kg DBO₅⁻¹, enquanto Von Sperling (1997) recomenda 0,5 a 0,6 kg P.100 kg DBO₅⁻¹ para
367 projeto de processos por aeração prolongada. Por esse motivo, a concentração média de P em P4
368 da Figura 1 passou de 1,93 mg.L⁻¹ no período 3 para 7,03 mg.L⁻¹ no período 4 e,
369 consequentemente, deixou de atender o limite de emissão no ponto EF (5,92 mg.L⁻¹).
370 A solução de controle deste parâmetro passa pelo acréscimo de DBO₅ ao processo de lodos
371 ativados, pelo acréscimo de uma etapa de tratamento ao processo biológico de tratamento, pela
372 precipitação química do P ou, ainda, pelo próprio reúso da água. A Tabela 4 mostra que existe
373 demanda por água de reúso para os processos de limpeza industriais que poderiam consumir todo
374 o efluente de tratamento terciário, eliminando o seu lançamento ao corpo receptor. Ou seja, o P
375 deixaria de ser lançado ao meio ambiente, eliminando o problema com seu limite de lançamento.

376 CONCLUSÃO

377 Este trabalho mostrou que o reúso da água em uma indústria pode ser utilizado como ferramenta
378 eficaz de revitalização de estações de tratamento de efluentes. A ETE estudada, por exemplo,
379 teve a vazão média afluente ao processo de lodos ativados reduzida em mais de 50% o qual
380 passou a tratar um efluente de origem predominantemente doméstico, ou seja, mais adequado ao
381 tipo de processo.
382 Muito embora o P tenha saído do controle e extrapolado o limite de emissão da FEPAM após o
383 cenário “C”, o reúso permanece sendo uma medida de revitalização de ETE's. No caso estudado,
384 a carga de DBO₅ afluente ao processo de lodos ativados fora excessivamente reduzida,
385 provocando um desbalanceamento na relação DBO₅/P. Isso não significa dizer que o reúso da
386 água diminuiu a eficiência de remoção de fósforo pela ETE, mas que ela teve ampliada a sua
387 capacidade de tratar DBO₅ através do processo de lodos ativados.
388 Além do prolongamento da vida útil da ETE, o reúso da água beneficiou o meio ambiente através
389 da redução das cargas poluentes emitidas ao corpo receptor e dos volumes de água captados no
390 meio ambiente. O efluente tratado, enviado ao meio ambiente, que chegou a 45 m³.dia⁻¹ antes do
391 reúso, caiu a menos de 20 m³.dia⁻¹ assim como ocorreu com as respectivas cargas poluentes
392 associadas. Por sua vez, o volume de água usado na produção de adesivo de amido foi substituído
393 por água de reúso quase que integralmente, reduzindo a adução de água de fontes naturais entre
394 15 e 20 m³.dia⁻¹.
395 Tendo-se em vista os benefícios apresentados através deste estudo de caso, pode-se estabelecer
396 que antes de utilizar técnicas complementares de tratamento de efluentes na otimização de

397 estações de tratamento, é importante avaliar possíveis reúsos de efluentes brutos ou de efluentes
398 que receberam apenas tratamento parcial.

399 REFERÊNCIAS

- 400 1. APHA, American Public Health Association (2005) *Standard Methods for the*
401 *Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Washington: APHA-AWWA-WEF.
- 402 2. Beal, L. L., Monteggia, L. O., Giustina, S. V. D. (2006) *Otimização de uma estação de*
403 *tratamento de efluentes de uma indústria de embalagens de papel*. *Engenharia Sanitária*
404 *e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 283-289.
- 405 3. Brasil (1997) *Lei n. 9.433 de 8 de Janeiro de 1997*. <http://www.planalto.gov.br>
406 (05/05/2009).
- 407 4. CONAMA, Conselho Nacional Do Meio Ambiente (2005) *Resolução n. 357, de 17 de*
408 *março de 2005*. <http://www.mma.gov.br> (12/08/2009).
- 409 5. Costa Neto, P. L. O. (2002) *Estatística*. 2 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 264 p.
- 410 6. Crook, J. (1993) *Critérios de qualidade da água para reúso*. *Revista DAE*, São Paulo, v.
411 53, n. 174, p. 10-18, nov/dez 1993.
- 412 7. EPA, Environmental Protection Agency (2004) *Guidelines for Water Reuse*.
- 413 8. FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (1989)
414 *Portaria n. 5 de 16 de março de 1989*. <http://www.fepam.rs.gov.br> (05/05/2009).
- 415 9. Metcalf e Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 4.
416 ed. New York. Ed. McGraw - Hill Book, 1815p.
- 417 10. Mierzwa, J. C.; Hespanhol, I. (2005) *Água na indústria: uso racional e reúso*. 1 ed. São
418 Paulo. Ed. Oficina de Textos, 143 p.
- 419 11. Perkins, F., Schnell, P. (2000) *The corrugated containers manufacturing process*.
420 Technical association for the worldwide pulp, paper, and converting industry (TAPPI).
421 Atlanta: TAPPI Press. 152 p.
- 422 12. Rothstrom, C., Kohl, J. (2001) *Potential Impact of Waste Water on Starch Adhesive*.
423 *Conversion Magazine*. February, 2001. <http://e-zerodischarge.com> (15/10/2004).
- 424 13. Rulkens, W.H. (2005) *Sustainable development in industry by closing water loops:*
425 *technological aspects and expected future developments*. *Environmental science research*,
426 v. 59, pp. 223-254. New York: Springer.
- 427 14. Sautchúk, C. A. (2004) *Formulação de diretrizes para a implantação de programas de*
428 *conservação de água em edificações*. São Paulo. Dissertação de mestrado. Escola
429 Politécnica da Universidade de São Paulo. 308 p.
- 430 15. SEMA, Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2006) *RESOLUÇÃO CONSEMA N °*
431 *128/2006*. <http://www.sema.rs.gov.br> (05/05/2009).
- 432 16. TAPPI, Technical Association for the Worldwide Pulp, Paper, and Converting Industry
433 (2001) *Using washup water as the vehicle in starch based corrugating adhesive*.
434 *Technical Information Paper TIP 0304-44*.
- 435 17. Treadaway, E.; Johnson, U. (1997). *Recycling treated process wastewater in starch*
436 *adhesive at a corrugated packaging plant*. *TAPPI proceedings. Environmental*
437 *Conference & Exhibit*. v. 2, p. 149-150.
- 438 18. Von Sperling, M. (1997) *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias:*
439 *Lodos Ativados*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental -
440 Universidade Federal de Minas Gerais, v.4, 415 p.
- 441 19. Wenzel, H.; Knudsen, H. H. (2005). *Water savings and reuse in the textile industry*. In:
442 Omelchenko, A.; Pivovarov, A. A.; Swindall, W. J. (Eds.) *Modern Tools and Methods of*
443 *Water Treatment for Improving Living Standards*. Springer Netherlands, Holanda, 334 p.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso, ao aplicar uma metodologia de conservação da água em uma indústria de papelão ondulado, mostrou que esse segmento industrial tem a eficiência do uso da água melhorada através da adoção de ferramentas de conservação. No Capítulo 2, o aumento da produção média de PO de 479.069 m².dia⁻¹ para 629.862 m².dia⁻¹ no mesmo período em que o consumo médio de água caiu de 102,09 m³.dia⁻¹ para 56,31 m³.dia⁻¹ demonstrou que racionalizar o uso e promover o reúso da água nesse tipo de indústria é uma maneira eficaz de se preservar os recursos hídricos.

Neste contexto, o consumo específico da água (CEA) e o nível da água no poço tubular (NAP) foram importantes indicadores para o monitoramento da evolução da preservação da água em quantidade. O CEA representou a eficiência do uso da água ao mostrar o volume consumido na produção de um metro quadrado de chapa de PO (mL.m⁻²). Ao contrário do volume total de água consumido, esse indicador permitiu comparar o consumo temporalmente, pois considerou os volumes de PO produzidos em seu denominador. Durante esse estudo, houve uma redução de 45% no consumo médio mensal de água, sendo que esse número não forneceu resultados conclusivos quando analisado isoladamente, pois poderia ter resultado de um volume de produção proporcionalmente menor. Por outro lado, o CEA sofreu uma redução de 213,11 mL.m⁻² para 89,41 mL.m⁻² no mesmo período (58%), ou seja, menos água foi consumida para se produzir o mesmo metro quadrado de PO, evidenciando a consistência do resultado.

Outra vantagem proporcionada pelo CEA foi comparar a eficiência do uso da água entre diferentes plantas industriais, pois ele é um indicador de consumo específico. Isso é muito importante no segmento industrial, pois ferramentas como o *benchmarking* (Camp, 1989) são amplamente usadas nesse setor da economia. No Capítulo 2, o CEA de 89,41 mL.m⁻², encontrado

após as intervenções conservativas, situou-se bastante abaixo dos 160 mL.m⁻² encontrados na bibliografia internacional (Weyerhaeuser, 2008), demonstrando a eficiência das ações implementadas. Portanto, o CEA, ao usar o “mL.m⁻²” como unidade de medida, viabiliza o *benchmarking* no setor de embalagens de PO.

O NAP, assim como o CEA, também foi um importante indicador de preservação da água em quantidade. Esse indicador representou o nível médio da água no poço tubular, fonte principal de abastecimento da empresa, e sofreu aumento de 3,36 m após as intervenções conservativas. O NAP foi elevado, então, a patamares que só haviam sido registrados no início da operação do poço. Portanto, a conservação da água, ao diminuir a captação na natureza, reduz o estresse sobre as fontes naturais as quais tem sua vida útil prolongada devido a sua recuperação.

Além dos indicadores CEA e NAP, representando a conservação da água em quantidade, indicadores referentes à preservação da qualidade da água mostraram que as ferramentas de conservação também são eficazes nesse sentido. As cargas dos poluentes DBO₅, DQO, NTK e P lançadas ao corpo receptor constituíram os indicadores de qualidade e sofreram reduções da ordem de 90% através do uso racional e do reúso da água. No entanto, o potencial de reúso ainda existente na planta estudada permitiria a eliminação do lançamento de efluentes ao corpo hídrico e, conseqüentemente, a eliminação das cargas poluentes também.

A obtenção de melhores valores para os indicadores apresentados passou pela identificação prévia de oportunidades de conservação da água. Na planta industrial de embalagens de PO estudada, as principais oportunidades de redução de consumo encontravam-se no setor de ondulação. Nele, a produção de vapor na caldeira e de adesivo de amido na central de cola correspondia a 58% do consumo total de água da planta. Os processos de limpeza de máquinas e de equipamentos (onduladeira e impressoras) também consumiam um volume

representativo de água que, somado à produção de vapor e de adesivo, totalizava 76% do consumo. Além de usarem importantes volumes de água, os processos de limpeza de máquinas e de equipamentos eram responsáveis pela geração de 50% do efluente da planta. Portanto, esses são pontos merecedores de atenção especial nas fábricas de embalagens de PO, pois oferecem consideráveis oportunidades de conservação de água.

Dentre as ações conservativas possíveis, neste estudo de caso, o uso racional da água foi abordado primeiramente, pois atendia à hierarquização das práticas ambientais citada na Figura 1.3. A racionalização do uso se iniciou através de intervenções comportamentais que, conforme apresentado no Capítulo 2, reduziram de 27,9 mL.m⁻² para 18,3 mL.m⁻² (34,2%) o CEA do setor de impressão. As intervenções comportamentais, realizadas através de trabalhos de conscientização quanto ao uso da água, mostraram-se eficazes e economicamente interessantes por dispensarem intervenções físicas.

A racionalização do uso da água através de intervenções físicas, como pode ser visto no Capítulo 2, foi o passo seguinte, pois requeria investimentos. A eliminação da perda física identificada na caldeira proporcionou uma redução de 41,26 m³.dia⁻¹ para 15,36 m³.dia⁻¹ (62,8%) no consumo médio de água nesse ponto de uso. Portanto, por serem equipamentos de alto consumo, as caldeiras merecem atenção especial nos estudos de conservação, tanto em indústrias de embalagens de PO quanto em qualquer outra atividade econômica.

A redução total no uso da água, através da racionalização do uso, foi de 27,7 m³.dia⁻¹, ou seja, esse volume diário era usado desnecessariamente antes das intervenções. O reúso da água, por outro lado, não eliminou a demanda; apenas substituiu a fonte de oferta ao usar o efluente de tratamento primário na produção de adesivo de amido. Ou seja, o volume de água utilizado na fabricação do adesivo permaneceu o mesmo tendo, inclusive, aumentado durante a realização do

estudo. Devido ao reúso da água na ondulateira, o consumo proveniente do poço tubular foi reduzido em $16,06 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ para esse fim o que, comparativamente aos $27,7 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ obtidos através da racionalização do uso, foi menor. Visto isso, este estudo reafirma a ordem de tomada de ações proposta na hierarquização das ações conservativas apresentada na Figura 1.3.

O reúso da água, embora tenha sido implantado apenas na produção de adesivo de amido, mostrou-se viável tecnicamente também para a diluição de reagentes utilizados no tratamento de efluentes, para a limpeza de máquinas e equipamentos, e nas descargas sanitárias conforme mostrado no Capítulo 2. A adoção do reúso nessas atividades, conforme citado anteriormente, poderia fechar o circuito de efluentes, eliminando sua emissão ao corpo hídrico. Nas indústrias de embalagens de PO, portanto, esse fechamento de circuito é favorecido pelo importante potencial de reúso existente.

Além de demanda por água de reúso, a parcela dessa água, passível de incorporação ao produto através do adesivo de amido, garante a viabilidade técnica do reúso em circuito fechado. A água reusada na produção de adesivo é agregada às embalagens de PO e não retorna ao sistema, evitando, assim, o aumento na concentração de contaminantes na água de reúso, fato que degradaria a qualidade dos efluentes, comprometeria os processos de tratamento e, por conseguinte, o próprio reúso. O artigo, apresentado no Capítulo 3, mostrou que o reúso da água em uma fábrica de papelão ondulado, além de não promover a superconcentração de contaminantes, tem a capacidade potencial de revitalizar os processos de tratamento de efluentes existentes. Na ETE estudada, o efluente reusado no adesivo de amido era proveniente do tratamento primário. Como o adesivo é incorporado ao produto, os contaminantes não retornam ao sistema e os processos seguintes de tratamento recebem menor vazão e carga de contaminantes. Desse modo, os processos secundário e terciário de tratamento retomaram sua eficiência de remoção de poluentes, revitalizando a ETE estudada. Esse fato comprova a hipótese

de que é possível se prolongar a vida útil dos processos de tratamento de efluentes de plantas produtoras de embalagens de PO através do reúso da água.

Muitos foram os ganhos citados neste estudo de caso, obtidos a partir da aplicação de técnicas de conservação de água em uma indústria de papelão ondulado. A planta industrial estudada viu-se beneficiada através da ampliação da vida útil de sua ETE e de sua fonte de oferta de água (poço tubular), e do aumento de seu desempenho ambiental. A disponibilidade hídrica para atendimento a usos mais nobres de água, como é o caso do uso doméstico, aumentou. Com a redução de consumo obtida, devido às ações conservativas adotadas, poder-se-ia atender a demanda diária de, aproximadamente, 380 pessoas considerando-se uma demanda média *per capita*, para o estado do Rio Grande do Sul, de 115 L.hab⁻¹.dia⁻¹ (SNIS, 2007). Ou seja, a conservação da água é, para a indústria de embalagens de PO, uma ferramenta de melhoria do desempenho de uso da água e de minimização da geração e do lançamento de efluentes líquidos.

Por outro lado, cabe observar que um estudo mais aprofundado sobre os impactos dessas ações conservativas ao meio ambiente pode ser necessário para que se possa concluir que todos esses impactos tenham sido realmente positivos. O reúso de água, ao incorporar cargas de contaminantes aos produtos, melhora o desempenho ambiental localmente, porém, ao terminarem seu ciclo de vida, esses produtos podem devolver as cargas, a eles incorporadas, ao meio ambiente. Portanto, a análise de ciclo de vida (ACV) (Chehebe, 1998), ao considerar todas as interações com o meio ambiente ocorridas desde a aquisição de matérias primas de fabricação até a disposição final de um produto, é uma ferramenta que poderia ser aplicada na avaliação de estudos futuros de conservação da água na indústria do PO.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2005a. A água no Brasil e no mundo. Cartaz. <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/AAguaNoBrasilENoMundo.pdf> (02/10/2009).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2005b. Programas Nacionais do PNRH. PRODUTO 03: Avaliação de Programas Nacionais. Versão final – Síntese, Comentários e Recomendações. Documento técnico. <http://www.ana.gov.br> (07/10/2009).

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2007. GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília. 264p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). 2009. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009. Brasília. 204p.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). 2002. Resolução RDC nº 130, de 10 de maio de 2002. <http://e-legis.anvisa.gov.br> (11/10/2009).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington: APHA-AWWA-WEF.

ARSLAN, I. *et al.* 2001. Photochemical treatment of dyehouse effluents by novel tio₂ photocatalysts: experience with the thin film fixed bed (TFFB) and double skin sheet (DSS) reactor. Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment II. Water Science and Technology. v. 44, n. 5, p. 171-178.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (1997). NBR13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1997. NBR13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAPELÃO ONDULADO (ABPO). 2003. Anuário Estatístico 2003. São Paulo. 32 p.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). 1999. Caixas de Papelão Ondulado: produtos florestais. Áreas de Operações Industriais 2. Gerência Setorial 1. <http://www.bndes.gov.br> (25/09/2005).

BARBOSA, D. DE O. *et al.* 2009. Guia técnico ambiental da indústria gráfica - Série P+L. 2 ed. São Paulo: CETESB: SINDIGRAF. 59 p.

BARROS, A. M. DE L. 2008. Modelagem da poluição pontual e difusa: aplicação do modelo Moneris à bacia hidrográfica do Rio Ipojuca, Pernambuco. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 193p.

BEAL, L. L., MONTEGGIA, L. O., GIUSTINA, S. V. D. 2006. Otimização de uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de embalagens de papel. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n. 3, p. 283-289.

BENJAMIN, A. H. DE V. 1993. O Princípio Poluidor-Pagador e a Reparação do Dano Ambiental. Dano ambiental: prevenção, reparação e repressão. São Paulo, Revista dos Tribunais, 1993. p. 226-236.

BRASIL. 1997. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. <http://www.planalto.gov.br> (05/05/2009).

BRASIL. 2000. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. <http://www.ana.gov.br> (06/11/2009).

BRAÚNA, C. H. C., MOTA, S., SANTOS, A. B. 2009. Descoloração redutiva do corante azo RR2 na ausência e presença de mediador redox e acceptor de elétrons nitrato. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 14, n. 2, p. 275-284.

BROUGHTON, E. 2005. The Bhopal disaster and its aftermath: a review. Environmental Health: A Global Access Science Source. New York, V. 4, p. 1-6. <http://www.ehjournal.net/content/4/1/6> (15/06/2005).

CAMP, R. 1989. Benchmarking: The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance. Milwaukee: ASCQ Quality Progress. 250 p.

CANTELLI, M. 2003. Potencialidade do uso de solução alcalina do íon ferrato (VI) na oxidação de óxidos de nitrogênio (NO_x) presentes em emissões gasosas. Porto Alegre. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 164p.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). Relação de empresas assessoradas em P+L. <http://www.senairs.org.br/cntl/> (09/10/2009).

CHEHEBE, J. R. 1998. Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO14000. Rio de Janeiro: Qualitymark. 104p.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). Resolução n. 128, de 24 de novembro de 2006. <http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/pdf/Resolucao128Efluentes.pdf> (14/09/2009).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 20, de 18 de junho de 1986. <http://www.mma.gov.br> (22/06/2005).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. <http://www.mma.gov.br> (12/08/2009).

CORRAL-VERDUGO, V. 2002. A structural model of pro-environmental competency. *Environmental e Behavior*. v. 34, p. 531-549.

COSTA NETO, P. L. O. 2002. *Estatística*. 2 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blucher, 264 p.

CROOK, J. 1993. Critérios de qualidade da água para reúso. *Revista DAE*, São Paulo, V. 53, n. 174, p. 10-18, nov/dez 1993.

CZAPSKI, S. Escassez de água é um dos maiores problemas do século. *Jornal Valor Econômico*. São Paulo, 02/05/2004. *Empresas Especial*, p. 4.

DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (DEPA). 1998. Survey of azo-colorants in Denmark: Consumption, use, health and environmental aspects. <http://www.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-548-8/pdf/87-7909-546-1.pdf> (14/09/2009).

DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (DEPA). 1998. Survey of azo-colorants in Denmark: Consumption, use, health and environmental aspects. <http://www.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-548-8/pdf/87-7909-546-1.pdf> (07/08/2005).

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY. 1996. *South African Water Quality Guidelines (Second Edition)*. Volume 3: Industrial Use. 108 p.

DOCOL. 2009. Desenvolvido pela Indústria Docol. <http://www.docol.com.br/produtos> (08/12/2009).

EAST TENNESSEE STATE UNIVERSITY (ETSU). 1997. *Water use in UK paper and board manufacture*. United Kingdom. 36 p. <http://www.etsu.com> (12/11/2009).

ENVIROWISE. 2001. *Reducing water and effluent costs in PCB manufacture*. Good Practice Guide. United Kingdom. 30 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). 2004. Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial. Volume 1. São Paulo. <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf> (14/09/2009).

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). 2009a. Guia técnico ambiental da indústria gráfica. 2 ed. São Paulo. 64 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). 2009b. Água: quanto ela realmente custa para a sua empresa? 2 ed. São Paulo. 8 p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). 2006. Manual de conservação e reúso de água na indústria. Rio de Janeiro. <http://www.firjan.org.br> (11/11/2009).

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER (FEPAM). 1989. Portaria n. 5 de 16 de março de 1989. <http://www.fepam.rs.gov.br> (05/05/2009).

GENÇ, N. 2004. Photocatalytic oxidation of a reactive azo dye and evaluation of the biodegradability of photocatalytically treated and untreated dye. *Water SA*. v. 30, n. 3. p. 399-405.

GONÇALVES, E., ALVIM, P. R. A. 2005. Guia prático para pesquisa e combate vazamentos não visíveis. 77 p. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). <http://www.snis.gov.br> (05/05/2009).

GUMBO, B., MLILO, S., BROOME, J., LUMBROSO, D. 2003. Industrial water demand management and cleaner production potential: a case of three industries in Bulawayo, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 28, p. 797-804.

HAFNER, A. V. 2007. Conservação e reúso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais. Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 161 p.

HESPANHOL, I. 2001. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. III Encuentro de las Aguas. Anais. http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-158.htm (04/07/2005).

INDUSTRY CANADA. 1997. Sustainable development: concepts, measures, market, and policy failures at the open economy, industry and firm levels. Ocasional paper n. 16. [strategis.ic.gc.ca/epic/internet/ineas-aes.nsf/vwapj/op16e.pdf/\\$FILE/op16e.pdf](http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/ineas-aes.nsf/vwapj/op16e.pdf/$FILE/op16e.pdf) (07/09/2005).

JULIÃO, L. 2006. Projeto ajuda a reduzir água usada na fabricação de caixa de papelão ondulado. Reportagem. Repórter Eco: TV Cultura. <http://www2.tvcultura.com.br/reportereco/materia.asp?materiaid=413> (10/10/2009).

LAVRADOR FILHO, J. 1987. Contribuição para o Entendimento do Reúso Planejado de Água e Algumas Considerações Sobre Suas Possibilidades no Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.

LEGAULT, L., PELLETIER, L. 2000. Impact of an environmental education program on students' and parents' attitudes, motivation and behaviours. *Canadian Journal of Behavioural Science*, V. 32, p. 243-250.

LERIPIO, A. DE A. 2001. Gaia - Um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais. Florianópolis. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. 174 p.

LI, X. Z., ZHANG, M. 1996. Decolorization and biodegradability of dyeing wastewater treated by a TiO₂ – sensitized photo-oxidation process. *Water Quality International '96 Part 5. Water Science and Technology*. v. 34, n. 9, p. 49-55.

LIZAMA, C. *et al.* 2001. Reactive dyes decolouration by tio₂ photo-assisted catalysis. *Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment II. Water Science And Technology*. v. 44, n.5, p. 197-203.

LUNDIN, L. 2000. *Sustainable Water Management in the Baltic Sea Basin. Book II: Water Use and Management*. Uppsala University. 2 ed. 240 p.

MALTENFORT, G. G. 1988. *Corrugated Shipping Containers: An Engineering Approach*. New York: Jelmar Publishing Co. Inc. 291 p.

MALTENFORT, G. G. 1989. *Performance and Evaluation of Shipping Containers*. New York: Jelmar Publishing Co. Inc. 475 p.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. 2003. *Reúso de água*. 1 ed. São Paulo. Ed. Manole Ltda, 579 p.

METCALF e EDDY, Inc. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 4. ed. New York. Ed. McGraw - Hill Book, 1815p.

MIERZWA, J. C. 2002. *O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – Estudo de caso da Kodak brasileira*. Vol. 1 e 2. São Paulo. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 399p.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. 2005. *Água na indústria – Uso racional e reúso*. Oficina de Textos. São Paulo. 143 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2006. *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Programas nacionais e metas – Volume 4*. <http://www.mma.gov.br> (08/10/2009).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2009. Agenda 21 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 3 – 14 de junho de 1992. <http://www.mma.gov.br> (08/10/2009).

MOTTA, R. S. DA. 2002. Padrão de consumo, distribuição de renda e o meio ambiente no Brasil. Texto para discussão nº 856. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Rio de Janeiro. 51 p.

NEMEROW, N. L. e DASGUPTA, A. 1991. Industrial and hazardous waste treatment. Van Nostrand Reinhold: New York. 743p.

NEW MEXICO OFFICE OF THE STATE ENGINEER. 1999. A water conservation guide for commercial, institutional and industrial users. <http://www.ose.state.nm.us/water-info/conservation/pdf-manuals/cii-users-guide.pdf> (09/10/2009).

OLIVEIRA, L. H. 1999. Metodologia para a implantação de programas de uso racional da água em edifícios. Tese. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 319 p.

PACHECO, C. E. M. 2002. Compilação de técnicas de prevenção à poluição para a indústria de galvanoplastia: projeto piloto de prevenção à poluição em indústrias de bijuterias no município de Limeira. 4 ed. São Paulo : CETESB.

PACKFORSK. 2002. Lean, intelligent and moisture resistant corrugated board-A conceptual memorandum on sustainable growth. Stockholm. 23p. <http://www.packforsk.se> (20/09/2005).

PEDROSO, L. P. 2002. Subsídios para a implementação de sistema de manutenção em campus universitário, com ênfase em conservação de água. Campinas. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. 169 p.

PERKINS, F., SCHNELL, P. 2000. The corrugated containers manufacturing process. Technical association for the worldwide pulp, paper, and converting industry (TAPPI). Atlanta: TAPPI Press. 152 p.

PRESSANTO, A. J. 2004. O Ecodesign como instrumento de educação ambiental em instituições de ensino fundamental. Porto Alegre. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 152p.

PUIGJANER, L., ESPUÑA, A., ALMATÓ, M. 2000. A Software Tool for Helping in Decision-Making About Water Management in Batch Process Industries. *Waste Management*, V. 20, p. 645-649.

PUPLAMPU, E., SIEBEL, M. 2005. Minimisation of water use in a Ghanaian brewery: effects of personnel practices. *Journal of Cleaner Production*, V. 13, p. 1139-1143.

RODRÍGUEZ, M. 2003. Fenton and UV-vis based advanced oxidation processes in wastewater treatment: degradation, mineralization and biodegradability enhancement. Barcelona. Tese de doutorado. Universitat de Barcelona. 322p.

ROTHSTROM, C., KOHL, J. 2001. Potential impact of waste water on starch adhesive. *Conversion Magazine*. February, 2001. <http://e-zerodischarge.com> (15/10/2004).

ROTHSTROM, C., SNYDER, P. A. 2000. Zero discharge programs in a corrugated box plant. Harper Love. *Corrugating International*. October, 2000. <http://e-zerodischarge.com> (15/10/2004).

RULKENS, W.H. 2005. Sustainable development in industry by closing water loops: technological aspects and expected future developments. *Environmental science research*, V. 59, pp. 223-254. New York: Springer.

SANS, R., RIBO, J. M., ALVAREZ, D., FORNÉ, C., PUIG, M. D., PUIG, F. 1998. Minimization of water use and wastewater contaminant load. *Journal of Cleaner Production*, v. 6, p. 365-369.

SANTOS, A. B., CERVANTES, F. J., VAN LIER, J. B. 2007. Impacto dos mediadores redox na remoção de cor de corantes azo e antraquinônico por lodo granular anaeróbio sob condições mesofílicas e termofílicas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 12, n. 1, p. 102-108.

SAUTCHÚK, C. A. 2004. Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações. São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. 308 p.

SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMA). 2006. Resolução CONSEMA N ° 128/2006. <http://www.sema.rs.gov.br> (05/05/2009).

SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS LIMPAS. 2005a. Porto Alegre. Reúso de águas: tecnologia e práticas. Palestras e Apresentações. <http://www.abes-rs.org.br/sem-tec-limpas/index2.htm> (10/08/2005).

SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS LIMPAS. 2005b. Porto Alegre. CNTL – SENAI. Palestras e Apresentações. <http://www.abes-rs.org.br/sem-tec-limpas/index2.htm>

SIMPÓSIO INTERNACIONAL - ÁGUA: A ESSÊNCIA DA VIDA. 2003. São Paulo. Água: a Problemática Mundial. Palestras e Apresentações. <http://www.sp.br.emb-japan.go.jp/> (15/08/2005).

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). 2007. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2006. Parte 2 – Tabelas e informações. MCIDADES. SNSA. Brasília. 428 p.

TECHNICAL ASSOCIATION FOR THE WORLDWIDE PULP, PAPER, AND CONVERTING INDUSTRY (TAPPI). 2001. Using Washup Water as the Vehicle in Starch Based Corrugating Adhesive. Technical Information Paper TIP 0304-44.

TREADAWAY, E.; JOHNSON, U. 1997. Recycling treated process wastewater in starch adhesive at a corrugated packaging plant. TAPPI proceedings. Environmental Conference & Exhibit. v. 2, p. 149-150.

TROMBINI. 2004. Unidade de Papelão Ondulado. Manual de Treinamento para Operadores de Máquina. Farroupilha. 25 p.

TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., CORDEIRO, O. 2000. Relatório nacional sobre o gerenciamento da água no Brasil. 137 p.

TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I., CORDEIRO, O. 2001. Gestão da água no Brasil. 159 p.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world. Paris: UNESCO and London: Earthscan. 318 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1990. Pollution Prevention Act of 1990. <http://www.epa.gov/p2/pubs/p2policy/act1990.htm> (05/11/2009).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1998. Water Conservation Plan Guidelines. <http://www.epa.gov> (19/10/2009).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 2004. Guidelines for Water Reuse. <http://www.epa.gov> (05/11/2009).

VOGELPOHL, A. 2001. Advanced oxidation technologies for industrial water reuse. Water and Resource Recovery in Industry: Challenges for Environmental Biotechnology. Wageningen University. Wageningen.

VON SPERLING, M. 1997. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lodos Ativados. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, V.4, 415 p.

WAN ALWI, S.R.; MANAN, Z.A.; SAMINGIN, M.H.; MISRAN, N. 2008. A holistic framework for design of cost-effective minimum water utilization network. Journal of Environmental Management, V. 88, p. 219-252.

WEISBURGER, J. H. 2002. Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. Mutation Research, V. 506/507, p. 9-20.

WENZEL, H.; KNUDSEN, H. H. 2005. Water savings and reuse in the textile industry. In: Omelchenko, A.; Pivovarov, A. A.; Swindall, W. J. (Eds.) Modern Tools and Methods of Water Treatment for Improving Living Standards. Springer Netherlands, Holanda, 334 p.

WESTERHOFF, G. P. 1984. Un update of research needs for water reuse. In: Water Reuse Symposium. San Diego, California: Proceedings. V. 3, p. 1731-1742.

WEYERHAEUSER. 2008. 2007 Sustainability report. 61 p. <http://www.weyerhaeuser.com> (02/03/2009).

WINTERBOTTON, J. M. *et al.* 1997. Total mineralisation of waste effluent using photocatalysis and advanced oxidation processes. International Conference on Advanced Wastewater Treatment Processes. Leeds, UK.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1973. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. Technical report series, Geneva: n. 517.

WORLD WATER COUNCIL. 2000. World Water Vision: making water everybody's business.
Texto técnico. Earthscan Publications Ltd.

6 ANEXOS

**A1 – NORMAS PARA SUBMISSÃO DE ARTIGOS CIENTÍFICOS DA
REVISTA ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (13/11/2009)**

**ÓRGÃO OFICIAL DE INFORMAÇÃO TÉCNICA DA ABES - RIO DE JANEIRO -
BRASIL
REGULAMENTO PARA APRESENTAÇÃO DE CONTRIBUIÇÕES**

1. OBJETIVO

O presente regulamento objetiva uniformizar a apresentação das contribuições a serem encaminhadas para publicação na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.

2. FORMAS DE CONTRIBUIÇÃO

2.1 As formas de contribuição são:

- Artigo Técnico
- Nota Técnica
- Revisão de Literatura
- Discussão acerca de Nota Técnica, Artigo Técnico ou Revisão da Literatura

2.2. Artigo Técnico é uma exposição completa e original, totalmente documentada e interpretada, de um trabalho de relevância.

2.3. Nota Técnica corresponde a um trabalho sumário podendo corresponder a:

- artigo com resultados ainda parciais
- considerações sobre aspectos pouco abrangentes da área
- desenvolvimento de considerações técnicas relativas a algum aspecto da engenharia sanitária e ambiental
- alguma outra abordagem sumária pertinente, a juízo dos Editores.

2.4. Revisão da Literatura corresponde a um artigo no qual é levantado o estado da arte de algum tema relevante e inovador na área de engenharia sanitária e ambiental, cuja abordagem deve ser suficientemente crítica e capaz de identificar avanços, lacunas e desafios científicos no tema, à luz da literatura nacional e internacional. Trabalhos de revisão sistemática e meta- análise podem ser incluídos nessa categoria de artigo.

2.5. Discussão é uma avaliação crítica ou ampliação do conteúdo de uma Nota Técnica, Artigo Técnico ou Revisão da Literatura publicado na Revista. As discussões serão publicadas, sempre que possível, conjuntamente com a resposta do(s) autor(es). A Revista tem como linha editorial o incentivo à publicação de artigos de discussão.

2.6. Não serão aceitos relatórios, traduções e nem artigos já publicados ou submetidos a publicação em outros veículos, ou que impliquem em promoção comercial de determinada marca, produto ou empresa.

3. ENCAMINHAMENTO DAS CONTRIBUIÇÕES

3.1. A inscrição de contribuições será feita unicamente pelo Sistema on line disponível no Portal da Revista, no endereço <http://www.abes-dn.org.br/>. Não serão aceitas inscrições de artigos por fax, e-mail ou correio.

3.2. Autores devem usar o acesso “Submeter Artigo” constante do menu do Portal da Revista quando da submissão de suas contribuições.

3.3 Para cada contribuição submetida, deverá ser preenchida a Ficha com os dados da Contribuição que se abre automaticamente quando do acesso em Submeter Artigo. Todos os campos da Ficha devem ser criteriosamente preenchidos, sem exceção. Recomenda-se o fornecimento de endereço eletrônico pessoal e que não solicite visualização de senha para envio.

3.4. As contribuições podem ser submetidas em português ou em inglês.

3.5. Autores poderão acompanhar o processamento das suas contribuições pelo Portal da Revista, acessando “Meus Artigos” no menu do Portal.

4. FORMATO DAS CONTRIBUIÇÕES

4.1. As contribuições devem ser preparadas pelos autores no formato “.doc” usando o recurso de numeração de linhas do Microsoft Word (Arquivo – Configurar página – Layout – Números de linha – Numerar linhas – Contínua - OK – OK).

4.2. Em seguida, as contribuições devem ser convertidas para o formato “.PDF” e então submetidas ao Sistema de envio de artigos. Todos os demais formatos de arquivos, inclusive os compactados, serão bloqueados.

4.3. Após o processo avaliativo, as contribuições aprovadas para publicação deverão sofrer correções e ser enviadas em sua versão final no formato “.doc” para diagramação.

4.4. Poderão ser incluídos figuras, gráficos e ilustrações, desde que o tamanho do arquivo não ultrapasse 2 MB.

4.5. O texto integral do artigo não poderá exceder 12 (doze) páginas para Artigo Técnico e Revisão da Literatura e 8 (oito) páginas para Nota Técnica e Discussão, atendendo ao formato estabelecido nos itens a seguir.

4.6. O Artigo Técnico e a Nota Técnica deverão seguir a seguinte sequência de apresentação:

- Título do artigo em português e em inglês
- Nome do(s) autor(es)
- Currículo resumido(s) do(s) autor(es) em no máximo três linhas
- Endereço para correspondência (profissional)
- Resumo em português (10 linhas) e em inglês (10 linhas)
- Palavras-chave em português e em inglês
- Título resumido do artigo em português (até 60 caracteres) para o cabeçalho
- Texto do artigo (sem divisão em colunas)
- Referências
- Anexos (se houver)

4.6.1 – Agradecimentos, se houver, deverão ser incluídos somente na versão final do artigo aprovado para publicação.

4.7. O texto deverá ser formatado para um tamanho de página A-4, com margens superior, inferior, esquerda e direita de 2,5cm. As páginas deverão ser devidamente numeradas. Deve ser empregada fonte Times New Roman, corpo 12, exceto no título que deverá ter corpo 16. O espaçamento entre as linhas deverá ser simples.

4.8. Após o título deverão aparecer o nome, formação e cargo atual do(s) autor(es), centralizados. No caso de mais de um autor, cada nome deverá iniciar em uma nova linha. Em seguida deverão constar endereço, telefone, fax e endereço eletrônico do primeiro autor.

4.9. O corpo do artigo deve ser organizado segundo um encadeamento lógico, segundo subtítulos "Introdução", "Metodologia", "Resultados", "Discussão", "Conclusões" e "Referências". Na redação não deve ser empregada a primeira pessoa e o estilo a ser adotado deve ser objetivo e sóbrio, compatível com o recomendável para um texto científico.

4.10. Deverá ser evitada a subdivisão do texto em um grande número de subtítulos ou itens, admitindo-se um máximo de cabeçalhos de terceira ordem. Termos grafados em itálico ou negrito poderão ser utilizados no corpo do artigo.

4.11. O conteúdo do trabalho deve ser submetido a criteriosa revisão ortográfica.

4.12. Termos grafados em itálico ou negrito poderão ser utilizados no corpo do artigo.

4.13. As discussões deverão ser submetidas no máximo até 6 (seis) meses após a publicação do Artigo, Nota Técnica ou Revisão da Literatura.

5. FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

As figuras e ilustrações devem observar os seguintes critérios:

5.1. Os arquivos das figuras e ilustrações, sem bordas ao redor, devem ser inseridas no arquivo do texto, de maneira que possam ser editados através do MS Word for Windows.

5.2. Os textos e legendas não devem ficar muito pequenos ou muito grandes em relação à figura.

5.3. As figuras devem ser intercaladas nos locais apropriados, e apresentar um título.

5.4. A inclusão de fotografias não é aconselhável; porém se os autores julgarem que são importantes para esclarecer aspectos relevantes do artigo, deverão ser inseridas em resolução mínima de 300 dpi.

5.5. Todos os gráficos, desenhos, figuras e fotografias devem ser denominados de "Figura", e numerados sequencialmente em algarismos arábicos. Toda figura deve ser mencionada no texto.

5.6 O número e título da Figura devem ser colocados imediatamente abaixo da figura. O título deve ser claro e autoexplicativo.

5.7. As páginas internas da Revista são impressas em uma só cor, não sendo permitida portanto a adoção de cores na diferenciação das variáveis nos gráficos e diagramas.

6. QUADROS E TABELAS

Os quadros e tabelas deverão atender os seguintes critérios:

- 6.1. Os quadros e tabelas devem ser claros e objetivos, sem linhas de grade. As unidades correspondentes a todos os termos usados devem ser claramente identificadas.
- 6.2. Todos os quadros ou tabelas devem ser denominados “Quadro” ou “Tabela”, numerados sequencialmente em algarismos arábicos e mencionados no texto.
- 6.3. Cada quadro e tabela, além da numeração, deve possuir um título. O número e o título devem ser colocados imediatamente acima do quadro ou tabela. O título deve ser claro e autoexplicativo.
- 6.4. Um quadro e uma tabela não poderão ser maiores do que uma folha A-4.
- 6.5. Quadros e tabelas devem aparecer, preferencialmente, intercaladas nos locais apropriados do texto, a critério do autor.
- 6.6. As páginas internas da Revista são impressas em uma só cor, não sendo permitida portanto a adoção de cores na diferenciação das variáveis nos quadros e tabelas.

7. EQUAÇÕES

As equações podem ser editadas pela equipe responsável pela diagramação. Portanto, os seguintes critérios devem ser satisfeitos:

- 7.1. As equações devem ser claras e legíveis, e serem escritas com a mesma fonte do corpo do texto, sem a utilização de itálico ou negrito.
- 7.2. As equações e fórmulas devem ser denominadas de “Equação” e numeradas sequencialmente em algarismos arábicos. A numeração à direita da equação deve ser entre parênteses. Todas as equações devem ser mencionadas no texto.
- 7.3. Todos os símbolos usados devem ser definidos imediatamente após a equação (caso não tenham sido definidos anteriormente), incluindo as suas unidades ou dimensões.

8. UNIDADES

- 8.1 Todas as unidades mencionadas no texto, tabelas, quadros e figuras devem ser expressos de acordo com o Sistema Internacional de unidades (SI).
- 8.2 Deve-se evitar o uso da barra de fração na expressão das unidades. Exemplo: Ao invés de mg/L ou m³/s, deve-se utilizar mg.L⁻¹ e m³.s⁻¹.

9. REFERÊNCIAS

As referências citadas no texto e listadas ao final do artigo deverão estar de acordo com a norma NBR 6023/2002. A título de esclarecimento são apresentadas algumas diretrizes:

9.1. As referências citadas no texto devem conter o sobrenome do (s) autor (es), em caixa baixa, seguido pelo ano da publicação, observando-se os seguintes critérios:

9.1.1. Quando houver mais de um trabalho, as citações devem ser em ordem alfabética.

9.1.2. Trabalhos com mais de três autores devem ser referenciados ao primeiro autor, seguido por “et al.” (em itálico e com ponto).

9.1.3. Quando houver mais de uma publicação do mesmo autor, no mesmo ano, o ano da publicação deve ser seguido dos componentes “a, b, c...”, em ordem alfabética. Exemplos: ... estudos efetuados por Silva (1994a, 1994b) e por Machado et al. (1995a) revelaram...; ... estudos recentes (Souza, 1993; Silva, Wilson e Oliveira, 1994; Machado et al., 1995b) revelaram..

9.2. Ao final do trabalho deverá ser apresentada uma lista de todas as referências citadas no texto, de acordo com os seguintes critérios, entre outros:

9.2.1. As referências devem ser relacionadas em ordem alfabética, de acordo com o sobrenome do primeiro autor.

9.2.2. Devem ser referenciados todos os autores (independentemente do número de autores), pelo sobrenome seguido pelas iniciais de cada autor, separados por vírgulas. Exemplo: SMITH, P.J.; WATSON, L.R.M.; GREEN, C.M..

9.2.3. O título do periódico referenciado deverá ser apresentado em itálico. As indicações de volume, número e página deverão ser identificados pela letra inicial (“v”, “n” ou “p”), seguida de ponto. Não devem ser utilizadas aspas antes e depois do título do trabalho. Exemplo: JEWELL, W.J.; NELSON, Y.M.; WILSON, M.S. (1992) Methanotrophic bacteria for nutrient removal from wastewater: attached film systems. *Water Environment Research*, v. 64, n. 6, p. 756-65.

9.2.4. O título do livro deve ser apresentado em itálico. Devem ser incluídos a edição, o local, a editora, o número de páginas e a data: Exemplo: FRANÇA, J.L.; VASCONCELOS A. C. (2007) *Manual para Normalização de Publicações Técnico-Científicas*. 8 ed. Belo Horizonte. Ed. UFMG, 255 p.

9.2.5. Em capítulos de livros e trabalhos de congressos, a obra principal (título do livro ou denominação do congresso) é referenciado em itálico e vem precedida da expressão “In”. Exemplos: Anais - CAIXINHAS, R.D (1992). Avaliação do impacto ambiental de empreendimentos hidro-agrícolas. In: V Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais... Lisboa: APRH, p, 203-11.

Capítulo de Livro - KUKOR, J.J.; OLSEN, R.H.; IVES, K. (1989). Diversity of toluene degradation following exposure to BTEX in situ. In: KAMELY, D.; CHAKABARTY, A.; OLSEN, R.H. (EDS.) *Biotechnology and Biodegradation*. Portfolio Publishing Company, The Woodlands, E.U.A., 405-421.

10. JULGAMENTO

10.1. Após avaliação prévia realizada pelos Editores da Revista, se considerado pertinente, cópias da contribuição, sem identificação dos autores, serão enviadas a pelo menos dois avaliadores, especialistas da área, indicados pelos Editores.

10.2. Em qualquer etapa de julgamento do trabalho, serão levadas em consideração a obediência às disposições regulamentares, o relacionamento do tema à Engenharia Sanitária e Ambiental, adequação do título, do resumo e das palavras-chave, existência de encadeamento lógico, ineditismo, e qualidade da contribuição.

10.3. Na análise dos editores e dos avaliadores a contribuição será classificada segundo uma das seguintes categorias:

- Aceito, sem modificações;
- Aceito, com sugestão de revisões;
- Devolvido, com sugestões de revisões e incentivo a nova submissão e Recusado.

11. COMUNICAÇÃO AOS AUTORES

O autor principal será comunicado do resultado da avaliação. Os autores dos artigos recusados receberão as devidas explicações.

12. RESPONSABILIDADE E DIREITOS

O conteúdo dos artigos são de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es). Os autores que encaminharem seus artigos cedem à ABES os respectivos direitos de reprodução e/ou publicação. Os casos omissos serão resolvidos pelos editores do periódico.